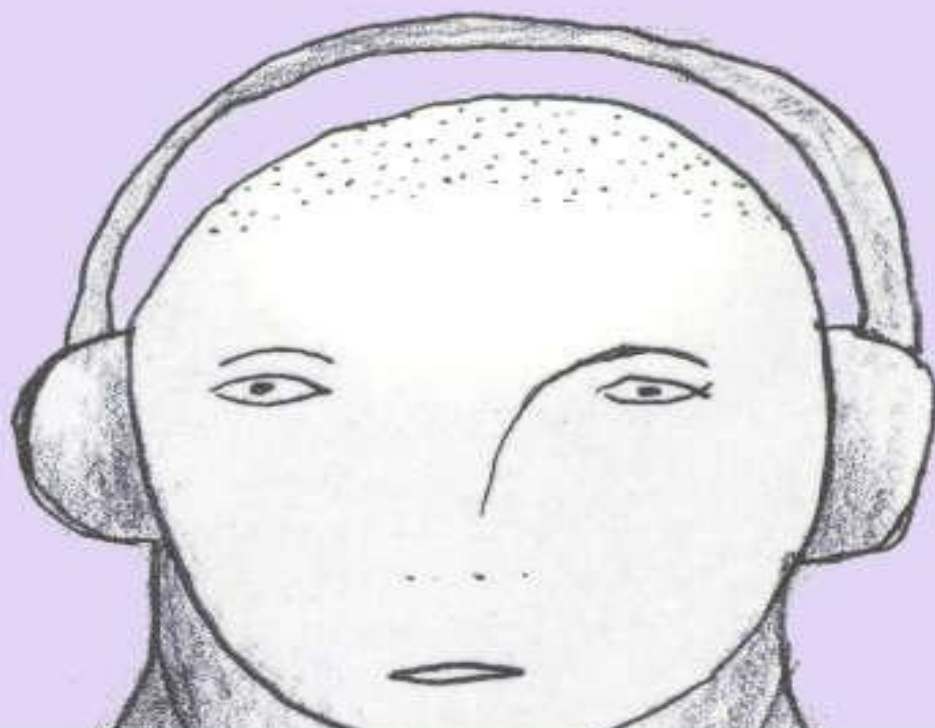


«Infinitamente estimulante, una visión de conjunto maravillosa, a manos del único neurocientífico que podía hacerlo... Un libro importante.» **Oliver Sacks**, neurólogo

Tu cerebro y la música

El estudio científico de una obsesión humana

Daniel J. Levitin

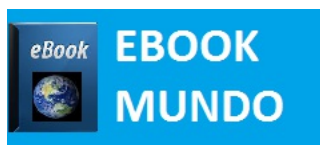


ebookmundo.com

Escuches a Bach o a Bono, la música tiene un papel muy significativo en tu vida. ¿Por qué la música despierta distintos estados de ánimo? Levitin se sirve de la neurociencia más avanzada y de la más rigurosa psicología evolutiva para ofrecernos respuestas.

Recurriendo a las últimas investigaciones y con ejemplos de piezas musicales que van desde Mozart, Duke Ellington a Van Halen, Levitin desvela multitud de misterios. ¿Tenemos un límite para adquirir nuevos gustos musicales? ¿Qué revelan los escáneres sobre las respuestas del cerebro a la música? ¿Nuestras preferencias musicales se determinan en el útero? ¿Es el placer musical diferente de otro tipo de placer? ¿Por qué estamos tan emocionalmente unidos a la música que escuchábamos cuando éramos adolescentes?

La música, como el lenguaje, forma parte de lo más profundo de la naturaleza humana. En *El cerebro y la música*, Levitin nos descubre una nueva manera de entenderla y su papel en la vida.



Daniel J. Levitin

Tu cerebro y la música

El estudio científico de una obsesión humana

ePub r1.0

Titivillus 30.12.16

Título original: *This is your Brain on Music*
Daniel J. Levitin, 2006
Traducción: José Manuel Álvarez Flórez
Primera edición física en castellano: octubre 2008

Editor digital: Titivillus
ePub base r1.2

más libros en Ebookmundo.com

INTRODUCCIÓN

AMO LA MÚSICA Y AMO LA CIENCIA: ¿POR QUÉ QUERRÍA MEZCLAR LAS DOS?

«Amo la ciencia, y me duele que asuste a tantos o que crean que elegir la ciencia significa que no puedes elegir también la compasión o las artes o sobrecogerte ante la naturaleza. La ciencia no tiene como objetivo curarnos del misterio, sino reinventarlo y revigorizarlo.»

ROBERT SAPOLSKY

Por qué las cebras no tienen úlcera

En el verano de 1969, cuando tenía once años, compré en una tienda de aparatos de alta fidelidad un equipo estéreo. Me costó los cien dólares que había ganado limpiando de malas hierbas los jardines de los vecinos aquella primavera a setenta y cinco centavos la hora. Pasé largas tardes en mi habitación, escuchando discos: Cream, los Rolling Stones, Chicago, Simon and Garfunkel, Bizet, Tchaikovski, George Shearing y el saxofonista Boots Randolph. No los ponía demasiado alto, al menos en comparación con mis tiempos de la universidad, cuando llegué realmente a quemar los auriculares por poner el volumen demasiado fuerte, pero el ruido era excesivo para mis padres. Mi madre es novelista; escribía a diario en la madriguera que tenía justo debajo del vestíbulo y tocaba el piano todas las noches durante una hora antes de cenar. Mi padre era un hombre de negocios; trabajaba ochenta horas a la semana, cuarenta de ellas en su despacho de casa a última hora del día y los fines de semana. Siendo como era un hombre de negocios, me hizo una propuesta: me compraría unos auriculares si le prometía utilizarlos cuando estuviera en casa. Aquellos auriculares cambiaron para siempre mi forma de escuchar música.

Los nuevos artistas a los que yo estaba escuchando exploraban por primera vez la mezcla estéreo. Como los altavoces que venían con mi equipo estéreo todo en uno de cien dólares no eran muy buenos, yo no había oído nunca con tanta profundidad como con los auriculares: el emplazamiento de los instrumentos tanto en el campo izquierda-derecha como en el espacio (reverberante) delante-atrás. Para mí, los discos dejaron de ser sólo las canciones, y pasaron a ser el sonido. Los auriculares me abrieron un mundo de colores sónicos, una paleta de matices y detalles que iban mucho más allá de los acordes y la melodía, la letra o la voz de un cantante concreto. El ambiente Sur profundo pantanoso de «Green River» de Creedence, o la belleza bucólica de espacios abiertos de «Mothers Nature's Son» de los Beatles; los oboes de la Sexta de Beethoven (dirigida por Karajan), leves y empapados de la atmósfera de una gran iglesia de madera y de piedra; el sonido era una experiencia envolvente. Los auriculares convirtieron también la música en algo más personal; llegaba de pronto del interior de mi cabeza, no del mundo exterior. Esa conexión personal fue en el fondo la que me llevó a convertirme en ingeniero de grabación y en productor.

Muchos años después, Paul Simon me explicó que el sonido era lo que él buscaba también siempre. «Yo escucho mis grabaciones por el sonido que tienen, no por los acordes ni por la letra: mi primera impresión es el sonido global.»

Después del incidente de los auriculares en mi dormitorio dejé la universidad y me metí en una banda de rock. Conseguimos llegar a ser lo bastante buenos para grabar en un estudio de veinticuatro pistas de California con un ingeniero de talento, Mark Needham, que grabaría luego discos de gran éxito de Chris Isaac, Cake y Fleetwood Mac. Yo le caí bien, probablemente porque era el único que se interesaba por entrar en la sala de control para volver a oír cómo sonábamos, mientras los demás estaban más interesados en colocarse entre sesiones. Me trataba como a un productor, aunque yo no sabía por entonces lo que era eso, y me preguntaba cómo quería que sonara la banda. Me enseñó lo diferente que podía ser el sonido dependiendo del micrófono, e incluso la influencia que tenía la colocación del micrófono. Al principio, no percibía algunas de las diferencias que me indicaba, pero me enseñó qué era lo que tenía que escuchar. «Fíjate que

cuando pongo este micrófono más cerca del amplificador de la guitarra, el sonido se hace más lleno, más redondo y más uniforme, pero cuando lo coloco más atrás, capta parte del sonido de la habitación, se vuelve más espacioso, aunque si lo hago se pierde parte del rango medio.»

Nuestra banda llegó a ser moderadamente conocida en San Francisco, y nuestras grabaciones se emitieron en estaciones de radio de rock locales. Cuando se deshizo la banda (debido a las frecuentes tentativas de suicidio del guitarrista y al desagradable hábito del vocalista de tomar óxido nítrico y cortarse con cuchillas de afeitar) encontré trabajo como productor de otras bandas. Aprendí a captar cosas que no había captado nunca: la diferencia entre un micrófono y otro, incluso entre una marca de cinta de grabación y otra (la cinta Ampex 456 tenía un «golpe» característico en el registro de baja frecuencia, Scotch 250 tenía una nitidez característica en las frecuencias altas y Agfa 467, una tersura en el registro medio). En cuanto supe qué era lo que tenía que escuchar, pude diferenciar la cinta de Ampex de la de Scotch o la de Agfa con la misma facilidad con que podía diferenciar una manzana de una pera o de una naranja. Ascendí luego de nivel y pasé a trabajar con otros grandes ingenieros, como Leslie Ann Jones (que había trabajado con Frank Sinatra y Bobby McFerrin), Fred Catero (Chicago, Janis Joplin) y Jeffrey Norman (John Fogerty, los Grateful Dead). Aunque yo era el productor (la persona a cargo de las sesiones) me sentía intimidado por todos ellos. Algunos de esos ingenieros me dejaron presenciar sus sesiones con otros artistas, como Heart, Journey, Santana, Whitney Houston y Aretha Franklin. Disfruté así de un valiosísimo curso de formación al observar cómo interactuaban con los artistas y al hablar de matices sutiles sobre cómo una parte de guitarra estaba articulada y cómo se había realizado una interpretación vocal. Hablaban de sílabas en una letra, y elegían entre diez interpretaciones distintas. Eran capaces de oír tan bien; ¿cómo ejercitaban el oído para escuchar cosas que los simples mortales no podían discernir?

Llegué a conocer, mientras trabajaba con pequeñas bandas desconocidas, a los ingenieros y directores de estudios, y ellos me orientaron para que aprendiera a trabajar cada vez mejor. Un día no apareció un ingeniero y fui yo quien empalmó varias cintas de grabación para Carlos Santana. En otra ocasión, el gran productor Sandy Pearlman salió a comer durante una sesión

de Blue Öyster Cult y me dejó encargarme de terminar la parte vocal. Una cosa llevó a otra, y pasé casi una década produciendo grabaciones en California; acabé teniendo la suerte de poder trabajar con muchos músicos conocidos. Pero trabajé también con docenas de don nadies musicales, gente con mucho talento pero que nunca consiguió salir adelante. Empecé a preguntarme por qué algunos músicos llegaban a ser muy conocidos mientras otros languidecían en la oscuridad. Me pregunté también por qué la música parecía resultar tan fácil para unos y para otros no. ¿De dónde procedía la creatividad? ¿Por qué algunas canciones nos conmueven tanto y otras nos dejan fríos? Y ¿qué decir del papel de la percepción en todo esto, la asombrosa capacidad de los grandes músicos e ingenieros para apreciar matices que la mayoría de nosotros no percibimos?

Estos interrogantes me condujeron de nuevo a la universidad en busca de respuestas. Cuando aún trabajaba como productor de discos, bajaba en coche hasta la Universidad de Stanford dos veces por semana con Sandy Pearlman para asistir a las clases de neuropsicología de Karl Pribram. Descubrí que la psicología era el campo en el que estaban las respuestas a algunas de mis preguntas: preguntas sobre la memoria, la percepción, la creatividad y el instrumento común en que se basaban todas ellas: el cerebro humano. Pero en vez de encontrar respuestas, salía con más preguntas... como suele pasar con la ciencia. Y cada nueva pregunta abría mi mente a la percepción de la complejidad de la música, del mundo y de la experiencia humana. Como dice el filósofo Paul Churchland, los humanos llevan intentando comprender el mundo a lo largo de la mayor parte de la historia registrada, y justamente en los últimos doscientos años, nuestra curiosidad ha descubierto mucho de lo que la naturaleza nos había mantenido oculto: la estructura espaciotemporal, la constitución de la materia, las muchas formas de energía, los orígenes del universo, la naturaleza de la propia vida con el descubrimiento del ADN, y hace sólo cinco años, la cartografía completa del genoma humano. Pero hay un misterio que no se ha resuelto: el misterio del cerebro humano y de cómo surgen de él las ideas y los sentimientos, las esperanzas y los deseos, el amor y la experiencia de la belleza, por no mencionar la danza, el arte visual, la literatura y la música.

¿Qué es la música? ¿De dónde viene? ¿Por qué unas secuencias de sonidos nos conmueven tanto, mientras otras (como los ladridos de los perros o los patinazos de los coches) molestan a mucha gente? Para algunos, estas cuestiones suponen gran parte del trabajo de nuestra vida. Para otros, la idea de abordar de ese modo la música parece algo equivalente a estudiar la estructura química de un cuadro de Goya, dejando de ver con ello el arte que el pintor estaba intentando crear. Un historiador de Oxford, Martin Kemp, señala una similitud entre los artistas y los científicos. La mayoría de los artistas describen su trabajo como experimentos, como parte de una serie de esfuerzos destinados a explorar una preocupación común o a establecer un punto de vista. Mi buen amigo y colega William Forde Thompson (compositor y especialista en cognición musical de la Universidad de Toronto) añade que el trabajo tanto de los científicos como de los artistas incluye etapas similares de desarrollo: una etapa creativa y exploratoria de «devanarse los sesos», seguida de etapas de comprobación y perfeccionamiento que se caracterizan por la aplicación de procedimientos establecidos, pero que suelen estar acompañadas de una capacidad creadora adicional para la resolución de problemas. Los estudios de los artistas y los laboratorios de los científicos comparten también similitudes, con un gran número de proyectos en marcha al mismo tiempo, en diversas etapas de elaboración. Ambos exigen instrumentos especializados y los resultados están (a diferencia de los planos definitivos de un puente colgante o la operación de cuadrar el dinero en una cuenta bancaria al final del negocio del día) abiertos a interpretación. Lo que artistas y científicos comparten es la capacidad de vivir siempre dispuestos a interpretar y reinterpretar los resultados de su trabajo. El trabajo de ambos es en último término la búsqueda de la verdad, pero consideran que esa verdad es por su propia naturaleza contextual y variable, dependiendo del punto de vista, y que las verdades de hoy se convierten mañana en tesis repudiadas o en objetos artísticos olvidados. Basta pensar en Piaget, Freud o Skinner para encontrar teorías que tuvieron vigencia generalizada y que más tarde se desecharon (o al menos se revaluaron espectacularmente). En la música, se atribuyó de forma prematura a una serie de grupos una vigencia perdurable: se aclamó a Cheap Trick como

los nuevos Beatles, y durante un tiempo la *Rolling Stone Encyclopedia of Rock* dedicó tanto espacio a Adam and the Ants como a U2. Hubo períodos en que no se podía concebir que un día la mayor parte del mundo no conociese los nombres de Paul Stookey, Christopher Cross o Mary Ford. Para el artista, el objetivo de la pintura o de la composición musical no es transmitir una verdad literal, sino un aspecto de una verdad universal que, si tiene éxito, seguirá conmoviendo e impresionando a la gente a pesar de que cambien los contextos, las sociedades y las culturas. Para el científico, el objetivo de una teoría es transmitir «verdad para ahora»: reemplazar una verdad vieja, aceptando al mismo tiempo que algún día esa categoría será sustituida también por una nueva «verdad», porque así es como avanza la ciencia.

La música es excepcional entre todas las actividades humanas tanto por su ubicuidad como por su antigüedad. No ha habido ninguna cultura humana conocida, ni ahora ni en cualquier época del pasado de que tengamos noticia, sin música. Algunos de los utensilios materiales más antiguos hallados en yacimientos de excavaciones humanas y protohumanas son instrumentos musicales: flautas de hueso y pieles de animales estiradas sobre tocones de árboles para hacer tambores. Siempre que los humanos se reúnen por alguna razón, allí está la música: bodas, funerales, la graduación en la universidad, los hombres desfilando para ir a la guerra, los acontecimientos deportivos, una noche en la ciudad, la oración, una cena romántica, madres acunando a sus hijos para que se duerman y estudiantes universitarios estudiando con música de fondo. Y esto se da aún más en las culturas no industrializadas que en las sociedades occidentales modernas; la música es y era en ellas parte de la urdimbre de la vida cotidiana. Sólo en fechas relativamente recientes de nuestra propia cultura, hace unos quinientos años, surgió una diferenciación que dividió en dos la sociedad, formando clases separadas de intérpretes y oyentes. En casi todo el mundo y durante la mayor parte de la historia humana, la música era una actividad tan natural como respirar y caminar, y todos participaban. Las salas de conciertos, dedicadas a la interpretación de la música, aparecieron hace muy pocos siglos.

Jim Ferguson, al que conozco desde el instituto, es hoy profesor de antropología. Es una de las personas más divertidas y más inteligentes que

conozco, pero es muy tímido; no sé cómo se las arregla para dar sus cursos. Para su tesis doctoral en Harvard, hizo trabajo de campo en Lesotho, una pequeña nación rodeada por Suráfrica. Allí estudió e interactuó con los aldeanos locales, y se ganó pacientemente su confianza, hasta que un día le pidieron que participase en una de sus canciones. Y entonces, en un detalle muy propio de él, cuando los sotho le pidieron que cantara, Jim dijo en voz baja: «Yo no sé cantar», y era verdad: habíamos estado juntos en la banda del instituto y aunque tocaba muy bien el oboe, era incapaz de cantar. A los aldeanos esta objeción les pareció inexplicable y desconcertante. Ellos consideraban que cantar era una actividad normal y ordinaria que todo el mundo realizaba, jóvenes y viejos, hombres y mujeres, no una actividad reservada a unos pocos con dones especiales.

Nuestra cultura, y en realidad nuestro propio lenguaje, establece una distinción entre una clase de intérpretes especializados (los Arthur Rubinstein, Ella Fitzgerald, Paul McCartney) y los demás, que pagamos por oír que los especialistas nos entretengan. Jim sabía que no era gran cosa como cantor ni como bailarín, y para él cantar y bailar en público implicaba que debía considerarse un experto. La reacción de los aldeanos fue mirarlo con perplejidad y decir: «¿¡Qué quieres decir con lo de que no sabes cantar!? ¡Tú hablas!». Jim explicó más tarde: «A ellos les resultaba tan extraño como si les dijese que no sabía andar o bailar, a pesar de tener dos piernas». Cantar y bailar eran actividades naturales en la vida de todos, integradas sin fisuras y en las que todos participaban. El verbo cantar en su lengua (*ho bina*), como en muchas otras lenguas del mundo, significa también bailar; no hay ninguna distinción, porque se supone que cantar entraña movimiento corporal.

Hace un par de generaciones, antes de la televisión, muchas familias se reunían e interpretaban música juntas como diversión. Hoy se insiste mucho en la técnica y en la habilidad, y en si un músico es «lo bastante bueno» para tocar para otros. La música se ha convertido en una actividad reservada a unos cuantos en nuestra cultura, y los demás tenemos que escuchar. La industria musical es una de las de mayores en los Estados Unidos, y trabajan para ella cientos de miles de personas. Sólo las ventas de álbumes aportan 30.000 millones de dólares al año, y esta cifra no tiene en cuenta las ventas de entradas para los conciertos, los miles de bandas que tocan en locales las

noches de los viernes por toda Norteamérica, ni los 30.000 millones de canciones que se bajaron gratuitamente por el procedimiento de compartir archivos en la red en 2005. Los estadounidenses gastan más dinero en música que en sexo o en medicinas recetadas. Teniendo en cuenta ese consumo voraz, yo diría que la mayoría pueden considerarse oyentes de música expertos. Tenemos capacidad cognitiva para detectar notas equivocadas, para encontrar música con la que disfrutar, para recordar cientos de melodías y para mover los pies al compás de una pieza..., una actividad que entraña un proceso de extracción de compás tan complicado que la mayoría de los ordenadores no pueden hacerlo. ¿Por qué escuchamos música y por qué estamos dispuestos a gastar tanto dinero para escuchar música? Dos entradas de conciertos pueden costar fácilmente tanto como lo que gasta en alimentación en una semana una familia de cuatro miembros, y un CD cuesta más o menos lo mismo que una camisa, ocho barras de pan o un servicio telefónico básico durante un mes. Entender por qué nos gusta la música y qué obtenemos de ella es una ventana que da acceso a la esencia de la naturaleza humana.

Plantearse interrogantes sobre una capacidad humana básica y omnipresente es planteárselos de manera implícita sobre la evolución. Los animales desarrollaron evolutivamente formas físicas determinadas como respuesta a su entorno, y las características que otorgaban una ventaja para el apareamiento se transmitieron a la generación siguiente a través de los genes.

Un aspecto sutil de la teoría darwiniana es que los organismos vivos (sean plantas, virus, insectos o animales) coevolucionaron con el mundo físico. Dicho de otro modo, mientras que todas las cosas vivas están cambiando como reacción al mundo, el mundo también está cambiando en respuesta a ellas. Si una especie desarrolló un mecanismo para mantener alejado a un predador concreto, sobre la especie de ese predador pesa la presión evolutiva bien de desarrollar un medio de superar esa defensa o bien de hallar otra fuente de alimentación. La selección natural es una carrera armamentista de morfologías físicas que cambian para adaptarse unas a otras.

Un campo científico relativamente nuevo, la psicología evolutiva, amplía la idea de evolución de lo físico al reino de lo mental. Cuando yo era

estudiante en la Universidad de Stanford, mi mentor, el psicólogo cognitivo Roger Shepard, decía que no sólo nuestros cuerpos, sino también nuestras mentes, son el producto de millones de años de evolución. Nuestras pautas de pensamiento, nuestras predisposiciones para resolver problemas de determinados modos, nuestros sistemas sensoriales (como por ejemplo nuestra capacidad para ver en color, y los colores concretos que vemos) son todos ellos producto de la evolución. Shepard llevaba la cuestión aún más allá: nuestras mentes coevolucionaron con el mundo físico, modificándose para adaptarse a condiciones en constante cambio. Tres alumnos de Shepard, Leda Cosmides y John Tooby de la Universidad de California en Santa Bárbara, y Geoffrey Miller, de la Universidad de Nuevo México, figuran entre los que están a la vanguardia en este nuevo campo. Los investigadores que trabajan en él creen que pueden descubrir muchas cosas sobre la conducta humana considerando la evolución de la mente. ¿Qué función tuvo la música para la humanidad cuando estábamos evolucionando y desarrollándonos? Ciertamente, la música de hace cincuenta mil o cien mil años es muy diferente de Beethoven, Van Halen o Eminem. Igual que nuestros cerebros han evolucionado, también lo ha hecho la música que creamos con ellos, y la música que queremos oír. ¿Evolucionaron vías y zonas determinadas de nuestro cerebro específicamente para crear y escuchar música?

Descubrimientos recientes de mi laboratorio y de los de mis colegas están demostrando que la música se distribuye por todo el cerebro, en contra de la antigua idea simplista de que el arte y la música se procesan en el hemisferio derecho, mientras que el lenguaje y las matemáticas se procesan en el izquierdo. A través de estudios con individuos que padecen lesiones cerebrales, hemos visto pacientes que han perdido la capacidad de leer un periódico pero aún pueden leer música, o individuos que pueden tocar el piano pero carecen de la coordinación motriz precisa para abotonarse la chaqueta. Oír, interpretar y componer música es algo en lo que intervienen casi todas las áreas del cerebro que hemos identificado hasta ahora, y exige la participación de casi todo el subsistema neuronal. ¿Podría explicar este hecho la afirmación de que escuchar música ejercita otras partes de nuestra mente; que escuchar a Mozart veinte minutos al día nos hará más inteligentes?

Ejecutivos publicitarios, cineastas, comandantes militares y madres aprovechan el poder de la música para evocar emociones. Los publicistas utilizan la música para hacer que un refresco, una cerveza, un calzado para correr o un coche parezcan más atractivos que sus competidores. Los directores de cine utilizan la música para explicarnos lo que sienten en escenas que de otro modo podrían ser ambiguas, o para intensificar nuestros sentimientos en momentos especialmente dramáticos. Imaginemos una escena típica de persecución de una película de acción, o en la música que podría acompañar a una mujer solitaria que sube por una escalera en una vieja mansión sombría. La música se utiliza para manipular nuestras emociones y tendemos a aceptar, si es que no a disfrutar directamente, esa capacidad que tiene para hacernos experimentar diversos sentimientos. Madres de todo el mundo, y remontándonos hacia atrás en el tiempo todo lo que podamos imaginar, han utilizado el canto para dormir a los niños pequeños, o para distraerlos de algo que les ha hecho llorar.

Muchas personas que aman la música aseguran que no saben nada de música. He descubierto que muchos de mis colegas que estudian temas complejos y difíciles como la neuroquímica o la psicofarmacología no se sienten preparados para investigar la neurociencia de la música. ¿Y quién puede reprochárselo? Los teóricos de la música manejan una serie arcana y enrarecida de términos y reglas tan oscuros como algunos de los campos más esotéricos de las matemáticas. Para el que no es músico, esas manchas de tinta en una página que nosotros llamamos notación musical podrían ser comparables a las anotaciones de la teoría matemática de conjuntos. Hablar de tonalidades, cadencias, modulación y transposición puede resultar desconcertante.

Sin embargo, todos esos colegas que se sienten intimidados por esa jerga pueden decirme cuál es la música que les gusta. Mi amigo Norman White es una autoridad mundial en el hipocampo de las ratas, y en cómo recuerdan los diferentes lugares que han visitado. Es muy aficionado al jazz y puede hablar como un experto sobre sus artistas favoritos. Puede apreciar instantáneamente la diferencia entre Duke Ellington y Count Basie por el sonido de la música, y puede incluso distinguir al Louis Armstrong de la primera época a la del

final. Norm no tiene ningún conocimiento musical en el sentido técnico: puede decirme que le gusta una canción determinada, pero no puede decirme los nombres de los acordes. Es sin embargo un experto en saber lo que le gusta. Eso no tiene nada de excepcional, por supuesto. Muchos de nosotros tenemos un conocimiento práctico de cosas que nos gustan, y podemos comunicar nuestras preferencias sin tener el conocimiento técnico del verdadero experto. Yo sé que prefiero la tarta de chocolate de un restaurante al que suelo ir a la tarta de chocolate de la cafetería de al lado de mi casa. Pero sólo un chef sería capaz de analizar la tarta (descomponer la experiencia gustativa en sus elementos) describiendo las diferencias en el tipo de harina, o en la mantequilla, o en el tipo de chocolate utilizados.

Es una lástima que muchas personas se sientan intimidadas por la jerga que manejan los músicos, los teóricos de la música y los científicos cognitivos. Hay un vocabulario especializado en todos los campos de investigación (pruebe a interpretar el informe completo de un análisis de sangre de su médico). Pero en el caso de la música, los científicos y los especialistas podrían esforzarse un poco más en la tarea de hacer accesible su trabajo. Se trata de algo que he intentado conseguir en este libro. El abismo antinatural que se ha abierto entre la interpretación musical y la audición de música se corresponde con el abismo paralelo que separa a los que aman la música (y les encanta hablar de ella) y los que están descubriendo cosas nuevas sobre cómo opera.

Una impresión que mis alumnos suelen confiarme es la de que aman la vida y sus misterios y temen que una excesiva educación les robe muchos de los placeres sencillos de la vida. Los alumnos de Robert Sapolsky probablemente le hayan hecho confidencias parecidas, y yo sentí también la misma angustia en 1979, cuando me trasladé a Boston para estudiar música en el Berklee College. ¿Y si adoptando un enfoque científico al estudiar la música y al analizarla la despojo de sus misterios? ¿Y si llego a saber tanto sobre ella que no me proporciona ya placer?

La música aún sigue ofreciéndome el mismo placer que cuando la oía en aquel equipo de alta fidelidad barato con los auriculares. Cuanto más llegué a saber sobre la música y sobre la ciencia más fascinantes me resultaron, y más capaz me sentí de apreciar a la gente que es realmente buena en ambos

campos. La música, como la ciencia, ha resultado ser a lo largo de los años una aventura, nunca experimentada exactamente del mismo modo dos veces. Ha sido para mí una fuente de continuas sorpresas y de satisfacción. Resulta que ciencia y música no son tan mala mezcla.

Este libro trata de la ciencia de la música desde la perspectiva de la neurociencia cognitiva, el campo que se halla en la intersección de la psicología y la neurología. Analizaré algunos de los estudios más recientes que yo y otros investigadores de nuestro campo hemos realizado sobre la música, su contenido y el placer que proporciona. Aportan nuevas perspectivas de cuestiones profundas. Si todos oímos la música de una forma diferente, ¿cómo podemos explicar que algunas composiciones puedan conmover a tantas personas, el *Mesías* de Haendel o «Vincent (Starry Starry Night)» de Don McLean, por ejemplo? Por otra parte, si todos oímos la música del mismo modo, ¿cómo podemos explicar las amplias diferencias de preferencia musical? ¿Por qué el Mozart de un individuo es la Madonna de otro?

En los últimos años se ha profundizado en el conocimiento de la mente gracias a un campo en vertiginoso crecimiento, el de la neurociencia, y a nuevos enfoques en psicología debidos a las nuevas tecnologías de representación del cerebro, a drogas capaces de manipular neurotransmisores como la dopamina y la serotonina y con ayuda también a la simple y vieja actividad científica. Menos conocidos son los avances extraordinarios que hemos conseguido en la construcción de modelos de cómo se interconectan nuestras neuronas, gracias a la revolución incesante de la tecnología informática. Estamos llegando a entender como nunca antes habíamos podido sistemas informatizados que existen dentro de nuestra cabeza. El lenguaje parece ahora hallarse sustancialmente integrado en el cerebro. Hasta la propia conciencia ha dejado ya de estar envuelta de forma irremediable en una niebla mística, y ha pasado a ser más bien algo que surge de sistemas físicos observables. Pero nadie ha unido todo este nuevo trabajo y lo ha utilizado para elucidar lo que es para mí la más bella obsesión humana. Analizar la relación entre el cerebro y la música es una vía para llegar a entender los misterios más profundos de la naturaleza humana. Es por eso que escribí este libro.

Si comprendemos mejor lo que es la música y de dónde sale, quizá podamos comprender mejor nuestras motivaciones, temores, deseos, recuerdos e incluso la comunicación en el sentido más amplio. ¿Es escuchar música algo parecido a comer cuando tienes hambre, y satisfacer así una necesidad? ¿O se parece más a ver una bella puesta de sol o a disfrutar de un masaje en la espalda, que activan sistemas de placer sensorial en el cerebro? Ésta es la historia de cómo el cerebro y la música coevolucionaron: lo que la música puede enseñarnos sobre el cerebro, lo que el cerebro puede enseñarnos sobre la música y lo que ambos pueden enseñarnos sobre nosotros mismos.

¿QUÉ ES MÚSICA?

DEL TONO AL TIMBRE

¿Qué es música? Para muchos «música» sólo puede significar los grandes maestros: Beethoven, Debussy y Mozart. Para otros, «música» es Busta Rhymes, Dr. Dre y Moby. Para uno de mis profesores de saxo del Berklee College (y para legiones de aficionados al «jazz tradicional») cualquier cosa hecha antes de 1940 o después de 1960 no es en realidad música. Yo tenía amigos cuando era un crío en los años sesenta que venían a mi casa a oír a los Monkees porque sus padres les prohibían oír todo lo que no fuese música clásica, y otros cuyos padres sólo les dejaban oír y cantar himnos religiosos. Cuando Bob Dylan se atrevió a tocar una guitarra eléctrica en el festival folk de Newport en 1965 hubo gente que se fue y muchos de los que se quedaron le abuchearon. La Iglesia católica prohibió la música con polifonía (más de una pieza musical tocada al mismo tiempo), temiendo que eso haría dudar a la gente de la unicidad de Dios. La Iglesia prohibió también el intervalo musical de una cuarta aumentada, la distancia entre do y fa sostenido y conocido también como tritono (el intervalo de *West Side Story* de Leonard Bernstein en que Toni canta el nombre de «María»). Este intervalo se consideraba tan disonante que tenía que haber sido obra de Lucifer, y así la Iglesia lo llamó *Diabolus in musica*. Era el tono lo que provocaba la indignación de la Iglesia. Y fue el timbre lo que hizo que abuchearan a Dylan.

La música de compositores de vanguardia como Francis Dhomont,

Robert Normandeau o Pierre Schaeffer fuerza los límites de lo que la mayoría de nosotros consideramos que es música. Yendo más allá del uso de melodía y armonía, y hasta más allá del uso de instrumentos, estos compositores se valen de grabaciones de diversos objetos, como martillos neumáticos, trenes y cataratas de agua. Corrigen luego las grabaciones, juegan con el tono y acaban combinándolas en un montaje organizado de sonido con el mismo tipo de trayectoria emotiva (la misma tensión y liberación) que la música tradicional. Los compositores de esta tradición son como los pintores que traspasaron los límites del arte realista y representativo: los cubistas, los dadaístas, muchos de los pintores modernos desde Picasso a Kandinsky y a Mondrian.

¿Qué tienen en común básicamente la música de Bach, Depeche Mode y John Cage? A un nivel más básico, ¿qué es lo que diferencia «What's It Gonna Be?!» de Busta Rhymes o la Sonata Patética de Beethoven de, por ejemplo, la serie de sonidos que oyes si te sitúas en medio de Times Square, o de los que oyes en las profundidades de un bosque tropical? Según la definición en una frase célebre el compositor **Edgard Varèse: «Música es sonido organizado».**

Este libro se propone explicar desde una perspectiva neuropsicológica cómo afecta la música a nuestro cerebro, nuestra mente, nuestro pensamiento y nuestro espíritu. Pero conviene examinar primero de qué está hecha. ¿Cuáles son los componentes básicos fundamentales de la música? ¿Y cómo la originan cuando están organizados? Los elementos básicos de cualquier sonido son intensidad, tono, contorno, duración (o ritmo), tempo, timbre, ubicación espacial y reverberación. El cerebro organiza esos atributos perceptuales básicos en conceptos de nivel más elevado (igual que un pintor dispone las líneas en formas) y entre ellos se incluyen el compás, la armonía y la melodía. **Cuando escuchamos música, estamos percibiendo en realidad atributos o «dimensiones» múltiples. He aquí un breve resumen de cuáles son:**

Suele llamarse «tono» a un sonido musical diferenciado. Se utiliza también la palabra «nota», pero los científicos reservan esa palabra para referirse a algo que está anotado en una página o partitura de

música. Los dos términos, «tono» y «nota», designan la misma entidad en el sentido abstracto, pero la palabra «tono» se refiere a lo que oyes y la palabra «nota» a lo que ves escrito en una partitura musical.

«Altura de tono» es una construcción puramente psicológica, relacionada tanto con la frecuencia real de un tono particular como con su posición relativa en la escala musical. Proporciona la respuesta a la pregunta «¿Qué nota es ésta?» («Un do sostenido»). Definiré más adelante la frecuencia y la escala musical.

«Ritmo» se refiere a las duraciones de una serie de notas, y a cómo se agrupan en unidades. Por ejemplo, en la «Alphabet Song» (lo mismo que «Twinkle, Twinkle Little Star») las notas de la canción son todas de igual duración para las letras ABCDEFGHIJK (con pausa de igual duración, o silencio, entre G y H), y luego las cuatro letras siguientes se cantan con la mitad de duración, o el doble de rápido por letra: L M N O (lo que provocó que generaciones de escolares se pasasen sus primeros meses creyendo que había una letra en el alfabeto llamada ellemmenno).

«Tempo» es la velocidad global o ritmo de la pieza.

«Contorno» es la forma global de una melodía, teniendo en cuenta sólo la pauta de «arriba» y «abajo» (si una nota sube o baja, no cuánto sube o baja).

«Timbre» es aquello que diferencia un instrumento de otro (por ejemplo, la trompeta del piano) cuando se toca con ambos la misma nota escrita. Es una especie de color tonal que se produce en parte por los armónicos de las vibraciones del instrumento.

«Intensidad» es un constructo puramente psicológico que se relaciona (no linealmente y de modos que no entendemos del todo) con la amplitud física de un tono.

«Ubicación espacial» es de dónde procede el sonido.

«Reverberación» se refiere a la percepción de lo lejos que está de nosotros la fuente del sonido en combinación con lo grande que es la habitación o sala de música en la que suena; se denomina a menudo entre los legos «eco», y es la cualidad que diferencia la amplitud del

sonido cuando se canta en una sala de conciertos grande del sonido cuando cantas en la ducha. Se infravalora su influencia en la transmisión de emociones y en la producción de un sonido global agradable.

Estos atributos son separables. Puede modificarse cada uno de ellos sin alterar los demás, lo que permite estudiarlos científicamente de uno en uno, que es la razón de que podamos concebirlos como dimensiones. La diferencia entre «música» y una serie de sonidos al azar o desordenada está relacionada con el modo que tienen de combinarse estos atributos fundamentales y las relaciones que establecen entre sí. Cuando estos elementos básicos se combinan y relacionan de una forma significativa, originan conceptos de orden superior, como «compás», «tonalidad», «melodía» y «armonía».

El compás lo crea el cerebro extrayendo información de las claves de ritmo y volumen, y es el modo en que se agrupan los tonos entre sí a lo largo del tiempo. Un compás de vals organiza los tonos en grupos de tres, una marcha en grupos de dos o de cuatro.

«Tonalidad» es el orden de importancia entre los tonos en una pieza musical; esta jerarquía no existe en el mundo, existe sólo en nuestra mente, como consecuencia de nuestras experiencias con un estilo musical y con idiomas musicales y con los esquemas mentales que todos desarrollamos para entender la música.

«Melodía» es el tema principal de una pieza musical, la parte que cantas con ella, la sucesión de tonos que destacan más en tu mente. La noción de melodía varía con los géneros. En la música rock, lo característico es que haya una melodía para las estrofas y otra para el coro, y las estrofas se diferencian por un cambio en la letra y a veces por un cambio de instrumentación. En la música clásica, la melodía es un punto de partida para que el compositor cree variaciones sobre ese tema, que se pueden utilizar a lo largo de toda la pieza de formas diferentes.

La «armonía» se basa en las relaciones entre la altura de los diversos tonos, y los marcos tonales que esos tonos establecen y que

crean expectativas de lo que llegará a continuación en una pieza musical..., expectativas que un compositor hábil puede satisfacer o quebrantar con finalidades expresivas y artísticas. Armonía puede significar simplemente una melodía paralela a la primaria (como cuando armonizan dos cantantes) o puede referirse a una progresión de acordes, las agrupaciones de notas que forman un marco y un fondo en el que se apoya la melodía.

La idea de elementos primarios que se combinan para crear arte, y la importancia de las relaciones entre esos elementos, se da también en el arte visual y en la danza. Los elementos principales de la percepción visual son el color (que se puede descomponer en las tres dimensiones de tono, saturación y claridad), brillantez, ubicación, textura y forma. Pero un cuadro es más que esas cosas: no es sólo una línea aquí y otra allá, o un punto de rojo en una parte y un sector de azul en otra. Lo que convierte un conjunto de líneas y de colores en arte es la relación entre una línea y otra; cómo un color o una forma se hacen eco de otro u otra en una parte distinta del cuadro. Esos toques de pintura y esas líneas se convierten en arte cuando la forma y la fluidez (cómo se ve arrastrada la mirada a lo largo del cuadro) se crean a partir de elementos perceptuales de orden inferior. Cuando se combinan armoniosamente acaban dando origen a la perspectiva, el primer plano y el plano de fondo, la emoción y otros atributos artísticos. Asimismo, la danza no es sólo un mar tempestuoso de movimientos corporales sin relación; lo que los integra y complementa es la relación de esos movimientos entre sí, lo que aporta una coherencia y una cohesión que procesan los niveles superiores del cerebro. Y en la música, lo mismo que en el arte visual, se juega no sólo con las notas que se emiten, sino con las que no se emiten. Miles Davis hizo una descripción famosa de su técnica de improvisación paralela a la descripción que hizo Picasso de cómo utilizaba él un lienzo: el aspecto más decisivo del trabajo, decían ambos artistas, no eran los objetos en sí, sino el espacio entre los objetos. Miles, en concreto, describió la parte más importante de sus solos como el espacio vacío entre notas, el «aire» que introducía entre una nota y la siguiente. Saber con exactitud cuándo emitir la nota que sigue y dar tiempo al oyente para anticiparlo, es un rasgo distintivo del talento de Davis. Resulta

particularmente notorio en su álbum *Kind of Blue*.

Para los que no son músicos, términos como «diatónico», «cadencia» o incluso «tonalidad» y «tono» pueden constituir una barrera innecesaria. Músicos y críticos parecen vivir a veces tras un velo de términos técnicos que pueden parecer pretenciosos. ¿Cuántas veces has leído una crítica de un concierto en el periódico y te has encontrado con que no tienes ni idea de lo que está diciendo el crítico? «Su *appoggiatura* creó una incapacidad para completar la *roulade*.» O, «¡Me parece increíble que modulasen hasta do sostenido menor! ¡Qué ridículo!» Lo que en realidad queremos saber es si la música se interpretó de una forma que conmovió al público. Si la cantante pareció encarnar al personaje sobre el que estaba cantando. Tal vez quisieses que el crítico comparase la actuación de esa noche con la de la noche anterior o con un conjunto diferente. Lo que nos interesaba normalmente era la música, no los instrumentos técnicos utilizados. No aguantaríamos que el crítico gastronómico de un restaurante se pusiera a especular sobre la temperatura exacta a la que el chef añadió zumo de limón a una salsa holandesa, ni que un crítico de cine nos hablase de la apertura de lente utilizada por el cineasta; no deberíamos aguantarlo tampoco en el caso de la música.

Además, muchos de los que estudian música (incluso musicólogos y científicos) discrepan sobre el significado de alguno de esos términos. Utilizamos el término «timbre», por ejemplo, para designar el sonido global o el color tonal de un instrumento, esa característica indescriptible que diferencia a una trompeta de un clarinete aunque estén tocando la misma nota escrita, o lo que diferencia tu voz de la de Brad Pitt al pronunciar las mismas palabras. Pero la incapacidad para ponerse de acuerdo en una definición ha conducido a la comunidad científica a tomar la insólita medida de alzar las manos y definir timbre como lo que no es. (La Acoustical Society of America lo define como todo lo relacionado con un sonido que no es intensidad ni tono. ¡Menuda precisión científica!)

¿Qué es tono? Esta simple pregunta ha generado centenares de artículos científicos y miles de experimentos. Tono es la frecuencia o velocidad de vibración de una cuerda, una columna de aire u otra fuente física de sonido.

Si una cuerda vibra de manera que se mueva hacia delante y hacia atrás sesenta veces en un segundo, decimos que tiene una frecuencia de sesenta ciclos por segundo. La unidad de medida, ciclos por segundo, suele llamarse hercio (abreviado Hz), por Heinrich Hertz, el físico teórico alemán que fue el primero que transmitió ondas de radio (teórico hasta la médula, cuando le preguntaron qué utilidad práctica podrían tener las ondas de radio, parece ser que se encogió de hombros y contestó: «Ninguna»). Si tuvieses que intentar remedar el sonido de la sirena de un vehículo de bomberos, tu voz recorrería diferentes tonos o frecuencias (al cambiar la tensión de tus pliegues vocales), algunos «bajos» y algunos «altos».

Las teclas de la izquierda del teclado del piano golpean cuerdas más gruesas y más largas que vibran a una tasa relativamente lenta. Las de la derecha, cuerdas más cortas y más finas que vibran a una tasa más alta. La vibración de esas cuerdas desplaza moléculas de aire y las hace vibrar a la misma velocidad, es decir, con la misma frecuencia que la cuerda. Estas moléculas de aire vibrante son las que llegan a nuestro tímpano, y lo hacen moverse hacia dentro y hacia fuera con la misma frecuencia. La única información que recibe el cerebro sobre el tono del sonido viene de ese movimiento hacia dentro y hacia fuera del tímpano; el oído interno y el cerebro tienen que analizar ese movimiento para calcular qué vibraciones del mundo exterior hacen moverse de ese modo el tímpano.

Cuando usamos las teclas más próximas a la izquierda del teclado, decimos, por convención, que son sonidos de tono «grave», y los de las próximas al lado derecho del teclado que son de tono «agudo». Es decir, los sonidos que llamamos «graves» son los que vibran lentamente, y están más próximos (en frecuencia de vibración) al sonido de los ladridos de un perro grande. Los que llamamos «agudos» son los que vibran rápidamente y están más próximos a los débiles ladridos que podría emitir un perro pequeño. Pero incluso estos términos, «agudo» y «grave», son culturalmente relativos: los griegos hablaban de los sonidos en sentido contrario, porque los instrumentos de cuerda que ellos construían tendían a estar orientados verticalmente. Las cuerdas más cortas o los tubos de órgano más cortos tenían sus partes superiores más próximas al suelo, y se llamaban por ello notas «bajas» (como en «baja hasta el suelo»), y las cuerdas y tubos más largos (que se elevaban

hacia Zeus y Apolo) se llamaban notas «altas». «Bajo» y «alto» (lo mismo que «izquierda» y «derecha») son en realidad términos arbitrarios que tienen que memorizarse. Algunos autores han alegado que «alto» y «bajo» son etiquetas intuitivas, y que lo que llamamos sonidos de tono alto proceden de los pájaros (que están subidos a los árboles o en el cielo) y lo que llamamos sonidos de tono bajo suelen proceder de grandes mamíferos próximos al suelo como los osos o el ruido de un terremoto. Pero esto no resulta convincente, ya que hay sonidos bajos que vienen también de arriba (pensemos en el trueno) y sonidos altos que vienen de abajo (los grillos y las ardillas, las hojas que pisamos).

Como una primera definición de tono, digamos que es esa cualidad que distingue primordialmente el sonido asociado a pulsar una tecla de piano frente a otra.

Pulsar una tecla hace que un macillo golpee una o más cuerdas dentro del piano. Al golpearla la desplaza, estirándola un poco, y su elasticidad intrínseca hace que vuelva hacia su posición original. Pero excede esa posición original, yendo demasiado lejos en la dirección opuesta, y luego intenta volver una vez más a su posición original, excediéndose de nuevo, y oscila así hacia delante y hacia atrás. Cada oscilación va cubriendo menos distancia y llega un momento en que la cuerda dejará por completo de moverse. Por eso el sonido que oímos al pulsar una tecla de piano se suaviza hasta perderse en la nada. El cerebro traduce la distancia que la cuerda recorre con cada oscilación hacia delante y hacia atrás como intensidad; la tasa a la que oscila se traduce como altura de tono. Cuanto más lejos llega la cuerda, más fuerte nos parece el sonido; cuando casi no se desplaza, el sonido parece suave. Aunque pudiese parecer contradictorio, la distancia recorrida y la tasa de oscilación son independientes. Una cuerda puede vibrar muy deprisa y recorrer bien una gran distancia o una distancia pequeña. La extensión que recorre depende de lo fuerte que la pulsemos: esto se corresponde con nuestra intuición de que al pulsar algo más fuerte el sonido es fuerte. La velocidad a la que vibra la cuerda depende principalmente de su tamaño y de lo tensa que esté, no de lo fuerte que se haya pulsado.

Podría parecer que deberíamos limitarnos a decir que tono es lo mismo que frecuencia; es decir, la frecuencia de vibración de las moléculas de aire.

Esto es casi cierto. Cartografiar el mundo físico sobre el mundo mental raras veces resulta tan directo. Sin embargo, en los sonidos más musicales, tono y frecuencia están estrechamente relacionados.

La palabra tono alude a la representación mental que un organismo tiene de la frecuencia básica de un sonido. Es decir, tono es un fenómeno psicológico relacionado con la frecuencia de las moléculas de aire que vibran. Con lo de «psicológico» quiero decir que se trata de algo que está exclusivamente en nuestra mente, no en el mundo exterior; es el producto final de una cadena de acontecimientos mentales que da origen a una representación o cualidad mental interna por completo subjetiva. Las ondas sonoras en sí mismas (moléculas de aire que vibran con frecuencias diversas) no tienen tono. Su movimiento y sus oscilaciones se pueden medir, pero hace falta un cerebro humano (o animal) para cartografiarlas respecto a esa cualidad interna que llamamos tono.

Percibimos el color de una forma similar, y fue Isaac Newton quien primero se dio cuenta de eso. (Newton, por supuesto, es conocido como el descubridor de la teoría de la gravedad, y el inventor, junto con Leibniz, del cálculo diferencial. Era, como Einstein, muy mal estudiante, y sus profesores se quejaban a veces de su falta de atención. Al final lo echaron de la escuela.)

Newton fue el primero que indicó que la luz es incolora, y que en consecuencia el color tiene que producirse dentro de nuestro cerebro. «Las ondas en sí —escribió— no tienen color.» Desde su época, hemos llegado a saber que las ondas luminosas se caracterizan por diferentes frecuencias de oscilación, y cuando impactan en la retina de un observador desencadenan una serie de fenómenos neuroquímicos cuyo producto final es una imagen mental interior a la que llamamos color. Aunque una manzana pueda parecer roja, sus átomos no son rojos. Y del mismo modo, como señala el filósofo Daniel Dennett, el calor no está compuesto de pequeñas cositas calientes.

Un budín sólo tiene gusto cuando yo lo meto en la boca, cuando entra en contacto con la lengua. No tiene gusto ni sabor cuando está en la nevera, sólo el potencial. Así también, las paredes de mi cocina no son «blancas» cuando yo abandono la cocina. Aún tienen sobre ellas pintura, por supuesto, pero el «color» sólo se produce cuando interactúan con mis ojos.

Las ondas sonoras impactan en los tímpanos y en el pabellón auricular

(las partes carnosas de la oreja), poniendo en marcha una cadena de acontecimientos mecánicos y neuroquímicos cuyo producto final es una imagen mental interna a la que llamamos tono. Si cae un árbol en el bosque y no hay nadie allí para oírlo, ¿produce un sonido? (El primero que planteó esta cuestión fue el filósofo irlandés George Berkeley.) Sencillamente, no: sonido es una imagen mental creada por el cerebro en respuesta a moléculas que vibran. Del mismo modo, no puede haber tono sin un ser humano o un animal presente. Un instrumento de medición adecuado puede registrar la frecuencia producida por el árbol cayendo, pero en realidad no hay tono a menos que se oiga.

Ningún animal puede oír un tono por cada frecuencia que existe, del mismo modo que los colores que vemos son en realidad una pequeña porción del espectro electromagnético. El sonido puede oírse teóricamente para vibraciones que van justo de los 0 ciclos por segundo hasta los 100.000 o más, pero cada animal oye sólo un subconjunto de los sonidos posibles. Los seres humanos que no padecen ningún tipo de pérdida auditiva pueden normalmente oír sonidos que van desde los 20 hercios hasta los 20.000. Los tonos del extremo bajo suenan como un ruido sordo impreciso o un temblor: ése es el sonido que oímos cuando pasa un camión al otro lado de la ventana (el motor produce un sonido en torno a los 20 hercios) o cuando un coche trucado con un sistema de sonido de primera tiene puestos los bailes de bajos realmente fuerte. Algunas frecuencias (las que quedan por debajo de los 20 hercios) son inaudibles para los seres humanos, porque los mecanismos fisiológicos de nuestros oídos no son sensibles a ellas.

Que el rango de la audición humana suela ser de 20 hercios a 20.000 no significa que el rango de la percepción tónica humana sea el mismo; aunque podemos oír sonidos en ese rango completo, no todos son musicales; es decir, no podemos asignar sin ambigüedad un tono a un rango completo. Por analogía, los colores en los extremos infrarrojo y ultravioleta del espectro carecen de definición comparados con los colores más próximos al centro. La figura de la [página 64](#) muestra el rango de los instrumentos musicales y la frecuencia asociada con ellos. El sonido de la voz del varón medio hablando es de unos 110 hercios, y el de la mujer media, de unos 220. El zumbido de las luces fluorescentes o de una instalación eléctrica defectuosa es de 60

hercios (en América del Norte; en Europa y en países con una medida diferente de voltaje/corriente puede ser de 50). El sonido que emite una cantante al romper un vaso con la voz podría llegar a ser de 1.000 hercios. El cristal se rompe porque, como todos los objetos físicos, tiene una frecuencia vibratoria intrínseca y natural. Puedes oírla dando al vaso un golpecito con el dedo o, si es de cristal fino, recorriendo el borde con el dedo mojado en un movimiento circular. Cuando la cantante alcanza la frecuencia adecuada (la frecuencia resonante del cristal) hace vibrar a las moléculas de éste a su velocidad natural, y el cristal estalla.

Un piano normal tiene 88 teclas. Los pianos pueden tener en casos muy raros unas cuantas teclas extra al fondo y los pianos eléctricos, los órganos y los sintetizadores tienen sólo 12 o 24 teclas, pero se trata de casos especiales. La nota más baja en un piano normal vibra con una frecuencia de 27,5 hercios. Curiosamente, ésta es de forma aproximada la velocidad de movimiento que constituye un importante umbral de la percepción visual. Una sucesión de fotos fijas (diapositivas) desplegadas a esa velocidad de presentación o a una velocidad próxima a ella darán la ilusión de movimiento. El cine es una secuencia de imágenes fijas alternando con trozos de película negra presentadas a una velocidad (un cuarentaiochoavo de segundo) que excede la capacidad de resolución temporal del sistema visual humano. Percibimos un movimiento suave y continuo cuando no es eso en realidad lo que se nos está mostrando. Si las moléculas vibran en torno a esa velocidad oímos algo que suena como un nota continua. Si colocaste alguna vez naipes en los radios de la rueda de tu bicicleta cuando eras niño, te demostraste a ti mismo un principio relacionado: a velocidades lentas, oyes simplemente el click-click-click de la carta golpeando los radios. Pero superada cierta velocidad, los clicks se juntan y crean un zumbido, una nota que puedes realmente tararear a compás; un tono.

Cuando se toca esa nota más baja en el piano y vibra a 27,5 hercios, para la mayoría de la gente carece del tono distintivo de los sonidos de hacia la zona media del teclado. En los extremos más bajo y más alto del teclado del piano, las notas suenan borrosas para muchas personas por lo que se refiere a su tono. Los compositores lo saben y usan esas notas o las evitan según lo que intenten conseguir desde el punto de vista compositivo y emotivo. Los

sonidos con frecuencias por encima de la nota más alta del teclado del piano, en torno a los 6.000 hercios y más, suenan como un chillido de tono agudo para la mayoría de la gente. Por encima de los 20.000 hercios la mayoría de los seres humanos no oyen nada, y a los sesenta años de edad la mayoría de los adultos no pueden oír gran cosa por encima de unos 15.000 hercios, debido al anquilosamiento de las células capilares en el oído interno. Así que cuando hablamos del registro de las notas musicales, o de esa parte restringida del teclado del piano que transmite la sensación más fuerte de tono, estamos hablando aproximadamente de tres cuartas partes de las notas del teclado, entre unos 55 hercios y unos 2.000.

El tono es uno de los medios primordiales de transmitir emoción musical. Hay una serie de factores que comunican estados de ánimo, excitación, calma, amor romántico o peligro, pero el tono figura entre los más decisivos. Una sola nota aguda puede transmitir excitación, una sola nota grave, tristeza. Cuando las notas se pulsan juntas, se consiguen frases musicales más potentes y más matizadas. Las melodías están definidas por la pauta o relación de tonos sucesivos a lo largo del tiempo; la mayoría de la gente no tiene ningún problema para identificar una melodía que se interprete en una tonalidad más alta o más baja que aquella en que la oyeron anteriormente. De hecho, muchas melodías no tienen un tono inicial «correcto», flotan libres en el espacio, empezando en cualquier parte. «Cumpleaños Feliz» es un ejemplo. Así que una forma de pensar en una melodía es considerarla como un prototipo abstracto que se deriva de combinaciones específicas de tonalidad, tempo, instrumentación, etc. Una melodía es un objeto auditivo que mantiene su identidad a pesar de las transformaciones, igual que una silla mantiene su identidad aunque la traslades de un lugar a otro de la habitación, la pongas patas arriba o la pintes de rojo. De modo que si oyes, por ejemplo, una canción tocada más fuerte de lo que estás acostumbrado a oírla, sigues identificándola pese a todo como la misma canción. Lo mismo se cumple respecto a los cambios en los valores tónicos absolutos de la canción, que pueden modificarse siempre que se mantengan iguales las distancias relativas entre ellos.

El concepto de valores tónicos relativos es fácil de ver en nuestro modo de hablar. Cuando le haces a alguien una pregunta, subes espontáneamente la

voz elevando la entonación al final de la frase, para indicar que estás preguntando. Pero no intentas que la elevación de la voz se atenga a un tono específico. Basta con que acabes la frase con un tono un poco más alto que como la empezaste. Esto es una convención (aunque no en todas las lenguas, es algo que se ha de aprender), y los lingüistas la conocen como una clave prosódica. Hay convenciones similares para la música escrita en la tradición occidental. Ciertas secuencias de tonos evocan calma, otras, excitación. La base cerebral de este efecto se debe primordialmente al aprendizaje, del mismo modo que aprendemos que una entonación creciente indica una pregunta. Todos tenemos una capacidad innata para aprender las distinciones lingüísticas y musicales de la cultura en la que hayamos nacido, y la experiencia con la música de esa cultura conforma nuestros canales neuronales para que acabemos interiorizando una serie de reglas comunes a esa tradición musical.

Los diferentes instrumentos utilizan partes distintas del registro de tonos disponibles. El piano es el instrumento que tiene un registro más amplio, como se puede ver en la ilustración de la [página 64](#). Los otros instrumentos utilizan un subconjunto de los tonos disponibles, y esto influye en el uso de esos instrumentos para comunicar emoción. El flautín, con su sonido de tono agudo, estridente y como de pájaro, tiende a evocar estados de ánimo felices y despreocupados independientemente de las notas que se toquen en él. Por esa razón, los compositores tienden a utilizarlo para música feliz, o estimulante, como en la marcha de Sousa. Asimismo, Prokofiev utiliza la flauta en *Pedro y el lobo* para representar al pájaro, y la trompa de pistones para indicar al lobo. La individualidad de los personajes se expresa en *Pedro y el lobo* con los timbres de diferentes instrumentos y cada uno tiene un leitmotiv, una frase o figura melódica asociada que acompaña a la reaparición de una idea, una persona o una situación. (Es algo que se da en especial en el drama musical wagneriano.) Un compositor que elige secuencias con un tono supuestamente triste sólo se las asignaría al flautín si estuviese intentando ser irónico. Los sonidos graves y pesados de la tuba o del contrabajo suelen utilizarse para evocar solemnidad, gravedad o peso.

¿Cuántos tonos únicos hay? Como el tono procede de un continuo (las frecuencias migratorias de moléculas) hay técnicamente un número infinito

de tonos: por cada par de frecuencias que menciones, siempre podrías encontrar una entre ellas, y teóricamente existiría un tono distinto. Pero no todos los cambios de frecuencia producen una diferencia de tono apreciable, lo mismo que añadir un grano de arena a tu mochila no cambia perceptiblemente su peso. Así que no todos los cambios de frecuencia tienen utilidad musical. No todos tenemos la misma capacidad para detectar pequeños cambios de frecuencia; la formación puede ayudar, pero hablando en términos generales, la mayoría de las culturas no utilizan distancias mucho más pequeñas que un semitono como base de su música, y la mayoría de las personas no pueden percibir de modo fidedigno cambios más pequeños que aproximadamente una décima de semitono.

La capacidad para apreciar diferencias de tono depende de la fisiología, y varía de un animal a otro. La membrana basilar del oído interno humano tiene células capilares selectivas respecto a la frecuencia que sólo se activan con una gama de frecuencias determinada. Están distribuidas a lo largo de la membrana siguiendo un orden que va de frecuencias bajas a altas; los sonidos de frecuencia baja excitan las células capilares de un extremo de la membrana basilar, los de frecuencia media excitan las de la zona media y los de alta frecuencia, las del otro extremo. Podemos imaginar que la membrana contiene un mapa de tonos diferentes muy parecido al teclado de un piano colocado sobre ella. Como los diferentes tonos están extendidos por la topografía superficial de la membrana, a eso se le llama un mapa tonotópico.

Los sonidos, una vez que entran en el oído, pasan por la membrana basilar, donde se activan células capilares determinadas, según la frecuencia de los sonidos. La membrana es como una lámpara de detección de movimiento en el jardín; la actividad en una parte determinada de la membrana hace que ésta envíe una señal eléctrica al córtex auditivo. El córtex auditivo tiene también un mapa tonotópico, con tonos que van de bajos a altos extendidos a lo largo de la superficie cortical. En este sentido, el cerebro contiene un «mapa» de diferentes tonos, y diferentes zonas del cerebro responden a diferentes tonos. El tono es tan importante que el cerebro lo representa directamente; a diferencia de lo que sucede con casi cualquier otro atributo musical, podríamos colocar electrodos en el cerebro y ser capaces de determinar qué tonos se estaban interpretando para una persona

sólo viendo la actividad cerebral. Y aunque la música se basa en relaciones de tono más que en valores tónicos absolutos, a lo que el cerebro presta atención a lo largo de sus diversas etapas de procesamiento es, paradójicamente, a estos valores tónicos absolutos.

Una «escala» no es más que un subconjunto del número teóricamente infinito de tonos, y cada cultura selecciona los que están basados en la tradición histórica o lo hace de una forma un tanto arbitraria. Los tonos específicos elegidos son luego consagrados como parte de ese sistema musical. Esas son las letras que vemos en la figura anterior. Los nombres «A», «B», «C», etc., son etiquetas arbitrarias que asociamos con frecuencias determinadas. En la música occidental (la música de la tradición europea) estos tonos son los únicos tonos «legales»; la mayoría de los instrumentos están diseñados para tocar esos tonos y no otros. (Instrumentos como el trombón y el violonchelo son una excepción, porque pueden deslizarse entre notas; los que tocan el trombón, el violonchelo, el violín, etc., pasan mucho tiempo aprendiendo a oír y producir las frecuencias precisas necesarias para cada una de las notas legales.) Los sonidos intermedios se consideran errores («desentonar») a menos que se utilicen para lograr entonación expresiva (tocar a propósito algo desentonado, brevemente, para añadir tensión emotiva) o en el paso de un tono legal a otro.

«Sintonía» es la relación precisa entre la frecuencia de un tono que se está tocando y una unidad de medición estándar, o entre dos o más tonos que se están tocando al mismo tiempo. Los músicos orquestales que «afinan» o «sintonizan» antes de una interpretación están sincronizando sus instrumentos (que varían espontáneamente en su sintonía porque la madera, el metal, las cuerdas y otros materiales se expanden y contraen con los cambios de temperatura y de humedad) a una frecuencia estándar, o a veces no a una estándar, sino entre ellos. Los músicos expertos modifican a menudo la frecuencia de tonos mientras están tocando con propósitos expresivos (salvo, por supuesto, en instrumentos de tono fijo como los teclados y los xilófonos); tocar una nota un poco más alto o más bajo de su valor nominal puede transmitir emoción cuando se hace con habilidad. Los músicos expertos que tocan juntos en grupos modificarán también el tono de las notas

que tocan para sintonizarlas con las de los otros músicos, en caso de que uno o más de ellos se desvíe de la sintonía estándar durante la interpretación.

Los nombres de las notas en la música occidental son do - re - mi - fa - sol - la - si - do (este sistema se utiliza como letra en la canción de Rodgers y Hammerstein «Do-Re-Mi» de *The Sound of Music*: «*Do, a deer, a female deer, Re, a drop of golden sun...*»). A medida que las frecuencias se hacen más altas, van sucediéndose los nombres de las letras, en el primer sistema; B una frecuencia más alta que A (y por tanto un tono más alto) y C una más alta que A o B. Después de G, los nombres de las notas empiezan de nuevo en A. Las notas del mismo nombre tienen frecuencias que son múltiplos entre sí. Una de las diversas notas que llamamos A tiene una frecuencia de 55 hercios y todas las otras notas que llamamos A tienen dos, tres, cuatro, cinco veces esa frecuencia (o la mitad).

Se trata de una cualidad fundamental de la música. Los nombres de las notas se repiten por un fenómeno perceptivo que se corresponde con la duplicación y la división por la mitad de las frecuencias. Cuando duplicamos o dividimos por dos una frecuencia, acabamos con una nota que suena notoriamente similar a aquella con la que empezamos. Esta relación, una proporción de frecuencia de dos/uno o uno/dos, se denomina la octava. Es tan importante que, a pesar de las grandes diferencias que existen entre las culturas musicales (la india, la balinesa, la europea, la del Oriente Próximo, la china, etc.), todas las que conocemos tienen la octava como la base de su música, aunque ésta tenga poco más en común con las otras tradiciones musicales. Este fenómeno conduce a la idea de circularidad en la percepción tónica, y es similar a la circularidad en los colores. Aunque el rojo y el violeta se encuentran en extremos opuestos del continuo de frecuencias visibles de la energía electromagnética, las vemos como perceptivamente similares. Lo mismo sucede en la música, de la que suele decirse que tiene dos dimensiones, una que explica que los tonos aumentan de frecuencia (y suenan más y más alto) y otra que explica la sensación que tenemos de que hemos vuelto a casa cada vez que duplicamos la frecuencia de una nota.

Cuando hombres y mujeres hablan al unísono, sus voces están normalmente separadas una octava, aunque intenten hablar con los mismos tonos exactos. Los niños hablan en general una octava o dos más alto que los

adultos. Las dos primeras notas de la melodía de Harold Arlen «Somewhere Over the Rainbow» (de la película *El mago de Oz*) hacían una octava. En «Hot Fun in the Summertime» de Sly and the Family Stone, Sly y los cantantes que lo acompañan cantan en octavas durante el primer verso de la estrofa «*End of the spring and here she comes back*». A medida que aumentamos las frecuencias tocando las notas sucesivas en un instrumento, tenemos una sensación muy fuerte de que cuando llegamos a una duplicación de frecuencia, hemos vuelto otra vez a «casa». La octava es tan básica que incluso algunas especies animales (los monos y los gatos, por ejemplo) muestran equivalencia de octava, la capacidad para tratar como similares, lo mismo que los humanos, notas separadas por esta cuantía.

Un «intervalo» es la distancia entre dos notas. La octava de la música occidental está subdividida en doce notas (logarítmicamente) espaciadas por igual. El intervalo entre la y si (o entre do y re) es lo que se llama un tono o paso completo. (Este último término es confuso, porque llamamos tono a cualquier sonido musical; para evitar la ambigüedad utilizaré «paso completo».) La división más pequeña de nuestra escala occidental corta por la mitad perceptualmente ese paso completo: es lo que se llama un semitono, que es un doceavo de una octava.

Los intervalos son la base de la melodía, mucho más que los tonos concretos de las notas; el proceso de la melodía es relacional, no absoluto, lo que quiere decir que definimos una melodía por sus intervalos, no por las notas concretas que utilizamos para crearlos. Cuatro semitonos forman siempre el intervalo conocido como una tercera mayor, independientemente de si la primera nota es un la o un sol o cualquier otra nota. He aquí un cuadro de los intervalos que se conocen en nuestro sistema musical (occidental):

<i>Distancia de semitonos</i>	<i>Nombre de intervalo</i>
0	unísono
1	segunda menor
2	segundo mayor
3	tercera menor

4	tercera mayor
5	cuarta justa
6	cuarta aumentada, quinta disminuida, o tritono
7	quinta justa
8	sexta menor
9	sexta mayor
10	séptima menor
11	séptima mayor
12	octava

El cuadro podría continuar: trece semitonos es una novena menor, catorce semitonos es una novena mayor, etc., pero sus nombres sólo se usan en realidad en análisis más avanzados. Los intervalos de cuarta justa y quinta justa se llaman así porque tienen un sonido particularmente agradable para muchas personas, y desde los antiguos griegos esta característica especial de la escala estará en el corazón de toda la música. (No hay ninguna «quinta imperfecta», éste es justamente el nombre que damos al intervalo.) Ignora la cuarta justa y la quinta justa o utilízalas en todas las frases, han sido la columna vertebral de la música durante cinco mil años como mínimo.

Aunque las áreas del cerebro que reaccionan a tonos individuales han sido cartografiadas, aún no hemos conseguido hallar la base neurológica de la codificación de las relaciones tonales; sabemos qué sector del córtex participa en la audición de las notas do y mi, por ejemplo, y fa y la, pero no sabemos cómo o por qué ambos intervalos se perciben como una tercera mayor, o los circuitos neurales que crean esta equivalencia perceptual. Esas relaciones deben establecerse mediante procesos cognitivos del cerebro que aún comprendemos mal.

Si hay doce llamadas notas dentro de una octava, ¿por qué sólo hay siete sílabas do-re-mi-fa-sol-la-si (o letras)? Después de siglos viéndose obligados a comer con los sirvientes y a utilizar la entrada de atrás del castillo, debe de ser sólo una invención de los músicos para hacer sentir a los que no lo son como unos ineptos. Las cinco notas adicionales tienen nombres compuestos, como «mi bemol» y «fa sostenido». No hay ninguna razón para que el sistema tenga que ser tan complicado, pero es el sistema que tenemos.

Se aclara un poco la cuestión si examinamos el teclado de un piano. Hay en él teclas blancas y teclas negras espaciadas en un orden irregular: unas veces hay dos teclas blancas adyacentes, y otras veces tienen entre ellas una tecla negra. Sean las teclas blancas o negras, la distancia perceptual de una tecla adyacente a la siguiente siempre es de un semitono, y una distancia de dos teclas es siempre un paso completo o tono. Esto se aplica a muchos instrumentos occidentales; la distancia entre un traste de una guitarra y el siguiente es también un semitono, y al presionar o soltar teclas adyacentes en instrumentos de viento de madera (como el clarinete o el oboe) cambia característicamente el tono en un semitono.

Las teclas blancas se llaman A, B, C, D, E, F y G. Las notas intermedias (las teclas negras) son las que tienen nombres compuestos. La nota entre A y B se llama bien A sostenido o bien B bemol, y, salvo en análisis o discusiones musicales teóricas oficiales, los dos términos son intercambiables. (De hecho, esta nota podría llamarse también C doble bemol y, del mismo modo, A podría llamarse G doble sostenido, pero éste es un uso aún más teórico.) Sostenido significa aguda o alta y bemol significa grave o baja. B bemol es la nota un semitono más baja que B; A sostenido es la nota un semitono más alta que A. En el sistema paralelo do-re-mi, marcan esos distintos tonos sílabas únicas: di y ra indican, por ejemplo, el tono entre do y re.

Las notas de nombres compuestos no son ni mucho menos ciudadanas musicales de segunda clase. Son igual de importantes, y algunas canciones y algunas escalas las utilizan de forma exclusiva. Por ejemplo, el principal acompañamiento de «Superstition» de Stevie Wonder sólo se toca con las teclas negras del teclado. Las doce teclas juntas, más sus primas repetidas con una o más octavas de separación, son los componentes básicos fundamentales de la melodía, en todas las canciones de nuestra cultura. Todas las canciones que conoces, desde «Deck the Halls» a «Hotel California», desde «Ba Ba Black Sheep» al tema de *Sexo en Nueva York*, están compuestas combinando estos doce tonos y sus octavas.

Para aumentar la confusión, los músicos utilizan también los términos bemol y sostenido para indicar si alguien está desentonando; si el músico toca la nota un poco demasiado alta (pero no tanto como para hacer la nota

siguiente de la escala) decimos que la nota que se está tocando es sostenida, y si el músico toca la nota demasiado baja decimos que la nota es bemol. Por supuesto, un músico puede estar desentonando sólo ligeramente y nadie se daría cuenta. Pero cuando el músico desentona más (digamos que de un cuarto a un medio de la distancia entre la nota que estaba intentando tocar y la siguiente) la mayoría podemos normalmente darnos cuenta. Esto se nota sobre todo cuando hay más de un instrumento tocando y la nota desentonada que oímos choca con las que están tocando simultáneamente los otros músicos.

Los nombres de los tonos están asociados con valores de frecuencia concretos. Nuestro sistema actual se llama A440 porque la nota que llamamos A, que está en medio del teclado del piano, se ha fijado para tener una frecuencia de 440 hercios, lo cual es del todo arbitrario. Podemos fijar A a cualquier frecuencia, por ejemplo a 439, 444, 424 o 314.159; en la época de Mozart se utilizaron unidades diferentes a las de hoy. Algunas personas afirman que las frecuencias han de ser exactas, porque afectan al sonido global de una pieza musical y al sonido de los instrumentos. Led Zeppelin solían afinar sus instrumentos sin atenerse a la medida moderna A440 para dar a su música un sonido especial, y quizá para vincularla con las canciones populares infantiles de Europa que inspiraron muchas de sus composiciones. Hay puristas que insisten en escuchar música barroca interpretada con instrumentos de la época, porque los instrumentos tienen un sonido diferente y también porque están diseñados para tocar la música en su afinación original, algo que los puristas consideran importante.

Podemos fijar los tonos donde queramos, porque lo que define la música es una serie de relaciones tonales. Las frecuencias específicas de las notas pueden ser arbitrarias, pero la distancia de una frecuencia a la siguiente (y por tanto de una nota a la siguiente en nuestro sistema musical) no lo es en absoluto. Cada nota de nuestro sistema musical está espaciada equitativamente para nuestro oído (no necesariamente para los oídos de otras especies). Aunque no haya ningún cambio equivalente en ciclos por segundo (hercios) cuando ascendemos de una nota a la siguiente, la distancia entre cada nota y la siguiente tiene un sonido equivalente. ¿Cómo puede ser esto? La frecuencia de cada nota en nuestro sistema es aproximadamente un seis

por ciento mayor que la de la precedente. Nuestro sistema auditivo es sensible tanto a cambios relativos como a cambios proporcionales de sonido. Así, cada aumento de frecuencia del seis por ciento nos da la impresión de que hemos aumentado el tono igual que la última vez.

La idea de cambio proporcional se entiende mejor si pensamos en pesos. Si vas a un gimnasio y quieres aumentar el peso que levantas y pasar de las pesas de 2 kilos a las de 20, con 2 kilos más por semana no conseguirás una equivalencia en la cantidad de peso levantado. Cuando después de una semana levantando 2 kilos pases a 4, estarás duplicando el peso; la semana siguiente, cuando pases a 6, será una vez y media más el peso que levantabas antes. Un espaciado equivalente (para dar a tus músculos un incremento de peso similar cada semana) consistiría en añadir un porcentaje constante del peso de la semana anterior en cada aumento. Por ejemplo, podrías decidir añadir un cincuenta por ciento cada semana, y pasarías entonces de 2 kilos a 3, luego a 4,5, luego a 6,25 y así sucesivamente. El sistema auditivo funciona del mismo modo, y por esa razón nuestra escala está basada en una proporción: cada nota es un seis por ciento más alta que la anterior, y al aumentar un seis por ciento en cada paso doce veces, acabamos duplicando la frecuencia original (la proporción concreta es la raíz 12 de dos= $1,059463\dots$).

Las doce notas de nuestro sistema musical se denominan escala cromática. Una escala es simplemente un conjunto de tonos musicales que han sido elegidos para ser diferenciables entre sí y para ser utilizados como base en la construcción de melodías.

En la música occidental raras veces utilizamos todas las notas de la escala cromática para componer; utilizamos en realidad un subconjunto de siete (o con menos frecuencia, cinco) de esas doce notas. Cada uno de esos subconjuntos es en sí mismo una escala, y el tipo de escala que utilizamos influye mucho en el sonido global de una melodía, y en sus cualidades emotivas. El subconjunto más común de siete notas utilizado en la música occidental se denomina la escala mayor, o modo jónico (un reflejo de sus antiguos orígenes griegos). Como todas las escalas, puede empezar en cualquiera de las doce notas, y lo que la define no es la pauta específica o relación de distancia entre cada nota y la siguiente. En toda escala mayor, la pauta de intervalos (distancias tonales entre tonalidades sucesivas) es: tono

entero, tono entero, semitono, tono entero, tono entero, tono entero, semitono.

Las notas de la escala mayor son, empezando en do, do-re-mi-fa-sol-la-si-do, todas notas blancas en el teclado del piano. Las demás escalas mayores exigen una o más notas negras para mantener la pauta tono entero/semitono necesaria. El tono inicial se llama también tónica de la escala.

El emplazamiento concreto de los dos semitonos de la secuencia de la escala mayor es crucial; no se trata sólo de que defina la escala mayor y la diferencie de las otras escalas, sino que es un ingrediente importante de expectativas musicales. Los experimentos han demostrado que tanto los niños pequeños como los adultos aprenden y memorizan mucho mejor melodías extraídas de escalas con distancias desiguales como ésta. La presencia de los dos semitonos, y sus posiciones concretas, orientan al oyente aculturado y experimentado hacia dónde estamos en la escala. Todos somos expertos en saber, cuando oímos un si en la tonalidad de do (es decir, cuando los tonos se están extrayendo primariamente de la escala do mayor) que es la séptima nota (o «grado») de esa escala, y que está a sólo un semitono por debajo de la tónica, aunque la mayoría de nosotros no sepamos nombrar las notas, y puede que no sepamos siquiera lo que es un grado de escala o una tónica. Hemos asimilado la estructura de esta escala y de otras al oír música y exponernos de forma pasiva (más que guiados teóricamente) a ella a lo largo de nuestra vida. No se trata de un conocimiento innato, sino que se adquiere a través de la experiencia. Tampoco necesitamos aprender cosmología para saber que el sol sale todas las mañanas y se oculta por la noche: hemos aprendido esa secuencia de acontecimientos a través de una exposición primordialmente pasiva a ellos.

Diferentes pautas de tonos y semitonos dan origen a escalas alternativas, la más común de las cuales (en nuestra cultura) es la escala en modo menor. Hay una escala en modo menor que, como la escala en do mayor, utiliza sólo las notas blancas del teclado del piano: la escala en la menor. Los tonos para esa escala son la - si - do - re - mi - fa - sol - la. (Porque utiliza el mismo conjunto de tonos, pero en un orden diferente, la menor se dice que es la «escala relativa menor de la escala en do mayor».) La pauta de tonos enteros y medios tonos es diferente de la escala en modo mayor: entero - medio - entero - entero - medio - entero - entero. Fíjate en que la ubicación de los

semitonos es muy diferente que en la escala mayor; en las escalas en modo mayor, hay un semitono justo antes de la tónica que «lleva» a la tónica, y otro justo antes del cuarto grado de la escala. En la escala menor, los semitonos están antes del tercer grado de la escala y antes del sexto. Hay aún un impulso cuando estamos en esta escala de volver a la raíz, pero los acordes que crea este impulso tienen una trayectoria emotiva y un sonido muy distintos.

Ahora podrías muy bien preguntar: si estas dos escalas utilizan exactamente el mismo conjunto de tonos, ¿cómo sé en cuál estoy? Si un músico está tocando las teclas blancas, ¿cómo sé si está tocando la escala de la menor o la escala de do mayor? La respuesta es que (sin que tengamos conciencia de ello) nuestros cerebros están siguiendo el rastro de cuántas veces se tocan notas concretas, dónde aparecen en forma de compases fuertes frente a débiles y cuánto duran. El cerebro deduce a través de un proceso cognitivo en qué tonalidad están basándose esas propiedades. Éste es otro ejemplo de algo que la mayoría de nosotros podemos hacer incluso sin formación musical, y sin lo que los psicólogos llaman conocimiento declarativo: la capacidad de hablar sobre ello; pero a pesar de nuestra falta de educación musical formal, sabemos qué fue lo que el compositor se propuso utilizar como centro tonal, o tonalidad, de la pieza, y nos damos cuenta de cuándo nos hace volver a la tónica, o de cuándo deja de hacerlo. El medio más simple de establecer una tonalidad es, pues, tocar la tónica varias veces, tocarla alto, y tocarla larga. E incluso si un compositor piensa que está componiendo en do mayor, si hace a los músicos tocar la nota la una y otra vez, tocarla alto y tocarla largo; si el compositor empieza la pieza en un la y la termina en un la, y si evita, además, el uso de do, lo más probable es que la audiencia, los músicos y los teóricos musicales decidan que la pieza está en la menor, aunque ése no fuese el propósito del compositor. En las tonalidades musicales, como en las multas por exceso de velocidad, lo que cuenta es lo que se ha hecho, no la intención.

Por razones que son principalmente culturales, tendemos a asociar las escalas en modo mayor con emociones felices o triunfales, y las compuestas en modo menor con emociones de tristeza o de derrota. Algunos estudios han indicado que esas asociaciones podrían ser innatas, pero el hecho de que no

sean culturalmente universales indica, como mínimo, que cualquier tendencia innata puede ser superada por exposición a asociaciones culturales específicas. La teoría musical de Occidente reconoce tres escalas en modo menor y cada una de ellas tiene un sabor algo distinto. El blues suele utilizar una escala de cinco notas (pentatónica) que es un subgrupo de la escala en modo menor, y la música china utiliza una escala pentatónica diferente. Cuando Tchaikovsky quiere que pensemos en la cultura árabe o china en el ballet *Cascanueces*, elige escalas que son típicas de sus músicas, y en sólo unas notas nos transporta a Oriente. Cuando Billie Holiday quiere dar un tono de blues a una melodía estándar, invoca la escala del blues y canta notas de una escala que no estamos acostumbrados a oír en la música clásica estándar.

Los compositores conocen estas asociaciones y las utilizan de forma intencionada. Nuestros cerebros también las conocen, a través de una vida de exposición a idiomas, pautas, escalas, letras musicales y asociaciones entre ellos. Cada vez que oímos una pauta musical que es nueva para nuestros oídos, el cerebro intenta realizar una asociación a través de las claves visuales, auditivas o sensoriales de otro género que puedan acompañarla; procuramos contextualizar los nuevos sonidos y acabamos creando esos vínculos memorísticos entre un conjunto determinado de notas y un lugar determinado o una época o un conjunto de acontecimientos. Nadie que haya visto *Psicosis* de Hitchcock puede oír los chirriantes violines de Bernard Hermann sin pensar en la escena de la ducha; cualquiera que haya visto alguna vez una película de dibujos animados de «Merrie Melody» de Warner Brothers pensará en un personaje subiendo escaleras serpenteantes siempre que oiga punteo de violines en una escala mayor ascendente. Las asociaciones son lo bastante poderosas (y las escalas lo bastante diferenciables) para que sólo hagan falta unas cuantas notas: las tres primeras de «China Girl» de David Bowie o «La gran puerta de Kiev» (de *Cuadros de una exposición*) de Mussorgsky transmiten de manera instantánea un contexto musical rico y (para nosotros) extranjero.

Casi toda esta variación de contexto y de sonido procede de formas diferentes de dividir la octava y, en casi todos los casos que conocemos, de dividirla en no más de doce notas. Se ha afirmado que la música india y la árabe-persa utilizan «microtonalidad» (escalas con intervalos mucho más

pequeños que un semitono), pero un análisis detenido revela que sus escalas se basan también en doce notas o menos y las otras son simplemente variaciones expresivas, glissandos (deslizamientos continuos de una nota a otra), y notas rápidas de pasada, similares a la tradición del blues americano de deslizarse en una nota con propósitos emotivos.

En toda escala existe una jerarquía de importancia entre las notas; algunas son más estables, con un sonido estructuralmente más significativo, o más decisivo que otras, y nos hacen sentir intensidades distintas de tensión y resolución. En la escala mayor, la nota más estable es el primer grado, llamado también la tónica. En otras palabras, todas las otras notas de la escala parecen apuntar hacia la tónica, pero apuntan con un impulso variable. La nota que lo hace con más fuerza es el grado séptimo de la escala, si en una escala en do mayor. La nota que apunta con menos fuerza hacia la tónica es el grado quinto de la escala, sol en do mayor, y apunta con menos fuerza porque se percibe como relativamente estable; esto es sólo otra forma de decir que nos sentimos incómodos (indecisos) si una canción acaba en el grado quinto de la escala. La teoría de la música especifica esta jerarquía tonal. Carol Krumhansl y sus colegas mostraron en una serie de estudios que los oyentes ordinarios han incorporado los principios de esta jerarquía en el cerebro, a través de la exposición pasiva a las normas culturales y musicales. Pidiendo a la gente que valorara lo bien que parecían ajustarse las diferentes notas con una escala que ella tocaba, extrajo de sus juicios subjetivos la jerarquía teórica.

Un acorde es simplemente un grupo de tres o más notas tocadas al mismo tiempo. Se extraen en general de una de las tres escalas que se utilizan habitualmente, y las tres notas se eligen de modo que transmitan información sobre la escala de la que se toman. Un acorde característico se construye tocando las notas primera, tercera y quinta de una escala simultáneamente. Como la secuencia de tonos y semitonos es diferente para las escalas menores y mayores, los tamaños de los intervalos son diferentes para acordes tomados de este modo de las dos diferentes escalas. Si construimos un acorde empezando en do y utilizamos los tonos de la escala do mayor, utilizamos do, mi y sol. Si utilizamos la escala do menor, las notas primera, tercera y quinta son do, mi bemol y sol. Esa diferencia en el tercer grado, entre mi y mi

bemol, hace que el propio acorde pase de mayor a menor. Todos nosotros, incluso careciendo de formación musical, podemos apreciar la diferencia entre esos dos acordes aunque no dispongamos de la terminología necesaria para designarlos; el acorde mayor nos parece feliz y el menor, triste, o reflexivo, o incluso exótico. Las canciones más básicas de música country y del rock utilizan sólo acordes mayores: «Johnny B. Good», «Blowin' in the Wind», «Honky Tonk Women» y «Mammas Don't Let Your Babies Grow Up to Be Cowboys», por ejemplo.

Los acordes menores añaden complejidad; en «Light My Fire» de los Doors, las estrofas se interpretan en acordes menores («*You know that it would be untrue...*») y luego el coro en acordes mayores («*Come on baby, light my fire*»). En «Jolene» Dolly Parton mezcla acordes menores y mayores para conseguir un sonido melancólico. «Sheep» (del álbum *Animals*) de Pink Floyd utiliza sólo acordes menores.

Los acordes, como las notas individuales de la escala, se distribuyen también en una jerarquía de estabilidad que depende del contexto. Ciertas progresiones de acordes son parte de cada tradición cultural, y la mayoría de los niños, incluso a los cinco años de edad, han interiorizado reglas sobre las sucesiones de acordes que son legales en la música de su cultura, o características de ella; pueden detectar rápidamente desviaciones de las secuencias estándar con la misma facilidad con que nosotros podemos detectar cuándo una frase está mal formada, como por ejemplo: «La pizza estaba demasiado caliente para dormir». Para que el cerebro consiga eso, tiene que haber redes de neuronas que formen representaciones abstractas de la estructura musical y de las reglas musicales, algo que hacen automáticamente y sin nuestro conocimiento consciente. Cuando el cerebro es joven es más receptivo (casi como una esponja) y absorbe con avidez todos y cada uno de los sonidos que puede y los incorpora a la estructura de su cableado neuronal. Al hacernos mayores, esos circuitos neuronales son algo menos maleables, y resulta ya más difícil incorporar, a un nivel neuronal profundo, nuevos sistemas musicales, o incluso nuevos sistemas lingüísticos.

El asunto del tono se hace ahora algo más complicado, y la culpa de todo la tiene la física. Pero esta complicación da origen al rico espectro de sonidos

que producen los diferentes instrumentos. Todos los objetos naturales del mundo tienen varias formas de vibración. La cuerda de un piano vibra en realidad a varias velocidades diferentes al mismo tiempo. Lo mismo sucede con la campana que golpeamos con un martillo, los tambores que golpeamos con las manos o las flautas en las que soplamos aire: las moléculas de aire vibran a varias velocidades simultáneamente, no a una velocidad única.

Una analogía son los diversos tipos de movimientos de la Tierra que se producen a la vez. Sabemos que la Tierra gira sobre su eje una vez cada veinticuatro horas, que viaja alrededor del Sol una vez cada 365,25 días y que todo el sistema solar está girando con la galaxia de la Vía Láctea. Son varios tipos de movimientos y se producen todos al mismo tiempo. Otra analogía son los muchos modos de vibración que percibimos a menudo cuando vamos en tren. Imagina que estás sentado en un tren en una estación en el campo, con la locomotora parada. Sopla viento y sientes que el vagón se balancea hacia delante y hacia atrás un poquito sólo. Lo hace con una regularidad que puedes determinar con un cronómetro manual, y calculas que el tren se mueve hacia delante y hacia atrás unas dos veces por segundo. Luego, el maquinista pone en marcha la locomotora y sientes un tipo diferente de vibración a través del asiento (se debe a las oscilaciones del motor: los pistones y el cigüeñal que giran a una velocidad determinada). Cuando el tren empieza a moverse, experimentas una tercera sensación, el golpeteo de las ruedas cada vez que pasan por un empalme de la vía. Experimentas en total varios tipos diferentes de vibraciones, todos ellos probablemente a velocidades o frecuencias distintas. Cuando el tren se pone en marcha, percibes con claridad una vibración. Pero es muy difícil, y hasta imposible, que aprecies cuántas vibraciones se producen y la velocidad de cada una. Utilizando instrumentos de medición especializados, sin embargo, se podrían apreciar.

Cuando producimos un sonido en un piano, una flauta o cualquier otro instrumento (incluidos los de percusión, como tambores y cencerros) generamos muchos modos de vibración que ocurren simultáneamente. Cuando escuchas una sola nota ejecutada en un instrumento, estás oyendo en realidad muchísimos tonos al mismo tiempo, no un tono único. La mayoría no nos damos cuenta de esto de forma consciente, aunque algunas personas

pueden aprender a oírlos. El que tiene la velocidad de vibración más lenta (el tono más bajo) se denomina frecuencia fundamental, y los otros se denominan colectivamente armónicos.

Resumiendo, es una propiedad de los objetos del mundo el que vibren generalmente a varias frecuencias distintas a la vez. Lo asombroso es que esas otras frecuencias suelen estar relacionadas entre sí matemáticamente de una forma muy simple: como múltiplos enteros. Así que si pulsas una cuerda y su frecuencia de vibración más lenta es de un centenar de veces por segundo, las otras frecuencias vibratorias serán 2×100 (200 hercios), 3×100 (300 hercios), etc. Si soplas en una flauta o en una grabadora y generas vibraciones a 310 hercios, se producirán vibraciones adicionales del doble, el triple, el cuádruple, etc., de esa frecuencia: 620 hercios, 930 hercios, 1.240 hercios, y así sucesivamente. Cuando un instrumento crea energía a frecuencias que son múltiplos enteros como en este caso, decimos que el sonido es armónico, y denominamos la pauta de energía a diferentes frecuencias la serie armónica. Hay pruebas de que el cerebro reacciona a esos sonidos armónicos con activaciones neuronales sincrónicas, y las neuronas del córtex auditivo reaccionan a cada uno de los componentes del sonido sincronizando entre sí su velocidad de activación y creando una base neuronal para la cohesión de esos sonidos.

El cerebro está tan sintonizado con la serie armónica que si nos encontramos con un sonido que tiene todos los componentes excepto el fundamental, el cerebro lo llena por nosotros en un fenómeno denominado «restauración de la fundamental ausente». Un sonido compuesto de energía a 100 hercios, 200 hercios, 300 hercios, 400 hercios y 500 hercios se percibe como si tuviese una altura de tono de 100 hercios, su frecuencia fundamental. Pero si creamos artificialmente un sonido con energía a 200 hercios, 300, 400 y 500 (dejando fuera el fundamental) lo percibiremos de todos modos como si tuviese una altura de tono de 100 hercios. No lo percibimos como si tuviese un tono de 200 hercios porque nuestro cerebro «sabe» que un sonido armónico normal con un tono de 200 hercios tendría una serie armónica de 200 hercios, 400, 600, 800, etc. Podemos engañar también al cerebro ejecutando secuencias que se desvíen de la serie armónica como esta: 100 hercios, 210, 302, 405, etc. En esos casos, el tono que se percibe se aparta de

los 100 hercios en una solución de compromiso entre lo que se presenta y lo que sería una serie armónica normal.

Cuando era un estudiante de licenciatura, mi tutor, Mike Posner, me habló del trabajo de un estudiante de posgrado de biología, Petr Janata. Aunque no se había criado en San Francisco, Petr tenía el pelo largo y abundante como yo y lo llevaba recogido en una cola de caballo, tocaba al piano jazz y rock y vestía con prendas de esas que se tiñen atadas: una verdadera alma gemela. Petr colocó electrodos en el culículo inferior de unas lechuzas, que es parte de su sistema auditivo. Luego les puso una versión de «El vals del Danubio azul» de Strauss, compuesto de notas de las que se había eliminado la frecuencia fundamental. Su hipótesis era que si la fundamental ausente se restauraba a niveles iniciales del proceso auditivo, las neuronas del culículo inferior de la lechuza se activarían a la velocidad de esa fundamental ausente. Eso fue exactamente lo que descubrió. Y debido a que los electrodos emiten una pequeña señal eléctrica con cada activación (y como la «velocidad» de activación es la misma que una «frecuencia» de activación), Petr envió las señales de esos electrodos a un pequeño amplificador y repitió el sonido de las neuronas de la lechuza a través de un altavoz. Lo que oyó era asombroso; la melodía de «El vals del Danubio azul» cantada claramente a través de los altavoces: ba da da da da, dit dit, dit dit. Estábamos oyendo las velocidades de activación de las neuronas y eran idénticas a la frecuencia de la fundamental ausente. Las series armónicas tenían una ejemplificación no sólo en los niveles tempranos del procesamiento auditivo, sino en una especie completamente distinta.

Podemos imaginar una especie alienígena que no tenga oídos, o que no tenga la misma experiencia interior de oír que nosotros. Pero sería difícil imaginar una especie avanzada que no tuviese absolutamente ninguna posibilidad de percibir las vibraciones de los objetos. Donde hay atmósfera hay moléculas que vibran en respuesta al movimiento. Y saber si algo está generando ruido o avanzando hacia nosotros o alejándose de nosotros, aun en el caso de que no podamos verlo (porque está oscuro, porque nuestros ojos no están atendiendo a ello, porque estamos dormidos) tiene un gran valor de supervivencia.

Como la mayoría de los objetos físicos hacen vibrar a las moléculas de

varios modos al mismo tiempo, y como en muchos, muchísimos objetos esos modos mantienen entre sí relaciones de enteros simples, la serie armónica es un hecho real de este mundo que esperamos hallar en todas partes a las que miremos: en Norteamérica, en las islas Fiji, en Marte y en los planetas que orbitan Antares. Es probable que todo organismo que evolucione en un mundo con objetos que vibran (dado un período de tiempo evolutivo suficiente) haya desarrollado una unidad de procesamiento en el cerebro que incorpore esas regularidades de su mundo. Dado que el tono es una clave fundamental de la identidad de un objeto, deberíamos esperar encontrarnos con mapas tonotópicos como los que existen en el córtex auditivo humano, y activaciones neuronales sincrónicas para tonos que tienen entre ellos relaciones armónicas de octava y de otro tipo; esto ayudaría al cerebro (alienígena o terrestre) a deducir que todos estos sonidos probablemente proceden del mismo objeto.

Para referirse a los armónicos suelen utilizarse números: el primer armónico es la primera frecuencia de vibración por encima de la fundamental, el segundo armónico es la segunda frecuencia de vibración por encima de la fundamental, etc. No todos los instrumentos vibran de modos tan nítidamente definidos. A veces, como sucede con el piano (porque es un instrumento percusivo), los armónicos pueden estar próximos a ser múltiplos exactos de la frecuencia fundamental pero no llegar a serlo, y esto contribuye a su sonido característico. Los instrumentos de percusión, los carillones y otros objetos suelen tener (dependiendo de la composición y la forma) armónicos que no son claramente múltiples enteros del fundamental, y se les denomina armónicos parciales o inarmónicos. Los instrumentos con armónicos inarmónicos carecen en general del sentido claro del tono que asociamos con los instrumentos armónicos, y la base del córtex puede por ello no experimentar una activación neural sincrónica. Pero de todos modos tienen un sentido del tono, y esto podemos apreciarlo con total claridad cuando tocamos notas inarmónicas en sucesión. Aunque tal vez no podamos tararear con el sonido de una sola nota ejecutada en un bloque de madera chino o en un carillón, sí podemos interpretar una melodía identificable en una serie de bloques de madera chinos o carillones, porque nuestro cerebro se centra en los cambios de los armónicos de uno a otro. Esto es básicamente lo que pasa

cuando oímos a la gente interpretar una canción con los carrillos.

Una flauta, un violín, una trompeta y un piano pueden tocar el mismo tono, es decir, se puede escribir una nota en una partitura musical y cada instrumento tocará un tono con una frecuencia fundamental idéntica y nosotros oiremos (tenderemos a hacerlo) un tono idéntico. Pero todos estos instrumentos suenan de una forma muy distinta unos de otros.

Esta diferencia es el timbre, y es la característica más importante y ecológicamente más relevante de los fenómenos auditivos. El timbre de un sonido es la característica principal que diferencia el rugido de un león del ronroneo de un gato, el restallar del trueno del estrépito de las olas del mar, la voz de un amigo de la del cobrador de facturas al que uno está intentando eludir. La discriminación tímbrica es tan aguda en los humanos que la mayoría de nosotros podemos reconocer centenares de voces distintas. Podemos saber incluso si alguien próximo a nosotros (nuestra madre, nuestra esposa) es feliz o está triste, está sano o tiene un catarro, basándonos en el timbre de su voz.

El timbre es una consecuencia de los armónicos. Los diferentes materiales tienen diferentes densidades. Un trozo de metal tenderá a hundirse hasta al fondo de un estanque; un trozo de madera del mismo tamaño y de la misma forma flotará. Debido en parte a la densidad y en parte al tamaño y la forma, los diferentes objetos hacen también ruidos distintos cuando les das un golpe con la mano o un golpecito suave con un martillo. Imagina el sonido que oirías si le dices un golpe con un martillo (¡suavemente, por favor!) a una guitarra: sería un *plunk* hueco a madera. O si el golpe se lo dices a una pieza de metal, como un saxofón: sería un pequeño *plink*. Cuando golpeas esos objetos, la energía del martillo hace vibrar las moléculas dentro de ellos, que bailan a varias frecuencias distintas, determinadas por el material del que está hecho el objeto, por su tamaño y por su forma. Si el objeto vibra a, por ejemplo, 100 hercios, 200, 300, 400, etc., la intensidad de la vibración no tiene que ser la misma para cada uno de estos armónicos, y de hecho lo característico es que no lo sea.

Cuando oyes un saxofón tocando una nota con una frecuencia fundamental de 220 hercios, estás oyendo en realidad muchas notas, no sólo una. Las otras notas que oyes son de múltiples enteros de la fundamental:

440, 660, 880, 1200, 1420, 1540, etc. Estas notas diferentes (los armónicos) tienen diferentes intensidades, y por eso nos parece al oírlas que tienen un volumen sonoro distinto. La pauta concreta de volumen sonoro para esas notas es distintiva del saxofón, y son ellas las que dan origen a su color tonal único, a su sonido único: su timbre. Un violín que toque la misma nota escrita (220 hercios) producirá armónicos de las mismas frecuencias, pero el volumen sonoro de cada uno de ellos respecto a los otros será diferente. De hecho, existe una pauta única de armónicos para cada instrumento. El segundo armónico podría ser en uno más fuerte que en otro, mientras que el quinto podría ser más suave. Prácticamente toda la variación tonal que oímos (la cualidad que otorga a una trompeta su «trompetidad» y que proporciona un piano su «pianez») procede de la forma peculiar en que están distribuidos los volúmenes sonoros de los armónicos.

Cada instrumento tiene su propio perfil armónico, que es como una huella dactilar. Se trata de una pauta compleja que podemos utilizar para identificar el instrumento. Los clarinetes, por ejemplo, se caracterizan por tener un grado relativamente alto de energía en los armónicos impares: tres veces, cinco veces y siete veces los múltiplos de la frecuencia fundamental, etc. (Esto se debe a que es un tubo cerrado por un extremo y abierto por el otro.) Las trompetas se caracterizan por tener un grado relativamente equilibrado de energía tanto en los armónicos pares como los impares (la trompeta, como el clarinete, está también cerrada en un extremo y abierta en el otro, pero la boquilla y el pabellón están diseñados para suavizar las series armónicas). Un violín al que se aplique el arco en el centro producirá primordialmente armónicos impares, y en consecuencia puede sonar de una forma parecida a un clarinete. Pero si se aplica el arco a un tercio de la parte baja, el instrumento resalta el tercer armónico y sus múltiplos: el sexto, el noveno, el duodécimo, etc.

Todas las trompetas tienen una huella dactilar tímbrica, y se distingue fácilmente de la de un violín, la de un piano e incluso la de la voz humana. Para el oído experimentado, y para la mayoría de los músicos, existen diferencias incluso entre trompetas: no todas ellas suenan igual, ni todos los pianos ni todos los acordeones. (A mí los acordeones me suenan todos igual, y el sonido más dulce y placentero que puedo imaginar es el que harían todos

ellos ardiendo en una hoguera gigantesca.) Lo que diferencia un piano concreto de otro es que sus perfiles armónicos diferirán ligeramente entre sí, aunque no, por supuesto, tanto como diferirán ambos del perfil de un clavicémbalo, un órgano o una tuba. Los buenos músicos pueden apreciar las diferencias entre un violín Stradivarius y un Guarneri después de oír una o dos notas. Yo puedo apreciar con claridad la diferencia entre mi guitarra acústica Martin 000-18 de 1956, mi Martin D-18 de 1973 y mi Collings D2H de 1996; suenan como instrumentos distintos, aunque son todas guitarras acústicas; nunca confundiría una con otra. Eso es el timbre.

Los instrumentos naturales (es decir, instrumentos acústicos hechos de materiales del mundo real como metal y madera) tienden a producir energía a varias frecuencias al mismo tiempo por el modo de vibrar de la estructura interna de sus moléculas. Supongamos que inventase un instrumento que, a diferencia de los instrumentos naturales que conocemos, produjese energía a una frecuencia y sólo a una. Llamemos a este instrumento hipotético generador (porque genera notas de frecuencias específicas). Si alinease un grupo de generadores, podría poner a cada uno de ellos a tocar una frecuencia específica correspondiente a la serie armónica de un instrumento determinado tocando una nota determinada. Podría tener un grupo de esos generadores emitiendo sonidos a 110, 220, 330, 440, 550 y 660 hercios, que darían la impresión al oyente de una nota de 110 hercios tocada por un instrumento musical. Además, podría controlar la amplitud de cada uno de mis generadores y hacer que cada una de las notas se tocara con una intensidad determinada, que correspondiese al perfil armónico de un instrumento musical natural. Si hiciese eso, el grupo de generadores resultante se aproximaría al sonido de un clarinete, una flauta o cualquier otro instrumento que yo estuviese intentando emular.

Con una síntesis aditiva así conseguiría una versión sintética de un timbre de instrumento musical agrupando componentes sónicos elementales del sonido. Muchos órganos de tubos, como los que hay en las iglesias, tienen una característica que permite comprobar esto. En la mayoría de los órganos de tubos se aprieta una tecla (o un pedal), que envía un chorro de aire a través de un tubo de metal. El órgano consta de centenares de tubos de tamaños distintos, y cada uno produce un tono diferente, en correspondencia a su

tamaño, cuando se lanza aire a través de él; pueden concebirse como flautas mecánicas, en las que un motor eléctrico suministra el aire. El sonido que asociamos con un órgano de iglesia (su timbre particular) se debe a que se produce energía a varias frecuencias distintas al mismo tiempo, como en otros instrumentos. Cada tubo del órgano produce una serie armónica, y cuando se pulsa una tecla en el teclado del órgano, se dispara una columna de aire a través de más de un tubo al mismo tiempo, generando un espectro muy rico de sonidos. Esos tubos suplementarios, además del que vibra a la frecuencia fundamental de la nota que se está intentando tocar, producen notas que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, o que tienen una estrecha relación matemática y armónica con ella.

El organista decide, como es lógico, por cuál de esos tubos suplementarios quiere que pase el aire accionando y activando palancas o tiradores que dirigen el flujo de aire. Un buen organista, sabiendo que los clarinetes tienen mucha energía en los armónicos impares de la serie armónica, podría simular el sonido de un clarinete manipulando tiradores de manera que recreasen la serie armónica de ese instrumento. Un poquito de 220 hercios aquí, una pincelada de 330 hercios, una gota de 440, una buena ración de 550 y *voilà!*..., ha cocinado un facsímil razonable de un instrumento.

A partir de finales de la década de los cincuenta los científicos empezaron a experimentar integrando esas capacidades de síntesis en instrumentos electrónicos más pequeños y compactos, y crearon una familia de nuevos instrumentos musicales conocidos comunmente como sintetizadores. En la década de los sesenta se oyeron sintetizadores en discos de los Beatles (en «Here Comes the Sun» y «Maxwell's Silver Hammer») y de Walter/Wendy Carlos (*Switched-On Bach*), y luego en grupos que esculpían su sonido en torno al sintetizador, como Pink Floyd y Emerson, Lake and Palmer.

Muchos de esos sintetizadores utilizaban síntesis aditivas como la descrita aquí, y más tarde pasaron a utilizar algunos algoritmos más complejos, como la síntesis de guía de ondas (inventada por Julius Smith en Stanford) y la síntesis de frecuencia modulada (inventada por John Chowning, también en Stanford). Pero limitarse a copiar el perfil armónico, cuando se puede crear un sonido que recuerde al del instrumento real, proporciona una copia

bastante pobre. En el timbre hay algo más que la serie armónica. Los investigadores aún discuten sobre lo que es ese «algo más», pero se acepta en general que, además del perfil armónico, definen el timbre otros dos atributos que dan origen a una diferencia perceptiva entre un instrumento y otro: ataque y flujo.

La Universidad de Stanford se halla en una extensión bucólica de tierra situada justo al sur de San Francisco y al este del océano Pacífico. Hacia el oeste se extienden colinas onduladas cubiertas de hierba y a sólo una hora en dirección este se encuentra el fértil Central Valley de California, donde se producen buena parte de las uvas pasas, el algodón, las naranjas y las almendras del mundo. Hacia el sur, cerca de la población de Gilroy, hay grandes campos de ajo. También hacia el sur está Castroville, conocida como la «capital del mundo de la alcachofa». (Yo propuse una vez a la Cámara de Comercio de Castroville que cambiasen lo de «capital» por «corazón». La propuesta no provocó demasiado entusiasmo.)

Stanford se ha convertido en una especie de segundo hogar para los ingenieros y científicos informáticos que aman la música. John Chowning, que era famoso como compositor de vanguardia, ocupa allí una cátedra en el departamento de música desde los años setenta, y figuró en un grupo de compositores pioneros de la época que utilizaban el ordenador para crear, almacenar y reproducir sonidos en sus composiciones. Más tarde se convirtió en director y fundador del Centro de Investigación Informática de Música y Acústica, conocido por sus siglas en inglés como CCRMA (se pronuncia CAR-ma; los que pertenecen a él dicen bromeando que la primera *c* es muda). Chowning es un hombre amistoso y cordial. Cuando yo era estudiante en Stanford, me ponía una mano en el hombro y me preguntaba en qué estaba trabajando. Tenía esa sensación de que hablar con un estudiante era para él una oportunidad de aprender algo. Al principio de los años setenta, mientras trabajaba con el ordenador y con ondas sinusoidales (el tipo de sonidos artificiales que se producen con ordenadores y que se utilizan para construir bloques de síntesis aditiva) se dio cuenta de que al cambiar la frecuencia de esas ondas al tocarlas creaba sonidos musicales. Controlando esos parámetros, podía simular los sonidos de una serie de instrumentos musicales. Esta nueva técnica pasaría a conocerse como síntesis de frecuencia

modulada, o síntesis FM, y se incorporó por primera vez en la serie Yamaha DX9 y DX7 de sintetizadores, que revolucionó la industria de la música desde el momento en que se introdujeron en 1983. La síntesis de FM democratizó la síntesis musical. Antes de ella, los sintetizadores eran caros, toscos y difíciles de controlar. Crear nuevos sonidos lleva mucho tiempo, hay que experimentar mucho y hay que tener conocimientos prácticos. Pero con la FM, cualquier músico podía obtener un sonido instrumental convincente sólo con tocar un botón. Los escritores de canciones y los compositores que no podían permitirse contratar a una sección de viento de una orquesta podían ya trabajar con esas texturas y esos sonidos. Compositores y orquestadores podían ensayar arreglos antes de ocupar el tiempo de una orquesta entera para ver lo que funcionaba y lo que no. Las bandas New Wave, como los Cars y los Pretenders, así como artistas como Stevie Wonder, Hall and Oates y Phil Collins, empezaron a utilizar ampliamente la síntesis FM en sus grabaciones. Mucho de lo que consideramos «el sonido de los ochenta» en la música popular debe su carácter distintivo al sonido concreto de la síntesis de FM.

Con la popularización de la FM llegó una corriente constante de ingresos de derechos que permitieron a Chowning crear el CCRMA, atrayendo a estudiantes graduados y docentes reconocidos. Entre las primeras de las muchas celebridades famosas de la música electrónica y de la psicología de la música que acudieron al CCRMA estaban John R. Pierce y Max Mathews. Pierce había sido vicepresidente de investigación de los laboratorios de Bell Telephone de Nueva Jersey, y había supervisado al equipo de ingenieros que construyeron y patentaron el transistor (y fue precisamente él quien puso nombre al nuevo artilugio: TRANSfer resISTOR). En su distinguida carrera, se le atribuyó también la invención del tubo de vacío de onda viajera y el lanzamiento del primer satélite de comunicaciones, *Telstar*. Era también un respetado escritor de ciencia ficción con el seudónimo de J. J. Coupling. Pierce creaba un entorno extraño en cualquier industria o laboratorio de investigación, en el que los científicos se sentían con permiso para hacer lo mejor que supiesen y en el que la creatividad se valoraba mucho. En esa época, la Bell Telephone Company/AT&T tenía el monopolio del servicio telefónico en los Estados Unidos y grandes fondos. Su laboratorio era una especie de terreno de juego para los mejores y más brillantes científicos,

ingenieros e inventores del país. En la «caja de arena» de ese laboratorio, Pierce permitía a su gente ser creadora sin preocuparse por el balance final ni por la aplicación de sus ideas al comercio. Comprendía que sólo puede haber verdadera innovación cuando la gente no tiene que censurarse a sí misma y puede dejar que fluyan libres las ideas. Aunque sólo una pequeña proporción de esas ideas puedan ser prácticas y una proporción aún menor se conviertan en productos, esos productos serían innovadores, únicos y potencialmente muy rentables. En ese entorno surgió toda una serie de innovaciones, entre ellas láseres, ordenadores digitales y el sistema operativo Unix.

Yo conocí a Pierce en 1990, cuando tenía ya ochenta años y daba conferencias sobre psicoacústica en el CCRMA. Varios años más tarde, después de doctorarme y volver a Stanford, nos hicimos amigos y salíamos todos los miércoles a cenar y a hablar de la investigación. En una ocasión me pidió que le explicara el rock and roll, algo a lo que él nunca había prestado la menor atención y que no comprendía. Sabía de mi experiencia anterior en el negocio de la música, y me preguntó si podría acercarme a cenar a su casa una noche y tocar seis canciones que transmitiesen todo lo que era importante saber sobre el rock and roll. ¿Seis canciones para transmitir todo el rock? Yo no estaba seguro de poder reunir seis canciones que transmitiesen lo que eran los Beatles, no digamos ya todo el rock. La noche antes me llamó para explicarme que había oído a Elvis Presley, así que no necesitaba ya cubrir eso.

He aquí lo que llevé a aquella cena:

- 1) «Long Tall Sally», Little Richard
- 2) «Roll Over Beethoven», los Beatles
- 3) «All Along the Watchtower», Jimi Hendrix
- 4) «Wonderful Tonight», Eric Clapton
- 5) «Little Red Corvette», Prince
- 6) «Anarchy in the UK», los Sex Pistols

En un par de las piezas elegidas combinaban grandes autores de canciones con intérpretes distintos. Todas son grandes canciones, pero incluso ahora me gustaría hacer algunos ajustes. Pierce escuchaba y preguntaba continuamente

quién era aquella gente, qué instrumentos estaba oyendo y cómo podían sonar como sonaban. Dijo que lo que más le gustaba eran los timbres de la música. Las canciones en sí y los ritmos no le interesaban tanto, pero los timbres le parecieron sorprendentes: nuevos, extraños y excitantes. El fluido romanticismo del solo de guitarra de Clapton en «Wonderful Tonight», junto con una batería blanda y amortiguada. La fuerza pura y la densidad de la pared de ladrillo de guitarras y bajo y batería de los Sex Pistols. El sonido distorsionado de una guitarra eléctrica no era nada nuevo para Pierce. Lo que era nuevo para él era aquel modo en que los instrumentos se combinaban para crear un todo unificado (bajo, batería, guitarras eléctrica y acústica, voz). Para Pierce lo que definía el rock era el timbre. Y eso fue una revelación para ambos.

Las alturas de tono que utilizamos en música (las escalas) se han mantenido básicamente invariables desde la época de los griegos, con la excepción del desarrollo (en realidad un perfeccionamiento) de la escala temperada unificada en la época de Bach. El rock puede ser la etapa final en una revolución musical de un milenio de duración que dio a las quintas y cuartas perfectas una prominencia que históricamente sólo se había otorgado a la octava. En ese período, la música occidental estuvo dominada principalmente por el tono. Durante los últimos doscientos años, ha ido cobrando cada vez más importancia el timbre. Una práctica habitual de la música común a todos los géneros es repetir una melodía utilizando diferentes instrumentos: desde la Quinta de Beethoven y el Bolero de Ravel a «Michelle» de los Beatles y «All My Ex's Live in Texas» de George Strait. Se han inventado nuevos instrumentos musicales para que los compositores pudiesen tener una paleta mayor de colores tímbricos con los que trabajar. Cuando un cantante de música country o de música popular deja de cantar y toma la melodía otro instrumento (incluso sin introducir ningún cambio en ella) nos resulta agradable la repetición de la misma melodía con un timbre distinto.

El compositor de vanguardia Pierre Schaeffer realizó en la década de los cincuenta sus famosos experimentos de la «campana cortada» que fueron cruciales y que demostraron un importante atributo del timbre. Grabó una

serie de instrumentos orquestales en cinta. Luego, utilizando una hoja de afeitar, cortó el principio de esos sonidos. Esta primera parte inicial del sonido de un instrumento musical se llama ataque; es el sonido del golpe inicial, el rasgueo, el soplo de aire primero que provoca que el instrumento suene.

El gesto que hace nuestro cuerpo para crear sonido con un instrumento tiene una influencia importante en el sonido que éste produce. Pero ese efecto desaparece casi por completo tras los primeros segundos. Casi todos los gestos que hacemos para producir un sonido son impulsivos, entrañan explosiones breves y puntuales de actividad. En los instrumentos de percusión, lo característico es que el músico no se mantiene en contacto con el instrumento después de este impulso inicial. En los instrumentos de viento y los de arco, sin embargo, continúa en contacto con el instrumento después del acto impulsivo inicial: el momento en que el soplo de aire sale de la boca o el arco entra en contacto con la cuerda; el soplo y el movimiento del arco que siguen tienen un carácter más continuo y suave y menos impulsivo.

La introducción de energía en un instrumento (la fase de ataque) crea normalmente energía a muchas frecuencias distintas que no están relacionadas entre sí por simples múltiples enteros. En otras palabras, durante el breve período que sigue a nuestra acción de golpear, soplar, rasguear o hacer otra cosa que provoque que un instrumento empiece a sonar, el impacto mismo tiene una cualidad bastante ruidosa que no es especialmente musical, sino que se parece más al sonido de un martillo golpeando un trozo de madera, por ejemplo, que al de un martillo golpeando una campana o la cuerda un piano, o como el sonido del viento corriendo a lo largo de un tubo. Después del ataque hay una fase más estable en la que la nota musical adquiere una pauta ordenada de frecuencias armónicas al empezar a resonar el metal o la madera (u otro material) del que el instrumento esté compuesto. Esta parte media de una nota musical se denomina el estado estable... En la mayoría de los casos el perfil armónico es relativamente estable mientras el sonido emana del instrumento durante este período.

Después de eliminar el ataque de las grabaciones de instrumentos orquestales, Schaeffer volvió a poner la cinta y descubrió que a la mayoría de la gente le resultaba casi imposible identificar el instrumento que sonaba. Sin

el ataque, piano y campanas sonaban de una forma notoriamente distinta de los pianos y las campanas, y resultaban muy similares entre sí. Si se empalma el ataque de un instrumento en el estado estable, o cuerpo, de otro, se obtienen resultados diversos: en unos casos, se oye un instrumento híbrido ambiguo que suena más como el instrumento del que procede el arranque que del que procede el estado estable. Michelle Castellengo y otros han descubierto que se pueden crear de ese modo instrumentos completamente nuevos; por ejemplo, introduciendo un sonido de arco del violín en una nota de flauta se crea un sonido que se parece muchísimo al de un organillo callejero. Estos experimentos demostraron la importancia del ataque.

La tercera dimensión del timbre (flujo) se refiere a cómo el sonido cambia una vez iniciado. Los platillos o el gong tienen mucho flujo (su sonido cambia de forma espectacular a lo largo del curso temporal de duración) mientras que una trompeta tiene menos flujo: su tonalidad es más estable a medida que se desarrolla. Además, los instrumentos no suenan igual en todo su registro. Es decir, el timbre de un instrumento tiene un sonido distinto si se tocan notas altas o bajas. Cuando Sting se eleva hacia la cima de su registro vocal en «Roxanne» (The Police), su voz tensa y atiplada transmite un tipo de emoción que no puede conseguir en las partes más bajas de su registro, como cuando oímos en el verso inicial de «Every Breath You Take» un sonido anhelante más deliberado. La parte alta del registro de Sting nos suplica con urgencia cuando se tensan sus cuerdas vocales, la parte baja sugiere un dolor sordo que tenemos la sensación de que lleva padeciendo mucho tiempo, pero que aún no ha llegado al punto de ruptura.

El timbre es algo más que los diferentes sonidos que producen los instrumentos. Los compositores se valen de él en la composición; eligen instrumentos musicales (y combinaciones de ellos) para expresar determinadas emociones y para transmitir una sensación de atmósfera o ambiente. Pensemos en el timbre casi cómico del fagot de la *Suite del cascanueces* de Tchaikovsky cuando inicia la «danza china», y la sensualidad del saxofón de Stan Getz en «Here's That Rainy Day». Cambia las guitarras eléctricas de «Satisfaction» de los Rolling Stones por un piano y tendrás algo completamente distinto. Ravel utilizó el timbre como un elemento compositivo en el *Bolero*, repitiendo el esquema una y otra vez con timbres

diferentes; lo hizo después de sufrir una lesión cerebral que afectó a su capacidad para apreciar el tono. Cuando pensamos en Jimi Hendrix, lo que es probable que recordemos con más intensidad es el timbre de sus guitarras eléctricas y su voz.

Compositores como Scriabin y Ravel hablan de sus obras como pinturas sonoras, en las que las notas de las melodías son el equivalente del contorno y la forma, y el timbre equivale al uso del color y el sombreado. Varios cantantes populares (Stevie Wonder, Paul Simon y Lindsey Buckingham) también han descrito sus composiciones como cuadros sonoros, en los que el timbre desempeña un papel equivalente al que tiene el color en el arte visual, separando entre sí las formas melódicas. Pero una de las cosas que hace la música diferente de la pintura es que es dinámica, cambia a lo largo del tiempo, y lo que impulsa la música hacia delante son el ritmo y el compás. El ritmo y el compás son el motor que conduce casi toda la música, y es probable que fuesen los primeros elementos utilizados por nuestros ancestros para hacer protomúsica, una tradición todavía presente hoy en el uso tribal de los tambores y en los rituales de diversas culturas preindustriales. Aunque yo creo que el timbre es ahora el centro de nuestra valoración de la música, el ritmo ha mantenido un poder superior sobre los oyentes durante mucho más tiempo.

Piccolo

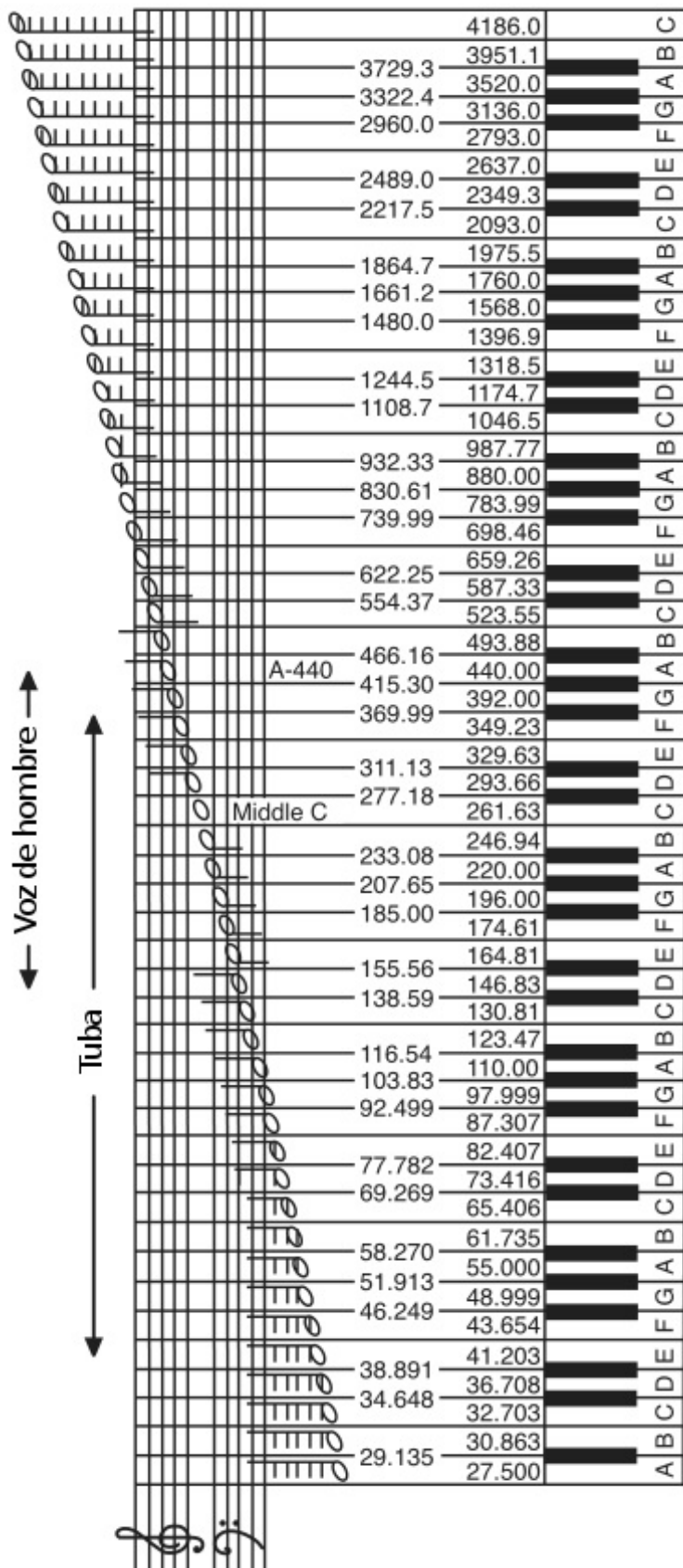
Violín

Voz de mujer

Trompeta

Voz de hombre

Tuba



ZAPATEADO

RITMO, INTENSIDAD Y ARMONÍA

Yo vi actuar a Sonny Rollins en Berkeley en 1977; es uno de los saxofonistas más melódicos de nuestro tiempo. Casi treinta años después, no puedo recordar ninguno de los tonos de su interpretación, pero recuerdo con claridad algunos de los ritmos. En determinado momento, Rollins improvisó durante tres minutos y medio tocando la misma nota una y otra vez con ritmos diferentes y sutiles cambios de tiempos. ¡Toda aquella fuerza en una nota! Lo que puso de pie al público no fue la innovación melódica, fue el ritmo. Casi todas las culturas y civilizaciones consideran el movimiento parte integral de la composición de la música y de su audición. Bailamos con el ritmo, movemos con él el cuerpo y zapateamos con él. En numerosas interpretaciones de jazz, la parte que más excita al público es el solo de tambor. No es ninguna coincidencia que hacer música exija el uso rítmico y coordinado del cuerpo, y que la energía se transmita de los movimientos corporales a un instrumento musical. A un nivel neuronal, tocar un instrumento exige la orquestación de regiones de nuestro cerebro reptil primitivo (el cerebelo y el tallo cerebral) así como sistemas cognitivos superiores del córtex motriz (del lóbulo parietal) y las regiones planificadoras de los lóbulos frontales, el sector más avanzado del cerebro.

Ritmo, compás y tempo son conceptos relacionados que se confunden a menudo entre sí. Abreviando, «ritmo» se refiere a las longitudes de las notas, «tempo» a la velocidad de una pieza de música (que seguirías zapateando) y

«compás» a cuando zapateas fuerte frente a cuando lo haces débilmente, y a cómo esos zapateos fuertes y débiles se agrupan para formar unidades mayores.

Una de las cosas que normalmente queremos saber cuando interpretamos música es lo larga que debe tocarse una nota. La relación entre la longitud de una nota y otra es lo que llamamos ritmo, y es una parte crucial de lo que convierte el sonido en música. Entre los ritmos más famosos de nuestra cultura está el que suele denominarse «afeitado y corte de pelo, veinticinco centavos» («*shave-and-a-haircut, two bits*»), utilizado a veces como la llamada «secreta» en una puerta. En una grabación de 1899 de Charles Hale, «At a Darktown Cakewalk», se hace el primer uso documentado de este ritmo. Luego se le agregó letra al ritmo en 1914 en una canción de Jimmie Monaco y Joe McCarthy titulada «Bum-Diddle-De-Um-Bum, Thats It!». En 1939, utilizaron la misma frase musical Dan Shapiro, Lester Lee y Milton Berle en «Shave and a Haircut—Shampoo». Cómo veinticinco centavos (*two bits*) se convirtió en champú (*shampoo*) es un misterio. Hasta Leonard Bernstein participó en el asunto, incluyendo este ritmo en la canción «Gee, Officer Krupke» del musical *West Side Story*. En «afeitado y corte de pelo, veinticinco centavos» oímos una serie de notas de dos longitudes diferentes, larga y corta; las notas largas son el doble de largas que las cortas: larga-corta-corta-larga-larga (silencio) larga-larga.

En la obertura de *Guillermo Tell* de Rossini (lo que muchos de nosotros conocemos como el tema de *El llanero solitario*) oímos también una serie de notas de dos longitudes diferentes, larga y corta; las notas largas son también el doble de largas que las cortas: da-da-bump da-da-bump bump bump (utilizo aquí la sílaba «da» para corta, y la sílaba «bump» para larga). «Mary Had a Little Lamb» utiliza sílabas cortas y largas también, en este caso seis notas de igual duración (*Ma-ry had a li-tle*) seguidas de una larga (*lamb*) de aproximadamente doble longitud que las cortas. La proporción rítmica de 2:1, como la octava en las proporciones tónicas, es según parece un universal musical. Lo vemos en el tema de The Mickey Mouse Club (bump-ba bump-ba bump-ba bump-ba bump-ba bump-ba baaaaá) en que tenemos tres niveles de duración, cada uno el doble de largo que el otro. Lo vemos en «Every Breath You Take» de The Police (da-da-bump da-da baaaaá), en que hay de

nuevo tres niveles:

Ev-ry breath you-oo taaake
1 1 2 2 4

(El 1 representa una unidad de cierto tiempo arbitrario sólo para ilustrar que las palabras *breath* y *you* son el doble de largas que las sílabas *Ev* y *ry*, y que la palabra *take* es cuatro veces más larga que *Ev* o *ry* y el doble de larga que *breath* y *you*.)

Los ritmos de la mayoría de la música que escuchamos no son tan simples. Del mismo modo que una disposición determinada de alturas de tono (la escala) puede evocar música de un idioma, un estilo o una cultura diferentes, también puede hacerlo una disposición determinada de ritmos. Aunque la mayoría no seríamos capaces de reproducir un complejo ritmo latino, identificamos en cuanto lo oímos que es latino, y que no es chino, árabe, indio o ruso. Cuando organizamos ritmos en cadenas de notas, de longitudes y acentos variables, desarrollamos compás y establecemos tempo.

«Tempo» es la velocidad a la que se desarrolla una pieza musical: lo rápida o lenta que va. Si zapateas o chasqueas los dedos acompañando una pieza de música, el tempo de la pieza estará directamente relacionado con lo deprisa o lo despacio que zapatees. Si una canción fuese una entidad viva que respirase podrías imaginar el tempo como su paso (la velocidad a la que camina) o su pulso (la velocidad a la que late el corazón de la canción). «Tiempo» indica la unidad básica de medición de una pieza musical; también se llama *tactus*. Lo más frecuente es que éste sea el punto natural en el que zapatees o chasquees los dedos o batas palmas. A veces, la gente zapatea a la mitad o al doble debido a diferentes mecanismos de procesamiento neuronal de la persona, así como a diferencias de formación, experiencia e interpretación musical de una pieza. Hasta músicos expertos pueden discrepar sobre cuál debería ser la velocidad de zapateo. Pero siempre están de acuerdo en la velocidad subyacente a la que se despliega la pieza, llamada también tempo; las discrepancias son sólo respecto a subdivisiones o supradivisiones de ese ritmo subyacente.

«Straight Up» de Paula Abdul y «Back in Black» de AC/DC tienen un

tempo de 96, lo que significa que hay 96 tiempos por minuto. Si bailas «Straight Up» o «Back in Black», es probable que bajes un pie 96 veces por minuto o quizá 48, pero no 58 o 69. En «Back in Black» puedes oír al batería tocando un tiempo en sus platillos al principio mismo, constante, deliberadamente, a 96 tiempos exactos por minuto. «Walk This Way» de Aerosmith, tiene un tempo de 112, «Billie Jean» de Michael Jackson, de 116, y «Hotel California» de los Eagles, de 75.

Dos canciones pueden tener el mismo tempo pero producir una sensación diferente. En «Back in Black», el batería toca los platillos dos veces por cada tiempo (ocho notas) y el bajo toca a un ritmo simple sincopado perfectamente acompasado con la guitarra. En «Straight Up» pasan tantas cosas que es difícil describirlas con palabras. La batería toca una pauta compleja e irregular con tiempos tan rápidos como dieciséis notas, pero no continuamente...; el «aire» entre percusiones produce un sonido típico de la música funk y hip-hop. El bajo sigue una línea melódica compleja y sincopada que a veces coincide con la batería y a veces llena sus huecos. En el altavoz apropiado (o en el oído apropiado de los auriculares) oímos el único instrumento que marca el tiempo en cada tiempo: un instrumento latino que se llama *afuche* o *cabasa*, que suena como papel de lija o como judías dentro de una calabaza. Emplazar el ritmo más importante en un instrumento ligero de tono agudo es una técnica rítmica innovadora que revoluciona las convenciones rítmicas normales. Mientras pasa todo eso, sintetizadores, guitarra y efectos especiales de percusión entran y salen volando de la canción de manera espectacular, resaltando ciertos tiempos una y otra vez para añadir emoción. Como es difícil prever o memorizar dónde están muchos de ellos, la canción ejerce un atractivo seguro sobre muchos, muchísimos oyentes.

El tempo es un factor importante para transmitir emoción. Las canciones con tempos rápidos tienden a considerarse alegres, y las que tienen tempos lentos, tristes. Aunque esto es una simplificación excesiva, se cumple en una gama notable de circunstancias, en muchas culturas y a lo largo de la vida de un individuo. El individuo medio parece tener una memoria notable para el tempo. En un experimento que publicamos Perry Cook y yo en 1996 pedimos a la gente que cantase sus canciones populares y de rock favoritas de

memoria. Lo que queríamos saber era lo que se aproximaban al tempo real de las versiones grabadas de esas mismas canciones. Como línea base, consideramos cuánta variación de tempo podía detectar el individuo medio; resulta ser del 4 por ciento. Dicho de otro modo, para una canción con un tempo de 100 tiempos por minuto, si el tempo varía entre 96-100, la mayoría de la gente, incluso algunos músicos profesionales, no detectarán este pequeño cambio (aunque la mayoría de los baterías, sí: su trabajo exige que sean más sensibles al tempo que otros músicos, porque son responsables de mantenerlo cuando no hay ningún director que lo haga por ellos). La mayoría de las personas que tomaron parte en nuestro estudio (y no eran músicos) fueron capaces de cantar canciones dentro del 4 por ciento de su tempo nominal.

Es probable que la base neuronal de tan sorprendente precisión esté en el cerebelo, que se cree que contiene un sistema de cronómetros para nuestras vidas diarias y para sincronizar con la música que oímos. Esto significa que el cerebelo es capaz de recordar de algún modo los «arreglos» que utiliza para sincronizar con la música cuando la oímos, y puede recordar esos arreglos cuando queremos cantar una canción de memoria. Eso nos permite sincronizar lo que cantamos con un recuerdo de la última vez que lo cantamos. También es casi seguro que los ganglios basales (lo que Gerald Edelman ha llamado «los órganos de la sucesión») participan generando el ritmo, el tempo y el compás.

«Compás» alude a cómo se agrupan los pulsos o tiempos. Generalmente, cuando zapateamos o taconeamos siguiendo la música, hay algunos tiempos que nos parecen más fuertes que otros. Da la impresión de que los músicos tocan ese tiempo más fuerte y con más intensidad que los otros. Ese tiempo más fuerte y más intenso es perceptualmente dominante, y los otros que le siguen son más débiles, hasta que llega otro fuerte. Todos los sistemas musicales que conocemos tienen pautas de tiempos fuertes y débiles. La más común en la música occidental es para los tiempos fuertes que se produzcan una vez cada cuatro: FUERTE-débil-débil-débil FUERTE-débil-débil-débil. El tercer tiempo en una pauta de cuatro suele ser algo más fuerte que el segundo y el cuarto: hay una jerarquía de intensidades, en la que el primero es el más fuerte, luego el tercero y le siguen el segundo y el cuarto. Con una

frecuencia algo menor se produce el tiempo fuerte una vez de cada tres en lo que llamamos el tiempo de «vals»: FUERTE-débil-débil FUERTE-débil-débil. Normalmente también contamos esos tiempos de un modo que destaca cuál es el fuerte: UNO-dos-tres-cuatro, UNO-dos-tres-cuatro, o UNO-dos-tres, UNO-dos-tres.

Por supuesto la música sería aburrida si sólo tuviésemos esos tiempos directos. Podríamos dejar uno fuera para añadir tensión. Pensemos en «Twinkle, Twinkle Little Star» escrito por Mozart cuando tenía seis años. No aparecen notas en cada tiempo:

UNO-dos-tres-cuatro
UNO-dos-tres-(silencio)
UNO-dos-tres-cuatro
UNO-dos-tres-(silencio):
TWIN-kle twinkle
LIT-tle star (silencio)
HOW-I won-der
WHAT you are (silencio).

Una canción de cuna escrita con la misma melodía, «Ba Ba Black Sheep», UNO-dos-tres-cuatro, se puede dividir en partes más pequeñas y más interesantes:

BA ba black sheep
HAVE-you-any-wool?

Adviértase que cada sílaba en «*have-you-any*» va el doble de rápido que las sílabas «*ba ba black*». Las notas de la cuarta han sido divididas a la mitad y podemos contar esto como

UNO-dos-tres-cuatro
UNO-y-dos-y-tres-(silencio).

En «Jailhouse Rock», interpretado por Elvis Presley y escrito por dos compositores sobresalientes de la época del rock, Jerry Leiber y Mike Stoller,

el tiempo fuerte se produce en la primera nota que canta Presley, y luego en cada cuarta nota después de ésta:

[verso 1:] *WAR-den threw a party at the*

[verso 2:] *COUN-ty jail (silencio) the*

[verso 3:] *PRIS-on band was there and they be-*

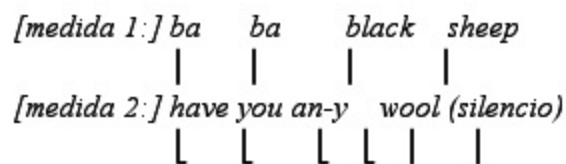
[verso 4:] *GAN to wail.*

En la música con letra, las palabras no siempre se alinean exactamente con los primeros tiempos del compás; en «Jailhouse Rock» parte de la palabra *began* empieza antes de un tiempo fuerte y termina en ese tiempo fuerte. En la mayoría de las canciones infantiles y de las canciones populares sencillas, como por ejemplo «Ba Ba Black Sheep» o «Frère Jacques», no ocurre eso. Esta técnica lírica funciona especialmente bien en «Jailhouse Rock» porque al pronunciarlo el acento está en la segunda sílaba de *began*; extendiendo así la palabra a la línea siguiente se da un impulso suplementario a la canción.

Por convención, en la música occidental tenemos nombres para las duraciones de las notas similares a las que tenemos para los intervalos musicales. Un intervalo de una «quinta perfecta» es un concepto relativo: puede empezar en una nota cualquiera y luego, por definición, notas que son bien siete semitonos más altas o siete semitonos más bajas se consideran una quinta perfecta aparte de la nota inicial. La duración estándar se denomina una redonda y dura cuatro tiempos, de forma independiente de lo lenta o rápida que se esté moviendo la música..., es decir, independientemente del tempo. (En un tempo de sesenta pulsos, como en la *Marcha fúnebre*, cada tiempo dura un segundo, de manera que una entera duraría cuatro segundos.) Una nota con la mitad de la duración de una redonda se denomina una blanca, y una nota la mitad de larga que la media nota se llama una negra. Para la música popular y folclórica, en general el tiempo básico es una negra. Decimos de esas canciones que son de compás 4/4: el numerador nos dice que la canción está organizada en grupos de cuatro notas, y el denominador nos dice que la longitud de la nota básica es de una negra. En la notación y cuando hablamos de ellos, denominamos a cada uno de estos grupos de cuatro notas una medida o una barra. Una medida con un compás de 4/4 tiene

cuatro tiempos, y cada tiempo es una negra. Esto no implica que la única duración de la nota en la medida sea una negra. Podemos tener notas de cualquier duración, o silencios..., es decir, ninguna nota en absoluto; la indicación 4/4 sólo intenta describir cómo contamos los tiempos.

«Ba Ba Black Sheep» tiene cuatro negras en su primera medida, y luego corcheas (la mitad de la duración de una negra) y un silencio de una negra en la segunda medida. He utilizado el símbolo **I** para indicar una negra y **L** para indicar una corchea, y he mantenido el espacio entre sílabas proporcional al tiempo que se asigna a ellas:



Puedes ver en el diagrama que las corcheas van el doble de rápido que las negras.

En «That'll Be the Day» de Buddy Holly, la canción empieza con una nota introductoria; el tiempo fuerte se produce en la nota siguiente y luego en cada negra que sigue a ésa, lo mismo que en «Jailhouse Rock»:

THAT'll be the day (silencio) when
YOU say good-bye-yes;
THAT'll be the day (silencio) when
YOU make me cry-hi; you
SAY you gonna leave (silencio) you
KNOW it's a lie 'cause
THAT'll be the day-ay-
AY when I die.

Fíjate en cómo Holly, igual que Elvis, corta una palabra en dos entre versos (*day* en las dos últimas líneas). Para la mayoría de la gente, el tactus es cuatro tiempos entre los tiempos iniciales de esta canción, y golpearán con el pie cuatro veces de un primer tiempo al siguiente. Aquí, todas las mayúsculas indican el primer tiempo como antes, y la **negrita** indica cuándo darás en el

suelo con el pie:

Well
THAT'll be the day (silencio) when
YOU say good-bye-yes;
THAT'll be the day (silencio) when
YOU make me cry-hi; you
SAY you gonna leave (silencio) you
KNOW it's a lie 'cause
THAT'll be the day-ay-
AY when I die.

Si prestas atención detenida a la letra de la canción y a sus relaciones con los tiempos, te darás cuenta de que se produce un golpe con el pie en el medio de alguno de ellos. El primer *say* del segundo verso empieza en realidad antes de que bajes el pie: lo más probable es que tengas el pie en el aire cuando empiece la palabra *say*, y lo bajes en mitad de ella. Pasa lo mismo luego con la palabra *yes* en el mismo verso. Cuando una nota se anticipa a un tiempo (es decir, cuando un músico toca una nota un poco antes del tiempo propiamente dicho) eso se llama *síncopa*. Se trata de un concepto muy importante que se relaciona con la expectación, y en último término con el impacto emocional de una canción. La *síncopa* nos coge por sorpresa y añade emoción.

Como sucede con muchas canciones, algunas personas captan «That'll Be the Day» a mitad de compás; no hay nada malo en esto (es una interpretación distinta y válida) y golpean con el pie dos veces en el mismo tiempo en que otra gente lo hace cuatro veces: una vez en el tiempo inicial y de nuevo dos tiempos más tarde.

La canción empieza en realidad con la palabra *Well*, que surge antes de un primer tiempo: esto se llama una nota introductoria. Holly utiliza dos palabras, *Well*, *you*, como notas introductorias para el verso, también, y luego inmediatamente después de ellas entramos en sintonía de nuevo con los primeros tiempos:

[nota introductoria] Well, you
[verso 1] GAVE me all your lovin' and your

[verso 2] (SILENCIO) *tur-tle dovin' (silencio)*
[verso 3] *ALL your bugs and kisses and your*
[verso 4] (SILENCIO) *money too.*

Lo que hace Holly aquí es tan inteligente que viola nuestras expectativas no sólo con anticipaciones, sino retrasando palabras. Normalmente, habría una palabra en cada primer tiempo, como en las canciones infantiles. Pero en los versos dos y cuatro de la canción llega el primer tiempo y ¡él se calla! Ésta es otra forma de la que los compositores se sirven para crear emoción, al no darnos aquello que normalmente esperaríamos.

Cuando la gente bate palmas o chasquea los dedos con la música, y a veces de una forma completamente espontánea y sin aprendizaje, mantienen el compás de una forma diferente a como lo harían con los pies: baten palmas o chasquean los dedos no en el primer tiempo, sino en el segundo o en el cuarto. Éste es el llamado *backbeat*, un contratiempo fuerte, del que habla Chuck Berry en su canción «Rock and Roll Music».

John Lennon dijo que la esencia de la composición de canciones de rock era para él «decir sólo lo que es, en lenguaje sencillo, hacerlo rimar y poner en ello un *backbeat*». En «Rock and Roll Music» (que John cantó con los Beatles), como en la mayoría de las canciones de rock, ese contratiempo fuerte es lo que hace la caja clara: la caja clara toca sólo en el segundo y el cuarto tiempo de cada compás, en oposición al tiempo fuerte del primero, y al secundario, del tercero. Este contratiempo fuerte, el *backbeat*, es el elemento rítmico característico de la música rock, y Lennon lo utilizó mucho, por ejemplo en «Instant Karma» (*golpe* indica abajo donde se toca la caja clara en la canción, con el *backbeat*):

Instant karma's gonna get you
*(silencio) *golpe* (silencio) *golpe**
«Gonna knock you right on the head»
*(silencio) *golpe* (silencio) *golpe**
*But we all *golpe* shine *golpe**
*on *golpe* (silencio) *golpe**
*Like the moon *golpe* and the stars *golpe**

*and the sun *golpe* (silencio) *golpe*.*

En «We Will Rock You» de Queen, oímos lo que suena como el zapateo en las gradas de los estadios dos veces seguidas (bum-bum) y luego batir de palmas (CLAP) en un ritmo repetido: bum-bum-CLAP, bum-bum-CLAP; el CLAP es el *backbeat*.

Pensemos ahora en la marcha de John Philip Sousa, «The Stars and Stripes Forever». Si puedes oírla mentalmente, puedes taconear siguiendo el ritmo mental. Mientras la música hace «DAH-dah-ta Dum-dum dah DUM-dum dum-dum DUM», tus pies taconearán ABAJO-arriba ABAJO-arriba ABAJO-arriba ABAJO-arriba. En esta canción, es natural golpear con el pie por cada dos negras. Decimos que esta canción está «en dos», queriendo decir que la agrupación natural de ritmos es dos negras por tiempo.

Pensemos ahora en «My Favorite Things» (letra y música de Richard Rodgers y Oscar Hammerstein). Esta canción está en el compás del vals, o lo que se llama compás de 3/4. Los tiempos parecen disponerse en grupos de tres, con uno fuerte seguido de dos débiles. «RAIN-drops-on ROSE-es and WHISK-ers-on KIT-tens (silencio).» UNO-dos-tres UNO-dos-tres UNO-dos-tres UNO-dos-tres.

Igual que con el tono, las proporciones de duraciones de enteros pequeños son las más comunes, y se acumulan pruebas de que son más fáciles de procesar neurológicamente. Pero, como indica Eric Clarke, las proporciones de enteros pequeños casi nunca se encuentran en muestras de música real. Esto indica que durante nuestro procesamiento neurológico del compás musical se produce un proceso de cuantización (equiparación de duraciones). El cerebro trata las duraciones que son similares como iguales, redondeando unas hacia arriba y otras hacia bajo con el fin de tratarlas como simples proporciones de enteros como 2:1, 3:1 y 4:1. Algunos músicos utilizan proporciones más complejas; Chopin y Beethoven utilizan proporciones nominales de 7:4 y 5:4 en algunas de sus obras de piano, en que se tocan siete o cinco notas con una mano mientras se tocan cuatro con la otra. Como en el caso del tono, es posible teóricamente cualquier proporción, pero hay limitaciones a lo que podemos percibir y recordar, y hay limitaciones basadas en el estilo y en la convención.

Los tres compases más comunes de la música occidental son: 4/4, 2/4 y 3/4. Existen otras agrupaciones rítmicas, como 5/4, 7/4 y 9/4. Un compás bastante común es 6/8, en el que contamos seis tiempos para una medida, y a cada corchea le corresponde uno. Es similar al 3/4 del vals; la diferencia es que el compositor pretende que los músicos «sientan» la música en grupos de seis en vez de en grupos de tres, y que el tiempo subyacente sea la corchea de más corta duración en vez de una negra. Esto indica la jerarquía que existe en las agrupaciones musicales. Es posible contar 6/8 como grupos de 3/8 (UNO-dos-tres UNO-dos-tres) o como un grupo de seis (UNO-dos-tres-CUATRO-cinco-seis) con un acento secundario en el cuarto tiempo, y para la mayoría de la audiencia éstas son sutilezas sin interés que sólo preocupan a un intérprete. Pero puede haber diferencias cerebrales. Sabemos que hay circuitos neuronales especialmente relacionados con la detección y el rastreo del compás musical, y sabemos que el cerebelo participa en la composición de un reloj interno o cronómetro capaz de sincronizar con acontecimientos fuera del mundo exterior. Nadie ha hecho aún el experimento de ver si 6/8 y 3/4 tienen representaciones neuronales diferentes, pero dado que los músicos las tratan realmente como diferentes, es muy probable que el cerebro lo haga también. Un principio fundamental de la neurociencia cognitiva es que el cerebro proporciona la base biológica para todas las conductas o pensamientos que experimentamos, y tiene que haber diferenciación neuronal, por ello, a cierto nivel, siempre que haya diferenciación conductual.

Por supuesto, los tiempos de 4/4 y 2/4 son fáciles para caminar, para bailar o para la marcha porque (al tratarse de números pares) siempre acabas dando un golpe fuerte en el suelo con el mismo pie. Tres por cuatro es menos natural para caminar; nunca verás un cuerpo militar o una división de infantería marchando a 3/4. El tiempo cinco por cuatro se utiliza de vez en cuando, siendo el ejemplo más famoso el tema de Lalo Shiffrin de *Misión imposible* y la canción de Dave Brubeck «Take Five». Cuando cuentas el tiempo y taconeas con esas canciones, verás que los ritmos básicos se agrupan en cincos: UNO-dos-tres-cuatro-cinco, UNO-dos-tres-cuatro-cinco. Hay un tiempo fuerte secundario en la composición de Brubeck en el cuatro: UNO-dos-tres-CUATRO-cinco. En este caso, muchos músicos piensan que el 5/4 consiste en alternar los tiempos 3/4 y 2/4. En «Misión imposible», no hay

ninguna división clara del cinco. Tchaikovsky utiliza el tiempo 5/6 para el segundo movimiento de su Sexta Sinfonía. Pink Floyd utilizó 7/4 para su canción «Money», como Peter Gabriel para «Salisbury Hill»; si intentas taconear o ir contando, necesitarás contar siete entre cada tiempo fuerte.

He dejado el análisis de la intensidad casi para el final, porque no hay en realidad mucho que decir sobre la intensidad en cuanto a definición que la mayoría de la gente no sepa ya. Una cuestión chocante es que la intensidad, como el tono, es un fenómeno totalmente psicológico, es decir, sólo existe en la mente. Y esto es así por la misma razón que sólo existe en la mente la altura de tono. Cuando ajustas el volumen de tu sistema estéreo, estás aumentando técnicamente la amplitud de la vibración de las moléculas, lo que a su vez nuestro cerebro interpreta como intensidad. La cuestión aquí es que hace falta un cerebro para experimentar lo que nosotros llamamos «intensidad». Esto puede parecer en gran medida una distinción semántica, pero es importante mantener los términos claros. En la representación mental de la intensidad existen varias anomalías extrañas, como por ejemplo que las intensidades no son aditivas del modo que lo son las amplitudes (la intensidad, como el tono, es logarítmica) o el fenómeno de que la altura de un tono sinusoidal varía en función de su amplitud, o el descubrimiento de que puede parecer que los sonidos son más intensos de lo que son cuando han sido procesados electrónicamente de determinados modos (como la compresión de ámbito dinámico), algo que se hace a menudo en la música *heavy metal*.

La intensidad se mide en decibelios (es decir, la décima parte de un belio, llamados así por Alexander Graham Bell y abreviado dB) y es una unidad sin dimensión como el tanto por ciento; indica una proporción de dos niveles sonoros. En este sentido, es similar a hablar de intervalos musicales, pero no de nombres de notas. La escala es logarítmica, y si se duplica la intensidad de una fuente sonora se produce un aumento de sonido de 3 dB. La escala logarítmica es útil para analizar el sonido debido a la extraordinaria sensibilidad del oído: la proporción entre el sonido más fuerte que podemos oír sin una lesión permanente y el más suave que podemos detectar es de un millón a uno; si se mide como niveles de presión sonora en el aire, en la

escala dB eso es 120 dB. La gama de intensidad que podemos percibir se llama la gama dinámica. A veces los críticos hablan de la gama dinámica que se consigue en una grabación de música de alta calidad; si una grabación tiene una gama dinámica de 90 dB, significa que la diferencia entre las partes más suaves de la grabación y las partes más fuertes es de 90 dB, que la mayoría de los expertos consideran alta fidelidad y que queda fuera de la capacidad de la mayoría de los sistemas de audio domésticos.

Nuestros oídos comprimen los sonidos que son muy fuertes con la finalidad de proteger los elementos delicados de su parte media e interna. Normalmente, cuando se eleva la intensidad de los sonidos en el exterior, nuestra percepción aumenta de forma proporcional. Pero cuando llegan a ser realmente fuertes, un aumento proporcional en la señal transmitida por el tímpano causaría una lesión irreversible. La compresión de los niveles sonoros (o la gama dinámica) significará que los grandes aumentos de nivel sonoro en el exterior generan cambios de nivel mucho más pequeños en nuestros oídos. Las células capilares internas tienen una gama dinámica de 50 decibelios, y sin embargo podemos oír hasta una gama dinámica de 120 decibelios. Por cada aumento de cuatro decibelios en el nivel sonoro, las células capilares internas transmiten un aumento de un decibelio. La mayoría podemos apreciar cuándo se está produciendo esa compresión; los sonidos comprimidos tienen un timbre distinto.

Los especialistas en acústica han ideado un medio para que resulte fácil hablar de niveles de sonido en el entorno. Como los decibelios expresan una proporción entre dos valores, eligieron un nivel de referencia estándar (veinte micropascales de presión sonora), que es aproximadamente igual al umbral de audición humana para la mayoría de los individuos sanos: el sonido de un mosquito volando a tres metros de distancia. Para evitar confusión, cuando se utilizan decibelios para reflejar este punto de referencia de nivel de presión sonora, nos referimos a ellos como decibelios NPL. He aquí algunos hitos para niveles sonoros, expresados en decibelios NPL:

0 decibelios	mosquito volando en una habitación tranquila, a tres metros de distancia de tus oídos
20 decibelios	un estudio de grabación o una oficina muy tranquila

35 decibelios	una oficina tranquila típica con la puerta cerrada y los ordenadores apagados
50 decibelios	conversación típica en una habitación
75 decibelios	un nivel de audición de música con auriculares cómodo característico
100-105 dB	concierto de ópera o de música clásica durante pasajes de mucha intensidad sonora; algunos reproductores portátiles van a 105 dB
110 dB	un martillo neumático a 90 centímetros de distancia
120 dB	el motor de un reactor oído en la pista a treinta metros de distancia; un típico concierto de rock
126-130 dB	umbral de dolor y lesión; un concierto de rock de los Who (hay que tener en cuenta que 126 dB es cuatro veces más intenso que 120 dB)
180 dB	el lanzamiento de un transbordador espacial
250-275 dB	centro de un tornado; erupción volcánica

Los tapones de espuma para los oídos pueden bloquear unos 25 dB de sonido, aunque no lo hacen a lo largo de toda la gama de frecuencias. Unos tapones pueden reducir al mínimo el peligro de lesión permanente en un concierto de los Who rebajando los niveles que llegan al oído en torno a los 100-110 dB NPL. El tipo de protector auricular que se coloca sobre la oreja y que se utiliza en los campos de tiro y entre el personal del servicio de aterrizaje de los aeropuertos suele estar complementado con tapones en los oídos para proporcionar máxima protección.

Hay mucha gente a la que le gusta la música muy alta. Los que van a los conciertos hablan de un estado especial de conciencia, un estado de estremecimiento y emoción, cuando la música está muy alta, a partir de los 115 dB. Aún no sabemos por qué sucede eso. Puede estar relacionado en parte con el hecho de que la música muy fuerte satura el sistema auditivo, haciendo que las neuronas se activen al máximo. Cuando hay muchas, muchísimas neuronas activadas al máximo, se puede desencadenar una propiedad emergente, una condición cerebral cualitativamente distinta de cuando se activan a niveles normales. Aun así, hay gente a la que le gusta la

música muy alta y gente a la que no.

La intensidad es uno de los siete elementos importantes de la música junto con el tono, el ritmo, la melodía, la armonía, el tempo y el compás. Cambios muy pequeños en la intensidad tienen efectos profundos sobre la comunicación emotiva de la música. Un pianista puede tocar cinco notas al mismo tiempo pero de forma que una de ellas sea ligeramente más fuerte que las otras, otorgándole así un papel completamente distinto en nuestra percepción global del pasaje. La intensidad es también una clave importante para los ritmos, como vimos antes, y para el compás, porque es la intensidad de las notas la que determina cómo se agrupan rítmicamente.

Hemos recorrido ya un círculo completo y volvemos al amplio tema de la altura de tono. El ritmo es un juego de expectativas. Cuando zapateamos estamos previendo qué va a suceder después en la música. También practicamos un juego de expectativas en la música con el tono. Sus reglas son tonalidad y armonía. Una tonalidad musical es el contexto tonal de una pieza de música. No todas las músicas tienen una tonalidad. Los tambores africanos, por ejemplo, no la tienen, ni tampoco compositores contemporáneos de música dodecafónica, como Schönberg. Pero prácticamente toda la música que oímos en la cultura occidental (desde los estribillos comerciales de la radio a la sinfonía más seria de Bruckner, desde la música gospel de Mahalia Jackson a la de los Sex Pistols) tiene un grupo básico de tonos que remite a un centro tonal, la tonalidad. Ésta cambia en el curso de la canción (a esto se le llama modulación), pero es en general, por definición, algo que se mantiene durante un período de tiempo relativamente largo en el desarrollo de la pieza, por lo general cuestión de minutos.

Si una melodía está basada en la escala do mayor, por ejemplo, decimos generalmente que la melodía está «en la tonalidad de do». Significa que la melodía tiene un impulso de regreso a la nota do, e incluso, aunque no acabe en do, esa nota es lo que los oyentes mantienen en su pensamiento como la nota dominante y focal de toda la pieza. El compositor puede utilizar temporalmente notas de fuera de la escala de do mayor, pero nosotros las identificamos como desviaciones, algo así como un corte rápido de una película a una escena paralela o a una retrospectiva, en que sabemos que es

inminente e inevitable un regreso a la línea argumental básica. (Para una explicación más detallada sobre la teoría de la música véase el Apéndice B.)

El atributo del tono en la música funciona dentro de una escala o un contexto tonal/armónico. Una nota no siempre nos suena igual cuando la oímos: la oímos dentro del contexto de una melodía y de lo que ha llegado antes, y la oímos dentro del contexto de la armonía y los acordes que la acompañan. Podemos compararlo para entenderlo mejor con un sabor: el orégano sabe bien con berenjena o salsa de tomate, y puede que algo peor con budín de plátano. La nata adquiere un gusto distinto con fresas que cuando se la mezcla con café o se añade a un aderezo de ensalada con ajo.

En «For No One» de los Beatles, se canta la melodía en una nota para dos compases, pero los acordes que acompañan a esa nota cambian, dándole un carácter distinto y un sonido distinto. La canción «One Note Samba» de Antonio Carlos Jobim contiene en realidad muchas notas, pero hay una que aparece a lo largo de la canción con acordes cambiantes acompañándola, y oímos una variedad de matices diferentes de contenido musical cuando se despliega en la composición. En algunos contextos de acordes, la nota suena alegre y feliz, en otros, melancólica. En otra cosa en la que la mayoría somos expertos, aunque no seamos músicos, es en reconocer progresiones familiares de acordes, incluso en ausencia de la melodía bien conocida. Siempre que los Eagles tocan esta progresión de acordes:

si menor/fa sostenido mayor/la mayor/mi mayor/sol mayor/re mayor/mi menor/fa sostenido mayor

no tienen más que tocar tres acordes para que miles de aficionados del público que no son músicos sepan que van a tocar «Hotel California». Y a pesar de que han cambiado la instrumentación a lo largo de los años, pasando de guitarras eléctricas a acústicas, de las de doce cuerdas a otras de seis cuerdas, la gente reconoce esos acordes; los reconocemos incluso cuando suenan en una orquesta en altavoces baratos en el hilo musical del consultorio del dentista.

El tema de las escalas y de mayor y menor está relacionado con el de la disonancia y la consonancia tonales. Algunos sonidos nos resultan desagradables, aunque no siempre sabemos por qué. Raspar con las uñas en

un encerado es un ejemplo clásico, pero parece ser desagradable sólo para los humanos; a los monos no parece importarles (o al menos en un experimento que se hizo, les gustaba ese sonido tanto como la música rock). En música, hay gente que no puede soportar el sonido de las guitarras eléctricas distorsionadas; otros no escucharían otra cosa. Al nivel armónico (es decir, el de las notas, más que de los timbres participantes) a algunos les resultan particularmente desagradables determinados intervalos o acordes. Los músicos llaman a los intervalos y acordes de sonido agradable consonantes y a los desagradables disonantes. Se ha investigado mucho sobre el tema de por qué nos resultan consonantes ciertos intervalos y otros no, y no hay actualmente ningún acuerdo al respecto. De momento hemos conseguido llegar a saber que el tallo cerebral y el núcleo coclear dorsal (estructuras primitivas que tienen todos los vertebrados) pueden diferenciar entre consonancia y disonancia. Y esta distinción surge antes de que participe el nivel más elevado, la región cerebral humana, el córtex.

Aunque los mecanismos neurológicos en que se basan la consonancia y la disonancia siguen sin estar claros, existe un acuerdo generalizado sobre algunos de los intervalos que se consideran consonantes. Un intervalo unísono (la misma nota tocada consigo misma) se considera consonante, lo mismo que una octava. Esto crea proporciones de frecuencias enteras simples de 1:1 y 2:1 respectivamente. (Desde el punto de vista de la acústica, la mitad de los picos del gráfico de onda para octavas se alinean perfectamente entre sí, la otra mitad cae justo entre dos picos.) Es curioso que si dividimos la octava justo por la mitad, el intervalo con el que acabamos se llama un tritono, y a la mayoría de la gente le resulta el intervalo más desagradable que existe. En parte la razón que lo explica quizá tenga que ver con el hecho de que el tritono no procede de una proporción de entero simple, ya que es de 43:32. Podemos enfocar la consonancia desde una perspectiva de proporción entera. Una proporción de 3:1 es una proporción entera simple, y eso define dos octavas. Una de 3:2 es también una proporción entera simple, y define el intervalo de una quinta perfecta. Ésta es la distancia entre, por ejemplo, do y el sol de encima de ella. La distancia de sol al do de encima de ella forma un intervalo de una cuarta perfecta y su relación de frecuencia es 4:3.

Las notas particulares que se encuentran en nuestra escala mayor se

remontan a los antiguos griegos y a sus ideas sobre la consonancia. Si empezamos con una nota y nos limitamos a añadirle el intervalo de una quinta perfecta reiteradamente, acabamos generando una serie de frecuencias que están muy próximas a la escala mayor actual: do - sol - re - la - mi - si - fa sostenido - do sostenido - sol sostenido - re sostenido - la sostenido - mi sostenido (o fa) y luego vuelta a do. Esto se conoce como el círculo de quintas, porque después de recorrer el ciclo, acabamos de nuevo en la nota con la que empezamos. Curiosamente, si seguimos la serie armónica, podemos generar frecuencias con una cierta proximidad también a la escala mayor.

Una sola nota no puede ser, por sí sola, disonante, pero puede resultarlo con un fondo de ciertos acordes, sobre todo cuando éstos implican una tonalidad de la que no forma parte la nota única. Dos notas pueden resultar disonantes juntas, tanto si se tocan simultáneamente como en sucesión, si la sucesión no se ajusta a las costumbres que hemos aprendido que se corresponden con nuestros idiomas musicales. Los acordes también pueden resultar disonantes, sobre todo cuando se extraen de fuera de la tonalidad establecida. Combinar todos estos factores es la tarea del compositor. La mayoría de nosotros somos oyentes muy discriminadores, y cuando el compositor no llega a lograr del todo el equilibrio, nuestras expectativas resultan traicionadas más de lo que podemos soportar y cambiamos de emisora de radio, nos quitamos los auriculares o simplemente salimos del local.

He revisado ya los elementos importantes que intervienen en la música: tono, timbre, tonalidad, armonía, intensidad, ritmo, compás y tempo. Los neurocientíficos deconstruyen el sonido en sus componentes para estudiar de forma selectiva regiones cerebrales que participan en el procesamiento de cada uno de ellos, y los musicólogos analizan sus aportaciones individuales a la experiencia estética global de escuchar. Pero la música (la música real) triunfa o fracasa por la relación entre esos elementos. Compositores y músicos raras veces los tratan de forma aislada; saben que cambiar un ritmo puede exigir también cambiar el tono o la intensidad, o los acordes que acompañan a ese ritmo. Un enfoque del estudio de la relación entre esos

elementos es el que remonta sus orígenes a finales del siglo XIX y a los psicólogos de la Gestalt.

En 1890 a Christian von Ehrenfels le desconcertó algo que todos damos por supuesto y que sabemos hacer: la transposición melódica. La transposición consiste simplemente en cantar o tocar una canción en una tonalidad diferente o con alturas de tono diferentes. Cuando cantamos «Happy Birthday» nos limitamos a seguir a la primera persona que empezó a cantar, y en la mayoría de los casos esa persona empieza con la nota que le parece. Podría haber empezado incluso en un tono que no sea de una nota reconocida de la escala musical, que cayese, digamos, entre do y do sostenido, y casi nadie se daría cuenta ni se preocuparía por ello. Canta esa canción tres veces por semana y es posible que cantes tres series de tonos completamente distintas. Cada versión de la canción se denomina una transposición de las otras.

Los psicólogos de la Gestalt (Von Ehrenfels, Max Wertheimer, Wolfgang Köhler, Kurt Koffka y otros) estaban interesados por el problema de las configuraciones, es decir, cómo se agrupan los elementos para formar conjuntos, objetos que son cualitativamente diferentes de la suma de sus partes, y que no pueden entenderse en función de sus partes. La palabra *Gestalt* ha pasado del alemán a las otras lenguas con el significado de una forma completa unificada, aplicable tanto a objetos artísticos como no artísticos. Se puede concebir un puente colgante como una Gestalt. Las funciones y la utilidad del puente no se comprenden fácilmente mirando las piezas de cables, tirantes, tornillos y vigas de acero; sólo cuando se agrupan todas en la forma de un puente podemos ver cómo un puente es diferente de, digamos, una grúa de la construcción que podría hacerse con las mismas piezas. También en la pintura es la relación entre los elementos un aspecto crítico del producto artístico final. El ejemplo clásico es un rostro: la *Mona Lisa* no sería lo que es si se pintasen los ojos, la nariz y la boca exactamente igual que son pero distribuidos en el lienzo en un orden distinto.

Los psicólogos de la Gestalt se preguntaron cómo es que una melodía (compuesta por una serie de alturas de tono específicas) podía retener su identidad, su identificabilidad, incluso cambiando todas sus alturas de tono. Se trataba de un caso para el que no podían proponer una explicación teórica

satisfactoria, el triunfo definitivo de la forma sobre sus componentes, del todo sobre las partes. Toca una melodía utilizando cualquier serie de tonos y mientras la relación entre esos tonos se mantenga constante, será la misma melodía. Tócala con instrumentos diferentes y la gente seguirá reconociéndola. Tócala a media velocidad o a velocidad doble, o aplica todas esas transformaciones al mismo tiempo y la gente seguirá sin tener el menor problema para identificarla como la canción original. La influyente escuela de la Gestalt se creó para aclarar esta cuestión concreta. Aunque nunca lograron aclararla, nos ayudaron mucho a comprender cómo están organizados los objetos del mundo visual, a través de una serie de reglas que se enseñan en todas las clases de introducción a la psicología, los llamados «principios gestálticos de agrupación».

Albert Bregman, un psicólogo cognitivo de la Universidad McGill, ha realizado una serie de experimentos a lo largo de los últimos treinta años con vistas a elaborar una interpretación similar de los principios de agrupación del sonido. El teórico de la música Fred Lerdahl, de la Universidad de Columbia, y el lingüista Ray Jackendoff, de la Universidad de Brandeis (ahora Universidad de Tufts), abordaron el problema de enunciar una serie de reglas similares a las de la gramática del lenguaje para la composición musical, incluyendo los principios de agrupación en la música. La base neurológica de estos principios no está establecida del todo, pero a través de una serie de inteligentes experimentos conductuales hemos llegado a saber mucho sobre la fenomenología de los principios.

En la visión, la agrupación se remite a cómo se combinan o se mantienen separados entre sí los elementos en el mundo visual en nuestra imagen mental del mundo. La agrupación es en parte un proceso automático, lo que significa que gran parte de él sucede rápidamente en el cerebro sin que nos demos cuenta. Eso se ha descrito en lenguaje sencillo como el problema de «qué va con qué» en nuestro campo visual. Hermann von Helmholtz, el científico del siglo XIX que nos enseñó mucho de lo que hoy consideramos los fundamentos de la ciencia auditiva, lo describió como un proceso inconsciente que entrañaba inferencia, o deducciones lógicas sobre qué objetos del mundo es probable que se agrupen de acuerdo con una serie de características o atributos de los objetos.

Si te encuentras en la cima de una montaña contemplando un paisaje variado, podrías describirlo diciendo que ves dos o tres montañas más, un lago, un valle, una fértil llanura y un bosque. Aunque el bosque esté compuesto por cientos o miles de árboles, éstos forman un grupo perceptual, distinto de otras cosas que vemos, no necesariamente por nuestro conocimiento de los bosques, sino porque los árboles comparten propiedades similares de forma, tamaño y color, al menos cuando contrastan con fértiles llanuras, lagos y montañas. Pero si estás en el interior de un bosque con una mezcla de alisos y pinos, la corteza blanca y lisa de los alisos les hará «destacarse» como un grupo separado de los pinos de corteza oscura y rugosa. Si te sitúo delante de un árbol y te pregunto qué ves, podrías empezar a centrarte en detalles de ese árbol: corteza, ramas, hojas (o agujas), insectos y musgo. Cuando miramos una extensión de césped, la mayoría de nosotros no individualizamos normalmente las briznas de hierba, aunque podamos hacerlo si centramos la atención en ellas. Agrupar es un proceso jerárquico y nuestros cerebros forman grupos perceptuales basándose en un gran número de factores. Algunos factores de agrupación son intrínsecos a los propios objetos: forma, color, simetría, contraste y principios que relacionan la continuidad de líneas y bordes del objeto. Otros factores de agrupación son psicológicos, es decir, tienen una base mental, y dependen, por ejemplo, de a qué procuremos conscientemente prestar atención, de los recuerdos que tengamos del objeto o de otros objetos similares y de las expectativas que tengamos de cómo deberían unirse esos objetos.

Los sonidos también se agrupan. Esto quiere decir que mientras algunos se agrupan, otros se separan. La mayoría de la gente no es capaz de aislar el sonido de uno de los violines de una orquesta de los demás, o de una de las trompetas de las otras trompetas: forman un grupo. De hecho, toda la orquesta puede formar un grupo perceptual único (llamado en la terminología de Bregman una corriente) dependiendo del contexto. Si estás en un concierto al aire libre con varios grupos tocando al mismo tiempo, los sonidos de la orquesta que está delante de ti se agruparán en una sola entidad auditiva, diferenciada de las otras orquestas que están detrás y al lado. A través de un acto de volición (atención) puedes luego centrarte sólo en los violines de la orquesta que tienes delante, igual que puedes seguir una conversación con

una persona que está a tu lado en una habitación llena de gente y donde hay varias conversaciones.

Un caso de agrupación auditiva es el de la integración de los diferentes sonidos que emanan de un instrumento musical en la percepción de un instrumento único. No oímos los armónicos individuales de un oboe o de una trompeta, oímos un oboe o una trompeta. Esto es especialmente notable si imaginas un oboe y una trompeta tocando al mismo tiempo. El cerebro es capaz de analizar las docenas de secuencias diferentes que llegan a los oídos y de agruparlas exactamente de la forma adecuada. No tenemos la impresión de docenas de armónicos desencarnados, y oímos sólo un instrumento híbrido único. Lo que sucede en realidad es que el cerebro construye imágenes mentales diferenciadas de un oboe y de una trompeta, y también del sonido de los dos tocando juntos, la base de nuestra percepción de combinaciones tímbricas en la música. De esto era de lo que hablaba Pierce cuando se maravillaba ante los timbres de la música rock, los sonidos que hacían una batería eléctrica y una guitarra eléctrica cuando tocaban juntas, dos instrumentos perfectamente diferenciables entre sí, y que de forma simultánea creaban una nueva combinación sonora que se podía escuchar, analizar y recordar.

Nuestro sistema auditivo explota la serie armónica agrupando sonidos. El cerebro coevolucionó en un mundo en el que muchos de los sonidos a los que se enfrentó nuestra especie (durante las decenas de miles de años de historia evolutiva) compartían entre sí ciertas propiedades acústicas, incluida la serie armónica tal como la entendemos hoy. A través de este proceso de «inferencia inconsciente» (así lo denominó Von Helmholtz), nuestros cerebros suponen que es sumamente improbable que estén presentes varias fuentes sonoras distintas y que cada una produzca un solo componente de la serie armónica. Nuestros cerebros utilizan más bien el «principio de probabilidad» de que tiene que ser un solo objeto el que produzca esos componentes armónicos. Todos nosotros podemos efectuar esas inferencias, incluso los que no son capaces de identificar o nombrar el instrumento «oboe» como distinto de, por ejemplo, un clarinete o un fagot, o incluso un violín. Pero de la misma manera que la gente que no conoce los nombres de las notas de la escala puede pese a ello decir cuándo se están tocando dos

notas diferentes y no las mismas notas, casi todos nosotros (aunque no conozcamos los nombres de los instrumentos musicales) podemos decir cuándo están tocando dos instrumentos distintos. Nuestro modo de utilizar la serie armónica para agrupar sonidos contribuye mucho a explicar por qué oímos una trompeta en vez de los armónicos individuales que inciden en nuestros oídos: se agrupan como las hojas de hierba que nos dan la impresión de «césped». También explica cómo podemos diferenciar una trompeta de un oboe o cuándo tocan cada uno de ellos notas distintas: las diferentes frecuencias fundamentales dan origen a una serie diferente de armónicos y el cerebro es capaz de establecer sin problema qué va con qué, en un proceso de computación que recuerda lo que podría hacer un ordenador. Sin embargo, eso no explica cómo somos capaces de diferenciar una trompeta de un oboe cuando están tocando la misma nota, porque entonces los armónicos tienen casi la misma frecuencia (aunque con las distintas amplitudes características de cada instrumento). Para eso el sistema auditivo se basa en un principio de apariciones simultáneas. Los sonidos que empiezan juntos (en el mismo instante temporal) se perciben como sonidos que van juntos, en el sentido de agrupación. Y desde la época en que Wilhelm Wundt puso en marcha el primer laboratorio psicológico, en la década iniciada en 1870, se sabe que nuestro sistema auditivo es exquisitamente sensible a lo que significa simultáneo en ese sentido, y es capaz de detectar diferencias en los momentos de inicio del sonido tan breves como unos cuantos milisegundos.

Así que cuando una trompeta o un oboe están tocando la misma nota al mismo tiempo, nuestro sistema auditivo es capaz de determinar que están tocando dos instrumentos diferentes, porque el espectro sonoro total (la serie armónica) de un instrumento comienza tal vez unas cuantas milésimas de segundo antes que el espectro sonoro del otro. Esto es lo que se entiende por un proceso de agrupación que no sólo integra sonidos en un objeto único, sino que los segrega en objetos diferentes.

Este principio de comienzos simultáneos puede considerarse de un modo más general como un principio de ubicación temporal. Agrupamos todos los sonidos que está haciendo la orquesta ahora en contraposición a los que hará mañana por la noche. El tiempo es un factor de la agrupación auditiva. El timbre es otro, y eso es lo que hace que resulte tan difícil distinguir un violín

de los otros que están tocando al mismo tiempo, aunque los directores y músicos expertos puedan aprender a hacerlo. La ubicación espacial es un principio de agrupación, pues nuestros oídos tienden a agrupar sonidos que proceden de la misma posición relativa. No somos demasiado sensibles a la ubicación en el plano arriba-abajo, pero somos muy sensibles a ella en el plano izquierda-derecha y algo sensibles a la distancia en el plano adelante y atrás. El sistema auditivo supone que es probable que los sonidos que proceden de un lugar diferenciado del espacio formen parte del mismo objeto del mundo exterior. Ésta es una de las explicaciones de por qué podemos seguir una conversación en una habitación llena de gente con relativa facilidad: el cerebro está utilizando las claves de ubicación espacial de la persona con la que estamos conversando para bloquear otras conversaciones. También ayuda el que la persona con la que estamos hablando tenga un timbre único (el sonido de su voz) que opera como una clave de agrupación adicional.

La amplitud afecta también a la agrupación. Sonidos de una intensidad similar se agrupan juntos, y es así como somos capaces de seguir las diferentes melodías de los divertimentos para instrumentos de viento de Mozart. Los timbres son todos muy similares, pero algunos instrumentos se tocan más fuerte que otros, creando en nuestro cerebro corrientes distintas. Es como si un filtro o cedazo recogiese el sonido del conjunto de los instrumentos de viento y lo diferenciase en partes distintas según la parte de la escala de intensidad en que estuviesen tocando.

La frecuencia, o altura de tono, es una consideración firme y básica en la agrupación. Si has oído alguna vez una partita para flauta de Bach, hay momentos característicos en que algunas notas parecen «estallar» y separarse unas de otras, sobre todo cuando el flautista está tocando un pasaje rápido (el equivalente auditivo de un dibujo de «¿Dónde está Wally?»). Bach conocía la capacidad de las grandes diferencias de frecuencia de segregar los sonidos entre sí (bloquear o inhibir la agrupación) y compuso partes que incluyen grandes saltos de tono de una quinta perfecta o más. Las notas altas alternando con una sucesión de notas de tono más bajo forman una corriente diferenciada y crean en el oyente la ilusión de dos flautas tocando cuando sólo hay una. Sucede lo mismo en muchas de las sonatas de violín de

Locatelli. Los cantores tirolese, los *yodelers*, pueden conseguir el mismo efecto con sus voces combinando tono y claves tímbricas; cuando un cantor tirolés varón salta a su registro de falsete, está haciendo al mismo tiempo un timbre diferenciado y, característicamente, un gran salto de tono, lo que hace que las notas más altas se separen de nuevo en una corriente perceptual diferenciada, creando la ilusión de dos personas que cantan piezas intercaladas.

Sabemos ya que los subsistemas de los diferentes atributos del sonido que he descrito se separan muy pronto, a niveles bajos del cerebro. Esto parece indicar que la agrupación se efectúa a través de mecanismos generales que operan con una cierta independencia unos de otros. Pero está claro también que los atributos trabajan conjuntamente o enfrentados cuando se combinan de determinados modos, y sabemos también que la experiencia y la atención pueden tener una influencia en la agrupación, lo que sugiere que partes del proceso de agrupación se hallan bajo control cognitivo consciente. Aún sigue siendo objeto de debate cómo actúan juntos procesos conscientes e inconscientes (y los mecanismos cerebrales subyacentes a ellos), pero hemos avanzado mucho en su comprensión en los últimos siete años. Hemos llegado finalmente al momento en el que podemos señalar zonas específicas del cerebro que participan en aspectos concretos del procesamiento de la música. Hasta creemos saber qué parte del cerebro hace que prestes atención a las cosas.

¿Cómo se forman los pensamientos? ¿Están «almacenados» los recuerdos en una zona determinada del cerebro? ¿Por qué las canciones se fijan en el pensamiento y no puedes librarte de ellas? ¿Experimenta algún placer enfermizo el cerebro en volverte loco lentamente con estúpidos estribillos publicitarios? Abordo esas y otras cuestiones en los capítulos siguientes.

TRAS EL TELÓN

LA MÚSICA Y LA MÁQUINA MENTAL

Para los científicos cognitivos, la palabra «mente» denomina esa parte de cada uno de nosotros que encarna nuestras ideas, esperanzas, deseos, recuerdos, creencias y experiencias. El cerebro por otra parte es un órgano del cuerpo, una colección de células y agua, sustancias químicas y vasos sanguíneos, que reside en el cráneo. La actividad del cerebro da origen a los contenidos de la mente. Los científicos cognitivos usan a veces la analogía de que el cerebro es como la unidad central de procesamiento, o el hardware, de un ordenador, mientras que la mente es como los programas, o el software, que la hace funcionar. (Ojalá eso fuese literalmente cierto y pudiésemos ir corriendo a comprar una memoria de nivel superior.) Con esencialmente el mismo hardware pueden funcionar programas diferentes: de cerebros muy similares pueden surgir mentes distintas.

La cultura occidental ha heredado una tradición de dualismo de René Descartes, que escribió que la mente y el cerebro son dos cosas completamente distintas. Los dualistas afirman que la mente preexistía antes del nacimiento del individuo, y que el cerebro no es la sede del pensamiento, que sólo es en realidad un instrumento de la mente que ayuda a implementar la voluntad de ésta, a mover músculos y a mantener la homeostasis en el cuerpo. No cabe duda de que la impresión mayoritaria es que la mente es algo único y distintivo, separado de lo que constituye sólo un conjunto de procesos neuroquímicos. Tenemos la sensación de saber cómo es ser yo, cómo es lo de

que yo esté leyendo un libro y cómo es lo de pensar en qué es ser yo. ¿Cómo puedo yo quedar reducido sin más a axones, dendritas y canales iónicos? Da la impresión de que somos algo más.

Pero esa impresión podría ser ilusoria, igual que es indudable que la Tierra no se mueve, que no gira alrededor de su eje a mil seiscientos kilómetros por hora. La mayoría de los científicos y de los filósofos contemporáneos creen que el cerebro y la mente son dos partes de la misma cosa, y algunos creen que la distinción en sí es errónea. El punto de vista predominante hoy es que la suma total de tus pensamientos, creencias y experiencias está representada en pautas de activaciones (actividad electroquímica) en el cerebro. Si el cerebro deja de funcionar, la mente desaparece, pero el cerebro aún puede existir, sin pensamiento, en un recipiente del laboratorio de alguien.

Los descubrimientos neuropsicológicos de especificidad regional de función son pruebas de esta idea. A veces, como consecuencia de un ataque (un bloqueo de vasos sanguíneos en el cerebro que conduce a la muerte celular), tumores, lesiones en la cabeza u otros traumas, una zona del cerebro resulta dañada. En muchos de esos casos, los daños en una región específica del cerebro provocan la pérdida de una función corporal o mental determinada. Cuando docenas o centenares de casos muestran pérdida de una función específica asociada con una región cerebral concreta, deducimos que esa región cerebral participa de algún modo en esa función o es quizá responsable de ella.

Después de un siglo de investigaciones neuropsicológicas de este tipo hemos podido elaborar mapas de áreas de función del cerebro, y localizar operaciones cognitivas determinadas. La visión predominante del cerebro es que constituye un sistema computacional, y concebimos el cerebro como un tipo de ordenador. Redes de neuronas interconectadas efectúan computaciones sobre la información y la combinan de formas que originan pensamientos, decisiones, percepciones y en último término conciencia. Hay diferentes subsistemas que son responsables de diferentes aspectos de la cognición. La lesión en una zona del cerebro situada justo encima y detrás del oído izquierdo (área de Wernicke) provoca dificultades en la comprensión del lenguaje hablado; una lesión en una zona de la parte más alta de la cabeza (el

córtex motriz) provoca dificultades para mover los dedos; el daño en una zona del centro del cerebro (el complejo hipocámpico) puede bloquear la capacidad para formar nuevos recuerdos dejando intactos sin embargo los viejos. El daño en un área situada justo detrás de la frente puede provocar cambios espectaculares de personalidad, y causan la pérdida de ciertos rasgos. Esa localización de las funciones mentales es un sólido argumento científico en favor de la participación del cerebro en el pensamiento, y de la tesis de que los pensamientos proceden del cerebro.

Sabemos desde 1848 (y el caso médico de Phineas Gage) que los lóbulos frontales están íntimamente relacionados con aspectos del yo y de la personalidad. Pero, incluso ciento cincuenta años después, casi todo lo que podemos decir sobre la personalidad y las estructuras neurológicas es vago y general. No hemos localizado la región del cerebro de la «paciencia» ni las regiones de la «envidia» ni de la «generosidad», y parece improbable que lleguemos a hacerlo alguna vez. El cerebro tiene una diferenciación regional de estructura y de función, pero es indudable que los atributos complejos de la personalidad están ampliamente distribuidos en él.

El cerebro humano está dividido en cuatro lóbulos (el frontal, el temporal, el parietal y el occipital) además del cerebelo. Podemos hacer algunas toscas generalizaciones sobre función, pero en realidad la conducta es compleja y no se puede reducir fácilmente a simples cartografías. El lóbulo frontal está relacionado con la planificación y con el autocontrol, y con extraer sentido de las densas y entremezcladas señales que reciben nuestros sentidos: la llamada «organización perceptiva» que estudiaron los psicólogos de la Gestalt. El lóbulo temporal está asociado con la audición y la memoria. El lóbulo parietal lo está con los movimientos motrices y la habilidad espacial, y el lóbulo occipital con la visión. El cerebelo participa en las emociones y en la planificación de los movimientos y es la parte más antigua de nuestro cerebro desde el punto de vista evolutivo; hasta muchos animales, como los reptiles, que carecen de la región cerebral «superior» del córtex, tienen pese a ello un cerebelo. La separación quirúrgica de una porción del lóbulo frontal, el córtex prefrontal, del tálamo es lo que se llama una lobotomía. Así que cuando los Ramones cantan «Now I guess I'll have to tell 'em/That I got no cerebellum» [Supongo que ahora tendré que decirles/Que no tengo cerebelo] en su canción

«Teenage Lobotomy» (letra y música de Douglas Colvin, John Cummings, Thomas Erdely y Jeffrey Hyman) no están siendo anatómicamente exactos, pero en aras de la licencia artística, y por el hecho de que crearon uno de los grandes poemas de la música rock, es difícil reprochárselo.

La actividad musical implica casi todas las regiones del cerebro sobre las que tenemos conocimientos, y casi todo el subsistema neurológico. Diferentes regiones neurológicas manejan los diferentes aspectos de la música. El cerebro utiliza la segregación funcional para su procesamiento y emplea un sistema de detectores de rasgos cuya tarea consiste en analizar aspectos específicos de la señal musical, como el tono, el tempo, el timbre, etc. Parte del procesamiento de la música tiene puntos en común con las operaciones necesarias para analizar otros sonidos; la comprensión del lenguaje, por ejemplo, exige que segmentemos un chaparrón de sonidos en palabras, oraciones y frases, y que seamos capaces de entender aspectos que van más allá de las palabras, como el sarcasmo (¿no resulta eso interesante?). Para formarnos una representación coherente de lo que estamos escuchando deben analizarse varias dimensiones diferentes de un sonido musical (proceso en el cual suelen participar varios mecanismos neurológicos semiindependientes) que luego han de unirse.

Escuchar música es un proceso que empieza con estructuras subcorticales (situadas por debajo del córtex): los núcleos cocleares, el tronco cerebral, el cerebelo. Luego asciende al córtex auditivo de ambos lados del cerebro. Intentar seguir música que conoces (o al menos música en un estilo con el que estés familiarizado, como la barroca o el blues) recluta regiones adicionales del cerebro, entre las que se incluyen el hipocampo (nuestro centro de la memoria) y subsecciones del lóbulo frontal, en especial una región llamada córtex frontal inferior, que está en las zonas más bajas del lóbulo frontal, es decir, más cerca de la barbilla que de la cúspide de la cabeza. Zapatear al compás de la música, físicamente o sólo con el pensamiento, exige la participación de circuitos cronometradores del cerebelo. Interpretar música (de forma independiente de qué instrumento toques, o si cantas o diriges) exige de nuevo la participación de los lóbulos frontales para la planificación de la conducta, así como del córtex motriz del lóbulo parietal justo debajo de la cúspide de la cabeza, y del córtex sensorial,

que proporciona la retroalimentación táctil que te indica que has presionado la tecla correcta de tu instrumento o movido la batuta como pensaste que lo hacías. Leer música exige la participación del córtex visual, situado en la parte de atrás de la cabeza, en el lóbulo occipital. Escuchar o recordar letras invoca centros del lenguaje, que incluyen el área de Broca y la de Wernicke, así como otros centros del lenguaje de los lóbulos temporal y frontal.

A un nivel más profundo, las emociones que experimentamos como reacción a la música afectan a estructuras profundas de las regiones reptiles primitivas del vermis cerebral y de la amígdala: el corazón del procesamiento emotivo en el córtex. La idea de especificidad regional es evidente en este resumen, pero se aplica también un principio complementario, el de distribución de la función. El cerebro es un instrumento enormemente paralelo, en el que las operaciones se distribuyen de manera amplia. No hay ningún centro único del lenguaje, ni hay tampoco un centro único de la música. Hay más bien regiones que realizan operaciones parciales y otras regiones que coordinan la agrupación de esa información. Por último, no hemos descubierto hasta hace muy poco que el cerebro tiene una capacidad de reorganización muy superior a la que antes le atribuíamos. Esta capacidad se denomina neuroplasticidad, y en algunos casos parece indicar que la especificidad regional puede ser temporal, pues los centros de procesamiento de funciones mentales importantes se desplazan en realidad a otras regiones después de un trauma o una lesión cerebral.

Es difícil apreciar la complejidad del cerebro, porque los números son tan inmensos que sobrepasan con mucho nuestra experiencia cotidiana (a menos que seas un cosmólogo). El cerebro medio está formado por cien mil millones de neuronas. Supongamos que cada neurona es un dólar y estuvieses plantado en la esquina de una calle intentando entregar dólares a la gente que pasase con la máxima rapidez, digamos que al ritmo de un dólar por segundo. Si hicieses eso 24 horas al día, 365 días al año, sin parar, y si hubieses empezado el día en que nació Jesús, habrías distribuido hasta hoy sólo unos dos tercios de tu dinero. Incluso en el caso de que dieses billetes de cien dólares al ritmo de uno por segundo, tardarías treinta y dos años en entregarlos todos. Eso es un montón de neuronas, pero el poder real y la

complejidad del cerebro (y del pensamiento) proceden de sus conexiones.

Cada neurona está conectada a otras neuronas, normalmente a entre mil y diez mil más. Sólo cuatro neuronas pueden estar conectadas de 63 modos, o no estar conectadas en absoluto, de un total de 64 posibilidades. Al aumentar el número de neuronas, el número de conexiones posibles crece de forma exponencial (la fórmula de cómo n neuronas pueden estar conectadas entre sí es $2^{(n*(n-1)/2)}$):

Para 2 neuronas hay 2 posibilidades de cómo pueden estar conectadas

Para 3 neuronas hay 8 posibilidades

Para 4 neuronas hay 64 posibilidades

Para 5 neuronas hay 1.024 posibilidades

Para 6 neuronas hay 32.768 posibilidades

El número de combinaciones se hace tan grande que es improbable que lleguemos a entender nunca todas las conexiones posibles que hay en el cerebro, o lo que significan. El número de combinaciones posibles (y por tanto el número de pensamientos diferentes posibles o estados cerebrales que cada uno de nosotros puede tener) es superior al número de partículas conocidas de todo el universo conocido.

Asimismo, podemos ver que todas las canciones que hemos oído a lo largo de la vida (y todas las que se lleguen a crear) podrían estar compuestas de sólo doce notas musicales (ignorando las octavas). Cada nota puede conducir a otra nota, o a sí misma, o a un silencio, y eso plantea doce posibilidades. Pero cada una de esas posibilidades plantea doce más. Cuando incorporas ritmo (cada nota puede adoptar una cualquiera de muchas diferentes longitudes de nota) el número de posibilidades crece rápida, muy rápidamente.

Gran parte de la capacidad de procesamiento del cerebro procede de esta enorme posibilidad de interconexión, y gran parte de ella deriva del hecho de que los cerebros son máquinas de procesamiento paralelo, en vez de procesamiento en serie. Un procesador en serie es como una línea de montaje, que maneja cada pieza de información cuando llega a la cinta de transmisión mental, efectuando alguna operación en ella y haciéndola

continuar luego por la línea para la operación siguiente. Los ordenadores trabajan así. Pídele a un ordenador que descargue una canción de una página de la red, que te diga el tiempo que hace en tu ciudad, que guarde un archivo en el que has estado trabajando y hará las tres cosas una detrás de otra; las hace tan deprisa que puede dar la impresión de que las está haciendo al mismo tiempo (en paralelo) pero no es así. El cerebro, por su parte, puede trabajar en muchas cosas al mismo tiempo, superpuestas y en paralelo. Nuestro sistema auditivo procesa el sonido de modo que no tiene que esperar a saber cuál es el tono de un sonido para saber de dónde viene. Y los circuitos neurológicos dedicados a estas dos operaciones están intentando transmitir respuestas al mismo tiempo. Si un circuito neurológico termina su tarea antes que otro, envía simplemente su información a otras regiones cerebrales conectadas y ellas pueden empezar a utilizarlo. Si llega con retraso información que afecta a una interpretación de lo que estamos oyendo, procedente de un circuito de procesamiento separado, el cerebro puede «cambiar de idea» y poner al día lo que cree que pasa ahí fuera. Nuestros cerebros están actualizando constantemente sus opiniones centenares de veces por segundo (sobre todo las relacionadas con la percepción de estímulos visuales y auditivos), sin que nos demos cuenta siquiera.

He aquí una analogía para explicar cómo se conectan entre sí las neuronas. Imagínate que estás sentado en casa solo un domingo por la mañana. No sientes nada en concreto, no te sientes particularmente feliz ni triste, ni enfadado, excitado, celoso o tenso. Te sientes más o menos neutro. Tienes un puñado de amigos, una red, y puedes llamar a cualquiera por teléfono. Digamos que cada uno de tus amigos es unidimensional y que pueden ejercer una gran influencia en tu estado de ánimo. Sabes, por ejemplo, que si telefoneas a tu amiga Hannah te hará sentirte alegre. Siempre que hablas con Sam te entristeces, porque los dos teníais un tercer amigo que murió y Sam te recuerda eso. Hablar con Carla te hace sentirte tranquilo y sereno, porque tiene una voz suave y te acuerdas de las veces que te sentaste en un bello claro del bosque con ella, empapándote de sol y meditando. Hablar con Edward te da energía; hablar con Tammy te hace sentirte tenso. Puedes descolgar el teléfono y conectarte con cualquiera de esos amigos y provocar una emoción determinada.

Podrías tener cientos o miles de esos amigos unidimensionales, capaces cada uno de ellos de evocar un recuerdo concreto, o una experiencia o un estado de ánimo. Ésas son tus conexiones. Acceder a ellas provoca en ti un cambio de humor o de estado. Si hablastes con Hannah y Sam al mismo tiempo, o uno después de otro, ella te alegraría, Sam te entristecería, y al final volverías a donde estabas, a un estado neutro. Pero podemos añadir un matiz adicional, que es el peso o poder de influencia de esas conexiones: lo próximo que te sientes a un individuo en un punto determinado del tiempo. Ese peso determina la influencia que tendrá sobre ti esa persona. Si te sientes el doble de próximo a Hannah de lo que te sientes a Sam, hablar con Hannah y con Sam una cantidad de tiempo igual te alegrará, aunque no tanto como si hubieses hablado sólo con Hannah: la tristeza de Sam te entristece, pero sólo te priva de la mitad de la alegría que te procuró hablar con Hannah.

Consideremos que todas estas personas pueden hablar entre ellas, y que al hacerlo pueden modificarse sus estados de ánimo en un cierto grado. Aunque tu amiga Hannah tiene un carácter alegre, su alegría puede quedar atenuada por una conversación que tiene con Sam el triste. Si llamas por teléfono a Edward el estimulante inmediatamente después de hablar con Tammy el tenso (que acaba de hablar por teléfono con Justine la envidiosa), Edward puede hacerte sentir una nueva mezcla de emociones que no habías experimentado nunca, una especie de envidia tensa porque tienes un montón de energía para salir y hacer algo al respecto. Y cualquiera de esos amigos podría llamarte por teléfono en cualquier momento, evocando en ti esos estados como una compleja cadena de sentimientos o experiencias que hiciese el recorrido, influyendo cada uno en el otro, y tú, por tu parte, dejando en ellos tu huella emotiva. Con miles de amigos interconectados de este modo, y un puñado de teléfonos en el salón de tu casa sonando sin parar durante todo el día, el número de estados emotivos que podrías experimentar sería realmente muy variado.

Se considera en general que nuestros pensamientos y recuerdos surgen de la miríada de conexiones de este tipo que establecen nuestras neuronas. No obstante, no todas las neuronas son igual de activas en un momento determinado. Eso provocaría una cacofonía de imágenes y sensaciones en nuestra cabeza (eso es lo que sucede en realidad en la epilepsia). Ciertos

grupos de neuronas (podemos llamarlas redes) se activan durante ciertas actividades cognitivas, y pueden activar a su vez a otras neuronas. Cuando me doy un golpe en un dedo del pie, los receptores sensoriales del dedo envían señales al córtex sensorial del cerebro. Esto pone en marcha una cadena de activaciones neuronales que me hacen experimentar dolor, retirar el pie del objeto contra el que me he dado el golpe y abrir la boca sin querer y gritar «¡&%@!».

Cuando oigo la bocina de un coche, moléculas de aire que inciden en mi tímpano hacen que se envíen señales eléctricas al córtex auditivo. Esto provoca una cascada de acontecimientos que recluta a un grupo muy distinto de neuronas de las del golpe del dedo del pie. Primero, neuronas del córtex auditivo procesan el tono del sonido para que yo pueda distinguir la bocina de un coche de algo con un tono diferente, como por ejemplo la bocina neumática de un camión o las de los partidos de fútbol. Para localizar la ubicación de la que llega el sonido se activa un grupo diferente de neuronas. Estos y otros procesos invocan una relación de orientación visual: me vuelvo hacia el sonido para ver qué lo produjo, e instantáneamente, si es necesario, retrocedo de un salto (el resultado de la actividad de las neuronas en el córtex motriz, orquestado con neuronas del centro emotivo, la amígdala, diciéndome que el peligro es inminente).

Cuando oigo el Concierto de Piano número 3 de Rachmaninoff, las células capilares de mi cóclea clasifican el sonido que llega en bandas de frecuencia diferentes y envían señales eléctricas a mi córtex auditivo primario (área A1) que le indican qué frecuencias están presentes en la señal. Regiones adicionales del lóbulo temporal, incluidos el sulcus temporal superior y el gyrus temporal superior, situados a ambos lados del cerebro, ayudan a diferenciar los distintos timbres que estoy oyendo. Si quiero etiquetar esos timbres, el hipocampo ayuda a recuperar el recuerdo de sonidos similares que he oído antes, y luego necesitaré acceder a mi diccionario mental, lo que exigirá la utilización de estructuras que se hallan en la confluencia de los lóbulos temporal, occipital y parietal. Hasta ahora, estas regiones son las mismas, aunque activadas de formas diferentes y con poblaciones de neuronas diferentes, de las que utilizaría para procesar el sonido de la bocina del coche. Sin embargo, se activarán nuevas poblaciones completas de

neuronas cuando atiende a las secuencias tonales (córtex prefrontal dorsolateral y áreas 44 y 47 de Brodmann), los ritmos (el cerebelo lateral y el vermis cerebelar) y a la emoción (los lóbulos frontales, el cerebelo, la amígdala y el núcleo accumbens, parte de una red de estructuras implicadas en los sentimientos de placer y recompensa, ya sea a través de la comida, las relaciones sexuales o la audición de música placentera).

En cierta medida, si la habitación está vibrando con los sonidos profundos del contrabajo, algunas de esas mismas neuronas que se activaron cuando me di un golpe en el dedo del pie pueden activarse ahora: neuronas sensibles al aporte sónico. Si la bocina del coche tiene un tono de A440, se activarán las neuronas con esa frecuencia; lo más probable es que lo hagan y que vuelvan a hacerlo cuando se produzca un A440 en Rachmaninoff. Pero es probable que mi experiencia mental interior sea distinta debido a los diferentes contextos implicados y a las redes neuronales distintas que se reclutan en los dos casos.

Mi experiencia con oboes y violines es diferente, y la forma particular con que hace uso de ellos Rachmaninoff puede provocar en mí una reacción a su concierto opuesta a la provocada por la bocina del coche; en vez de sentirme sobresaltado, me siento relajado. Las partes tranquilas del concierto podrían activar las mismas neuronas que se activan cuando me siento tranquilo y seguro en mi entorno.

He aprendido por la experiencia a asociar las bocinas de coches con el peligro, o al menos con alguien que intenta llamar mi atención. ¿Cómo sucedió esto? Algunos sonidos son intrínsecamente calmantes mientras que otros asustan. Aunque hay mucha variación interpersonal, nacemos con una predisposición a interpretar sonidos de una forma concreta. Los sonidos fuertes, breves y bruscos tienden a ser interpretados por los animales como sonidos de alerta; vemos esto cuando comparamos las llamadas de alerta de aves, roedores y monos. Los sonidos de comienzo lento, largos y más sosegados tienden a interpretarse como tranquilizadores o por lo menos neutrales. Piensa en el sonido agudo del ladrido de un perro, frente al ronroneo suave de un gato que está pacíficamente sentado en tu regazo. Los compositores saben esto, claro, y utilizan cientos de matices sutiles de timbre y longitud de nota para transmitir los muchos matices emotivos distintos de la experiencia humana.

En la «Sinfonía Sorpresa» de Haydn (Sinfonía 94 en Sol Mayor, segundo movimiento, andante), el compositor crea el suspense utilizando violines suaves en el tema principal. La suavidad del sonido es acariciadora, pero la brevedad del acompañamiento de pizzicato envía un mensaje leve y contradictorio de peligro y juntos dan una ligera sensación de suspense. La idea melódica principal abarca poco más de media octava, una quinta perfecta. El contorno melódico sugiere más complacencia..., la melodía sube primero, luego baja, luego repite el motivo de «subida». El paralelismo que implica la melodía, la subida/bajada/subida, prepara al oyente para otra parte de «bajada». El maestro, continuando con las notas breves y suaves de violín, cambia la melodía subiendo (sólo un poco) pero mantiene constantes los ritmos. Descansa en la quinta, un tono de relativa estabilidad armónica. Como la quinta es la nota más alta que hemos encontrado hasta ahora, esperamos que cuando llegue la nota siguiente sea más baja, que empiece con la vuelta hacia la raíz (la tónica) y «cierre el vacío» creado por la distancia entre la tónica y la nota presente, la quinta. Luego Haydn nos envía de la nada una nota fuerte una octava más alta, con los timbales y los cuernos metálicos llevando el sonido. Ha violado nuestras expectativas respecto a la dirección melódica, el contorno, el timbre y la intensidad, todo al mismo tiempo. Esa es la «Sorpresa» de la «Sinfonía Sorpresa».

Esta sinfonía de Haydn viola nuestras expectativas de cómo funciona el mundo. Hasta a alguien sin ningún conocimiento musical ni expectativas musicales de ningún tipo le resulta sorprendente la sinfonía debido a ese efecto tímbrico, con ese cambio del ronroneo suave de los violines a la llamada de alerta de cuernos y timbales. Para alguien con una formación musical, la sinfonía viola expectativas que han ido creándose sobre la base del estilo y la convención musical. ¿En qué zona del cerebro se producen sorpresas, expectativas y análisis de este tipo? Aún no se ha aclarado del todo cómo se realizan exactamente estas operaciones en las neuronas, pero tenemos algunas claves.

Antes de seguir, tengo que confesar que no soy imparcial en mi forma de enfocar el estudio científico de mente y cerebro: tengo una preferencia clara por el estudio de la mente frente al del cerebro. Parte de esa preferencia es

personal más que profesional. De niño no coleccionaba mariposas con el resto de mi clase de ciencias porque la vida (toda vida) me parece sagrada. Y la dura realidad sobre la investigación cerebral a lo largo del último siglo es que entraña generalmente hurgar en los cerebros de animales vivos, a menudo nuestros primos genéticos próximos, monos y simios, y luego matar (ellos lo llaman «sacrificar») al animal. Trabajé durante un desdichado semestre en un laboratorio de monos, diseccionando cerebros de animales muertos para prepararlos para el examen microscópico. Tenía que pasar todos los días al lado de las jaulas de los que aún estaban vivos. Tenía pesadillas.

Por otro lado, me han fascinado siempre más los pensamientos en sí que las neuronas en las que se originan. Una teoría de la ciencia cognitiva llamada funcionalismo (que apoyan muchos investigadores sobresalientes) afirma que pueden surgir de cerebros completamente distintos mentes similares, que los cerebros son sólo la colección de cables y módulos de procesamiento que instan al pensamiento. La doctrina funcionalista, sea cierta o no, indica que lo que podemos saber sobre el pensamiento estudiando sólo cerebros tiene sus límites. Un neurocirujano le explicó una vez a Daniel Dennett (destacado y persuasivo portavoz del funcionalismo) que había operado a cientos de personas y había visto cientos de cerebros vivos y pensantes, pero nunca había visto un pensamiento.

Cuando yo estaba intentando decidir a qué escuela graduada incorporarme, y a quién quería tener como mentor, me enamoré de la obra del profesor Michael Posner. Había sido el introductor de una serie de formas de enfocar los procesos mentales, entre ellas la cronometría mental (la idea de que se puede aprender mucho sobre la organización de la mente determinando cuánto tarda en pensar determinados pensamientos), de formas de investigar la estructura de categorías y del famoso paradigma de Posner, un novedoso método para estudiar la atención. Pero corrían rumores de que Posner estaba abandonando la mente y había empezado a estudiar el cerebro, algo que desde luego yo no quería hacer.

Aunque era aún un estudiante de grado (pese a ser algo más viejo de lo normal), asistí a la reunión anual de la Asociación Psicológica Americana, que se celebró en San Francisco ese año, a sólo unos setenta kilómetros de Stanford, donde yo estaba terminando la carrera. Vi el nombre de Posner en

el programa y asistí a su charla, donde expuso numerosas diapositivas de cerebros de individuos mientras estaban haciendo una cosa y otra. Una vez terminada la charla Posner respondió a unas cuantas preguntas y luego desapareció por una puerta trasera. Yo corrí a la parte de atrás y vi que caminaba a toda prisa cruzando el centro de conferencias para dar otra charla. Me lancé tras él y lo alcancé. ¡Debí de parecerle todo un espectáculo! Estaba sin aliento por la carrera. Incluso sin el jadeo, estaba nervioso por el acontecimiento de poder hablar con una de las grandes leyendas de la psicología cognitiva. Había leído su manual en mi primera clase de psicología en el MIT (donde inicié mis estudios antes de trasladarme a Stanford); mi primera profesora de psicología, Susan Carey, hablaba de él con un tono de voz que sólo podía describirse como reverencial. Aún puedo recordar el eco de sus palabras, reverberando en el salón de conferencias del MIT: «Michael Posner, una de las personas más inteligentes y más innovadoras que he conocido en mi vida».

Empecé a sudar, abrí la boca, y... nada. «Mmmm...», balbucí. Íbamos caminando entre tanto uno al lado del otro a toda prisa (él camina rápido) y cada dos o tres pasos yo me quedaba de nuevo atrás. Tartamudeé una presentación y dije que había solicitado el ingreso en la Universidad de Oregón para trabajar con él. Yo nunca había tartamudeado antes, pero tampoco había estado nunca tan nervioso. «P-p-p-profesor P-p-posner, he oído que ha pasado usted a centrar su investigación completamente en el ce-ce-cerebro..., ¿es verdad? Porque yo quiero realmente estudiar psicología cognitiva con usted», le expliqué por fin.

«Bueno, estoy un poco interesado en el cerebro últimamente —dijo—. Pero para mí la neurociencia cognitiva es un medio de establecer los límites de nuestras teorías de psicología cognitiva. Nos ayuda a comprobar si un modelo tiene una base plausible en la anatomía subyacente.»

Mucha gente llega a la neurociencia con una formación en biología o química, y lo que más les interesa son los mecanismos por los que las células se comunican entre sí. Para el neurocientífico cognitivo, comprender la anatomía o la fisiología del cerebro puede ser un reto como ejercicio intelectual (el equivalente para los científicos del cerebro de un crucigrama realmente complicado), pero no es el objetivo final de su trabajo. Nuestro

objetivo es entender los procesos mentales, los recuerdos, las emociones y las experiencias, y el cerebro da simplemente la casualidad de que es la caja en la que sucede todo eso. Volviendo a la analogía del teléfono y las conversaciones que podrías tener con diferentes amigos que influyesen en tus emociones: si quiero predecir cómo te vas a sentir mañana, tendrá para mí sólo un valor limitado cartografiar la distribución de las líneas telefónicas que conectan a todas las personas que conoces. Es más importante conocer sus tendencias individuales: ¿quiénes es probable que te llamen mañana y qué es lo que probablemente te dirán? ¿Cómo pueden hacerte sentir? Sería también un error, claro, pasar por alto del todo el tema de la conectividad. Si se rompe una línea, o si no hay prueba alguna de una conexión entre la persona A y la persona B, o si la persona C no puede llamar directamente pero puede influir en ti a través de A que sí puede llamarte directamente..., toda esa información facilita precisiones importantes para una predicción.

Esa perspectiva influye en mi forma de estudiar la neurociencia cognitiva de la música. No me interesa embarcarme en una expedición de pesca consistente en probar todos los estímulos musicales posibles para descubrir en qué parte del cerebro se producen; Posner y yo hemos hablado muchas veces sobre el loco y apresurado afán actual de cartografiar el cerebro, similar a tanta otra cartografía atórica. Lo que yo pretendo no es elaborar un mapa del cerebro, sino entender cómo funciona, cómo las diferentes regiones coordinan juntas su actividad, cómo la simple activación de neuronas y la circulación de neurotransmisores conduce a pensamientos, risa, sentimientos de profunda alegría y tristeza, y cómo todas esas cosas pueden llevarnos, a su vez, a crear obras de arte perdurables y significativas. Ésas son las funciones de la mente, y saber dónde se producen no me interesa a menos que el dónde pueda decirnos algo sobre el cómo y el porqué. Un supuesto de la neurociencia cognitiva es que puede.

Mi perspectiva es que, del infinito número de experimentos posibles, los que merecen la pena son aquellos que pueden conducirnos a un mejor entendimiento del cómo y el porqué. Un buen experimento tiene que tener una motivación teórica, y aclarar predicciones respecto a cuál de dos o más hipótesis opuestas se verá respaldada. No merece la pena hacer un experimento que sea probable que respalde dos hipótesis contrapuestas; la

ciencia sólo puede avanzar a través de la eliminación de hipótesis falsas o insostenibles.

Otra cualidad de un buen experimento es que pueda generalizarse en otras condiciones: gente sin formación musical, tipos de música no estudiados y una variedad de situaciones. Mucha de la investigación conductual se realiza sólo con un pequeño número de individuos («sujetos» del experimento), y con estímulos muy artificiales. En mi laboratorio utilizamos músicos y también personas que no son músicos siempre que es posible, con el fin de aprender sobre el rango más amplio posible de individuos. Y casi siempre utilizamos música del mundo real, grabaciones concretas de músicos reales tocando canciones reales, de modo que podamos entender mejor las reacciones del cerebro ante el tipo de música que escucha la mayoría de la gente, en vez del tipo de música que sólo se encuentra en el laboratorio neurocientífico. Hasta ahora este enfoque ha resultado eficaz. Es más difícil aportar controles experimentales rigurosos con él, pero no es imposible; exige un poco más de planificación y de preparación cuidadosa, pero los resultados hacen que merezca la pena a la larga. Utilizando este enfoque naturalista, yo puedo afirmar con una certeza científica razonable que estamos estudiando el cerebro haciendo lo que normalmente hace, en vez de lo que hace cuando le asaltan ritmos sin ningún tono o melodías sin ningún ritmo. Al intentar descomponer la música en sus componentes, corremos el riesgo (si no se hacen de forma adecuada los experimentos) de crear secuencias sonoras que son muy antimusicales.

Cuando digo que estoy menos interesado en el cerebro que en la mente, no quiero decir que no me interese nada el cerebro. ¡Creo que todos tenemos cerebro y creo que los cerebros son importantes! Pero también creo que pueden surgir pensamientos similares de arquitecturas cerebrales distintas. Puedo ver, estableciendo una analogía, el mismo programa de televisión en un RCA, un Zenith, un Mitsubishi, y hasta en la pantalla de mi ordenador con el software y el hardware adecuados. Las arquitecturas de todos estos aparatos son lo bastante distintas entre sí como para que la oficina de patentes (una organización que tiene la responsabilidad de decidir cuándo algo es lo suficientemente distinto de otra cosa como para que constituya un invento) haya emitido patentes distintas para estas diferentes empresas, declarando que

las arquitecturas subyacentes son significativamente distintas. Mi perro *Shadow* tiene una organización cerebral, una anatomía y una composición neuroquímica muy diferente de la mía. Cuando tiene hambre o le duele una pata, es improbable que la pauta de activaciones nerviosas de su cerebro tenga mucha similitud con la pauta de activaciones del mío cuando tengo hambre o cuando me hago daño en un pie. Pero creo que experimenta estados de ánimo en esencia similares.

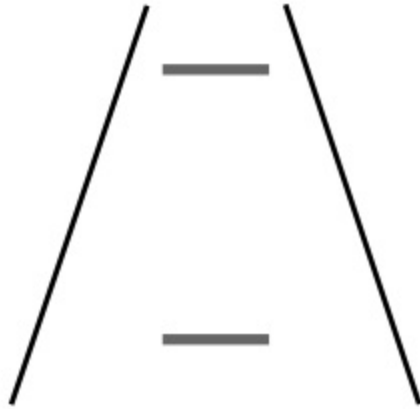
Hay que dejar a un lado ciertas concepciones erróneas e ilusiones frecuentes. Hay mucha gente, incluso científicos con formación y experiencia en otras disciplinas, que está convencida de que dentro del cerebro hay una representación rigurosamente isomórfica del mundo que nos rodea. («Isomórfica» viene de la palabra griega *iso*, que significa «igual», y *morfus*, que significa «forma».) Los psicólogos de la Gestalt, que tenían razón en muchas cosas, fueron unos de los primeros que formularon esta idea. Si miras un cuadrado, afirmaban, se activa en tu cerebro una pauta de forma cuadrada de neuronas. Muchos estamos convencidos de que si estamos mirando un árbol, la imagen del árbol se representa de algún modo en el cerebro como un árbol, y que tal vez ver el árbol activa un conjunto de neuronas en forma de árbol, con raíces en un extremo y hojas en el otro. Cuando escuchamos o imaginamos una de nuestras canciones favoritas, parece como si la estuviésemos oyendo dentro de la cabeza, a través de un equipo de altavoces neurológicos.

Daniel Dennett y V. S. Ramachandran han expuesto con elocuencia lo problemática que es esta intuición. Si una imagen mental de algo (en el momento en que la vemos o cuando la imaginamos en la memoria) es en sí misma una imagen, tiene que haber alguna parte de nuestra mente/cerebro que vea esa imagen. Dennett habla sobre la intuición de que se forman escenas visuales en algún tipo de pantalla o teatro de nuestra mente. Para que esto sea cierto, tendrá que haber alguien en el patio de butacas de ese teatro mirando la pantalla, y manteniendo una imagen mental dentro de su cabeza. ¿Y quién sería ése? ¿Cómo sería esa imagen mental? Esto nos conduce rápidamente a una regresión infinita. Es aplicable el mismo argumento a los fenómenos auditivos. Nadie dice que no se tenga la sensación de que hay dentro de nuestra mente un sistema de audio. El hecho de que podamos

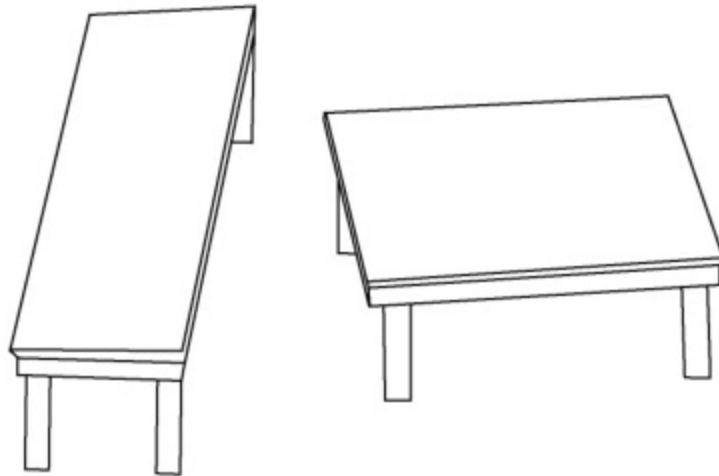
manipular imágenes mentales (podemos acercarnos rápidamente a ellas, girarlas, en el caso de la música podemos acelerar o aminorar la canción dentro de la cabeza) nos induce a pensar que hay un teatro doméstico en la mente. Pero como es lógico, eso no puede ser verdad debido al problema de la regresión *ad infinitum*.

Somos también víctimas de la ilusión de que abrimos simplemente los ojos y... vemos. Un pájaro gorjea fuera al otro lado de la ventana y de forma instantánea lo oímos. La percepción sensorial crea imágenes en nuestra mente (representaciones del mundo exterior) tan deprisa y tan de una pieza que parece que no hay nada más en el asunto. Se trata de una ilusión. Nuestras percepciones son el producto final de una larga cadena de fenómenos neuronales que nos dan la falsa impresión de una imagen instantánea. Hay campos en los que nuestras intuiciones más fuertes nos engañan. La Tierra plana es un ejemplo. La intuición de que nuestros sentidos nos dan una visión no distorsionada del mundo es otra.

Se sabe como mínimo desde la época de Aristóteles que nuestros sentidos pueden deformar el modo que tenemos de percibir el mundo. Mi profesor Roger Shepard, un psicólogo de la percepción de la Universidad de Stanford, solía decir que hemos de dar por supuesto que nuestro sistema perceptivo, cuando funciona adecuadamente, distorsiona el mundo que vemos y oímos. Interactuamos con el mundo que nos rodea a través de los sentidos. Como indicó John Locke, todo lo que sabemos sobre el mundo es a través de lo que vemos, oímos, olemos, tocamos o gustamos. Suponemos como es natural que el mundo es justo como percibimos que es. Pero los experimentos nos han obligado a afrontar la realidad de que no es así. Las ilusiones visuales tal vez sean la prueba más convincente de la distorsión sensorial. Muchos hemos visto ilusiones de ese tipo de niños, como cuando dos líneas de la misma longitud parecen tener longitudes distintas (la ilusión de Ponzo).

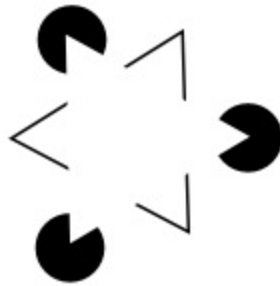


Roger Shepard dibujó una ilusión visual que él llama «Girar las Mesas» que tiene relación con la de Ponzo. Es difícil de creer, pero los tableros de esas mesas son idénticos en tamaño y en forma (puedes comprobarlo cortando un trozo de papel o de celofán del tamaño exacto de uno y colocándolo luego sobre el otro). Esta ilusión explota un principio de los mecanismos de percepción de la profundidad de nuestro sistema visual. Ni siquiera saber que es una ilusión nos permite desconectar el mecanismo. Por muchas veces que miremos esta figura, sigue sorprendiéndonos, porque nuestro cerebro nos está dando en realidad una información falsa sobre los objetos.



En la ilusión de Kaniza parece que hay un triángulo blanco colocado encima de uno de contorno negro. Pero si miras detenidamente, verás que no hay en la figura ningún triángulo. Nuestro sistema perceptivo completa o «llena»

información que no hay.



¿Por qué lo hace? Lo que nos parece más probable es que fue evolutivamente adaptativo hacerlo así. En gran parte de lo que vemos y oímos falta información. Nuestros ancestros cazadores-recolectores podrían haber visto un tigre parcialmente oculto por los árboles, u oído el rugido de un león amortiguado en parte por el susurro de las hojas mucho más cerca de nosotros. Sonidos e imágenes nos llegan a menudo como información parcial oscurecida por otras cosas del entorno. Un sistema perceptivo capaz de restaurar información que falta nos ayudaría a tomar decisiones rápidas en situaciones peligrosas. Mejor echar a correr en ese instante que esperar para intentar determinar si esos dos fragmentos independientes y bruscos de sonido son parte de un solo rugido de león.

El sistema auditivo tiene su propia versión de ese mecanismo perceptivo de completar. El psicólogo cognitivo Richard Warren lo demostró particularmente bien. Grabó una frase: «El proyecto de ley se aprobó en ambas cámaras legislativas», y cortó un trozo de la frase de la cinta. Sustituyó la parte cortada por una ráfaga de ruidos parásitos de la misma duración. Casi todos los que oyeron la grabación alterada pudieron informar de que habían oído la frase y además los ruidos parásitos. ¡Pero una gran proporción de ellos no pudieron decir dónde estaban los parásitos! El sistema auditivo había rellenado la información oral que faltaba, de modo que la frase parecía no estar interrumpida. La mayoría informaron de que había parásitos y que estaban separados de la frase hablada. Los parásitos y la frase formaron corrientes perceptivas separadas debido a diferencias de timbre que hicieron que se los agrupara por separado; Bregman llama a esto canalización por el timbre. Es evidente que se trata de una distorsión sensorial; nuestro sistema

perceptivo nos está diciendo algo sobre el mundo que no es verdad. Pero está igual de claro que esto tiene un valor evolutivo/adaptativo si puede ayudarnos a dar sentido al mundo durante una situación de vida o muerte.

De acuerdo con los grandes psicólogos de la percepción Hermann von Helmholtz, Richard Gregory, Irvin Rock y Roger Shepard, la percepción es un proceso de inferencia y entraña un análisis de probabilidades. La tarea del cerebro es determinar cuál es la disposición más probable de los objetos en el mundo físico, de acuerdo con una pauta dada de información que llega a los receptores sensoriales, la retina para visión, el tímpano para la audición. La mayor parte del tiempo la información que recibimos en nuestros receptores sensoriales es incompleta o ambigua. Las voces están mezcladas con otras voces, los sonidos de máquinas, del viento, de pisadas. Estés donde estés en este momento (ya sea en un avión, en un café, en una biblioteca, en casa, en un parque o en cualquier otro lugar) detente y escucha los sonidos del entorno. A menos que estés en un tanque de aislamiento sensorial, probablemente puedas identificar media docena de sonidos diferentes por lo menos. La capacidad de tu cerebro para realizar esas identificaciones es sin duda alguna notable si consideramos con qué empieza, es decir, qué es lo que le transmiten los receptores sensoriales. Los principios de agrupación (por timbre, ubicación espacial, intensidad y demás) ayudan a segregarlos, pero aun así hay un montón de cosas que no sabemos de ese proceso; nadie ha conseguido aún diseñar una computadora que pueda realizar esa tarea de separación de la fuente sonora.

El tímpano es sólo una membrana estirada sobre tejido y hueso. Es la puerta de la audición. Prácticamente todas tus impresiones del mundo auditivo proceden de su modo de serpentear hacia atrás y hacia delante en respuesta a las moléculas de aire que impactan en él (el pabellón auricular, las partes carnosas de la oreja, participan también en cierto grado en la percepción auditiva, así como los huesos del cráneo, pero es ante todo el tímpano la fuente principal de lo que sabemos sobre lo que hay ahí fuera en el mundo auditivo). Consideremos una escena auditiva típica, una persona sentada en el cuarto de estar de su casa leyendo un libro. Supongamos que hay seis fuentes de sonido en ese entorno que esa persona puede identificar fácilmente: el ruido constante de la calefacción central (el ventilador o

calefactor que mueve aire a través del conducto), el murmullo de un refrigerador en la cocina, tráfico fuera en la calle (que podría estar compuesto de varios sonidos distintos o docenas de sonidos de diferentes motores, frenos rechinando, bocinas, etc.), el susurro de las hojas movidas por el viento fuera, un gato que ronronea en la silla a su lado y una grabación de preludios de Debussy. Cada una de esas cosas puede considerarse un objeto auditivo o una fuente sonora, y somos capaces de identificarlos porque cada uno de ellos tiene su propio sonido distintivo.

El sonido lo transmiten a través del aire moléculas que vibran a determinadas frecuencias. Estas moléculas bombardean el tímpano, haciendo que culebree hacia dentro y hacia fuera según la intensidad con que impactan en él (algo relacionado con el volumen o amplitud del sonido) y con lo rápido que vibran (relacionado con lo que llamamos altura de tono). Pero no hay nada en las moléculas que le diga al tímpano de dónde proceden, o cuáles están asociadas con qué objeto. Las moléculas puestas en movimiento por el ronroneo del gato no llevan una etiqueta identificadora que dice «gato», y pueden llegar al tímpano al mismo tiempo y en la misma región que los sonidos de la nevera, el calentador, Debussy y todo lo demás.

Imagina que extiendes la funda de un almohadón sobre la boca de un cubo y que varias personas lanzan a él pelotas de pimpón desde distancias diferentes. Cada persona puede tirar tantas pelotas de pimpón como quiera y con la frecuencia que quiera. Tu tarea es determinar, sólo mirando cómo se mueve hacia arriba y hacia abajo la funda, cuántas personas hay, quiénes son y si están acercándose a ti, alejándose de ti o quietas. Esto es algo semejante a lo que tiene que afrontar el sistema auditivo para hacer identificaciones de objetos auditivos en el mundo utilizando sólo el movimiento del tímpano como guía. ¿Cómo determina el cerebro, a partir de esta mezcla desorganizada de moléculas que impactan en una membrana, qué hay en el exterior? Y en especial, ¿cómo hace eso con la música?

Lo hace a través de un proceso de extracción de rasgos, seguido de otro proceso de integración de rasgos. El cerebro extrae rasgos básicos de bajo nivel de la música, utilizando redes neuronales especializadas que descomponen la señal en información sobre altura de tono, timbre, ubicación espacial, intensidad, entorno reverberante, duraciones tonales y los tiempos

de comienzo de las diferentes notas (y de los diferentes componentes de tonalidades). Estas operaciones se efectúan en paralelo y las efectúan circuitos neuronales que computan esos valores y que pueden operar en cierto modo de forma independiente unos de otros, es decir, el circuito de altura de tono no tiene que esperar para efectuar sus cálculos a que haya terminado el de duración. Este tipo de procesamiento (en que los circuitos neuronales sólo consideran la información contenida en el estímulo) se llama procesamiento de abajo arriba. En el mundo y en el cerebro esos atributos de la música son separables. Podemos cambiar uno sin cambiar el otro, de igual modo que podemos cambiar la forma de objetos visuales sin cambiar su color.

El procesamiento de arriba abajo de bajo nivel de elementos básicos se produce en las partes periféricas y filogenéticamente más antiguas del cerebro; el término «bajo nivel» alude a la percepción de atributos elementales o bloques formativos de un estímulo sensorial. El procesamiento a alto nivel se produce en partes más refinadas del cerebro que toman proyecciones neuronales de los receptores sensoriales y de una serie de unidades de procesamiento de bajo nivel; esto hace referencia a la combinación de elementos de bajo nivel en una representación integrada. El procesamiento de alto nivel es donde se junta todo, donde nuestras mentes llegan a una interpretación de forma y contenido. El procesamiento de bajo nivel de nuestro cerebro ve en esta página manchas de tinta, y puede que incluso te permita unir esas manchas y reconocer una forma básica en tu vocabulario visual, como por ejemplo la letra A. Pero es el procesamiento de alto nivel el que junta cuatro letras para permitirte leer la palabra ARTE y generar una imagen mental de lo que la palabra significa.

Al mismo tiempo que se está produciendo la extracción de rasgos en la cóclea, el córtex auditivo, el tallo cerebral y el cerebelo, los centros de más alto nivel de nuestro cerebro, están recibiendo un flujo constante de información sobre lo extraído hasta el momento; esta información se actualiza continuamente y lo habitual es que se reescriba la información más antigua. Mientras reciben estas actualizaciones, los centros de pensamiento superior (sobre todo en el córtex frontal) trabajan de forma denodada para predecir lo que vendrá a continuación en la música, basándose en varios factores:

- lo que ha llegado ya antes de la pieza de música que estamos oyendo;
- lo que recordamos que vendrá a continuación si estamos familiarizados con esa música;
- lo que esperamos que venga a continuación si el género o estilo nos es familiar, debido a la exposición previa a ese tipo de música;
- cualquier información adicional que hayamos recibido, como un resumen de la música que hayamos leído, un movimiento súbito de un intérprete o un codazo de la persona que está sentada a nuestro lado.

Estos cálculos del lóbulo frontal se denominan procesamiento de arriba abajo, y pueden influir en los módulos de bajo nivel mientras están realizando sus cálculos de abajo arriba. Las expectativas de arriba abajo pueden hacer que percibamos erróneamente cosas reordenando parte del circuito en los procesadores de abajo arriba. Esta es en parte la base neuronal del relleno perceptual y de otras ilusiones.

Los procesos de arriba abajo y de abajo arriba se informan mutuamente sobre la marcha. Al mismo tiempo que se están analizando rasgos individuales, partes del cerebro que están más arriba (es decir, que son más avanzadas filogenéticamente, y que reciben conexiones de regiones cerebrales más bajas) están trabajando para integrar esos rasgos en un todo perceptivo. El cerebro construye una representación de la realidad, basada en esos rasgos componentes, de una forma muy parecida a cómo un niño construye un fuerte con los bloques del Lego. El cerebro efectúa en el proceso una serie de deducciones, debido a que recibe una información incompleta o ambigua; a veces esas deducciones resultan erróneas, y eso es lo que son las ilusiones visuales y auditivas: demostraciones de que nuestro sistema perceptivo ha incurrido en una suposición incorrecta sobre lo que hay en el exterior.

El cerebro afronta tres problemas cuando intenta identificar los objetos auditivos que oímos. Primero, la información que llega a los receptores sensoriales es indiferenciada. Segundo, es una información ambigua: objetos distintos pueden dar origen a pautas de activación en el tímpano similares o idénticas. Tercero, raras veces es una información completa. Partes del sonido pueden estar cubiertas por otros sonidos, o perderse. El cerebro tiene

que hacer un cálculo conjetural de qué es lo que hay en realidad en el exterior. Lo hace muy de prisa y en general de una forma subconsciente. Las ilusiones que vimos antes, junto con estas operaciones perceptivas, no están sometidas a nuestra conciencia. Por ejemplo, la razón de que veas triángulos donde no hay ninguno en la figura de Kaniza se debe a ese proceso de finalización. Pero incluso después de conocer los principios que están involucrados, es imposible desconectarlos. Tu cerebro sigue procesando la información del mismo modo y tú sigues sorprendiéndote por el resultado.

Helmholtz llamó a este proceso «inferencia inconsciente». Rock le llamó «la lógica de la percepción». George Miller, Ulrich Neisser, Herbert Simon y Roger Shepard han descrito la percepción como un «proceso constructivo». Son todos medios de decir que lo que vemos y oímos es el final de una larga cadena de acontecimientos mentales que dan origen a una impresión, una imagen mental, del mundo físico. Muchas de las formas de funcionamiento del cerebro (incluidos nuestros sentidos del color, el gusto, el olfato y la audición) surgieron debido a presiones evolutivas, algunas de las cuales no existen ya. El psicólogo cognitivo Steven Pinker y otros han sugerido que nuestro sistema de percepción de la música era básicamente un accidente evolutivo, y que presiones de supervivencia y de selección sexual crearon un lenguaje y un sistema de comunicación que aprendimos a explotar con fines musicales. Se trata de un tema polémico en la comunidad de la psicología cognitiva. El registro arqueológico nos ha dejado algunas claves, pero raras veces nos deja una «pistola humeante» que permita que queden definitivamente aclaradas las cosas. El fenómeno de la finalización que he descrito no es sólo una curiosidad de laboratorio; los compositores explotan también este principio, sabiendo que nuestra percepción de una línea melódica continuará, aunque parte de ella esté oscurecida por otros instrumentos. Siempre que oímos las notas más bajas en el piano o en el contrabajo, no estamos en realidad oyendo 27,5 o 35 hercios, porque esos instrumentos son por naturaleza incapaces de producir mucha energía a esas frecuencias ultrabajas: nuestros oídos están finalizando la información y creándonos la ilusión de que la tonalidad es así de baja.

Experimentamos ilusiones en la música de otros modos. En obras de piano como «El murmullo de la primavera» de Sindig o en la Fantasía-

Impromptu en do sostenido menor, op. 66, de Chopin, las notas van tan rápidas que emerge una melodía ilusoria. Si se interpreta la pieza lentamente desaparece. Debido a la segregación de corrientes, la melodía «brota» cuando las notas están lo bastante próximas en el tiempo (el sistema perceptivo mantiene las notas juntas) pero la melodía se pierde cuando sus notas están demasiado separadas en el tiempo. Tal como estudió Bernard Lortat-Jacob en el Musée de l'Homme de París, la quintina (literalmente «pequeña quinta») de Cerdeña, una música vocal a capella, también transmite una ilusión: de las cuatro voces masculinas aflora una quinta voz femenina cuando la armonía y los timbres se ejecutan en la forma correcta. (Ellos creen que la voz es la de la Virgen María que acude a recompensarlos si son lo suficientemente piadosos para cantarla bien.)

En «One of These Nights» de los Eagles (la canción que da título al álbum del mismo nombre) la canción se inicia con una pauta interpretada por bajo y guitarra que suena como un instrumento: el bajo da una sola nota y la guitarra añade un glissando, pero el efecto perceptivo es del bajo deslizándose, debido al principio gestáltico de buena continuación. George Shearing creó un nuevo efecto tímbrico haciendo que la guitarra (o en algunos casos el vibráfono) duplicase con tanta exactitud lo que estaba tocando al piano que los oyentes se iban preguntándose: «¿Qué nuevo instrumento es éste?», cuando se trataba en realidad de dos instrumentos separados cuyos sonidos se habían fundido perceptualmente. En «Lady Madonna», los cuatro Beatles cantan en sus manos ahuecadas durante un corte instrumental y nosotros juramos que hay saxofones tocando, debido al timbre insólito que logran unido a nuestra expectativa (de arriba abajo) de que debería haber saxofones tocando en una canción de ese género.

La mayoría de las grabaciones contemporáneas están llenas de otro tipo de ilusión auditiva. La reverberación artificial hace que los vocalistas y las guitarras principales suenen como si llegasen de la parte de atrás de una sala de conciertos, incluso cuando los estamos oyendo con auriculares y el sonido llega de una distancia de unos centímetros de nuestros oídos. Técnicas microfónicas pueden hacer que una guitarra suene como si tuviese más de tres metros de anchura y los oídos estuviesen justo en la abertura, algo imposible en el mundo real, porque las cuerdas tienen que ir por encima de

ella, y si tus oídos estuviesen realmente allí, el guitarrista estaría rasgueando tu nariz. El cerebro utiliza claves sobre el espectro del sonido y el tipo de ecos para decirnos cosas sobre el mundo auditivo circundante, igual que un ratón utiliza sus bigotes para saber cosas sobre el mundo físico que lo rodea. Los ingenieros de grabación han aprendido a remedar esas claves para imbuir las grabaciones de una cualidad semejante a la vida, al mundo real, aunque se hagan en estudios asépticos.

Hay un motivo relacionado por el que a tantos nos atrae la música grabada actualmente... y sobre todo ahora que son tan frecuentes los intérpretes de música personal y la gente oye mucho con auriculares. Músicos e ingenieros de grabación han aprendido a crear efectos especiales que nos cosquillean el cerebro explotando circuitos neurológicos que evolucionaron para discernir rasgos importantes de nuestro entorno auditivo. Estos efectos especiales son similares en principio al arte tridimensional, al cine o a las ilusiones visuales, cosas que aún no han estado a nuestro alrededor el tiempo suficiente para que nuestros cerebros hayan desarrollado evolutivamente mecanismos especiales para percibirlos; actúan en realidad sobre sistemas perceptuales que tienen otras funciones. Como utilizan esos circuitos neurológicos de formas novedosas, nos resultan especialmente interesantes. Lo mismo sucede con el modo de hacer las grabaciones modernas.

Nuestros cerebros pueden calcular el tamaño de un espacio cerrado basándose en la reverberación y el eco presentes en la señal que nos impacta en los oídos. Aunque seamos pocos los que entendamos las ecuaciones necesarias para describir cómo una habitación difiere de otra, todos podemos decir si estamos en un cuartito de baño azulejado, una sala de conciertos de tamaño medio o una gran iglesia de techos altos. Y podemos decir cuando oímos grabaciones de voces qué tamaño tiene el local o la habitación en que está el locutor o el cantante. Los ingenieros de grabación crean lo que yo llamo «hiperrealidades», el equivalente grabado del truco cinematográfico de instalar una cámara en el parachoques de un coche que va a toda velocidad. Experimentamos impresiones sensoriales que en realidad nunca tenemos en el mundo real.

Nuestro cerebro es exquisitamente sensible a la información temporal. Somos capaces de localizar objetos en el mundo basándonos en diferencias

de sólo unos cuantos milisegundos entre el momento en que llega un sonido a un oído y el momento en que llega al otro. Muchos de los efectos especiales que tanto nos gusta oír en la música grabada se basan en esta sensibilidad. El sonido de guitarra de Pat Metheny o David Gilmour, de Pink Floyd, utilizará múltiples demoras de la señal para producir un efecto misterioso como del otro mundo que dispara las partes de nuestro cerebro de manera que los humanos jamás han experimentado antes, simulando el sonido de una curva cerrada con múltiples ecos de una forma que nunca se daría en el mundo real, un equivalente auditivo de los espejos de barbería que se repetían infinitamente.

Tal vez la ilusión definitiva en música sea la ilusión de estructura y forma. No hay nada en una sucesión de notas en sí que cree las ricas asociaciones emotivas que nos evoca la música, nada en una escala, un acorde o una secuencia de acordes que nos haga intrínsecamente esperar una resolución. Nuestra capacidad para dar sentido a la música se basa en la experiencia y en estructuras neuronales que pueden aprender y modificarse con cada nueva canción que oímos, y con cada nueva audición de una vieja canción. Nuestros cerebros aprenden una especie de gramática musical que es específica de la música de nuestra cultura, igual que aprendemos a hablar el idioma de nuestra cultura.

La aportación de Noam Chomsky a la lingüística moderna y a la psicología fue proponer que todos hemos nacido con una capacidad innata para entender cualquiera de los idiomas del mundo, y que la experiencia con un idioma particular conforma, edifica y finalmente poda una red compleja e interconectada de circuitos neuronales. Nuestro cerebro no sabe antes de que nazcamos a qué lenguaje estaremos expuestos, pero el cerebro y los idiomas naturales coevolucionaron de manera que todos los idiomas del mundo comparten ciertos principios fundamentales, y el cerebro tiene la capacidad de incorporar cualquiera de ellos, casi sin esfuerzo, a través de la mera exposición a él durante una etapa crítica del desarrollo neuronal.

Así mismo, parece ser que todos tenemos una capacidad innata para aprender cualquiera de las músicas del mundo, aunque también ellas difieran de formas sustanciales entre sí. El cerebro pasa después del nacimiento por un período de rápido desarrollo neuronal que continúa durante los primeros

años de la vida. Durante ese período, se están formando nuevas conexiones neuronales más rápidamente que en cualquier otro período de la vida, y durante los años del período medio de la infancia el cerebro empieza a podar esas conexiones, reteniendo sólo las más importantes y las utilizadas más a menudo. Esto se convierte en la base de nuestra comprensión de la música, y en último término en la base de lo que nos gusta en música, qué música nos conmueve y cómo nos conmueve. Eso no quiere decir que no podamos aprender a apreciar nueva música en la edad adulta, pero los elementos estructurales básicos se incorporan al cableado mismo de nuestros cerebros cuando escuchamos música en la primera etapa de la vida.

Se puede concebir, pues, la música como un tipo de ilusión perceptiva en la que nuestro cerebro impone orden y estructura a una sucesión de sonidos. Cómo nos lleva exactamente esa estructura a experimentar reacciones emotivas es parte del misterio de la música. Después de todo, no nos asoman lágrimas a los ojos con otro tipo de estructuras de nuestra vida, como un talonario de cheques o la colocación en orden de productos de primeros auxilios en una farmacia (bueno, al menos no a la mayoría). ¿Qué es lo que tiene ese tipo particular de orden que encontramos en la música que tanto nos conmueve? La estructura de escalas y acordes tiene algo que ver con ello, y también la estructura del cerebro. En él, detectores de rasgos trabajan para extraer información de la corriente de sonidos que nos impacta en los oídos. El sistema computacional del cerebro agrupa esos sonidos en un todo coherente, basado en parte en lo que cree que debería estar oyendo, y en parte en expectativas. De dónde vienen exactamente esas expectativas es una de las claves para entender cómo la música nos conmueve, cuando nos conmueve, y por qué alguna música sólo nos hace querer estirar la mano para apagar la radio o el reproductor de CD. El tema de las expectativas musicales tal vez sea el área de la neurociencia cognitiva de la música que une más armoniosamente la teoría de la música y la teoría neuronal, a músicos y científicos, y para entenderla plenamente, tenemos que estudiar cómo determinadas pautas de la música dan origen a determinadas pautas de activaciones neuronales en el cerebro.

ANTICIPACIÓN

QUÉ ESPERAMOS DE LISZT (Y DE LUDACRIS)

Cuando estoy en una boda, no es la visión de la esperanza y el amor de la novia y el novio delante de sus amigos y su familia, toda su vida ante ellos, lo que hace que asomen lágrimas a mis ojos. Es la música lo que me hace llorar. En una película, cuando dos personas acaban reencontrándose después de superar grandes pruebas, es la música la que nos precipita de nuevo, a mí y a mis emociones, por el despeñadero sentimental.

Dije antes que la música es sonido organizado, pero la organización tiene que incluir algún elemento de lo inesperado, pues si no resulta emotivamente plana y robótica. El aprecio que la música nos inspira está estrechamente relacionado con nuestra capacidad de aprender la estructura subyacente de la que nos gusta (el equivalente a la gramática en los idiomas hablado y de señas) y de hacer predicciones sobre lo que vendrá a continuación. Los compositores impregnan la música de emoción sabiendo cuáles son nuestras expectativas y controlando luego con toda intención cuándo satisfarán eso que esperamos y cuándo no. Los estremecimientos, escalofríos y lágrimas que la música nos hace experimentar son el resultado de una hábil manipulación de nuestras perspectivas por parte de un compositor hábil y de los intérpretes de su creación.

La ilusión más documentada (o el truco de salón) de la música clásica occidental es la cadencia engañosa. Una cadencia es una secuencia de acordes que crea una expectativa clara y luego se cierra, en general con una

resolución satisfactoria. En la cadencia engañosa, el compositor repite la secuencia de acordes una y otra vez hasta que ha convencido por fin a los oyentes de que recibirán lo que esperan, y luego, en el último minuto, nos da un acorde inesperado..., no fuera de tono, sino un acorde que nos dice que no se ha terminado todo, un acorde que no resuelve del todo. Haydn utiliza con tanta frecuencia la cadencia engañosa que en su caso bordea la obsesión. Perry Cook ha comparado esto con un truco de magia: los magos crean expectativas y luego las incumplen, todo sin que tú sepas exactamente cómo o cuándo van a hacerlo. Los compositores hacen lo mismo. «For No One» de los Beatles termina en el acorde V (el grado quinto de la escala en la que estamos) y esperamos una resolución que nunca llega..., o al menos no llega en esa canción. Aunque la canción siguiente del álbum *Revolver* empieza precisamente con el acorde que estábamos esperando oír.

La creación y luego la manipulación de expectativas es el corazón de la música, y se consigue de innumerables modos. Steely Dan lo hace interpretando canciones que son en esencia blues (con progresiones de acordes y estructura de blues) pero añadiendo armonías insólitas a los acordes que hacen que no parezcan en absoluto blues..., por ejemplo en su canción «Chain Lightning». Miles Davis y John Coltrane hicieron carrera rearmonizando progresiones de blues para darles nuevos sonidos que estaban anclados parcialmente en lo familiar y parcialmente en lo exótico. Donald Fagen (de Steely Dan) tiene canciones con ritmos blues/funk que nos llevan a esperar la progresión de acordes del blues estándar, pero toda la canción está interpretada sobre un solo acorde, sin apartarse en ningún momento de esa posición armónica.

En «Yesterday» la principal frase melódica tiene una longitud de siete compases; los Beatles nos sorprenden violando uno de los supuestos más básicos de la música popular, la unidad de frase de cuatro u ocho compases (casi todas las canciones de rock y pop tienen ideas musicales que están organizadas en frases de esas longitudes). En «I Want You (She's So Heavy)» los Beatles violan expectativas construyendo primero una terminación hipnótica y repetitiva que parece que va a continuar eternamente; basándonos en nuestra experiencia con la música rock y las terminaciones de esa música, esperamos que la canción vaya lentamente reduciendo el

volumen, el clásico fundido. En vez de eso, termina con brusquedad, y ni siquiera al final de una frase: ¡la terminan justo en medio de una nota!

Los Carpenters utilizan el timbre para violar expectativas de género; fueron probablemente el último grupo que la gente esperaba que utilizase una guitarra eléctrica distorsionada, pero lo hicieron en «Please Mr. Postman» y en algunas canciones más. Los Rolling Stones (una de las bandas de rock más duras del mundo en la época) habían hecho lo contrario unos cuantos años antes utilizando violines (como por ejemplo, en «Lady Jane»). Cuando Van Halen eran el grupo más nuevo y más hip que había, sorprendieron a los fans lanzándose a una versión heavy metal y una canción vieja no del todo hip de los Kinks, «You Really Got Me».

También se violan a menudo expectativas de ritmo. Un truco clásico del blues eléctrico es que la banda acumule impulso y luego deje por completo de tocar mientras el cantante o el guitarrista principal siguen haciéndolo, como en «Pride and Joy» de Ray Vaughan, «Hound Dog» de Elvis Presley o «One Way Out» de Allman Brothers. La terminación clásica para una canción de blues eléctrico es otro ejemplo. La canción se lanza a un tiempo sostenido durante dos o tres minutos y... ¡paf! Justo cuando los acordes sugieren que es inminente una terminación, en vez de continuar atacando a plena velocidad, la banda de pronto empieza a tocar a mitad del tempo en que lo estaba haciendo antes.

En un golpe doble, Creedence Clearwater Revival sale de este final de bajada lenta en «Lookin' Out My Back Door» (por entonces ese final era ya un tópico sabido) y viola las expectativas de «eso» pasando de nuevo a la terminación real de la canción a tempo pleno.

The Police hizo carrera violando expectativas rítmicas. La convención rítmica oficial del rock es tener un contratiempo fuerte (*backbeat*) en los tiempos dos y cuatro. El reggae da la vuelta a esto poniendo la caja clara en los tiempos uno y dos y (característicamente) una guitarra en dos y cuatro.

The Police combinó reggae con rock para crear un nuevo sonido que cumplía con algunas expectativas rítmicas y violaba de manera simultánea otras. Sting tocaba a menudo partes de bajo que eran completamente novedosas, evitando los tópicos del rock de tocar con el primer tiempo o de tocar en sintonía con el bombo. Como me dijo (cuando compartimos un

despacho en un estudio de grabación en los años ochenta) Randy Jackson, famoso por *American Idol*, y uno de los contrabajistas de sesión más sobresalientes, las líneas de bajo de Sting son distintas de todas las demás, y ni siquiera encajarían en las canciones de ningún otro. «Spirits in the Material World», de su álbum *Ghost in the Machine*, lleva este juego rítmico a un extremo tal que resulta difícil decir incluso dónde está el primer tiempo.

Compositores modernos como Schönberg se desprenden de toda la idea de expectación. Las escalas que utilizan nos privan de la noción de una resolución, una raíz para la escala, o un «hogar» musical, creando así la ilusión de ningún hogar, de una música a la deriva, tal vez como una metáfora de la vivencia existencialista del siglo XX (o sólo porque intentaban ir en contra). Aún oímos esas escalas utilizadas en películas para acompañar secuencias de sueño o para transmitir una falta de base o en escenas debajo del agua o del espacio exterior para transmitir ingravidez.

Estos aspectos de la música no están representados directamente en el cerebro, al menos no durante las etapas iniciales de procesamiento. El cerebro construye su propia versión de la realidad, basada sólo en parte en ella, y en parte en cómo interpreta las notas que oímos en función del papel que juegan en un sistema musical aprendido. Interpretamos el lenguaje hablado de modo análogo. No hay nada intrínsecamente gatuno en la palabra «gato», ni siquiera en sus sílabas. Hemos aprendido que esa colección de sonidos representa al animal doméstico. Del mismo modo, hemos aprendido que ciertas secuencias de tonos van juntas, y esperamos que continúen haciéndolo. Esperamos que se den a la vez ciertos tonos, ritmos, timbres, etc., basados en un análisis estadístico que ha efectuado nuestro cerebro de la frecuencia con que han ido juntos en el pasado. Tenemos que rechazar la idea intuitivamente atractiva de que el cerebro está almacenando una representación exacta y rigurosamente isomórfica del mundo. Está almacenando, en cierta medida, distorsiones perceptivas, ilusiones, y extrayendo relaciones entre elementos. Está computando una realidad para nosotros, una realidad rica en belleza y en complejidad. Una prueba básica de ese punto de vista es el hecho simple de que las ondas luminosas varían en el mundo a lo largo de una dimensión (longitud de onda) y sin embargo nuestro sistema perceptivo trata el color como bidimensional (el círculo de color

descrito en la [página 38](#)). Lo mismo sucede con el tono: a partir de un continuo unidimensional de moléculas que vibran a velocidades diferentes, nuestro cerebro construye un espacio tonal rico y multidimensional con tres, cuatro o incluso cinco dimensiones (según algunos modelos). Si nuestro cerebro está añadiendo todas esas dimensiones a lo que hay en el exterior, esto puede ayudar a explicar las reacciones profundas que nos producen los sonidos que están adecuadamente contruidos y combinados con habilidad.

Cuando los científicos cognitivos hablamos de expectativas y de violarlas, nos referimos a un fenómeno cuya aparición choca con lo que podría haberse predicho razonablemente. Está claro que sabemos mucho sobre una serie de diferentes situaciones estándar. La vida nos ofrece situaciones similares que difieren sólo en detalles, y esos detalles son a menudo insignificantes. Aprender a leer es un ejemplo. Los extractores de rasgos distintivos de nuestro cerebro han aprendido a detectar el aspecto esencial e invariable de las letras del alfabeto, y a menos que prestemos atención de forma explícita, no advertimos detalles como el tipo de letra con que está escrita una palabra. Aun **a pesar de que** detalles **superficiales** sean *diferentes*, todas estas **palabras** son *igualmente* **identificables**, *así* como **las letras** individuales. (Puede resultar discordante leer frases en las que cada palabra está en un tipo de letra distinto, y por supuesto ese cambio rápido nos hace darnos cuenta de ello, pero lo cierto es que nuestros detectores de rasgos distintivos están ocupados extrayendo cosas como «la letra *a*» más que procesando la fuente en la que está escrita.)

Una forma importante que tiene nuestro cerebro de tratar con situaciones estándar es extraer aquellos elementos que son comunes a múltiples situaciones y crear una estructura dentro de la cual emplazarlas; esa estructura se llama un esquema. El esquema para la letra *a* sería una descripción de su forma, y quizá una serie de rasgos mnemotécnicos que incluya todas las *as* que hemos visto a lo largo de la vida, que muestre la variabilidad que acompaña al esquema. Los esquemas nos informan sobre una gran cantidad de interacciones cotidianas que tenemos con el mundo. Por ejemplo, hemos estado en fiestas de cumpleaños y tenemos una idea general (un esquema) de lo que es común a esas fiestas. El esquema de la fiesta de

cumpleaños será diferente para culturas diferentes (como la música), y para gente de edades diferentes. El esquema conduce a expectativas claras y aportan además un sentido de cuáles de esas expectativas son flexibles y cuáles no lo son. Podemos hacer una lista de cosas que esperaríamos encontrar en una fiesta de cumpleaños típica. No nos sorprendería el que no estuviesen presentes en todas ellas, pero cuantas más falten, menos típica sería la fiesta:

- Una persona que está celebrando el aniversario de su nacimiento
- Otra gente que ayuda a esa persona a celebrarlo
- Una tarta con velas
- Regalos
- Comida de fiesta
- Sombreros de fiesta, trompetitas y otros adornos

Si la fiesta fuese para un niño de ocho años podríamos tener la expectativa adicional de que habría juegos infantiles, pero no whisky de malta. Esto más o menos constituye nuestro esquema de fiesta de cumpleaños.

También tenemos esquemas musicales, y estos empiezan a formarse en el vientre materno y se elaboran, se enmiendan y reciben nueva información cada vez que escuchamos música. Nuestro esquema musical para la música occidental incluye un conocimiento implícito de las escalas que se utilizan normalmente. Ésa es la razón de que la música india o paquistaní, por ejemplo, nos parezca «extraña» la primera vez que la oímos. No les parece extraña a indios y paquistaníes y tampoco a los niños pequeños (o al menos no más extraña que cualquier otra música). Esto puede resultar obvio, pero parece extraña porque no se atiene a lo que hemos aprendido a llamar música. Los niños pequeños, a los cinco años de edad, han aprendido a identificar progresiones de acordes en la música de su cultura: están formando esquemas.

Desarrollamos esquemas para estilos y géneros musicales determinados; «estilo» no es más que una forma de decir «repetición». Nuestro esquema para un concierto de Lawrence Welk incluye acordeones, pero no guitarras eléctricas distorsionadas, y nuestro esquema para un concierto de Metallica es

lo contrario. Un esquema para Dixieland incluye música con ritmo rápido y zapateo, y a menos que la banda estuviese intentando ironizar, no esperaríamos que hubiese superposición entre su repertorio y el de un cortejo fúnebre. Los esquemas son una extensión de la memoria. Como oyentes, nos damos cuenta de cuándo estamos oyendo algo que hemos oído antes, y podemos determinar si lo oímos anteriormente en la misma pieza o en una distinta. Escuchar música exige, de acuerdo con el teórico Eugene Narmour, que seamos capaces de retener en la memoria un conocimiento de aquellas notas que acaban de pasar, junto con un conocimiento de todas las otras músicas con las que estamos familiarizados que se aproximan al estilo de lo que estamos oyendo. Este último recuerdo puede no tener el mismo nivel de resolución o el mismo grado de intensidad que las notas que acabamos de oír, pero es necesario para poder establecer un contexto para las que estamos oyendo.

Los esquemas principales que elaboramos incluyen un vocabulario de géneros y estilos, así como de períodos (la música de los años setenta suena distinta que la de los años treinta), ritmos, progresiones de acordes, estructura de frase (cuántos compases por frase), cómo es de larga una canción y qué notas suelen seguir a qué. Cuando dije antes que la canción popular estándar tiene frases de cuatro u ocho compases de longitud, esto es una parte del esquema que hemos elaborado para las canciones populares de finales del siglo XX. Hemos oído miles de canciones miles de veces y, aunque no seamos capaces de describirlo explícitamente, hemos incorporado esa tendencia de frase como una «regla» respecto a la música que desconocemos. Cuando se toca «Yesterday» con su frase de siete compases, es una sorpresa. Aunque la hayamos oído un millar o incluso diez millares de veces, aún sigue interesándonos porque viola expectativas esquemáticas que están aún más firmemente arraigadas que nuestro recuerdo de esa canción concreta. Canciones a las que seguimos volviendo durante años juegan con expectativas justo lo suficiente para que resulten al menos un poquito sorprendentes. Steely Dan, los Beatles, Rachmaninoff y Miles Davis son sólo unos cuantos de los artistas de los que algunas personas dicen que nunca se cansan, y la razón es en gran parte esa.

La melodía es uno de los medios primordiales que tienen los

compositores de controlar nuestras expectativas. Los teóricos de la música han identificado un principio denominado llenar un hueco; en una secuencia de tonos, si una melodía da un salto grande, bien hacia arriba o bien hacia abajo, la nota siguiente debería cambiar de dirección. Una melodía típica incluye mucho movimiento gradual, es decir, notas adyacentes de la escala. Si la melodía da un gran salto, los teóricos dicen que «quiere» volver al punto desde el que saltó; esto es otra forma de decir que el cerebro espera que el salto sea sólo temporal, y las notas que siguen deben ir acercándonos más y más a nuestro punto de partida, u «hogar» armónico.

En «Somewhere Over the Rainbow» la melodía empieza con uno de los saltos más grandes que podamos haber experimentado en toda una vida escuchando música: una octava. Se trata de una violación fuerte del esquema, y por ello el compositor nos recompensa y aplaca volviendo a llevar de nuevo la melodía a casa, pero no demasiado (baja, pero sólo un grado de la escala) porque quiere seguir creando tensión. La tercera nota de esta melodía llena el hueco. Sting hace lo mismo en «Roxanne»: salta un intervalo de aproximadamente media octava (una cuarta perfecta) para atacar la primera sílaba de la palabra *Roxanne*, y luego baja de nuevo para llenar el hueco.

También oímos cómo se llena el hueco en el andante cantabile de la Sonata «Patética» de Beethoven. Cuando el tema principal escala hacia arriba, pasa de un do (en la tonalidad de la bemol es el tercer grado de la escala) a un la bemol que está una octava por encima de lo que consideramos la nota «hogar», y sigue subiendo hasta si bemol. Una vez que estamos una octava y un tono por encima de ese hogar, sólo hay un camino a seguir, volver de nuevo a casa. Beethoven salta realmente hacia casa, baja un intervalo de una quinta, aterrizando en la nota (si bemol) que está un quinto por encima de la tónica. Para dilatar la resolución (Beethoven era un maestro del suspense) en vez de continuar el descenso hacia la tónica, se aparta de ella. Al saltar hacia abajo desde si bemol alto hasta mi bemol, estaba enfrentando dos esquemas entre sí: el de resolver hacia la tónica y el de llenar el hueco. Desviándose de la tónica en ese punto, está llenando también el hueco que hizo saltando tan abajo para llegar a este punto medio. Cuando finalmente nos lleva a casa dos compases más tarde lo hace con una resolución que es la más dulce que hayamos podido oír jamás.

Consideremos ahora lo que hace Beethoven con las expectativas de la melodía en el tema principal del último movimiento de su Novena Sinfonía («Oda a la Alegría»). Éstas son las notas de la melodía:

mi - mi - fa - sol - sol - fa - mi - re - do - do - re - mi - mi - re - re

¡El tema melódico principal consiste simplemente en las notas de la escala! La secuencia de notas más conocida, escuchada y utilizada que tenemos en la música occidental. Pero Beethoven lo hace interesante violando nuestras expectativas. Empieza con una nota extraña y termina con una nota extraña. Empieza en el tercer grado de la escala (como hizo en la Sonata «Patética»), en vez de hacerlo en la raíz, y luego sube de forma escalonada, para dar después la vuelta y empezar a bajar otra vez. Cuando llega a la raíz (la nota más estable) en vez de quedarse allí sube de nuevo, hasta la nota con la que empezamos, luego baja otra vez para que pensemos y esperemos que llegue de nuevo a la raíz, pero no lo hace; se queda justo allí en re, el segundo grado de la escala. La pieza necesita resolver llegando a la raíz, pero Beethoven nos mantiene allí pendientes, donde menos esperábamos estar. Luego vuelve a recorrer todo el motivo, y sólo en la segunda vez que lo hace satisface nuestras expectativas. Pero ahora, esa expectativa es aún más interesante debido a la ambigüedad: nos preguntamos, como Lucy cuando espera por Charlie Brown, si nos quitará el balón de la resolución en el último minuto.

¿Qué sabemos de la base neuronal de las expectativas musicales y de la emoción musical? Si aceptamos que el cerebro está construyendo una versión de la realidad, debemos rechazar que tenga una representación exacta y estrictamente isomórfica del mundo. ¿Qué guarda pues el cerebro en sus neuronas que representa el mundo que nos rodea? El cerebro representa toda la música y todos los otros aspectos del mundo en términos de códigos mentales o neuronales. Los neurocientíficos intentan descifrar esos códigos, entender su estructura, y cómo se traducen en experiencia. Los psicólogos cognitivos intentan comprender esos códigos a un nivel un poco más elevado: no al de las activaciones neuronales, sino al de los principios generales.

El modo de operar de tu ordenador al archivar una imagen es similar, en principio, al modo de operar del código neuronal. Cuando archivas una

imagen en el ordenador, no se guarda en el disco duro del mismo modo que se guarda una fotografía en el álbum de fotos de la abuela. Cuando abres el álbum de tu abuela, puedes coger una foto, darle la vuelta, pasársela a un amigo; es un objeto físico. Es la fotografía, no una representación de una fotografía. Sin embargo, en el ordenador una foto está guardada en un archivo hecho de 0 y 1, el código binario que los ordenadores utilizan para representarlo todo.

Si has abierto alguna vez un archivo estropeado, o si tu programa de correo electrónico no bajó bien un archivo adjunto, verás probablemente un galimatías en vez de lo que tú creías que era un archivo informático: una hilera de símbolos extraños, garabatos y caracteres alfanuméricos que parece el equivalente de los tacos en un tebeo. (Son una especie de código hexadecimal intermedio que se compone también de 0 y 1, pero esta etapa intermedia no es determinante para comprender la analogía.) En el caso más sencillo de una foto en blanco y negro, un 1 podría representar que hay un punto negro en un lugar determinado de la foto, y un 0 podría indicar la ausencia de un punto negro, o un punto blanco. Puedes aceptar que se podría representar con facilidad una forma geométrica simple utilizando estos ceros y unos, pero los 0 y 1 no tendrían la forma de un triángulo, serían sólo parte de una larga línea de 0 y 1, y el ordenador tendría una serie de instrucciones que le indicarían cómo interpretarlos (y a qué localización espacial correspondía cada número). Si fueses realmente bueno leyendo un archivo de este tipo, podrías ser capaz de descifrarlo y de saber qué imagen representa. La situación es inmensamente más complicada con una imagen en color, pero el principio es el mismo. La gente que trabaja con archivos de imágenes continuamente es capaz de mirar el río de 0 y 1 y decir algo sobre la naturaleza de la foto..., tal vez no en lo que se refiere si es un ser humano o un caballo, sino cosas como cuánto rojo o gris hay en la imagen, los líquidos que son los contornos, etc. Han aprendido a leer el código que representa la imagen.

Los archivos de audio se archivan también en formato binario, como secuencias de 0 y 1. Los 0 y 1 representan si hay o no algún sonido en puntos concretos del espectro de frecuencias. Una secuencia determinada de 0 y 1 indicará, según cuál sea su posición en el archivo, si está tocando un timbal o

un flautín.

En los casos que acabo de describir, el ordenador utiliza un código para representar objetos auditivos visuales comunes. Los objetos en sí se descomponen en pequeños componentes (píxeles en el caso de una imagen, ondas sinusoidales de una frecuencia y una amplitud determinadas en el caso del sonido) y estos componentes se traducen en el código. Por supuesto, el ordenador (el cerebro) maneja un montón de fantásticos programas (la mente) que traducen sin esfuerzo el código. La mayoría de nosotros no tenemos que preocuparnos en absoluto por el código en sí. Escaneamos una foto o grabamos una canción en nuestro disco duro y cuando queremos verla u oírla, hacemos un doble clic sobre ella y aparece ante nosotros en toda su gloria original. Se trata de una ilusión que hacen posible las muchas capas de traducción y amalgamado que se desarrollan en unos procesos absolutamente invisibles para nosotros. Así es como opera también el código neuronal. Millones de nervios que se activan a velocidades e intensidades diferentes, todo ello invisible para nosotros. No podemos percibir cómo se activan nuestros nervios; no sabemos cómo acelerarlos, cómo aminorarlos, cómo conectarlos cuando nos cuesta ponerlos en marcha al levantarnos con ojos soñolientos o cómo desconectarlos para poder dormir de noche.

Hace años, mi amigo Perry Cook y yo nos quedamos asombrados cuando leímos su artículo sobre un hombre que podía mirar discos fonográficos e identificar la pieza de música que había en ellos, mirando los surcos, con la etiqueta tapada. ¿Memorizaba las pautas de miles de álbumes? Perry y yo sacamos unos cuantos álbumes viejos de discos y apreciamos algunas regularidades. Los surcos de un disco de vinilo contiene un código que la aguja «lee». Las notas bajas crean surcos anchos, las agudas surcos estrechos y la aguja introducida en los surcos se mueve miles de veces por segundo para captar el paisaje de las paredes interiores. Si una persona supiese bien muchas piezas de música, podría sin duda caracterizarlas por el número de notas graves que contuviesen (la música rap tiene muchísimas, los conciertos barrocos no), la proporción entre el número de notas bajas regulares y percursoras (piensa en una melodía de jazz swing con «bajo caminando» frente a una melodía funk con «bajo palmeando») y saber cómo esas formas están cifradas en vinilo. Las habilidades de ese individuo son extraordinarias,

pero no inexplicables.

Nos encontramos todos los días con magníficos lectores de códigos auditivos: el mecánico que es capaz de saber escuchando el ruido del motor de tu coche si tus problemas se deben a inyectores de gasolina bloqueados o a una cadena de distribución desplazada; el médico que es capaz de saber escuchando los latidos de tu corazón si tienes arritmia; el policía que es capaz de saber si un sospechoso está mintiendo por la tensión de su voz; el músico que es capaz de distinguir una viola de un violín o un clarinete en si bemol de un clarinete en mi bemol sólo por el sonido. En todos esos casos el timbre desempeña un papel importante ayudándonos a descifrar el código.

¿Cómo podemos estudiar códigos neuronales y aprender a interpretarlos? Algunos neurocientíficos empiezan estudiando neuronas y sus características, qué es lo que hace que se activen, la rapidez con que lo hacen, cuál es su período refractario (cuánto necesitan para recuperarse entre una activación y otra); estudiamos cómo se comunican entre sí las neuronas y el papel de los neurotransmisores en la transferencia de información en el cerebro. Gran parte del trabajo a este nivel de análisis está relacionado con principios generales; aún no sabemos gran cosa sobre la neuroquímica de la música, por ejemplo, aunque revelaré algunos nuevos resultados emocionantes en ese campo de mi laboratorio en el capítulo 5.

Pero he de dar marcha atrás un momento. Las neuronas son las células primarias del cerebro; se encuentran también en la espina dorsal y en el sistema nervioso periférico. La actividad de fuera del cerebro puede hacer que una neurona se active: por ejemplo, cuando una nota de una frecuencia determinada excita la membrana basilar y ésta a su vez transmite una señal a unas neuronas del córtex auditivo que seleccionan frecuencias. En contra de lo que pensábamos hace cien años, las neuronas del cerebro no se tocan en realidad; hay un espacio entre ellas llamado sinapsis. Cuando decimos que una neurona se está activando es que esta enviando una señal eléctrica que provoca la emisión de un neurotransmisor. Los neurotransmisores son sustancias químicas que viajan por el cerebro y unen receptores vinculados a otras neuronas. Receptores y neurotransmisores pueden compararse respectivamente a cerraduras y llaves. Cuando una neurona se activa, un neurotransmisor cruza nadando la sinapsis hasta una neurona próxima y

cuando encuentra la cerradura y se une a ella, esa nueva neurona se activa. No todas las llaves encajan en todas las cerraduras; hay ciertas cerraduras (receptores) que están diseñadas para aceptar sólo determinados neurotransmisores.

Los neurotransmisores provocan generalmente que la neurona receptora se active o impiden que lo haga. Se absorben a través de un proceso denominado recaptación; sin recaptación los neurotransmisores seguirían estimulando o inhibiendo la activación de la neurona.

Algunos neurotransmisores se utilizan en todo el sistema nervioso, y otros sólo en determinadas regiones cerebrales y por ciertos tipos de neuronas. La serotonina se produce en el tallo cerebral y está relacionada con la regulación del estado de ánimo y del sueño. A los antidepresivos de nuevo tipo, entre los que se incluyen Prozac y Zoloft, se les conoce como inhibidores selectivos de la recaptación de serotonina (SSRIs según las siglas en inglés) porque inhiben la recaptación de serotonina en el cerebro, permitiendo que la que ya esté allí actúe durante un período de tiempo más prolongado. No conocemos el mecanismo preciso por el que esto alivia la depresión, el trastorno obsesivo-compulsivo y los trastornos del sueño y del estado de ánimo. La dopamina, que segrega el núcleo accumbens, participa en la regulación del estado de ánimo y en la coordinación del movimiento. Es famosa sobre todo por formar parte del sistema de placer y recompensa del cerebro. Cuando los adictos consiguen su droga favorita, o cuando los jugadores compulsivos ganan una apuesta (incluso cuando los chocolateadictos consiguen chocolate) es éste el neurotransmisor que actúa. Su papel (y el papel importante que tiene el núcleo accumbens) en la música no se conoció hasta 2005.

La neurociencia cognitiva ha conseguido hacer grandes progresos a lo largo de la última década. Sabemos ya mucho más sobre cómo operan las neuronas, cómo se comunican, cómo forman redes y cómo se desarrollan a partir de sus recetas genéticas. Un hallazgo en el nivel macro sobre la función del cerebro es la idea popular sobre especialización hemisférica: la idea de que la mitad izquierda del cerebro y la mitad derecha realizan funciones cognitivas diferentes. Esto es cierto, sin duda, pero como sucede con gran parte de la ciencia que se ha filtrado a la cultura popular, la verdad de la historia es un poco más matizada.

Para empezar, la investigación en que eso está basado se efectuó con individuos diestros. Por razones que no están del todo claras, los zurdos (del 5 al 10 por ciento de la población aproximadamente) o los ambidextros tienen a veces la misma organización cerebral que los diestros, pero lo más frecuente es que tengan una organización cerebral distinta. Cuando la organización cerebral es diferente puede adoptar la forma de una simple imagen especular, de manera que las funciones estén simplemente trasladadas al lado opuesto. Pero en muchos casos los zurdos tienen una organización neuronal que es diferente de formas que aún no están bien documentadas. Así que las generalizaciones que hacemos sobre asimetrías hemisféricas sólo son aplicables a la mayoría de la población diestra.

Escritores, hombres de negocios e ingenieros se autocalifican de individuos de cerebro izquierdo dominante, y artistas, bailarines y músicos como individuos de cerebro derecho dominante. La idea popular de que el cerebro izquierdo es analítico y el derecho artístico tiene cierta veracidad, pero es claramente simplista. Ambos lados del cerebro participan en el análisis y en el pensamiento abstracto. Todas esas actividades exigen coordinación de los dos hemisferios, aunque algunas de las funciones particulares participantes estén lateralizadas.

El procesamiento del lenguaje está localizado primordialmente en el hemisferio izquierdo, aunque ciertos aspectos globales del lenguaje hablado, como la entonación, el énfasis y la pauta del tono, sea más frecuente que queden afectados por una lesión cerebral en el hemisferio derecho. La capacidad para distinguir entre una pregunta y una afirmación, o entre el sarcasmo y la sinceridad, reside a menudo en esas claves no lingüísticas lateralizadas del hemisferio derecho conocidas colectivamente como prosodia. Es natural preguntarse si los músicos muestran la asimetría opuesta, con el procesamiento ubicado primordialmente en el derecho. Hay muchos casos de individuos con lesión cerebral en el hemisferio izquierdo que pierden la capacidad de hablar, pero retienen su función musical, y viceversa. Esos casos sugieren que, aunque música y habla puedan compartir algunos circuitos neuronales, no pueden utilizar estructuras neuronales completamente superpuestas.

Rasgos locales de la lengua hablada, como distinguir un sonido del habla

de otro, parecen estar lateralizados en el hemisferio izquierdo. También hemos encontrado lateralización en la base cerebral de la música. El contorno global de una melodía (sólo la forma melódica, ignorando los intervalos) se procesa en el hemisferio derecho, que efectúa delicadas diferenciaciones de notas que están próximas en el tono. En correspondencia con sus funciones lingüísticas, el hemisferio izquierdo participa en los aspectos denominativos de la música, como nombrar una canción, un intérprete, un instrumento o un intervalo musical. Los músicos que utilizan la mano derecha o leen música con el ojo derecho utilizan también el cerebro izquierdo, porque la mitad izquierda del cerebro controla la mitad derecha del cuerpo. Hay también nuevas pruebas de que el seguimiento del desarrollo de un tema musical (pensar en notas y escalas y en si una pieza musical tiene sentido o no) está lateralizado en los lóbulos frontales izquierdos.

La formación musical parece tener como consecuencia que parte del procesamiento de la música cambie del hemisferio (imagístico) derecho al hemisferio izquierdo (lógico) cuando los músicos aprenden a hablar de música, y tal vez a pensar en ella, utilizando términos lingüísticos. Y el curso normal del desarrollo parece causar una mayor especialización hemisférica: los niños muestran menos lateralización de las operaciones musicales de la que muestran los adultos, independientemente de que sean músicos o no.

Lo mejor para empezar a examinar la expectación en el cerebro musical es analizar cómo seguimos las secuencias de acordes en la música a lo largo del tiempo. La diferencia más importante entre el arte visual y la música es que ésta se manifiesta a lo largo del tiempo. Las notas, como se despliegan secuencialmente, nos inducen (a nuestros cerebros y a nuestras mentes) a hacer predicciones sobre lo que vendrá a continuación. Esas predicciones son la parte esencial de las expectativas musicales. Pero ¿cómo podemos estudiar su base cerebral?

Las activaciones neuronales producen una pequeña corriente eléctrica, y esa corriente se puede medir con el equipo adecuado, lo que nos permite saber cuándo y con qué frecuencia se activan las neuronas; a esto es a lo que se llama electroencefalograma, o EEG. Se colocan electrodos (es indoloro) sobre la superficie del cuero cabelludo, de una forma muy parecida a como

podría fijarse con esparadrapo un monitor cardíaco en un dedo, en la muñeca o en el pecho. El EEG es extremadamente sensible cronometrando activaciones neuronales, y puede detectar actividad con una resolución de una milésima de segundo (un milisegundo). Pero tiene algunas limitaciones. No es capaz de precisar si la actividad neuronal está liberando neurotransmisores excitatorios, inhibitorios o modulatorios, las sustancias químicas, como la serotonina y la dopamina, que influyen en el comportamiento de otras neuronas. Debido a que la firma eléctrica generada por una sola neurona activándose es relativamente débil, el electroencefalograma sólo capta la activación sincrónica de grandes grupos de neuronas y no la de neuronas individuales.

El electroencefalograma tiene también una resolución espacial limitada: es decir, una capacidad limitada para decirnos el emplazamiento de las activaciones neuronales, debido a lo que se llama el problema de Poisson inverso. Imagina que estás en un estadio de fútbol cubierto por una gran cúpula semitransparente. Tienes una linterna y apuntas con ella hacia arriba, a la superficie interior de la cúpula. Mientras tanto, yo estoy fuera, mirando hacia abajo a la cúpula desde lo alto, y tengo que predecir dónde estás tú. Podrías estar en cualquier punto del campo de fútbol y dirigir la luz al mismo punto concreto del centro de la cúpula, y desde donde yo estoy, me parecería siempre el mismo. Podría haber ligeras diferencias en el ángulo o en la intensidad de la luz, pero cualquier predicción que yo hiciese sobre tu posición no pasaría de ser una conjetura. Y si tú hicieses reflejarse la luz de la linterna en espejos y en otras superficies reflectoras antes de que llegase a la cúpula, yo estaría aún más perdido. Eso es lo que pasa con las señales eléctricas que pueden ser generadas por fuentes múltiples en el cerebro, desde la superficie de éste o muy en el interior, en los surcos (*sulci*), y que pueden rebotar de los surcos antes de llegar al electrodo situado en la superficie exterior del cuero cabelludo. Aun así, el electroencefalograma ha ayudado a comprender la conducta musical porque la música está basada en el tiempo, y el electroencefalograma es, de todas las herramientas que utilizamos habitualmente para estudiar el cerebro humano, la de mejor resolución temporal.

Varios experimentos realizados por Stefan Koelsch, Angela Friederici y

sus colegas nos han aclarado aspectos sobre los circuitos neuronales implicados en la estructura musical. Los científicos utilizan secuencias de acordes que o bien resuelven de la forma esquemática estándar o bien terminan en acordes inesperados. Tras iniciarse el acorde, la actividad eléctrica del cerebro asociada con la estructura musical se capta en 150-400 milisegundos (ms) y la actividad asociada con el contenido musical unos 100-150 ms más tarde. El procesamiento estructural (sintaxis musical) ha sido localizado en los lóbulos frontales de ambos hemisferios en áreas adyacentes y sobrepuestas a las regiones que procesan la sintaxis del habla, como el área de Broca, y se manifiesta de forma independiente de si los oyentes tienen o no formación musical. Las regiones implicadas en la semántica musical (que asocian la secuencia tonal con el contenido) parecen estar en las porciones posteriores del lóbulo temporal, a ambos lados, cerca del área de Wernicke.

El sistema cerebral de la música parece operar con independencia funcional del sistema del lenguaje: lo demuestran muchos historiales de pacientes que, después de una lesión, pierden una u otra facultad, pero no ambas. El caso más famoso tal vez sea el de Clive Wearing, un músico y director de orquesta con una lesión cerebral debida a encefalitis por herpes. Clive, según informa Oliver Sacks, perdió toda la memoria salvo los recuerdos musicales y el recuerdo de su esposa. Se ha informado de otros casos en los que el paciente perdió su memoria respecto a la música pero conservó el lenguaje y otros recuerdos. Cuando el compositor Ravel sufrió un deterioro de algunas partes del córtex izquierdo, perdió de forma selectiva el sentido del tono, reteniendo sin embargo el del timbre, déficit que inspiró su *Bolero*, una composición que se centra en variaciones del timbre. La explicación más sencilla es que aunque música y lenguaje comparten algunos recursos neuronales, tienen también vías independientes. La estrecha proximidad del procesamiento de música y habla en los lóbulos frontal y temporal, y su solapamiento parcial, parecen indicar que los circuitos neuronales que se reclutan para la música y para el lenguaje pueden iniciar su vida indiferenciados. Luego, la experiencia y el desarrollo normal diferencian las funciones de las que empezaron siendo poblaciones neuronales muy semejantes. Se cree que a una edad muy temprana los bebés son sinestésicos, es decir, no pueden diferenciar los mensajes de los diferentes sentidos y

experimentan la vida y el mundo como una especie de unión psicodélica de todo lo sensorial. Los bebés pueden ver el número cinco como rojo, gustar quesos de Cheddar en re bemol y oler rosas en triángulos.

El proceso de maduración crea distinciones en las vías neuronales cuando se cortan o podan conexiones. Lo que puede haber empezado como un grupo neuronal que reaccionaba por igual a la visión, el sonido, el gusto, el tacto y el olfato se convierte en una red especializada. Así, también, puede que la música y el habla tuviesen los mismos orígenes neurobiológicos, compartiesen las mismas regiones y utilizasen las mismas redes neuronales específicas. Al aumentar la experiencia y la exposición al mundo exterior, el niño pequeño en desarrollo acaba creando vías dedicadas a la música y vías dedicadas al lenguaje. Esas vías pueden compartir algunos recursos, tal como ha propuesto sobre todo Anil Patel en su hipótesis de servicio de integración sintáctica compartido (SSIRH según sus siglas en inglés).

Mi colaborador y amigo Vinod Menon, un neurocientífico de sistemas de la facultad de medicina de Stanford, compartió conmigo el interés por definir los hallazgos de los laboratorios de Koelsch y Friederici y por aportar pruebas sólidas del servicio de integración sintáctica compartido de Patel. Para eso, teníamos que utilizar un método de estudio del cerebro diferente, ya que la resolución espacial del electroencefalograma no era lo bastante precisa para señalar realmente el locus neuronal de la sintaxis musical.

Como la hemoglobina de la sangre es ligeramente magnética, pueden rastrearse cambios en la corriente sanguínea con una máquina capaz de detectar variaciones de las propiedades magnéticas. Eso es lo que hace una máquina de imagen de resonancia magnética (MRI según las siglas en inglés), un electroimán gigante que proporciona un informe sobre variaciones en las propiedades magnéticas, lo que a su vez puede decirnos en qué parte del cuerpo fluye la sangre en un momento dado del tiempo. La empresa británica EMI realizó la investigación para desarrollar los dos primeros escáneres de imagen de resonancia magnética, con financiación procedente en gran parte de los beneficios que obtuvo con los discos de los Beatles. «I Want to Hold Your Hand» [Quiero estrecharte la mano] podría muy bien haberse titulado «I Want to Scan Your Brain» [Quiero escanearte el cerebro]. Como las neuronas necesitan oxígeno para sobrevivir y la sangre transporta

hemoglobina oxigenada, podemos rastrear el flujo de sangre también en el cerebro. Suponemos que las neuronas que están activadas necesitarán más oxígeno que las que están en reposo, así que aquellas regiones del cerebro que participan en una tarea cognitiva determinada serán aquellas que tengan un mayor flujo sanguíneo en un momento dado. Cuando utilizamos la máquina de MRI para estudiar la función de las regiones cerebrales de ese modo, la tecnología se denomina MRI funcional o fMRI.

Las imágenes de fMRI nos permiten ver un cerebro humano vivo en funcionamiento mientras está pensando. Si practicas mentalmente tu saque de tenis, podemos ver cómo te sube la sangre al córtex motor, y la resolución espacial de la fMRI es lo bastante buena para que podamos ver que la parte del córtex motor que se activa es la que controla el brazo. Si empiezas luego a resolver un problema matemático, la sangre se mueve hacia delante, hacia los lóbulos frontales, y en concreto hacia regiones que se ha comprobado que estaban relacionadas con la resolución de problemas aritméticos, y vemos ese movimiento y finalmente una acumulación de sangre en los lóbulos frontales en el escáner de la fMRI.

¿Nos permitirá alguna vez esta ciencia frankensteiniana, la ciencia de la obtención de imágenes del cerebro, leer la mente de las personas? Me siento feliz al poder decir que la respuesta probablemente sea no, y de manera rotunda no en un futuro previsible. El motivo es que los pensamientos son en realidad demasiado *complicados* y exigen la participación de demasiadas regiones diferentes. Con la fMRI yo puedo decir que estás escuchando música y que no estás viendo una película muda, pero aún no si estás escuchando hip-hop o canto gregoriano, no digamos ya qué canción concreta estás escuchando o qué es lo que estás pensando.

Con la elevada resolución espacial de la fMRI, podemos decir con un margen de sólo un par de milímetros en qué punto del cerebro está ocurriendo algo. El problema es que la resolución temporal de la fMRI no es demasiado buena debido a la cantidad de tiempo que tarda la sangre en redistribuirse en el cerebro, el llamado lapso hemodinámico. Pero otros habían estudiado ya el «cuándo» del procesamiento de la estructura musical y la sintaxis musical; nosotros queríamos saber el «dónde» y en particular si el «dónde» afectaba a áreas que ya se sabía que estaban dedicadas al habla. Descubrimos

exactamente lo que predecíamos. Al escuchar música y atender a sus rasgos sintácticos (su estructura) se activaba una región determinada del córtex frontal en el lado izquierdo llamada *pars orbitalis* (una subsección de la región conocida como área 47 de Brodmann). La región que localizamos en nuestro estudio se solapaba en parte con la señalada en estudios anteriores sobre la estructura del lenguaje, pero tenía también algunas activaciones exclusivas. Además de en esa zona del hemisferio izquierdo, descubrimos también activación en la zona análoga del hemisferio derecho. Eso nos indicó que atender a la estructura de la música es tarea de los dos hemisferios del cerebro, mientras que atender a la del lenguaje sólo compete al izquierdo.

Lo más asombroso fue que las regiones del hemisferio izquierdo que descubrimos que se activaban en la tarea de rastrear la estructura musical eran exactamente las mismas que se activan en los sordos cuando se comunican por lenguaje de señas. Eso significaba que lo que habíamos identificado en el cerebro no era una región que se limitase a determinar si una secuencia de acordes era razonable, o si una frase hablada era razonable. Estábamos ante una región que reaccionaba a la visión: a la organización visual de palabras transmitidas a través del lenguaje de señas. Encontramos pruebas de la existencia de una región del cerebro que procesa la estructura en general, cuando esa estructura se transmite a lo largo del tiempo. Aunque los mensajes recibidos en esa región deben haber procedido de poblaciones neuronales diferentes, y los emitidos por ella tuviesen que pasar por redes diferenciadas, allí estaba: una región que se activaba en cualquier tarea que entrañase organizar información a lo largo del tiempo.

La idea de la organización neuronal de la música iba haciéndose más clara. Todos los sonidos empiezan en el tímpano. Inmediatamente, se segregan por la altura del tono. Poco después, es probable que lenguaje y música diverjan en circuitos de procesamiento separados. Los del lenguaje descomponen la señal con el fin de identificar fonemas individuales: las consonantes y vocales que componen nuestro alfabeto y nuestro sistema fonético. Los circuitos de la música empiezan a descomponer la señal y a analizar por separado tono, timbre, contorno y ritmo. Los mensajes de las neuronas que realizan estas tareas conectan con regiones del lóbulo frontal que lo agrupan todo e intentan determinar si hay alguna estructura o algún

orden en la pauta temporal del conjunto. Los lóbulos frontales acceden al hipocampo y a regiones del interior del lóbulo temporal y preguntan si hay algo en nuestros bancos de memoria que pueda ayudar a entender esa señal. ¿He oído yo antes esa pauta concreta? Y si es así, ¿cuándo? ¿Qué significa? ¿Forma parte de una secuencia mayor cuyo significado se está desplegando en este momento delante de mí?

Después de haber concretado algo sobre la neurobiología de la estructura musical y de la expectación musical, estamos ya en condiciones de preguntarnos por los mecanismos cerebrales subyacentes de la emoción y el recuerdo.

SABES MI NOMBRE. BUSCA EL NÚMERO

CÓMO CATEGORIZAMOS LA MÚSICA

Uno de mis primeros recuerdos de la música es cuando era un niño de tres años y estaba tumbado en el suelo debajo del piano de cola de la familia mientras mi madre tocaba. Tumbado en nuestra alfombra de lana verde y peluda, con el piano encima de mí, lo único que veía eran las piernas de mi madre moviendo los pedales arriba y abajo, pero el sonido... ¡me envolvía! Me rodeaba por todas partes, vibrando a través del suelo y a través de mi cuerpo, las notas bajas a mi derecha, las altas a la izquierda. Los fuertes y densos acordes de Beethoven; el chaparrón de notas acrobáticas y danzarinas de Chopin; los ritmos estrictos, casi militaristas, de Schumann, un alemán como mi madre. En estos recuerdos (que figuran entre los primeros que tengo de la música) el sonido me mantenía en trance, me transportaba a espacios sensoriales en los que nunca había estado. El tiempo parecía detenerse mientras sonaba la música.

¿En qué se diferencian los recuerdos de la música de otros recuerdos? ¿Por qué puede la música activar en nosotros recuerdos que sin ella parecían perdidos o enterrados? Y ¿cómo conduce la expectativa a la experiencia de la emoción en música? ¿Cómo reconocemos canciones que hemos oído antes?

El reconocimiento de las canciones entraña una serie de complejos cálculos neuronales que interactúan con la memoria. Exige que el cerebro no preste atención a ciertos rasgos y nos centremos sólo en otros que son invariables de una audición a la siguiente... y extraigamos así las propiedades

invariables de una canción. Es decir, el sistema computacional del cerebro ha de saber separar aquellos aspectos de una canción que se mantienen igual cada vez que la oímos, y aquellos que son variaciones puntuales, característicos de una presentación concreta. ¡Si el cerebro no hiciese eso, cada vez que oyésemos una canción a un volumen distinto, nos parecería una canción completamente diferente! Y el volumen no es el único parámetro que puede variar sin que resulte afectada la identidad subyacente de la canción. La instrumentación, el tempo y el tono se pueden considerar irrelevantes desde el punto de vista del reconocimiento de una melodía. En el proceso de abstraer los rasgos que son esenciales en la identidad de una canción, deben dejarse a un lado los cambios de esos rasgos.

El reconocimiento de la melodía aumenta de forma espectacular la complejidad del sistema neuronal necesario para el procesamiento de la música. Separar las propiedades invariables de las momentáneas es un problema computacional inmenso. Yo trabajé a finales de la década de los noventa en una empresa de Internet que elaboraba programas para identificar archivos MP3. Mucha gente tiene archivos de sonido en el ordenador, pero muchos de ellos o están mal denominados o no lo están siquiera. Nadie quiere recorrer un archivo tras otro y corregir errores de escritura, como «Etlon John» o cambiar el nombre de canciones como «My Name Is True» por «Alison» de Elvis Costello (las palabras *my name is true* son el estribillo del coro, pero no el nombre de la canción).

Resolver este problema de denominación automática era relativamente fácil; cada canción tiene una «huella dactilar» digital y lo único que teníamos que hacer era aprender a buscar de forma eficiente en una base de datos de medio millón de canciones para identificarlas correctamente. A eso se le llama entre los informáticos una «mesa de búsqueda». Equivale a buscar tu número de la seguridad social en una base de datos dando tu nombre y tu fecha de nacimiento: sólo un número de la seguridad social está asociado en teoría con cada individuo, y sólo una fecha de nacimiento. Del mismo modo, sólo una canción está asociada con una secuencia específica de valores digitales que representan el sonido global de una interpretación determinada de esa canción. El programa funciona fabulosamente bien en las búsquedas. Lo que no puede hacer es encontrar otras versiones de la misma canción en la

base de datos. Podría tener ocho versiones de «Mr. Sandman» en el disco duro, pero si introdujese la versión de Chet Atkins en un programa y le pidiese que buscase otras versiones (como las de Jim Campilongo o los Chordettes), no podría. Esto se debe a que la corriente digital de números que inicia el archivo MP3 no nos da nada que sea fácilmente traducible a melodía, ritmo o intensidad, y aún no sabemos cómo hacer esa traducción. Nuestro programa tendría que ser capaz de identificar constancias relativas de intervalos melódicos y rítmicos, sin tener en cuenta al mismo tiempo detalles de la interpretación específica. El cerebro hace eso con facilidad, pero nadie ha inventado un ordenador que pueda ni siquiera empezar a hacerlo.

Esta diferente capacidad de ordenadores y humanos está relacionada con un debate sobre la naturaleza y la función de la memoria en los humanos. Experimentos recientes sobre la memoria musical han proporcionado claves decisivas para aclarar la verdadera cuestión. El gran debate entre los teóricos de la memoria a lo largo de los últimos cien años ha girado en torno a si la memoria humana y animal es relacional o absoluta. La escuela relacional sostiene que nuestro sistema mnemotécnico almacena información sobre las relaciones entre objetos e ideas, pero no necesariamente detalles sobre los propios objetos. A eso se le llama también punto de vista, porque da por supuesto que, a falta de datos sensoriales, «construimos» una representación mnemotécnica de la realidad a partir de esas relaciones (con muchos detalles añadidos o reconstruidos sobre la marcha). Los constructivistas creen que la función de la memoria es no tener en cuenta detalles irrelevantes, preservando al mismo tiempo la esencia. La teoría rival se llama la teoría de «conservación del registro». Los que la apoyan sostienen que la memoria es como una grabadora o una videocámara digital y que preserva con exactitud y con una fidelidad casi perfecta todas o casi todas nuestras experiencias.

La música juega un papel en este debate porque (como indicaron hace un centenar de años los psicólogos de la Gestalt) las melodías están definidas por relaciones de tono (un punto de vista constructivista) y sin embargo, están compuestas de tonos precisos (un punto de vista de la conservación del registro, aunque sólo si esos tonos están codificados en la memoria).

Se han acumulado muchas pruebas en apoyo de ambos puntos de vista. Las favorables a los constructivistas proceden de estudios en los que la gente

oye hablar (memoria auditiva) o se le pide que lea un texto (memoria visual) y luego informa de lo que ha oído o leído. La gente no es demasiado buena en la tarea de recrear una relación palabra por palabra, según un estudio tras otro. Recuerdan el contenido general, pero no las palabras concretas.

Varios estudios indican también la maleabilidad de la memoria. Da la impresión de que intervenciones menores pueden afectar enormemente a la exactitud de la recuperación del recuerdo. Elizabeth Loftus, de la Universidad de Washington, interesada por la exactitud de los testimonios de los testigos en los juicios, realizó una importante serie de estudios. Se mostraron a los sujetos cintas de video y se les formularon preguntas importantes sobre el contenido. Si se trataba de dos coches que apenas se habían rozado, se podía preguntar a un grupo de sujetos: «¿A qué velocidad iban los coches cuando se rozaron?». Y a otro grupo se le preguntaba: «¿A qué velocidad iban los coches cuando chocaron?». Esas sustituciones de una palabra provocaron diferencias espectaculares en las valoraciones de las velocidades de los dos vehículos por parte de los sujetos. Luego Loftus llamó de nuevo a los sujetos, en algunos casos hasta una semana más tarde, y les preguntó: «¿Cuánto cristal roto vio usted?» (no había habido en realidad ningún cristal roto). Los sujetos a los que se les formuló la pregunta con la palabra *chocaron* incluida fueron los que más tendieron a *decir* que «recordaban» cristal roto en el vídeo. El recuerdo de lo que habían visto en realidad había sido reconstruido basándose en una simple pregunta que había formulado el experimentador una semana antes.

Hallazgos como éstos han llevado a los investigadores a concluir que la memoria no es particularmente exacta, y que se reconstruye a base de piezas dispares que pueden no ser exactas. La recuperación del recuerdo (y tal vez el almacenamiento) pasa por un proceso similar al perceptivo de completar o rellenar. ¿Has probado alguna vez a explicarle a alguien a la mañana siguiente, en el desayuno, un sueño que tuviste? Nuestro recuerdo del sueño suele presentárenos en imágenes fragmentadas y las transiciones entre elementos no siempre son claras. Cuando contamos el sueño, apreciamos vacíos, y casi no podemos evitar llenarlos durante la narración. «Yo estaba fuera en lo alto de una escalera escuchando un concierto de Sibelius, y caía del cielo una lluvia de caramelo...», podría empezar. Pero la imagen

siguiente eres tú bajando la escalera. Añadimos natural y automáticamente esta informaron ausente cuando relatamos el sueño. «Y decidí protegerme de aquella lluvia, así que empecé a bajar por la escalera porque sabía que abajo podía resguardarme...»

Éste es el cerebro izquierdo hablando (y probablemente la región llamada córtex orbitofrontal, justo detrás de la sien izquierda). Cuando inventamos una historia es casi siempre el cerebro izquierdo el que se encarga de hacerlo. El cerebro izquierdo elabora historias basadas en la información muy limitada que consigue. En general recibe correctamente la historia, pero se esforzará muchísimo porque resulte coherente. Michael Gazzaniga descubrió esto en un trabajo con pacientes comisurotomizados (pacientes a los que se les había separado quirúrgicamente los dos hemisferios del cerebro para aliviar una epilepsia de difícil tratamiento). Gran parte de la información que recibe y emite el cerebro es contralateral: el cerebro izquierdo controla el movimiento en la mitad derecha del cuerpo y el cerebro izquierdo procesa la información que ve tu ojo derecho. Al cerebro izquierdo de un paciente se le mostró una foto de una pata de pollo y al cerebro derecho del mismo paciente una casa cubierta de nieve (a través de sus ojos derecho e izquierdo respectivamente). Una barrera limitaba la visión de los ojos, de forma que cada uno sólo veía una de las fotos. Luego se pidió al paciente que seleccionase en una colección de fotos la que estaba más íntimamente relacionada con cada una de las dos cosas. El paciente señaló un pollo con el cerebro izquierdo (es decir, con la mano derecha) y una pala con el derecho. Hasta ahí, todo bien; el pollo va con la pata de pollo y la pala con una casa cubierta de nieve. Pero cuando Gazzaniga retiró la barrera y preguntó al paciente por qué había elegido la pala, su hemisferio izquierdo vio a la vez el pollo y la pala y elaboró una historia que era coherente con ambas imágenes. «Necesitas una pala para limpiar el gallinero», contestó, sin la menor conciencia de que había visto una casa cubierta de nieve (con su cerebro derecho no verbal), y de que estaba inventando una explicación sobre la marcha. Otra prueba más en favor de los constructivistas.

A principios de la década de los sesenta, en el MIT, Benjamin White intentó resolver un problema que habían planteado los psicólogos de la Gestalt, que se preguntaron cómo era posible que una canción retuviese su

identidad a pesar de una transposición de tono y ritmo. Alteró para ello sistemáticamente canciones muy conocidas como «Deck the Halls» y «Michael, Row Your Boat Ashore». En algunos casos transponía todos los tonos, en otros modificaba las distancias tonales de manera que quedase preservado el contorno, pero los tamaños de los intervalos se ampliaban o se reducían. Tocó las melodías hacia delante y hacia atrás y cambió los ritmos. La canción deformada fue identificada más veces de lo que podría atribuirse a la casualidad en casi todos los casos.

White demostró que la mayoría de los oyentes pueden reconocer una canción sometida a una transposición casi de inmediato sin error. Y eran también capaces de reconocer todos los tipos de deformaciones de la melodía original. La interpretación constructivista de eso es que el método de la memoria debe de extraer cierta información invariable generalizada respecto a las canciones y almacenarla. Si fuese cierta la versión de la conservación del registro, dicen, harían falta nuevos cálculos cada vez que oyésemos una canción sometida a transposición para que nuestros cerebros pudiesen comparar la nueva versión con la única representación almacenada de la interpretación concreta. Pero en este caso parece que la memoria extrae una generalización abstracta para uso posterior.

La versión de la conservación del registro sigue una vieja idea de mis investigadores favoritos, los psicólogos de la Gestalt, que decían que cada experiencia deja una huella o residuo en el cerebro. Las experiencias están almacenadas como huellas, afirmaban, que son reactivadas cuando recuperamos los episodios de la memoria. Gran parte de las pruebas experimentales apoyan esta teoría. Roger Shepard mostró en un experimento centenares de fotos durante unos cuantos segundos a varios sujetos. Una semana después, volvió a llevarles al laboratorio y les mostró pares de fotografías que habían visto antes, junto con algunas nuevas que no habían visto. En muchos casos, las «nuevas» fotos sólo se diferenciaban de las viejas en detalles insignificantes, como el ángulo de la vela de un velero, o el tamaño de un árbol situado en segundo plano. Los sujetos fueron capaces de recordar cuáles habían visto una semana antes con una exactitud pasmosa.

Douglas Hintzman realizó un estudio en el que mostró a los sujetos letras que diferían por ser de diversos tipos de fuentes y por estar escritas unas con

mayúscula y otras con minúscula. Por ejemplo:

F l a u t a

En contra de los estudios de memoria medular, los sujetos fueron capaces de recordar la fuente específica.

Sabemos también anecdóticamente que la gente puede reconocer centenares, y tal vez miles, de voces. Es probable que puedas reconocer el sonido de la voz de tu madre en una sola palabra, aunque ella no se identifique. Puedes reconocer de inmediato la voz de tu esposa y saber si tiene catarro o si está enfadada contigo, todo por el timbre de la voz. Luego hay voces muy conocidas, docenas, hasta centenares, que la mayoría de la gente puede identificar con facilidad: Woody Allen, Richard Nixon, Drew Barrymore, W. C. Fields, Groucho Marx, Katharine Hepburn, Clint Eastwood, Steve Martin. Podemos retener en la memoria el sonido de esas voces, a menudo cuando formulan un contenido específico o frases hechas: «Yo no soy un sinvergüenza», «Di la palabra mágica y ganarás cien dólares», «Adelante: alégrame la vida», «¡Bueno, pееееrdóname!». Recordamos las palabras concretas y las voces concretas, no sólo el meollo. Esto apoya la teoría de la conservación del registro.

Por otra parte, disfrutamos escuchando a los cómicos que imitan las voces de celebridades, y a menudo los números más divertidos incluyen frases que la celebridad real nunca dijo. Para que esto funcione, tenemos que tener algún tipo de huella mnemotécnica almacenada del timbre de la voz de la persona, independiente de las palabras concretas. Esto podría contradecir la teoría de la conservación del registro, al demostrar que son sólo las propiedades abstractas de la voz las que están codificadas en la memoria, y no los detalles específicos. Pero podría argumentarse que el timbre es una propiedad de los sonidos separable de otros atributos; podemos defender nuestra teoría de «conservación del registro» diciendo que codificamos valores tímbricos específicos en la memoria y explicar pese a ello por qué podemos reconocer el sonido de un clarinete, aunque esté tocando una canción que nunca hemos oído.

Uno de los casos más famosos de la literatura neuropsicológica es el de

un paciente ruso conocido sólo por su inicial, S., al que trató el médico A. R. Luria. Este paciente padecía hipermnnesia, que es lo contrario de la amnesia: en vez de olvidarlo todo, lo recordaba todo. Era incapaz de darse cuenta de que visiones distintas de la misma persona estaban relacionadas con un solo individuo. Si veía a una persona sonriendo, eso era una cara; si la persona más tarde fruncía el ceño, eso era otra cara. Le resultaba difícil integrar las muchas expresiones diferentes y los ángulos de enfoque de una persona en una sola representación coherente de esa persona. «¡Tienen todos tantas caras!», se quejaba al doctor Luria. Era incapaz de formar generalizaciones abstractas, sólo se mantenía intacto su sistema de conservación de registros. Para poder entender el lenguaje hablado, necesitamos prescindir de la pronunciación de las palabras de diferentes personas, o de cómo la misma persona pronuncia un fonema determinado cuando aparece en contextos diferentes. ¿Cómo puede dar cuenta la conservación del registro de esto de un modo coherente?

A los científicos les gusta tener su mundo organizado. Permitir que se mantengan dos teorías que hacen predicciones diferentes no es atractivo desde el punto de vista científico. Nos gustaría adecentar nuestro mundo lógico y elegir una teoría y prescindir de la otra, o elaborar una tercera teoría unificadora que lo explicase todo. ¿Qué teoría es correcta entonces? ¿La de la conservación del registro o la constructivista? Dicho brevemente, ninguna de las dos.

La investigación que acabo de describir se produjo al mismo tiempo que nuevos trabajos innovadores sobre las categorías y los conceptos. La categorización es una función básica de los seres vivos. Cada objeto es único, pero solemos actuar frente a objetos diferentes como miembros de clases o categorías. Aristóteles expuso los métodos por los que los científicos y filósofos modernos piensan sobre cómo se forman los conceptos en los seres humanos. Según él las categorías se derivan de listas de rasgos definitorios. Por ejemplo, tenemos en la mente una representación interna de la categoría «triángulo». Contiene una imagen mental o representación de cada triángulo que hemos visto a lo largo de nuestra vida, y podemos imaginar también nuevos triángulos. Lo que constituye en esencia esta categoría y lo que

determina los límites de pertenencia categorial (lo que entra en ella y lo que queda fuera) es una definición que podría ser algo parecido a esto: «Un triángulo es una figura de tres lados». Si tuvieses formación matemática, tu definición podría ser más elaborada: «Un triángulo es una figura cerrada de tres lados, cuyos ángulos interiores suman 180 grados». Podrían añadirse a esta definición subcategorías de triángulos, como por ejemplo «un triángulo isósceles tiene dos lados de igual longitud; un triángulo equilátero tiene tres lados de la misma longitud; en un triángulo rectángulo, la suma de los cuadrados de los catetos es igual al cuadrado de la hipotenusa».

Tenemos categorías para todos los tipos de cosas, vivas e inanimadas. Cuando se nos muestra algo nuevo (un triángulo nuevo, un perro que no hemos visto nunca) lo asignamos, según Aristóteles, a una categoría, basándonos en un análisis de sus propiedades y en una comparación con la definición categorial. Desde Aristóteles, pasando por Locke hasta hoy, se daba por supuesto que las categorías eran una cuestión de lógica, y los objetos estaban dentro o fuera de una categoría.

Después de 2.300 años sin ningún trabajo sustancial sobre el tema, Ludwig Wittgenstein formuló una sencilla pregunta: ¿qué es un juego? Esto puso en marcha un renacimiento del trabajo empírico sobre la formación categorial. Entró aquí en escena Eleanor Rosch, que hizo su tesis de grado en filosofía en el Reed College de Portland, Oregón, con Wittgenstein. Había planeado durante años ir a una escuela de filosofía, pero un año con Wittgenstein, dice, «la curó» completamente de la filosofía. Considerando que la filosofía contemporánea se había metido en un callejón sin salida, se preguntó cómo podría estudiar ideas filosóficas empíricamente, cómo podría descubrir nuevos hechos filosóficos. Cuando yo estaba enseñando en la Universidad de California en Berkeley, donde ella es profesora, me explicó que creía que la filosofía había hecho todo lo que podía hacer respecto a los problemas del cerebro y de la mente, y que hacía falta experimentación para seguir avanzando. Hoy, siguiendo a Rosch, muchos psicólogos cognitivos consideran que una descripción válida de nuestro campo es «filosofía empírica»; es decir, plantear enfoques experimentales respecto a cuestiones y problemas que han pertenecido tradicionalmente al campo de los filósofos: ¿cuál es la naturaleza de la mente? ¿De dónde proceden los pensamientos?

Rosch acabó en Harvard, y se doctoró allí en psicología cognitiva. Su tesis doctoral cambió nuestro modo de pensar sobre las categorías.

Wittgenstein asestó el primer golpe a Aristóteles desbaratando la idea de definiciones estrictas de lo que es categoría. Utilizando la categoría «juegos» como ejemplo, alegó que no hay ninguna definición o serie de definiciones que puedan abarcar todos los juegos. Por ejemplo, podríamos decir que un juego a) se hace por diversión o recreo, b) es una actividad de ocio, c) es una actividad que se da con mayor frecuencia entre los niños, d) tiene ciertas reglas, e) es de algún modo competitivo, f) en él participan dos o más personas. Sin embargo, podemos mostrar contraejemplos para cada uno de estos elementos, que demuestran que las definiciones fallan: a) en las Olimpiadas, ¿están los atletas divirtiéndose?; b) ¿es el fútbol profesional una actividad de ocio?; c) el póker es un juego, como el frontón, pero no se da con mayor frecuencia entre niños; d) un niño tirando una pelota contra una pared está divirtiéndose, pero ¿cuáles son las reglas?; e) el corro no es competitivo; f) en un solitario no participan dos o más personas. ¿Cómo deshacernos de esta fe en las definiciones? ¿Hay alguna alternativa?

Wittgenstein propuso que la pertenencia a una categoría no está determinada por una definición, sino por semejanza de familia. Llamamos a algo un juego si se parece a otras cosas que previamente hemos llamado juegos. Si asistiésemos a una reunión de la familia de Wittgenstein, podríamos ver que los miembros de la familia comparten ciertos rasgos, pero que no hay ningún rasgo físico único que uno deba tener de forma clara e imprescindible para pertenecer a ella. Un primo podría tener los ojos de tía Tessie; otro podría tener la barbilla de Wittgenstein. Algunos miembros de la familia tendrán la frente del abuelo, otros serán pelirrojos como la abuela. En vez de utilizar una lista estadística de definiciones, la similitud familiar se basa en una lista de rasgos que pueden o no estar presentes. La lista puede ser también dinámica; en determinado momento pueden desaparecer los pelirrojos de la estirpe familiar (si no media el tinte) y entonces nos limitamos a eliminarlo de nuestra lista de rasgos. Si surge de nuevo varias generaciones después, podemos reintroducirlo en nuestro sistema conceptual. Esta idea clarividente constituye la base de la teoría más convincente de la investigación contemporánea de la memoria, los modelos mnemotécnicos de

huella múltiple en los que trabajó Douglas Hintzman y que ha retomado recientemente un brillante científico cognitivo llamado Stephen Goldinger, de Arizona.

¿Podemos definir «música» mediante definiciones? ¿Y los tipos de música, como heavy metal, clásica o country? Esos intentos fracasarían sin duda igual que en el caso de los «juegos». Podríamos, por ejemplo, decir que heavy metal es un género musical que tiene a) guitarras eléctricas distorsionadas; b) batería fuerte y pesada; c) tres acordes, o acordes eléctricos; d) cantantes sexys que normalmente no llevan camisa, chorrean sudor y blanden el pie del micrófono por el escenario como si fuese un trozo de cuerda, y e) diéresis en los nombres de los grupos. Pero esta lista estricta de definiciones es fácil de refutar aunque en la mayoría de las canciones heavy metal haya guitarras eléctricas distorsionadas, como sucede en «Beat It» de Michael Jackson. En realidad, Eddie Van Halen (el dios del heavy metal) toca el solo de guitarra en esa canción. Hasta los Carpenters tienen una canción con una guitarra distorsionada, y nadie les llamaría «heavy metal». Led Zeppelin (la banda de heavy metal quintaesencial, que se puede sostener que fue la que creó el género) tiene varias canciones en las que no hay ninguna guitarra distorsionada («Bron-y-aur», «Down by the Seaside», «Goin' to California», «The Battle of Nevermore»). «Stairway to Heaven» de Led Zeppelin es un himno heavy metal y no hay ninguna batería fuerte y pesada (ni guitarras distorsionadas en realidad) en el 90 por ciento. Tampoco tiene sólo tres acordes «Stairway to Heaven». Y muchísimas canciones tienen tres acordes y acordes eléctricos que no son heavy metal, incluidas la mayoría de las canciones de Raffi. Metallica es una banda de heavy metal sin duda, pero yo nunca he oído a nadie llamar sexy a su cantante principal, y aunque Mötley Crüe, Öyster Cult, Motörhead, Spinal Tap (con diéresis sobre la *n*) y Queensrÿche tienen diéresis gratuitas, muchas bandas de heavy metal no. Led Zeppelin, Metallica, Black Sabbath, Def Leppard, Ozzie Osbourne, Triumph, etc. Las definiciones de géneros musicales no son muy útiles; decimos que algo es heavy metal si parece heavy metal..., un parecido familiar.

Rosch, armada con su conocimiento de Wittgenstein, decidió que algo puede ser más o menos miembro de una categoría; en vez de ser todo o nada como había creído Aristóteles, hay matices de pertenencia, grados de encaje

en una categoría y matizaciones útiles. ¿Es un petirrojo un ave? La mayoría de la gente contestaría sí. ¿Es un pollo un ave? ¿Lo es un pingüino? La mayoría de la gente diría sí tras una pequeña pausa, pero luego añadiría que los pollos y los pingüinos no son muy buenos ejemplos de aves, ni típicos de la categoría. Esto se refleja en el lenguaje cotidiano cuando utilizamos salvaguardias lingüísticas como «Un pollo es “técnicamente” un ave», o «Sí, un pingüino es un ave, pero no vuela como la mayoría de las otras aves». Rosch, siguiendo a Wittgenstein, mostró que las categorías no siempre tienen fronteras claras: tienen fronteras borrosas. Las cuestiones de pertenencia son tema de debate y puede haber diferencias de opinión: ¿es el blanco un color? ¿Es realmente música el hip-hop? Si los miembros supervivientes de Queen actúan sin Freddie Mercury, ¿aún estoy viendo a los Queen (y merece la pena pagar ciento cincuenta dólares por una entrada)? Rosch demostró que la gente puede discrepar respecto a las categorizaciones (¿es un pepino una fruta o una hortaliza?) y que la misma persona puede discrepar incluso consigo misma en momentos diferentes respecto a una categoría (¿es fulano amigo mío?).

El segundo descubrimiento de Rosch fue que todos los experimentos sobre categorías que se habían hecho antes de los suyos utilizaban conceptos y grupos de estímulos artificiales que tenían poco que ver con el mundo real. Y estos experimentos de laboratorio controlados estaban elaborados, de forma inadvertida, de tal modo que acababan siendo tendenciosamente favorables a las teorías de los experimentadores. Esto pone de relieve un problema permanente que afecta a toda la ciencia empírica: la tensión entre el control experimental riguroso y las situaciones del mundo real. El problema es que para ajustarse a uno de esos aspectos suele comprometerse el otro. El método científico exige que controlemos todas las variables posibles para poder extraer conclusiones firmes respecto al fenómeno que se estudia. Sin embargo, ese control crea a menudo estímulos o condiciones que nunca se hallarían en el mundo real, situaciones que están tan alejadas del mundo real que incluso podrían no ser válidas. El filósofo británico Alan Watts, autor de *La sabiduría de la inseguridad*, lo expresó así: si quieres estudiar un río, no cojas un cubo de agua de él y te pongas a mirarlo en la orilla. Un río no es agua, y al sacar el agua del río, pierdes la cualidad esencial del río, que es su movimiento, su actividad, su flujo. Rosch consideró que los científicos

habían perturbado el flujo de las categorías al estudiarlas de una forma tan artificial. Eso, dicho sea de pasada, es un problema que se plantea también con gran parte de la investigación que se ha hecho en la neurociencia de la música en la última década: hubo demasiados científicos que estudiaron melodías artificiales utilizando sonidos artificiales, cosas tan alejadas de la música que no está claro lo que estamos aprendiendo.

El tercer descubrimiento de Rosch fue que ciertos estímulos ocupan una posición privilegiada en nuestro sistema perceptivo o nuestro sistema conceptual, y que se convierten en prototipos de una categoría: las categorías se forman en torno a esos prototipos. En el caso de nuestro sistema perceptivo, categorías como «rojo» y «azul» son una consecuencia de nuestra fisiología retinal; ciertos matices del rojo serán considerados universalmente más vívidos, más centrales que otros debido a que una longitud de onda específica de la luz visible activará al máximo en su caso los receptores «rojos» de la retina. Formamos categorías en torno a esos colores centrales o focales. Rosch puso a prueba esa idea en una tribu de Nueva Guinea, los danis, que sólo tienen dos palabras en su idioma para los colores, *mili* y *mola*, que corresponden básicamente a claro y oscuro.

Rosch quería demostrar que lo que llamamos rojo y lo que escogeríamos como un ejemplo del mejor rojo no es algo determinado o aprendido culturalmente. Cuando nos muestran un grupo de diferentes matices de rojo, no elegimos uno determinado porque nos hayan enseñado que es el mejor rojo, lo elegimos porque nuestra fisiología le otorga una posición perceptiva privilegiada. Los dani no tienen ninguna palabra para el rojo en su lengua, y por tanto ningún adiestramiento en lo que constituye un buen rojo frente a un mal rojo. Rosch mostró a sus sujetos danis fichas coloreadas con docenas de matices diferentes de rojo y les pidió que eligiesen el mejor ejemplo de ese color. Ellos seleccionaron abrumadoramente el mismo «rojo» que seleccionan los estadounidenses, y lo recordaban mejor. E hicieron eso con otros colores que no podía nombrar, como verdes y azules. Eso llevó a Rosch a la conclusión de que a) las categorías se forman en torno a prototipos; b) esos prototipos pueden tener un fundamento fisiológico o biológico; c) la pertenencia categorial puede concebirse como una cuestión de grado, siendo ciertas muestras «mejores» que otras; d) los elementos nuevos se juzgan en

relación con los prototipos, formando gradientes de pertenencia categorial; y el golpe final a la teoría aristotélica, e) no hace falta que haya atributos que compartan todos los miembros de la categoría, y las fronteras no tienen por qué ser definidas.

Hemos hecho algunos experimentos informales en mi laboratorio con géneros musicales y los resultados han sido similares. La gente parece estar de acuerdo en lo que son canciones prototípicas de categorías musicales, como por ejemplo «música country», «skate punk» y «música barroca». Tienden también a considerar ciertas canciones o ciertos grupos como ejemplos menos buenos que el prototipo: los Carpenters no son realmente música rock; Frank Sinatra no es «realmente» jazz, o al menos no tanto como lo es John Coltrane. Incluso dentro de la categoría de un solo artista, la gente establece distinciones de grado que entrañan una estructura prototípica. Si me pides que elija una canción de los Beatles y elijo «Revolution 9» (un fragmento experimental de John Lennon y Paul McCartney, sin ninguna música original, ni melodía ni ritmo, que empieza con un presentador repitiendo «Number 9, Number 9», una y otra vez) tú podrías quejarte de que lo estaba poniendo difícil. «Bueno, “técnicamente” es una pieza de los Beatles..., ¡pero yo no me refiero a eso!» Asimismo, un único álbum de *doo-wop* de Neil Young de los años cincuenta (*Everybody's Rockin'*) no es representativo (ni característico) de Neil Young; la incursión en el jazz de Joni Mitchell con Charles Mingus no es en lo que solemos pensar cuando pensamos en Joni Mitchell. (De hecho, sus respectivos sellos discográficos amenazaron con cancelar el contrato a Neil Young y a Joni Mitchell por hacer música que no se consideraba la propia de Neil Young y de Joni Mitchell.)

Nuestra comprensión del mundo que nos rodea empieza con casos específicos e individuales (una persona, un árbol, una canción) y a través de la experiencia con el mundo, el cerebro trata casi siempre esos objetos particulares como miembros de una categoría. Roger Shepard ha descrito el sistema general de todo este análisis en términos evolucionistas. Hay tres problemas básicos de apariencia/realidad que, según él, todos los animales superiores tienen que resolver. Para sobrevivir, para encontrar alimento, agua, cobijo, para escapar a los predadores y para aparearse, el organismo debe

tratar con tres escenarios.

Primero, los objetos, aunque puedan parecer similares en su aspecto, son inherentemente distintos. Objetos que pueden crear pautas idénticas o casi idénticas de estimulación en el tímpano, la retina, las papilas gustativas o los sensores táctiles pueden ser en realidad entidades distintas. La manzana que veo en el árbol es diferente de la que tengo en la mano. Los diferentes sonidos de violín que oigo en una sinfonía proceden de varios instrumentos distintos aunque estén tocando todos la misma nota.

Segundo, los objetos, aunque puedan ser diferentes en apariencia, son en esencia idénticos. Cuando miramos una manzana desde arriba, o desde un lado, parece ser un objeto completamente distinto. La cognición efectiva exige un sistema computacional que pueda integrar esas visiones distintas en una representación coherente de un objeto único. Aunque los receptores sensoriales reciban pautas de activación diferenciadas y no superpuestas, necesitamos abstraer información decisiva para crear una representación unificada del objeto. Aunque yo pueda estar acostumbrado a oír tu voz en persona, a través de ambos oídos, cuando te oigo por teléfono, en un oído, necesito reconocer que eres la misma persona.

El tercer problema de apariencia/realidad invocará procesos cognitivos de orden superior. Los dos primeros son procesos perceptivos: comprender que un objeto único puede manifestarse en marcos múltiples, o que varios objetos pueden tener marcos (casi) idénticos. El tercer problema consiste en que los objetos, aunque de aspecto diferente, son del mismo género natural. Esto es un problema en la categorización, y es el principio más convincente y avanzado de todos. Todos los mamíferos superiores, muchos mamíferos inferiores y aves, e incluso peces, pueden categorizar. La categorización entraña tratar objetos que parecen diferentes como del mismo tipo. Una manzana roja puede parecer diferente de una manzana verde, pero las dos siguen siendo manzanas. Mi madre y mi padre pueden parecer muy distintos, pero los dos son personas que se preocupan por mí y en las que se puede confiar en una emergencia.

La conducta adaptativa se basa, pues, en un sistema computacional que puede analizar la información disponible en las superficies sensoriales según 1) las propiedades invariables del objeto o el escenario exterior, y 2) las

circunstancias momentáneas de la manifestación de ese objeto o ese escenario. Leonard Meyer indica que esa clasificación es esencial para que compositores, intérpretes y oyentes puedan interiorizar las normas que rigen las relaciones musicales y, en consecuencia, para comprender las implicaciones de las pautas y las desviaciones de las normas estilísticas de la experiencia real. Como dice Shakespeare en *El sueño de una noche de verano*, nuestra necesidad de clasificar consiste en dar «a la nada etérea / una ubicación local y un nombre».

La caracterización de Shepard reenfoca el problema de la categorización como un problema evolutivo/adaptativo. Rosch, por otra parte, estaba empezando a poner nerviosa con su trabajo a la comunidad investigadora, y docenas de destacados psicólogos cognitivos se dedicaron a buscar una forma de refutar su teoría. Posner y Keele habían demostrado que la gente almacena prototipos en la memoria. Habían realizado un ingenioso experimento utilizando muestras que contenían pautas de puntos colocados en un cuadrado, algo así como una de las caras de un dado, pero con los puntos situados más o menos al azar en cada cara. Los llamaron los prototipos. Luego cambiaron algunos de los puntos cerca de un milímetro en una dirección u otra, al azar. Eso creó una serie de distorsiones del prototipo (es decir, variaciones), que diferían en su relación con el prototipo. Algunos de los modelos, debido a variaciones al azar, no pudieron ser fácilmente identificados con un prototipo u otro, las presiones eran sencillamente demasiado grandes.

Eso es lo que hace un músico de jazz con una canción muy conocida, o estándar. Cuando comparamos la versión de Frank Sinatra de «A Foggy Day» con la versión de Ella Fitzgerald y Louis Armstrong, oímos que algunos de los tonos y de los ritmos son los mismos y algunos son diferentes; esperamos que un buen vocalista interprete la melodía, aunque eso signifique cambiarla, no atenerse al modo en que la compuso originalmente su creador. En las cortes de Europa durante el barroco y durante la ilustración, músicos como Bach y Haydn realizaban de forma regular variaciones de temas. La versión de Aretha Franklin de «Respect» difiere de la escrita e interpretada por Otis Redding de diferentes modos..., pero seguimos considerándola la

misma canción. ¿Qué dice esto sobre los prototipos y la naturaleza de las categorías? ¿Podemos decir que las variaciones musicales comparten un parecido familiar? ¿Son cada una de estas versiones de una canción variaciones de un prototipo ideal?

Posner y Keele abordaron la cuestión general de las categorías y de los prototipos utilizando sus estímulos de puntos. Se mostraron a los sujetos trozos de papel con una versión tras otra de aquellos cuadrados con puntos, todos ellos diferentes entre sí, pero nunca los prototipos de los que se habían derivado las variaciones. No se les explicó cómo se habían construido aquellas pautas de puntos, ni que existían prototipos de aquellas formas diversas. Una semana más tarde, les pidieron que miraran más trozos de papel, algunos viejos y algunos nuevos, y que indicaran cuáles habían visto antes. Los sujetos identificaron muy bien los que habían visto antes y los que no habían visto. Ahora bien, los experimentadores, sin que los sujetos lo supiesen, habían incluido los prototipos a partir de los cuales habían creado todas las figuras. De forma asombrosa, los sujetos identificaron con frecuencia los dos prototipos que no habían visto previamente como figuras que habían visto antes. Esto proporcionó la base para sostener que los prototipos están almacenados en la memoria: ¿cómo podrían si no los sujetos haber identificado erróneamente las muestras que no habían visto? Para almacenar en la memoria algo que no se ha visto, el sistema mnemotécnico debe realizar algunas operaciones con los estímulos; tiene que haber una forma de procesar actuando en cada etapa que no se limita a preservar la información que se presenta. Esto parecía la muerte de cualquier teoría de conservación del registro; si los prototipos están almacenados en la memoria, la memoria tiene que ser constructiva.

Lo que aprendimos de Ben White y del trabajo posterior de Jay Dowling de la Universidad de Texas y otros, es que la música es muy potente frente a las transformaciones y distorsiones de sus rasgos básicos. Podemos cambiar todos los tonos utilizados en la canción (transposición), el tempo y la instrumentación, y la canción sigue reconociéndose como la misma canción. Podemos cambiar los intervalos, las escalas, incluso la tonalidad de mayor a menor o viceversa. Podemos cambiar el arreglo (por ejemplo de bluegrass a rock, o de heavy metal a clásica) y, mientras se mantenga la letra de Led

Zeppelin, la canción sigue siendo la misma. Yo he grabado a un grupo de bluegrass, Austin Lounge Lizards, tocando «Dark Side of the Moon» del grupo de rock progresivo Pink Floyd, utilizando bajos y mandolinas. Tengo grabaciones de la London Symphony Orchestra interpretando canciones de los Rolling Stones y de Yes. Pese a cambios tan espectaculares, la canción sigue siendo identificable. Parece, pues, que nuestro sistema mnemotécnico extrae alguna fórmula o descripción computacional que nos permite identificar canciones a pesar de esas transformaciones. La versión constructivista sería la que más se ajusta a los datos musicales, y según Posner y Keele, también a la cognición visual.

En 1990 hice un curso en Stanford llamado «Psicoacústica y psicología cognitiva para músicos», que impartían conjuntamente los departamentos de música y de psicología. El curso lo daban en equipo un reparto completo de estrellas: John Chowning, Max Mathews, John Pierce, Roger Shepard y Perry Cook. Cada estudiante tenía que completar un proyecto de investigación, y Perry propuso que yo examinase lo bien que la gente podía recordar tonos, y concretamente si podían adjuntar etiquetas arbitrarias a esos tonos. Ese experimento uniría memoria y categorización. Las teorías predominantes predecían que no había ninguna razón para que la gente retuviese información de oído absoluto: el hecho de que se pudiesen reconocer con tanta facilidad melodías sometidas a transposición es un argumento a favor de eso. Y la mayoría de las personas no son capaces de nombrar las notas, sólo las que tienen oído absoluto, es decir, una entre diez mil.

¿Por qué es tan raro el oído absoluto (OA)? La gente con OA puede nombrar las notas con la misma facilidad con que la mayoría de nosotros nombramos los colores. Si le tocas a alguien con OA un do sostenido al piano, puede decir que es un do sostenido. La mayoría de la gente no puede hacer eso, por supuesto..., ni siquiera lo pueden hacer la mayoría de los músicos, salvo que vean qué dedos utilizas. La mayoría de los que tienen OA pueden también identificar la altura de tono de otros sonidos, como las bocinas de los coches, el ronroneo de las luces fluorescentes y el tintineo de los cubiertos en el plato durante la comida. Como vimos antes, el color es una ficción psicofísica: no existe en el mundo, pero nuestros cerebros imponen una estructura categorial, como por ejemplo grandes muestras de rojo o azul,

en el continuo unidimensional de frecuencia de las ondas luminosas. El tono es también una ficción psicofísica, la consecuencia de que nuestros cerebros impongan una estructura sobre el continuo unidimensional de frecuencia de las ondas sonoras. Podemos nombrar instantáneamente un color sólo con mirarlo. ¿Por qué no podemos nombrar los sonidos sólo con escucharlos?

La mayoría podemos identificar sonidos con tan poco esfuerzo como identificamos colores; lo que sucede es simplemente que no es el tono lo que identificamos, sino el timbre. Podemos decir de inmediato de un sonido: «Eso es la bocina de un coche», o «Ésa es mi abuela Sadie que tiene catarro», o «Eso es una trompeta». Podemos identificar color tonal, pero no altura de tono. Aun así, queda sin resolver el problema de por qué algunas personas tienen OA y otras no. El difunto Dixon Ward, de la Universidad de Minnesota, comentó con ironía que la verdadera cuestión no es «¿Por qué sólo unas cuantas personas tienen OA?», sino «¿Por qué no lo tenemos todos?».

Leí todo lo que pude sobre el OA. En los ciento treinta años transcurridos entre 1860 y 1990, se publicaron aproximadamente un centenar de artículos de investigación sobre el tema. ¡En los quince años transcurridos desde 1990 se han escrito un número igual de artículos! Me di cuenta de que todas las pruebas de OA exigían que los sujetos utilizasen un vocabulario especializado (los nombres de las notas) que sólo conocían los músicos. No parecía haber ningún modo de comprobar la existencia de oído absoluto entre los que no eran músicos. ¿O sí lo había?

Perry propuso que investigásemos la facilidad con que el hombre de la calle podía aprender a nombrar tonos asociando tonos determinados con nombres arbitrarios, como Fred o Ethel. Pensamos en utilizar notas de piano, diapasones y todo tipo de cosas (salvo kazoos, por razones obvias), y decidimos que entregaríamos diapasones a los que no eran músicos. Se les dijo luego que se golpearan con los diapasones en la rodilla varias veces al día durante una semana, reteniendo el sonido en el oído e intentando fijarlo en la memoria. A la mitad de los sujetos les dijimos que su sonido se llamaba Fred y a la otra mitad que se llamaba Ethel (por los vecinos de Lucy y Ricky en *I Love Lucy*; su apellido era Mertz, que rima con Hertz, una grata coincidencia en la que no reparamos hasta años después).

La mitad de cada grupo tenía diapasones afinados en do₄, la otra mitad los tenía afinados en sol. Les dejamos actuar por su cuenta, luego les retiramos los diapasones una semana y después los hicimos volver al laboratorio. A la mitad de los sujetos se les pidió que cantasen «su tono» y a la otra mitad se les pidió que lo localizase en tres notas que yo toqué en un teclado. Los sujetos fueron abrumadoramente capaces de reproducir o reconocer «su» nota. La conclusión fue que la gente normal podía recordar notas con nombres arbitrarios.

Esto nos llevó a pensar en el papel que desempeñan los nombres en la memoria. Aunque el curso había terminado y yo había entregado mi trabajo, seguíamos teniendo curiosidad por ese fenómeno. Roger Shepard preguntó si los que no eran músicos podrían ser capaces de recordar los tonos de las canciones aunque no supiesen los nombres. Yo le hablé de un estudio de Andrea Halpern. Ésta había pedido a gente de la calle que cantase de memoria canciones conocidas como «Happy Birthday» o «Frère Jacques» en dos ocasiones diferentes. Descubrió que aunque la gente tendía a no cantar con las mismas tonalidades, sí tendían a hacerlo de forma coherente, en la misma tonalidad en una ocasión que en la otra. Eso indicaba que tenían codificados los tonos de las canciones en la memoria a largo plazo.

Los negativistas alegaron que esos resultados podían explicarse sin recuerdo del tono si los sujetos se habían limitado a basarse en la memoria muscular de la posición de sus cuerdas vocales de una vez a otra. (Para mí, la memoria muscular es aún una forma de memoria: etiquetar el fenómeno no sirve para cambiarlo.) Pero un estudio anterior de Ward y su colega Ed Burns, de la Universidad de Washington, había demostrado que la memoria muscular no es en realidad tan buena. Pidieron a cantantes con formación musical y con oído absoluto que «repentizaran» con una partitura musical; es decir, los cantantes tenían que leer una música que no habían visto nunca y cantarla utilizando su conocimiento del oído absoluto y su capacidad para leer música. Se trata de algo que ellos hacen muy bien. Los cantantes profesionales pueden repentizar si les das un tono de partida. Sólo cantantes con oído absoluto pueden, sin embargo, cantar en la tonalidad justa sólo mirando la partitura; esto se debe a que tienen alguna plantilla interior, o recuerdo, de cómo los nombres de las notas y los sonidos casan entre sí: en

eso consiste el oído absoluto. Ahora bien, Ward y Burns hicieron ponerse a sus cantantes con oído absoluto auriculares, y les atronaron con un ruido para que no pudiesen oír lo que estaban cantando: tenían que confiar sólo en la memoria muscular. El descubrimiento sorprendente fue que su memoria muscular no lo hacía demasiado bien. Sólo les llevaba, como media, hasta un tercio de octava del tono correcto.

Sabíamos que los que no eran músicos tendían a cantar con coherencia. Pero queríamos llevar la idea más allá: ¿cuál es el grado de precisión de la memoria del individuo medio para la música? Halpern había elegido canciones muy conocidas que tienen una tonalidad «correcta»: cada vez que cantamos «Happy Birthday», probablemente lo hagamos en una totalidad diferente; alguien empieza con la que le viene primero a la cabeza y el resto le seguimos. Las canciones populares y de fiesta se cantan tan a menudo y las canta tanta gente que no tienen una tonalidad correcta objetivable. Esto se refleja en el hecho de que no hay ninguna grabación estándar que pudiésemos considerar como una referencia para esas canciones. En la jerga de mi campo, diríamos que no existe una versión canónica única.

Con las canciones de rock y de pop sucede lo contrario. Canciones de los Rolling Stones, Police, Eagles y Billy Joel existen en una versión canónica única. Hay una grabación estándar (en la mayoría de los casos) y ésa es la única versión que uno ha oído siempre (con la excepción de la banda de bar esporádica que interpreta la canción, o el caso de que vayamos a ver un grupo en directo). Hemos oído probablemente esas canciones tantas veces como hemos oído «Deck the Halls». Pero cada vez que hemos oído, por ejemplo, «U Can't Touch This» de M. C. Hammer o «New Year's Day» de U2 ha sido en la misma tonalidad. Es difícil recordar una versión distinta de la canónica. Después de oír una canción miles de veces, ¿podrían quedar codificados en la memoria los tonos concretos?

Para estudiarlo, utilicé el método de Halpern de pedir simplemente a la gente que cantase sus canciones favoritas. Yo sabía por Ward y Burns que su memoria muscular no sería lo bastante buena para que lo hiciesen. Para reproducir la tonalidad correcta, tenían que retener en la cabeza huellas mnemotécnicas exactas y estables de los tonos. Recluté en el mismo campus a cuarenta personas que no eran músicos y les pedí que fuesen al laboratorio

y cantasen su canción favorita de memoria. Excluí canciones de las que había versiones múltiples, y aquellas que habían sido grabadas más de una vez, en más de una tonalidad. Me quedé con aquellas de las que hay una grabación única muy conocida que es la estándar, o referencia, canciones como «Time and Tide» de Basia o «Opposites Attract» de Paula Abdul (estábamos, después de todo, en 1990) y también canciones como «Like a Virgin» de Madonna y «New York State of Mind» de Billy Joel.

Recluté a los sujetos del experimento con un vago anuncio de convocatoria para un «experimento de memoria». Los sujetos recibirían cinco dólares por diez minutos. (Así es como suelen conseguir sujetos para sus experimentos los psicólogos cognitivos, poniendo anuncios en el campus. Se paga más por los estudios de neuroimágenes del cerebro, normalmente en torno a los cincuenta dólares, sólo porque es un poco más desagradable estar confinado en un ruidoso escáner.) Muchos de los sujetos se quejaron y vociferaron al conocer los detalles del experimento. Ellos no eran cantantes, no sabían nada de música, tenían miedo a estropear mi experimento. Los convencí para que lo intentasen de todos modos. Los resultados fueron sorprendentes. En general tendieron a cantar con los tonos absolutos de sus canciones favoritas, o aproximarse mucho a ellos. Les pedí que cantaran una segunda canción y lo hicieron de nuevo.

Aquello era una prueba convincente de que la gente almacenaba la información del tono absoluto en la memoria, que su representación mnemotécnica no sólo contenía una generalización abstracta de la canción, sino detalles de una interpretación determinada. Además de cantar con los tonos correctos, aparecían otros matices de la interpretación; en las reproducciones de los objetos había numerosos artificios vocales de los cantantes originales. Por ejemplo, reproducían el «ii-ii» agudo de Michael Jackson en «Billie Jean» o el «hey!» entusiasta de Madonna en «Like a Virgin»; la síncopa de Karen Carpenter en «Top of the World» así como la voz áspera de Bruce Springsteen en la primera palabra de «Born in the USA». Grabé una cinta que tenía las interpretaciones de los sujetos en un canal de una señal estereofónica y la grabación original en el otro; sonaba como si los sujetos estuviesen acompañando a la grabación... pero no les habíamos puesto la grabación, estaban haciendo el acompañamiento con la

representación mnemotécnica que tenían en la cabeza, y la representación era asombrosamente exacta.

Perry y yo descubrimos también que la mayoría de los sujetos cantaban en el tempo correcto. Comprobamos que las canciones no se cantaban simplemente en el mismo tempo en principio, lo que significaría que la gente había grabado en la memoria sólo un tempo popular único. Pero no era así. Había una gama más grande de tempos. Además, en sus propias versiones subjetivas del experimento, los sujetos nos explicaron que estaban «cantando con una imagen» o «grabación» que tenían en la cabeza. ¿Cómo se compagina eso con una versión neuronal de los resultados del experimento?

Yo estaba por entonces haciendo el postgrado con Mike Posner y Doug Hintzman. Posner, siempre al tanto de la plausibilidad neuronal, me habló del nuevo trabajo de Petr Janata, quien acababa de terminar un estudio en el que seguía el rastro de las ondas cerebrales de los sujetos mientras escuchaban o pensaban en música. Había utilizado electroencefalogramas, colocando sensores que medían la actividad eléctrica que emanaba del cerebro a través de la superficie del cuero cabelludo. Tanto Petr como yo nos quedamos sorprendidos al ver que era casi imposible diferenciar por los datos si la gente estaba escuchando música o imaginándola. La pauta de actividad cerebral era casi indiferenciable. Eso parecía indicar que la gente utilizaba las mismas regiones del cerebro para recordar que para percibir.

¿Qué significa esto exactamente? Cuando percibimos algo, se activa un sector determinado de neuronas de un modo particular por un estímulo concreto. Aunque tanto oler una rosa como oler huevos podridos ponga en marcha el sistema olfativo, se utilizan circuitos neuronales diferentes. Recuerda que las neuronas pueden conectarse entre ellas de millones de modos distintos. Una configuración de un grupo de neuronas olfativas puede señalar «rosa» y otra puede señalar «huevos podridos». Para aumentar la complejidad del sistema, hasta las mismas neuronas pueden tener marcos diferentes asociados con un acontecimiento del mundo exterior diferente. Recordar puede ser simplemente el proceso de reclutar ese mismo grupo de neuronas que utilizamos durante la percepción para ayudarnos a formar una imagen mental durante el recuerdo. Convocamos a las neuronas, poniéndolas de nuevo en contacto desde sus ubicaciones dispares para que se conviertan

en miembros del club original de neuronas que se activaron durante la percepción.

Los mecanismos neuronales comunes que subyacen en la percepción de la música y su recuerdo ayudan a explicar cómo se nos pegan las canciones. Los científicos llaman a eso «gusanos del oído», del alemán *Ohrwurm*, o simplemente el síndrome de la canción pegadiza. Se ha hecho relativamente poco trabajo científico sobre el tema. Sabemos que es más probable que los músicos tengan ataques del gusano del oído que los que no lo son, y que es más probable que la gente con trastorno obsesivo-compulsivo (TOC) se queje de gusanos del oído...; en algunos casos la medicación que se utiliza para el TOC puede reducir al mínimo los efectos. Nuestra mejor explicación es que los circuitos neuronales que representan una canción quedan grabados en «modo playback», y la canción (o peor, un fragmento pequeño de ella) suena y suena una y otra vez. Las encuestas han revelado que raras veces es una canción entera la que se pega, es más bien un trozo que suele ser de menor o igual duración que la capacidad de la memoria auditiva a corto plazo («repercutiente» o «ecoica»): de quince a treinta segundos. Las canciones sencillas y los estribillos publicitarios son más pegadizos que las composiciones musicales complejas. Esta predilección por la simplicidad tiene una contrapartida en nuestra formación de la preferencia musical, que analizaremos en el capítulo 8.

Los resultados de mi estudio de gente cantando sus canciones favoritas con el tempo y el tono exactos habían sido ratificados por otros laboratorios, así que sabíamos ya que no eran un simple resultado del azar. Glenn Schellenberg, en la Universidad de Toronto (un miembro original, dicho sea de pasada, del grupo New Wave Martha and the Muffins) realizó una ampliación de mi estudio en la que puso a los sujetos del experimento fragmentos de cuarenta canciones de gran éxito que duraban una décima de segundo, aproximadamente la misma duración que un chasqueo de dedos. Se entregó a los sujetos una lista de nombres de canciones y se les pidió que los asignasen a los fragmentos que oían. Con fragmentos tan breves, no podían apoyarse en la melodía ni en el ritmo para identificar las canciones: tenían en todos los casos menos de una o dos notas. Los sujetos sólo podían basarse en el timbre, el sonido global de la canción. En la introducción mencioné la

importancia que tiene el timbre para compositores, autores de canciones y productores. Paul Simon piensa en función del timbre; es lo primero que escucha en su música y en la música de los demás. El timbre también parece tener esa posición privilegiada para el resto de nosotros; los sujetos que no eran músicos del estudio de Schellenberg fueron capaces de identificar las canciones utilizando sólo claves tímbricas en un porcentaje significativo. Incluso cuando se ponían los fragmentos al revés, desbaratando así cualquier cosa claramente familiar, seguían reconociendo las canciones.

Si piensas en las canciones que conoces y que te gustan, eso debería tener algún sentido intuitivo. Prescindiendo del todo de la melodía, los tonos y ritmos específicos, algunas canciones simplemente tienen un sonido global, un color sónico. Es parecido a esa cualidad que hace que las llanuras parezcan de una manera, los bosques de otra, las montañas de otra diferente. Antes de identificar cualquier detalle en una foto de esos lugares, captas la escena global, el paisaje, el aspecto que tienen las cosas juntas. El paisaje auditivo, el entorno sonoro, tiene también una presentación que es única en gran parte de la música que oímos. A veces no es una canción específica. Eso es lo que nos permite identificar grupos musicales, aunque no podamos reconocer una canción concreta. Los primeros álbumes de los Beatles tienen una cualidad tímbrica especial, de manera que muchas personas pueden identificar una grabación de los Beatles aunque no reconozcan de inmediato la canción... incluso aunque se trate de una que no hayan oído nunca. Esa misma cualidad nos permite identificar imitaciones de los Beatles, cuando Eric Idle y sus colegas de Monty Python formaron el grupo ficticio de los Rutles como una banda satírica de los Beatles, por ejemplo. Al incorporar muchos de los elementos tímbricos distintivos del entorno sonoro de los Beatles, consiguieron crear una sátira realista que suena como los Beatles.

Las presentaciones tímbricas globales, los entornos sonoros, pueden aplicarse también a períodos musicales enteros. Discos clásicos de la década iniciada en 1930 y de principios de los años cuarenta tienen un sonido particular propio debido a la tecnología de grabación de la época. El rock de los años ochenta, el heavy metal, la música de sala de baile de los años cuarenta y el rock and roll de finales de los años cincuenta son períodos o géneros bastante homogéneos. Los productores de discos pueden evocar esos

sonidos en el estudio prestando atención detenida a detalles del entorno sonoro: los micrófonos que utilizaban, cómo mezclaban instrumentos, etc. Y muchos de nosotros podemos oír una canción y conjeturar con precisión a qué época pertenece. Una clave suele ser el eco, o reverberación, utilizado en la voz. Elvis Presley y Gene Vincent tenían un eco de «contraataque» muy distintivo, en el que oías una especie de repetición instantánea de la sílaba que acababa de cantar el vocalista. Se oye eso en «Be-Bop-A-Lula» de Gene Vincent y Rick Nelson, en «Heartbreak Hotel» de Elvis Presley y en «Instant Karma» de John Lennon. Luego está el eco cálido y rico que un local grande y azulejado aporta a las grabaciones de los Everly Brothers, como «Cathy's Clown» y «Wake Up Little Susie». Hay muchos elementos distintivos en el timbre global de esas grabaciones que podemos identificar con el período en el que se hicieron.

Los resultados obtenidos en los experimentos sobre el recuerdo de las canciones populares proporcionan, en conjunto, pruebas de que se codifican en la memoria rasgos absolutos de la música. Y no hay ninguna razón para pensar que la memoria musical funcione de forma distinta a, por ejemplo, la memoria visual, la olfativa, la táctil o la gustativa. Da la impresión, pues, de que la hipótesis de la conservación del registro tiene apoyo suficiente para que la adoptemos como un modelo del funcionamiento de la memoria. Pero antes de hacerlo, ¿qué podemos decir de las pruebas que apoyan la teoría constructivista? Si la gente puede identificar con tanta facilidad canciones sometidas a una transposición, tenemos que explicar cómo se almacena y abstrae esa información. Y hay un rasgo más de la música con el que todos estamos familiarizados, y que una teoría de la memoria adecuada necesita explicar: podemos repasar canciones con nuestro oído mental y podemos imaginar transformaciones de ellas.

He aquí una demostración, basada en un experimento que realizó Andrea Halpern: ¿aparece la palabra *at* en el himno nacional estadounidense («The Star-Spangled Banner»)? Piensa antes de seguir leyendo.

Si eres como la mayoría de la gente, «pasaste» la canción en tu cabeza, cantándola para ti a un ritmo rápido, hasta que llegaste a la frase «What so proudly we hailed, *at* the twilight's last gleaming». Ahora bien, hay aquí una serie de cosas interesantes. En primer lugar, probablemente cantaste la

canción para ti mismo más deprisa de lo que nunca la has oído. Si sólo fueses capaz de repetir una versión determinada que tuvieses almacenada en la memoria, no podrías hacer eso. Segundo, tu memoria no es como una grabadora; si quieres acelerar una grabadora o un vídeo o una película para hacer que la canción vaya más deprisa, tienes que elevar también el tono. Pero en nuestra mente, podemos variar el tono y el tempo de forma independiente. Tercero, cuando llegaste por fin a la palabra *at* en tu mente (tu «objetivo» para contestar a la pregunta que yo formulé) probablemente no pudieses evitar seguir cantando el resto de la frase, «the twilight's last gleaming». Esto parece indicar que nuestro recuerdo de la música entraña una codificación jerárquica: no todas las palabras son igual de sobresalientes, y no todas las partes de una frase musical gozan del mismo estatus. Tenemos ciertos puntos de entrada y de salida que corresponden a frases específicas de la música..., a diferencia, de nuevo, de una grabadora.

Experimentos con músicos han confirmado esta idea de la codificación jerárquica de otros modos. La mayoría de los músicos no pueden empezar a interpretar una composición musical que conocen en cualquier ubicación arbitraria; los músicos aprenden música de acuerdo con una estructura de frase jerárquica. Grupos de notas forman unidades de práctica, estas unidades más pequeñas se agrupan en unidades más grandes, y después en frases; las frases se agrupan en estructuras como versos y coros o movimientos, y finalmente se engarza todo como una composición musical. Pídele a un intérprete que empiece a tocar desde unas cuantas notas antes o después de un límite natural de frase, y no podrá hacerlo, ni siquiera leyendo una partitura. Otros experimentos han demostrado que los músicos son más rápidos y más exactos recordando dónde aparece una nota determinada en una pieza musical si esa nota está al principio de una frase o está en un primer tiempo que si está en mitad de la frase o en un tiempo débil. Hasta las notas musicales parecen distribuirse en categorías, según sean las notas «importantes» de una pieza o no. Muchos cantantes aficionados no guardan en la memoria todas las notas de una pieza musical. Lo que guardan son más bien las notas «importantes» (todos tenemos, aunque carezcamos de formación musical, un sentido intuitivo preciso de cuáles son esas notas) y el contorno musical. Luego, cuando llega la hora de cantar, el aficionado sabe que necesita ir de

esta nota a aquélla, y añade sobre la marcha las que faltan, sin haber memorizado de manera explícita cada una de ellas. Esto reduce sustancialmente la carga mnemotécnica, y aumenta mucho la eficiencia.

Todos estos fenómenos nos permiten ver que un proceso decisivo en la teoría de la memoria durante los últimos cien años fue su convergencia con la investigación sobre conceptos y categorías. Una cosa es segura ya: nuestra decisión sobre qué teoría de la memoria es correcta (la constructivista o la teoría de la conservación del registro/grabadora) tendrá implicaciones en las teorías de la categorización. Cuando oímos una nueva versión de nuestra canción favorita, nos damos cuenta de que se trata básicamente de la misma canción, incluso con una presentación diferente; el cerebro emplaza la nueva versión en una categoría entre cuyos miembros se incluyen todas las versiones de esa canción que hemos oído.

Si somos verdaderos aficionados a la música, podríamos incluso desplazar un prototipo en favor de otro basándonos en conocimientos que obtenemos. Consideremos, por ejemplo, la canción «Twist and Shout». Podrías haberla oído innumerables veces interpretada por bandas en directo y en diversos bares y locales, y podrías también haber oído las grabaciones de los Beatles y The Mamas and The Papas. Una de estas dos últimas versiones podría ser incluso tu prototipo de la canción. Pero si yo te digo que los Isley Brothers tuvieron un gran éxito con la canción dos años antes de que la grabasen los Beatles, podrías reorganizar tu categoría para introducir esta nueva información. El que puedas realizar esa reorganización basada en un proceso de arriba abajo indica que hay algo más en las categorías de lo que afirma la teoría del prototipo de Rosch. La teoría del prototipo está estrechamente conectada con la teoría constructivista de la memoria, en que se desechan los datos de los casos individuales y se almacena el meollo o la generalización abstracta, tanto en el sentido de lo que se almacena como una huella mnemotécnica y lo que se almacena como el recuerdo central de la categoría.

La versión de la memoria como conservación de registro tiene una correlación también en la teoría de la categorización, y se llama teoría del ejemplar. Pese a lo importante que era la teoría del prototipo y pese a que explicaba tanto nuestras intuiciones como los datos experimentales sobre la

formación categorial, los científicos empezaron a tener problemas con ella en los años ochenta. Investigadores dirigidos por Edward Smith, Douglas Medin y Brian Ross identificaron algunos fallos en esa teoría. En primer lugar, cuando la categoría es amplia y sus miembros difieren mucho entre sí, ¿cómo puede haber un prototipo? Piensa por ejemplo en la categoría «herramienta». ¿Cuál es el prototipo? ¿O el de la categoría «mueble»? ¿Cuál es la canción prototípica de un artista pop?

Smith, Medin, Ross y sus colegas se dieron cuenta también de que dentro de estos tipos de categorías heterogéneas el contexto puede tener una gran influencia sobre lo que consideramos que es el prototipo. Es más probable que la herramienta prototípica en un garaje de reparación de automóviles sea una llave inglesa que un martillo, pero en una obra en construcción sería cierto lo contrario. ¿Cuál es el instrumento prototípico de una orquesta sinfónica? Estoy dispuesto a apostar que no has dicho «guitarra» ni «armónica», pero si hiciese la misma pregunta sobre un fuego de campamento dudo que dijese «trompa» o «violín».

La información contextual forma parte de lo que sabemos sobre categorías y miembros de categorías, y la teoría del prototipo no explica esto. Sabemos, por ejemplo, que dentro de la categoría «aves» las que cantan tienden a ser pequeñas. Dentro de la categoría «mis amigos» hay algunos a los que les dejaría mi coche y algunos a los que no se lo dejaría (en base a su historial de accidentes y a si tienen permiso de conducir o no). Dentro de la categoría «canciones de Fleetwood Mac», algunas las canta Christine McVie, algunas Lindsey Buckingham y algunas Stevie Nicks. Luego está lo que sabemos de los tres periodos diferenciados de Fleetwood Mac: los años del blues con Peter Green a la guitarra, los años intermedios pop con Danny Kirwan, Christine McVie y Bob Welch como autores de las canciones y los años posteriores, después de que se incorporaran Buckingham y Nicks. Si te pregunto por la canción prototípica de Fleetwood Mac, es importante el contexto. Si te pregunto por el miembro prototípico de Fleetwood Mac, levantarás las manos y me dirás que hay algo que no es correcto en la pregunta. Aunque Mick Fleetwood y John McVie, el tambor y el bajo, son los dos únicos miembros que han estado en el grupo desde el principio, no parece del todo exacto decir que el miembro prototípico es el tambor o el

bajo, ninguno de los cuales canta ni escribió las canciones importantes. Compara esto con Police, del que podríamos decir que Sting era el miembro prototípico, como autor de canciones, cantante y bajo. Pero si alguien dijese eso, podrías tener buenas razones también para decir que se equivocaba, que Sting no es el miembro prototípico, es sólo el más conocido y más decisivo, que no es lo mismo. El trío que conocemos como Police es una categoría pequeña pero heterogénea, y hablar sobre un miembro prototípico no parece estar de acuerdo con el espíritu de lo que es un prototipo: la tendencia central, la media, el objeto visto o no visto que es el más característico de la categoría. Sting no es típico de Police en el sentido de ser alguna especie de media; es más bien atípico porque es muchísimo más conocido que los otros dos, Andy Summers y Stewart Copeland, y su historia desde Police ha seguido un curso muy distinto.

Otro problema es que, aunque Rosch no afirma de forma explícita esto, sus categorías parecen tardar un tiempo en formarse. Aunque ella acepta explícitamente fronteras borrosas, y la posibilidad de que un objeto determinado pudiese ocupar más de una categoría («pollo» podría ocupar las categorías «ave», «volatería», «animales de corral» y «cosas para comer»), no hay una explicación clara del hecho de que seamos capaces de establecer nuevas categorías sobre la marcha. Y lo hacemos continuamente. El ejemplo más obvio es cuando elaboramos listas de audición para nuestro reproductor de MP3, o cargamos el coche con CD para escuchar en un largo viaje. La categoría «música que me apetece escuchar ahora» es sin duda alguna una categoría nueva y dinámica. O considera esto: ¿qué tienen en común las cosas siguientes: niños, cartera, mi perro, fotografías de familia y llaves del coche? Para muchas personas, éstas son «cosas para llevar conmigo en caso de incendio». Estas colecciones de cosas forman categorías ad hoc, y somos aficionados a hacerlas. Las formamos no a partir de la experiencia perceptiva con las cosas del mundo exterior, sino a partir de ejercicios conceptuales como los que hemos explicado.

Podría formar otra categoría ad hoc con la siguiente historia: «Carol tiene problemas. Ha gastado todo su dinero y tardará tres días más en recibir un cheque. No hay comida en la casa». Esto conduce a la categoría funcional ad hoc «modos de conseguir comida para los tres próximos días», que podría

incluir «ir a casa de una amiga», un «cheque sin fondos», «pedir dinero prestado a alguien», o «vender mi ejemplar de *Tu cerebro y la música*». Así que las categorías se forman no sólo agrupando propiedades, sino con teorías sobre cómo están relacionadas las cosas. Necesitamos una teoría de la formación categorial que explique a) categorías que no tienen ningún prototipo claro, b) información contextual, y c) el hecho de que formemos nuevas categorías continuamente, sobre la marcha. Para conseguir esto, da la impresión de que tenemos que haber retenido algo de la información original de los elementos incluidos, porque nunca sabes cuándo la necesitarás. Si (de acuerdo con los constructivistas) sólo estoy guardando información esencial abstracta y generalizada, ¿cómo podría construir una categoría como «canciones que tienen la palabra “amor” en la letra sin tenerla en el título»? Por ejemplo, «Here, There and Everywhere» (los Beatles), «Don't Fear the Reaper» (Blue Öyster Cult), «Something Stupid» (Frank y Nancy Sinatra), «Cheek to Cheek» (Ella Fitzgerald y Louis Armstrong), «Hello Trouble (Come On In)» (Buck Owens), «Can't You Hear Me Callin'» (Ricky Skaggs).

La teoría del prototipo sugiere el punto de vista constructivista, que hay almacenada una generalización abstracta de los estímulos con los que nos enfrentamos. Smith y Medin propusieron la teoría del ejemplar como una alternativa. El rasgo característico de esta teoría es que cada experiencia, cada palabra oída, cada beso que se da, cada objeto visto, o la canción que hemos escuchado alguna vez, está grabada como una huella en la memoria. Se trata del descendiente intelectual de la llamada teoría del residuo de la memoria propuesta por los psicólogos de la Gestalt.

La teoría del ejemplar explica cómo somos capaces de retener tantos detalles con tanta exactitud. Según ella, detalles y contexto se retienen en el sistema conceptual de la memoria. Se considera algo miembro de una categoría si recuerda a otros miembros de esa categoría más de lo que recuerda a miembros de una categoría alternativa rival. De forma indirecta, la teoría del ejemplar puede explicar también los experimentos que parecían indicar que hay prototipos almacenados en la memoria. Decidimos si algo es miembro de una categoría comparándolo con todos los demás miembros de la categoría: recuerdos de todo lo que encontramos que es un miembro de la

categoría y cada vez que lo encontramos. Si se nos presenta un prototipo que no hemos visto antes (como en el experimento de Posner y Keele) lo categorizamos correcta y rápidamente porque tiene un máximo de semejanza con todos los otros ejemplos almacenados. El prototipo será similar a ejemplos de su propia categoría y no será similar a ejemplos de categorías alternativas, por eso te recuerda ejemplos de la categoría correcta. Hay más coincidencias que con ningún ejemplo visto previamente, por definición, porque el prototipo es la tendencia central, el miembro promedio de la categoría. Esto tiene importantes implicaciones en cómo llegamos a disfrutar de música nueva que nunca hemos oído, y cómo puede gustarnos de manera instantánea una canción nueva (el tema del capítulo 6).

La convergencia de la teoría del ejemplar y la teoría de la memoria se produce en la forma de un grupo relativamente nuevo de teorías, denominadas de forma colectiva «modelos de huella múltiple de la memoria». En esta clase de modelos, cada experiencia que tenemos se preserva con gran fidelidad en nuestro sistema de memoria a largo plazo. Se producen confabulaciones y distorsiones de la memoria cuando, en el proceso de recuperar un recuerdo, bien chocamos con una interferencia de otras huellas que compiten por nuestra atención (huellas con detalles algo distintos) o algunos de los detalles de la huella mnemotécnica original se han degradado a causa de procesos neurobiológicos que se producen normalmente.

La verdadera prueba de estos modelos es si pueden explicar y predecir los datos sobre prototipos, la memoria constructiva y la formación y retención de información abstracta, como por ejemplo cuando reconocemos una canción que ha sido sometida a una transposición. Podemos comprobar la plausibilidad neuronal de estos modelos a través de estudios de neuroimágenes. La directora de los laboratorios del cerebro del Instituto Nacional de Salud Estadounidense, Leslie Ungerleider, y sus colegas efectuaron estudios de MRI en los que demostraron que las representaciones de categorías están ubicadas en partes específicas del cerebro. Rostros, animales, vehículos, alimentos, etc., se ha demostrado que ocupan regiones específicas del córtex. Y basándonos en estudios de lesiones, hemos encontrado pacientes que han perdido la capacidad de nombrar a miembros

de algunas categorías, mientras que otras categorías permanecen intactas. Estos datos hablan de la realidad de la estructura conceptual y la memoria conceptual en el cerebro, pero ¿qué decir de la capacidad de almacenar información detallada y acabar pese a ello con un sistema neuronal que actúa como si hubiese almacenado abstracciones?

En la ciencia cognitiva, cuando faltan los datos neurofisiológicos, suelen utilizarse para comprobar teorías modelos de redes neuronales. Se trata básicamente de simulaciones del cerebro en ordenadores, con modelos de neuronas, conexiones neuronales y activaciones neuronales. Los modelos reproducen la naturaleza paralela del cerebro, y por eso suele llamárseles modelos de procesamiento distribuido en paralelo o modelos PDP. David Rumelhardt, de Stanford, y Jay McClelland, de la Universidad Carnegie Mellon, ocuparon la primera línea en este tipo de investigación. No se trata de programas informáticos ordinarios. Los modelos PDP operan en paralelo (como los cerebros reales), tienen varias capas de unidades de procesamiento (como hacen las capas del córtex), las neuronas simuladas se pueden conectar de miles de formas distintas (como las neuronas reales) y las neuronas simuladas se pueden podar de la red o añadir a la red según sea necesario (al igual que el cerebro reconfigura redes neuronales cuando llega la nueva información). Pero dando problemas para resolver a los modelos PDP (como categorización o almacenamiento mnemotécnico y problemas de recuperación) podemos saber si la teoría en cuestión es plausible; si el modelo actúa del mismo modo que los seres humanos, aceptamos eso como prueba de que las cosas pueden funcionar también de ese modo en los seres humanos.

Douglas Hintzman construyó el modelo PDP más influyente, y demostró la plausibilidad neuronal de los modelos de memoria de huella múltiple. Su modelo, denominado MINERVA por la diosa romana de la sabiduría, se creó en 1986. Almacenaba ejemplos individuales de los estímulos que recibía, y conseguía además producir el tipo de conducta que esperaríamos en un sistema que almacenase sólo prototipos y generalizaciones abstractas. Hacía eso de un modo muy parecido al que describen Smith y Medin, compartiendo los nuevos ejemplos con los almacenados. Stephen Goldinger descubrió más pruebas de que los modelos de huella múltiple pueden producir abstracciones

con estímulos auditivos, específicamente con palabras dichas con voces específicas.

Existe ya un consenso creciente entre los investigadores de la memoria en que ni el punto de vista de la conservación del registro ni el constructivista son correctos, sino que la teoría acertada es un tercer punto de vista, una especie de híbrido: el modelo de memoria de huella múltiple. Los experimentos sobre la exactitud del recuerdo de atributos musicales se corresponde con los modelos de huella múltiple de Hintzman/Goldinger. Éste es el modelo que más se parece al modelo de categorización del ejemplar, sobre el que hay también un consenso creciente.

¿Cómo explica el modelo de memoria de huella múltiple el hecho de que extraigamos propiedades invariables de las melodías cuando las escuchamos? Cuando escuchamos una melodía, debemos de estar efectuando cálculos sobre ella, y además, para registrar los valores absolutos, los detalles de su presentación (detalles como tono, ritmo, tempo y timbre) debemos de estar calculando también intervalos melódicos e información rítmica libre de tempo. Los estudios de neuroimágenes de Robert Zatorre y sus colegas de McGill parecen indicar que esto es así. Los «centros de cálculo» melódico de los lóbulos temporales (superiores) dorsales (justo encima de tus oídos) parecen prestar atención al tamaño de los intervalos y a las distancias entre tonos cuando escuchamos música, creando una plantilla libre de tono de los valores melódicos precisos que necesitaremos para identificar las canciones si sufren una transposición. Mis propios estudios con neuroimágenes han mostrado que la música que conocemos activa estas regiones y el hipocampo, una estructura hundida en el centro del cerebro que sabemos que es crucial para el almacenamiento y la recuperación del recuerdo. Todos estos hallazgos juntos sugieren que almacenamos al mismo tiempo la información abstracta y la específica contenida en las melodías. Puede suceder lo mismo con todo tipo de estímulos sensoriales.

Los modelos de memoria de huella múltiple, dado que preservan el contexto, pueden explicar también cómo recuperamos a veces recuerdos antiguos y casi olvidados. ¿No te ha sucedido nunca ir andando por la calle y percibir de pronto un olor que hacía muchísimo que no percibías, y que eso desencadene un recuerdo de un acontecimiento de hace mucho tiempo? ¿O

no has oído una vieja canción en la radio que te remite de inmediato a recuerdos profundamente enterrados relacionados con la época en que esa canción fue popular por primera vez? Estos fenómenos apuntan a la esencia de lo que significa tener recuerdos. La mayoría de nosotros tenemos un conjunto de recuerdos que tratamos de una forma parecida a un álbum de fotos o de recortes de prensa. Hay ciertas historias que solemos contar a los amigos y a la familia, otras experiencias del pasado nos las recordamos a nosotros mismos en periodos de lucha, de tristeza, alegría o tensión, para no olvidar quiénes somos y dónde hemos estado. Podemos concebir esto como el repertorio de los recuerdos, aquellos recuerdos que estamos acostumbrados a evocar, algo así como el repertorio de un músico y las piezas que sabe tocar.

De acuerdo con esos modelos de huella múltiple, cada experiencia está potencialmente grabada en la memoria. No en un lugar determinado del cerebro, porque el cerebro no es como un almacén; los recuerdos están más bien codificados en grupos de neuronas que, cuando se ajustan a los valores adecuados y configurados de un modo particular, harán que un recuerdo se recupere y vuelva a representarse en el teatro de nuestra mente. La barrera que impide que seamos capaces de recordar todo lo que podríamos querer recordar no es, por tanto, que no esté «almacenado» en la memoria; el problema es más bien hallar la clave correcta para acceder a ella y configurar de forma adecuada los circuitos neuronales. Cuanto más accedamos a la memoria, más activos se vuelven los circuitos de recuperación y recuerdo, y más fácil nos será dar con las claves necesarias para conseguir un recuerdo. En teoría, podríamos acceder a cualquier experiencia del pasado sólo con que tuviésemos las claves correctas.

Piensa por un momento en tu profesor de tercer curso: eso probablemente sea algo en lo que no has pensado en mucho tiempo, pero ahí está, un recuerdo instantáneo. Si siguieses pensando en tu profesor, en tu clase, podrías ser capaz de recordar algunas cosas más sobre el tercer curso, como los pupitres del aula, los pasillos del colegio, los compañeros de juegos. Estas claves son bastante genéricas y algo imprecisas. Sin embargo, si te enseñara una foto de tu clase de tercer curso, podrías empezar a recordar de pronto todo tipo de cosas que habías olvidado: los nombres de tus compañeros de

clase, las asignaturas que estudiabas, los juegos a los que jugabas en el recreo. Una canción incluye un conjunto muy específico y vívido de claves mnemotécnicas. Dado que los modelos de memoria de huella múltiple consideran que el contexto está codificado junto con las huellas mnemotécnicas, la música que has escuchado en los diversos períodos de tu vida está entremezclada con los acontecimientos codificados de esos períodos. Es decir, la música está vinculada a los acontecimientos de la época, y esos acontecimientos están vinculados a la música.

Una máxima de la teoría de la memoria es que las claves únicas son las más eficaces para despertar recuerdos; con cuantos más elementos o más contextos esté asociada una clave determinada, menos eficaz será para recuperar un recuerdo determinado. Por eso, aunque ciertas canciones se podrán asociar con ciertos períodos de tu vida, no son claves muy eficaces para recuperar recuerdos de esos períodos si las canciones han seguido interpretándose y estás habituado a oírlas, como sucede a menudo con emisoras de rock clásico o las estaciones de radio clásicas que se basan en un repertorio un tanto limitado de composiciones clásicas «populares». Pero cuando oímos una canción que no hemos escuchado desde una época determinada de nuestras vidas, se abren las compuertas de la memoria y nos vemos inundados de recuerdos. La canción ha actuado como una clave única, una llave que abre todas las experiencias asociadas con el recuerdo de la canción, su época y su lugar. Y como la memoria y la categorización están vinculadas, una canción puede dar acceso no sólo a recuerdos específicos, sino a recuerdos categoriales más amplios. Por esa razón, si oyese una canción de discoteca de la década de los setenta («YMCA» de Village People, por ejemplo) podrías encontrarte con que sonaban en tu cabeza otras canciones de ese tipo, como por ejemplo «I Love the Nightlife» de Alicia Bridges y «The Hustle» de Van McCoy.

La memoria afecta a la experiencia de escuchar música tan profundamente que no sería hiperbólico decir que sin memoria no habría música. Como han indicado numerosos teóricos y filósofos, así como el autor de canciones John Hartford en su canción «Tryin' to Do Something to Get Your Attention», la música se basa en la repetición. La música opera porque recordamos los tonos que acabamos de oír y los relacionamos con los que se

están oyendo justo ahora. Esos grupos de tonos (frases) podrían aparecer más tarde en la pieza en una variación o transposición que cosquillee nuestro sistema de memoria y active al mismo tiempo nuestros centros emotivos. En los últimos seis años, los neurocientíficos han mostrado hasta qué punto está íntimamente relacionado nuestro sistema de memoria con nuestro sistema emocional. La amígdala, considerada durante mucho tiempo la sede de las emociones en los mamíferos, está situada junto al hipocampo, considerado desde hace mucho tiempo la estructura crucial para el almacenamiento del recuerdo, e incluso para su recuperación. Ahora sabemos que participa también en la memoria; en concreto, cualquier experiencia o recuerdo que tenga un fuerte componente emotivo la activa en sumo grado. Todos los estudios con neuroimágenes que ha hecho mi laboratorio han demostrado la activación de la amígdala por la música, pero no por agrupaciones aleatorias de sonidos o notas musicales. Cuando un gran compositor efectúa con destreza la repetición, es emotivamente satisfactoria para el cerebro, y hace que la experiencia de la audición sea tan grata.

DESPUÉS DEL POSTRE, CRICK ESTABA AÚN A CUATRO ASIENTOS DE MÍ

MÚSICA, EMOCIÓN Y EL CEREBRO REPTIL

Como he analizado ya, la mayoría de la música es música de zapateo. Escuchamos música que tiene una cadencia, un ritmo, algo que puedes seguir con el pie, o al menos seguir con el pie mentalmente. Este ritmo, con escasas excepciones, se extiende de una forma regular y equilibrada en el tiempo. El ritmo regular nos hace esperar que ocurran acontecimientos en determinados puntos a lo largo del tiempo. Como el traqueteo de la vía del tren, nos permite saber que seguimos yendo hacia delante, que estamos en movimiento, que todo va bien.

Los compositores suspenden a veces este sentido del ritmo, como en los primeros compases de la Quinta Sinfonía de Beethoven. Oímos «bump-bump-bump-baaaaah» y la música cesa. No estamos seguros de cuándo vamos a volver a oír un sonido. El compositor repite la frase (utilizando tonos distintos) pero después de ese segundo silencio estamos ya en marcha, con un compás regular zapateable. Otras veces, los compositores nos dan explícitamente esa cadencia o ritmo, pero luego suavizan de forma intencionada su presentación antes de introducir una expresión fuerte de él para conseguir un efecto espectacular. «Honky Tonk Women» de los Rolling Stones comienza con cencerro, seguido de batería, seguida de guitarra eléctrica; se mantiene el mismo compás y también nuestro sentido del ritmo, pero se amplía la intensidad de los tiempos fuertes. (Y si escuchamos con

auriculares el cencerro llega sólo por un oído, con un efecto más espectacular.) Esto es característico de los himnos de rock y de heavy metal. «Back in Black» de AC/DC empieza con los acordes de platillos de pedal y guitarra apagada que suenan casi como una pequeña caja clara ocho tiempos hasta que se produce el ataque de la guitarra eléctrica. Jimi Hendrix hace lo mismo al principio de «Purple Haze»: ocho corcheas en la guitarra y el bajo, notas solas que nos marcan explícitamente el compás antes de que entre la batería atronadora de Mitch Mitchell. A veces los compositores nos hacen rabiar, creando expectativas con compás y traicionándolas luego para asentarse en algo fuerte: una especie de broma musical que nos gastan. «Golden Lady» de Stevie Wonder y «Hypnotized» de Fleetwood Mac establecen un compás que cambia cuando entran el resto de los instrumentos. Frank Zappa era un maestro en eso.

Algunos tipos de música parecen más rítmicamente dirigidos que otros, por supuesto. Aunque «Eine Kleine Nachtmusic» y «Stayin' Alive» tienen ambos un compás definible, el segundo es probable que haga que la mayoría de la gente se levante y baile (al menos eso es lo que nos pasaba en la década de los setenta). El que la música tenga un tiempo fácilmente predecible ayuda mucho a que nos conmueva (física y emotivamente). Los compositores consiguen esto subdividiendo de diferentes modos el compás, y acentuando algunas notas de una forma distinta que otras; en gran medida se relaciona también con la interpretación. Cuando hablamos de un gran *groove* en música, no estamos hablando en algún argot fabuloso de los años sesenta a lo Austin Powers; estamos hablando de en qué modo esas divisiones del compás crean un fuerte impulso. *Groove* es esa cualidad que mueve la canción hacia delante, el equivalente musical a un libro que no puedes dejar. Cuando una canción tiene un buen *groove*, nos invita a un mundo sónico que no queremos dejar. Aunque tenemos conciencia de la cadencia de la canción, el tiempo externo parece inmovilizarse y no queremos que la canción acabe nunca.

Groove se relaciona con un intérprete determinado o una actuación determinada, no con lo que está escrito en el papel. Puede ser un aspecto sutil de la actuación que viene y se va de un día para otro, incluso con el mismo grupo de músicos. Y, por supuesto, los oyentes discrepan respecto a si algo tiene un buen *groove* o no lo tiene, pero para establecer cierta base común

aquí sobre el tema, la mayoría de la gente piensa que «Shout» de los Isley Brothers y «Super Freak» de Rick James tienen un gran *groove*, lo mismo que «Sledgehammer» de Peter Gabriel. «I'm On Fire» de Bruce Springsteen, «Superstition» de Stevie Wonder y «Ohio» de los Pretenders tienen todos gran *groove* y son muy diferentes entre sí. Pero no hay ninguna fórmula que indique cómo crear uno grande, como te dirán todos los músicos de R&B que han intentado copiar el *groove* de melodías clásicas como las de Temptations y Ray Charles. El hecho de que podamos señalar relativamente pocas canciones que lo tengan demuestra que no es fácil copiarlo.

Un elemento que da a «Superstition» su gran *groove* es la batería de Stevie Wonder. En los primeros segundos iniciales en que los platillos de pedal de Stevie tocan solos, puedes oír parte del secreto del *groove* de la canción. Los baterías consideran los platillos de pedal su cronometrador. Aunque los oyentes no los puedan oír en un pasaje fuerte, el batería los utiliza como punto de referencia. El tiempo que toca Stevie en los platillos nunca es exactamente el mismo; mezcla en él pequeños toques, golpes y silencios. Además, cada nota que él toca en los platillos tiene un volumen algo distinto, matices interpretativos que aumentan la sensación de tensión. La caja clara empieza con bum-(silencio)-bum-bum-pa y entramos en la pauta de los platillos:

DOOT-doot-doot-dootah DOOTah-doot-doot-dootah
DOOT-daat-doot-dootah DOOT-dootah-dootah-doot

El talento con el que toca es lo que nos mantiene mentalmente de puntillas esperando los aspectos cambiantes de la pauta cada vez que la toca, manteniendo justo lo suficiente de ella igual para que no perdamos pie y podamos orientarnos. Aquí, toca al mismo ritmo al principio de cada línea, pero lo cambia en la segunda parte de ella, en una pauta de «llamada y respuesta». Utiliza también su habilidad como batería para alterar el timbre de los platillos en un punto clave: en la segunda nota de la segunda línea, en la que ha mantenido el ritmo igual, toca los platillos de una forma distinta para hacerlos «hablar» con una voz diferenciada; si sus platillos fuesen una voz, es como si cambiase el sonido vocálico que estuviese usando.

Los músicos están de acuerdo en general en que el *groove* es mejor cuando no es de forma estricta metronómico..., es decir, cuando no es de una perfección maquina. Aunque algunas canciones bailables se han hecho con cajas de ritmos («Billie Jean» de Michael Jackson y «Straight Up» de Paula Abdul, por ejemplo), el patrón oro del *groove* es en general un batería que cambia el tempo ligeramente de acuerdo con matices estéticos y emotivos de la música; decimos entonces que el tema rítmico, que el bajo, «respira». Steely Dan pasó meses intentando corregir, recorregir, cambiar, meter y sacar las partes de caja de ritmos de su álbum *Two Against Nature* con el fin de conseguir que sonaran como si las hubiese tocado un ser humano, para equilibrar el *groove* con respiración. Pero al cambiar tempos locales, y no globales, no cambia el compás, la estructura básica del tiempo; sólo cambia el momento preciso en que se producirán los tiempos, no si se agrupan en doses, treses o cuatros, y no el ritmo global de la canción.

No solemos hablar de *groove* en el contexto de la música clásica, pero la mayoría de las óperas, sinfonías, sonatas, conciertos y cuartetos de cuerda tienen un compás y una cadencia definibles, que se corresponden generalmente con los movimientos del director; el director muestra a los músicos dónde están los tiempos, estirándolos a veces o comprimiéndolos para comunicar de forma emotiva. Las conversaciones reales entre personas, las súplicas reales de perdón, las expresiones de cólera, el galanteo, la narración de cuentos, la planificación y la crianza no se producen con los ritmos precisos de una máquina. La música, en la medida en que refleja la dinámica de nuestra vida emocional, y nuestras interacciones interpersonales, necesita hincharse y contraerse, acelerarse y aminorarse, detenerse y reflejar. El único medio que tenemos de poder sentir o conocer esas variaciones de ritmo es si un sistema computacional del cerebro ha extraído información sobre cuándo se supone que deben producirse los tiempos. El cerebro necesita crear un modelo de ritmo constante (un esquema) para que sepamos cuándo los músicos se están desviando de él. Esto es similar a las variaciones de una melodía: necesitamos tener una representación mental de lo que es la melodía para conocer (y apreciar) cuándo se está tomando libertades el músico con ella.

La extracción métrica, sabiendo lo que es el tiempo y cuándo esperamos

que se produzca, es una parte crucial de la emoción en música. La música nos comunica emotivamente a través de violaciones sistemáticas de expectativas. Estas violaciones pueden producirse en cualquier campo: el de la altura del tono, el timbre, el contorno, el ritmo, el tempo, etc., pero tienen que producirse. La música es sonido organizado, pero la organización tiene que incluir algún elemento inesperado porque si no es plana y robótica. Una organización excesiva puede aún ser técnicamente música, pero sería música que nadie querría escuchar. Las escalas, por ejemplo, están organizadas, pero la mayoría de los padres se hartan de oírselas tocar a sus hijos al cabo de cinco minutos.

¿Qué decir de la base neuronal de esta extracción métrica? Por estudios de lesiones cerebrales sabemos que el ritmo y la extracción métrica no están neuronalmente relacionados entre sí. Pacientes con el hemisferio izquierdo lesionado pueden perder la capacidad de percibir y producir ritmo, pero pueden aún extraer el compás, y pacientes con el hemisferio derecho lesionado han mostrado la pauta opuesta. Ambas cosas están neuronalmente separadas del procesamiento melódico: Robert Zatorre descubrió que las lesiones en el lóbulo temporal derecho afectan a la percepción de melodías más que las lesiones en el izquierdo. Isabelle Peretz descubrió que el hemisferio derecho del cerebro contiene un procesador de contorno que dibuja en realidad un perfil de una melodía y lo analiza para su posterior reconocimiento, y esto es disociable de los circuitos cerebrales del ritmo y del compás.

Como vimos en el caso de la memoria, los modelos de ordenador pueden ayudarnos a captar el funcionamiento del interior del cerebro. Peter Desain y Henkjan Honing, de Holanda, elaboraron un modelo informático capaz de extraer el tiempo de una pieza de música. Se basaba principalmente en la amplitud, el hecho de que el compás esté definido por ritmos fuertes frente a ritmos suaves que se producen a intervalos regulares de alternancia. Para demostrar la eficacia de su sistema (y porque reconocían el valor de la teatralidad, incluso en ciencia) conectaron la producción de su sistema a un pequeño motor eléctrico instalado dentro de un zapato. Su demostración de extracción de tiempo hizo zapatear realmente su pie (o al menos un zapato unido a una varilla metálica) de acuerdo con piezas reales de música. Yo vi

esa demostración en el Centro de Investigación de Música y Acústica por Ordenador a mediados de la década de los noventa. Era muy impresionante. Los espectadores (los llamo así porque la visión de un zapato de caballero negro de vestir del cuarenta y dos colgando de una varilla metálica y conectado a través de una culebra de cables al ordenador era todo un espectáculo) pudieron dar un CD a Desain y Honing y su zapato, al cabo de unos segundos de «escuchar», empezaba a zapatear sobre un trozo de contrachapado. (Cuando terminó la demostración, Perry Cook se acercó a ellos y les dijo: «Un excelente trabajo, pero ¿funciona con los de color marrón?»)

Curiosamente, el sistema de Desain y Honing tenía parte de las mismas debilidades que tienen los humanos vivos reales: zapateaba a veces a medio compás o a doble, en lugares parecidos a donde lo hacían los músicos profesionales. Los aficionados hacen esto continuamente. Cuando un modelo computarizado comete errores similares a un humano, es una prueba aún mejor de que nuestro programa está reproduciendo el pensamiento humano, o al menos los tipos de procesos computacionales que subyacen al pensamiento.

El cerebelo es la parte del cerebro que está estrechamente relacionada con la sincronización y la coordinación de movimientos del cuerpo. La palabra «cerebelo» procede del latín *cerebellum*, que significa «pequeño cerebro», y parece realmente un pequeño cerebro colgando debajo del otro (el mayor, la parte principal del cerebro), justo en la parte de atrás del cuello. El cerebelo tiene dos lados, como el cerebro, y cada uno de ellos está dividido en subregiones. Sabemos por los estudios filogenéticos (estudios de los cerebros de diversos animales a lo largo de la escala genética) que el cerebelo es una de las partes más antiguas del cerebro desde el punto de vista de la evolución. Aunque sólo pese un diez por ciento contiene del cincuenta al ochenta por ciento del número total de neuronas. La función de esta parte más antigua del cerebro es algo crucial para la música: la sincronización.

El cerebelo ha sido considerado tradicionalmente como la parte del cerebro que guía el movimiento. La mayoría de los movimientos de la mayoría de los animales tienen un carácter repetitivo y oscilatorio. Cuando caminamos o corremos, tendemos a hacerlo a un ritmo más o menos

constante; el cuerpo se asienta en un paso y lo mantenemos. Cuando los peces nadan o las aves vuelan, tienden a mover las aletas o a aletear a un ritmo más o menos constante. El cerebelo participa en el mantenimiento de ese ritmo, o paso. Una de las características de la enfermedad de Parkinson es la dificultad para caminar, y ahora sabemos que esa enfermedad va acompañada de degeneración cerebelar.

Pero ¿qué decir de la música y el cerebelo? En mi laboratorio localizamos fuertes activaciones en el cerebelo cuando pedimos a la gente que escuchase música, pero no cuando les pedimos que escuchasen ruido. El cerebelo parece participar en el seguimiento del ritmo. Y el cerebelo ha aparecido en nuestros estudios en otro contexto: cuando pedimos a la gente que escuchase música que les gustase y luego música que no les gustase, o música con la que estuviesen familiarizados y música desconocida.

Muchas personas, incluidos nosotros, se preguntaban si esas activaciones cerebrales correspondientes al gusto y la familiaridad estaban equivocadas. Luego, en el verano de 2003, Vinod Menon me habló del trabajo del profesor de Harvard Jeremy Schmahmann. Éste había estado nadando a contracorriente frente a la oleada de tradicionalistas que decían que la función del cerebelo se limita a la sincronización y el movimiento. Pero él y sus colaboradores, a través de autopsias, neuroimágenes, estudios de casos y estudios de otras especies, habían reunido pruebas persuasivas de que el cerebelo participaba en la emoción. Eso aclararía por qué se activaba cuando la gente oía música que le gustaba. Él explica que el cerebelo contiene importantes conexiones con centros emotivos del cerebro: la amígdala, que participa en el recuerdo de acontecimientos emotivos, y el lóbulo frontal, la parte del cerebro que participa en la planificación y el control del impulso. ¿Cuál es la conexión entre emoción y movimiento, y por qué han de participar en ambos la misma región del cerebro, una región que encontramos incluso en serpientes y lagartos? No lo sabemos seguro, pero hay algunas conjeturas bien fundadas que proceden de la mejor de las fuentes: los descubridores de la estructura del ADN, James Watson y Francis Crick.

El Laboratorio de Cold Spring Harbor es una institución avanzada de alta tecnología de Long Island, especializada en la investigación sobre

neurociencia, neurobiología, cáncer y (como corresponde a una institución cuyo director es el premio Nobel James Watson) genética. A través de Stony Brook de la SUNY, ese laboratorio ofrece graduaciones y formación avanzada en esos campos. Una colega mía, Amandine Penel, fue docente posdoctoral allí un par de años. Se había doctorado en cognición musical en París mientras yo estaba haciéndolo en la Universidad de Oregón; nos conocíamos de las conferencias anuales sobre cognición musical. El laboratorio de Cold Spring Harbor organiza con esa periodicidad un taller, una reunión intensiva de científicos que son especialistas en un tema concreto. Esos talleres duran varios días; todo el mundo come y duerme en el laboratorio y se pasa el día entero discutiendo el problema científico elegido. La idea que hay detrás de una reunión de ese género es que si los que son especialistas mundiales en el tema (y que mantienen a menudo puntos de vista opuestos y enfrentados) pueden llegar a algún tipo de acuerdo sobre ciertos aspectos del problema, la ciencia puede avanzar más rápido. Esos talleres son famosos en genómica, genética de las plantas y neurobiología.

Me llevé una sorpresa un día que, enterrado entre mensajes electrónicos bastante mundanos sobre los programas del examen final y el comité curricular de pregraduados en McGill, vi uno que me invitaba a participar en un taller de cuatro días en Cold Spring Harbor. He aquí lo que decía:

Pautas de procesamiento temporal y representación neuronal

¿Cómo se representa el tiempo en el cerebro? ¿Cómo se perciben y producen pautas temporales complejas? El procesamiento de pautas temporales es un componente fundamental de la función sensorial y motriz. Dado el carácter intrínsecamente temporal de nuestra interacción con el entorno, comprender cómo el cerebro procesa el tiempo es un paso necesario para comprender el cerebro. Nos proponemos reunir a los psicólogos, neurocientíficos y teóricos más sobresalientes del mundo que estudian estos problemas. Nuestros objetivos son dobles: primero, queremos reunir a investigadores de diferentes campos que comparten un interés común en la sincronización y se beneficiarían notoriamente de una fecundación cruzada de ideas; segundo, se ha realizado mucho trabajo significativo

hasta la fecha sobre el procesamiento de intervalo temporal único. Con vistas al futuro, deseamos aprender de esos estudios ampliando al mismo tiempo el análisis al procesamiento de pautas temporales compuestas de intervalos múltiples. La percepción de pautas temporales está creciendo como un campo multidisciplinario; prevemos que esta reunión puede ayudar a estudiar y establecer una investigación multidisciplinaria.

Al principio, pensé que los organizadores habían cometido un error al incluir mi nombre en la lista. Conocía todos los nombres de los participantes invitados, que se incluían en el mensaje electrónico. Eran los gigantes del campo (los George Martin y Paul McCartney, los Seiji Ozawa y Yo-Yo Ma de la investigación de la sincronización y el tiempo). Paula Tallal había descubierto, con su colaborador Mike Merzenich, de la Universidad de California, en San Francisco, que la dislexia estaba relacionada con un déficit de la sincronización en los sistemas auditivos de los niños. Había publicado algunos de los estudios MRI más influyentes sobre el habla y el cerebro, en los que mostraba dónde se producía el procesamiento fonético cerebral. Rich Ivry era un primo intelectual mío, uno de los neurocientíficos cognitivos más brillantes de mi generación, que se había doctorado con Steve Keele en la Universidad de Oregón y había hecho un trabajo innovador sobre el cerebelo y sobre los aspectos cognitivos del control motor. Su actitud era muy modesta y práctica, y era capaz de abrir el corazón de un tema científico con la precisión de una cuchilla de afeitar.

Randy Gallistel era un psicólogo matemático sobresaliente autor de modelos de procesos de aprendizaje y de memoria en humanos y ratones; yo había leído sus artículos exhaustivamente. Bruno Repp había sido primer asesor posdoctoral de Amandine Penel, y había revisado los dos primeros artículos que yo había publicado (los experimentos de gente cantando canciones pop muy cerca de la altura y el tempo correctos). También estaba invitada la otra especialista mundial en sincronización musical, Mari Reiss Jones. Había hecho el trabajo más importante sobre el papel de la atención en la cognición musical, y elaborado un modelo trascendental de cómo convergen para crear nuestro conocimiento de la estructura musical los

acentos, el compás, el ritmo y las expectativas. ¡Iba a estar allí además John Hopfield, el creador de las redes Hopfield, una de las clases más importantes de modelos de red neuronal PDP! Cuando llegué a Cold Spring Harbor, me sentí como una fan entre bastidores en un concierto de Elvis en 1957.

La conferencia fue intensa. Los investigadores no podían ponerse de acuerdo en cuestiones básicas, como por ejemplo diferenciar un oscilador de un cronometrador, o si participan o no procesos neurales diferentes en el cálculo de la longitud de un intervalo silencioso frente a la de un lapso de tiempo lleno de pulsaciones regulares.

Como grupo, comprendimos (como esperaban los organizadores) que lo que impedía un verdadero progreso en el campo era en gran parte que estábamos utilizando terminología diferente para referirnos a las mismas cosas, y en muchos casos estábamos utilizando una sola palabra (como «sincronización») con significados muy distintos, y que nos ateníamos a supuestos básicos muy diferentes.

Cuando oyes a alguien utilizar un término como *planum temporale* (una estructura neuronal), piensas que está utilizándolo en el mismo sentido que tú. Pero en ciencia, como en música, las suposiciones pueden ser fatales. Unos consideraban que el *planum temporale* tenía que definirse anatómicamente, otros que funcionalmente. Discutimos sobre la importancia de la materia gris y de la materia blanca, sobre lo que significa que dos acontecimientos sean sincrónicos (¿tienen que suceder justo al mismo tiempo, o sólo en lo que parece ser perceptualmente al mismo tiempo?).

De noche, nos sirvieron comida preparada y mucha cerveza y vino tinto y seguimos debatiendo mientras comíamos y bebíamos. Mi alumno de doctorado Bradley Vines, que acudió como observador, tocó el saxofón para todos. Yo toqué la guitarra con unos cuantos del grupo que eran músicos y Amandine cantó.

Como el tema del encuentro era la sincronización, la mayoría de la gente no había prestado mucha atención al trabajo de Schmammann ni a la posible conexión entre la emoción y el cerebelo. Pero Ivry lo había hecho; conocía el trabajo de Schmammann y le intrigaba. En nuestras discusiones, arrojó una luz sobre similitudes entre percepción musical y planificación de la acción motriz que yo no había sido capaz de ver en mi propio experimento. Se

mostró de acuerdo en que el cerebelo tenía que estar implicado en las claves básicas del misterio de la música. Cuando conocí a Watson, me contó que él creía también que tenía que haber una conexión plausible entre el cerebelo, la sincronización, la música y la emoción. Pero ¿cuál podría ser esa conexión? ¿Cuál era su base evolutiva?

Pocos meses después visité a mi estrecha colaboradora Ursula Bellugi en el Salk Institute de La Jolla, California. El Salk Institute se asienta en un trozo de tierra inmaculada con vistas al océano Pacífico. Bellugi, que estudió con el gran Roger Brown en Harvard en la década de los sesenta, dirige allí el Laboratorio de Neurociencia Cognitiva. Entre sus muchas, muchísimas «matrículas de honor» y los muchos hallazgos que establecieron nuevos hitos en su carrera, fue la primera que demostró que el lenguaje de señas es un verdadero lenguaje (con estructura sintáctica, no es sólo una colección ad hoc o desorganizada de gestos), demostrando con ello que el módulo lingüístico de Chomsky no es sólo para el lenguaje hablado. También ha realizado trabajo innovador en cognición espacial, gestos, los trastornos neuronales del desarrollo y la capacidad de las neuronas para cambiar de función, la neuroplasticidad.

Ursula y yo llevamos diez años trabajando juntos en la tarea de descubrir las bases genéticas de la musicalidad. ¿Qué mejor lugar para ubicar la investigación que un instituto dirigido por Francis Crick, el hombre que descubrió, con Watson, la estructura del ADN? Yo había ido allí, como hago todos los años, para que pudiéramos examinar juntos nuestros datos y trabajar preparando artículos para la publicación. A Ursula y a mí nos gustaba sentarnos en la misma habitación, mirando la misma pantalla de ordenador, donde podíamos señalar los diagramas de cromosomas, examinar activaciones cerebrales y hablar sobre lo que significaban para nuestras hipótesis.

Una vez por semana el Instituto celebraba una «comida de profesores» en la que venerables científicos se sentaban en torno a una gran mesa cuadrada con Francis Crick, el director de la institución. Raras veces se admitían visitantes; era un foro privado en el que los científicos se sentían con libertad para especular. Yo había oído hablar de aquel terreno sagrado y soñaba con poder visitarlo.

Crick sostenía en su libro *The Astonishing Hypothesis* que la conciencia surge del cerebro, que la suma total de nuestros pensamientos, creencias, deseos y sentimientos procede de las actividades de las neuronas, las células gliáticas y las moléculas y átomos que las componen. Eso era interesante, pero como ya he dicho, yo soy más bien contrario a cartografiar la mente sólo por cartografiarla, y me inclino más por intentar entender cómo la maquinaria da origen a la experiencia humana.

Crick me interesaba no por su brillante obra sobre el ADN y la administración del Instituto Salk de la que se encargaba, ni siquiera por *The Astonishing Hypothesis*. Era por su libro *What Mad Pursuit*, sobre sus primeros años dedicado a la ciencia. Fue, de hecho, concretamente este pasaje, porque también yo había empezado mi carrera científica algo tarde en la vida.

Cuando se acabó por fin la guerra, yo no sabía qué hacer... Hice el recuento de mis calificaciones. Un título no muy bueno, redimido un tanto por mis logros en el Almirantazgo. Un conocimiento de ciertas partes limitadas de la hidrodinámica y el magnetismo. Temas por los que no sentía el menor entusiasmo. No había publicado absolutamente nada... Sólo de forma gradual empecé a entender que esa falta de cualificación podría ser una ventaja. Cuando llegan a los treinta años la mayoría de los científicos están atrapados por su propia especialización. Han invertido tanto esfuerzo en un campo particular que suele resultarles sumamente difícil, en ese período de su carrera, realizar un cambio radical. Yo, por mi parte, no sabía nada, sólo tenía una formación básica en una física y unas matemáticas algo anticuadas y mi capacidad para dedicarme a cosas nuevas... Como no sabía básicamente nada, tenía una libertad de elección casi total...

La propia investigación de Crick me había animado a mí a considerar mi falta de experiencia una licencia para pensar en la neurociencia cognitiva de una forma distinta a como lo hacían otros, y me impulsó a adentrarme más allá de lo que parecían los límites superficiales de mis propios alcances.

Llegué en el coche al laboratorio de Ursula desde mi hotel una mañana

para poder empezar temprano. «Temprano» para mí eran las siete de la mañana, pero Ursula llevaba ya en el laboratorio desde las seis. Cuando estábamos los dos trabajando en su despacho, tecleando en el ordenador, Ursula posó su café y me miró con un chispeo pixielesco en los ojos. «¿Te gustaría conocer hoy a Francis?» La coincidencia de que yo hubiese conocido sólo unos meses antes a Watson, Nobel gemelo de Crick, resultaba sorprendente.

Me asaltó un viejo recuerdo y sentí una oleada de pánico. Cuando estaba empezando como productor de discos, Michelle Zarin, la directora de un gran estudio de grabación de San Francisco, Automatt, celebraba los viernes por la tarde encuentros en su oficina a los que sólo se invitaba a un grupo selecto. Durante muchos meses, mientras yo trabajaba con bandas desconocidas como los Afflicted y los Dimes, veía a la realeza del rock entrar en su despacho los viernes por la tarde: Carlos Santana, Huey Lewis, los productores Jim Gaines y Bob Johnston. Un viernes Michelle me dijo que iba a estar en la ciudad Ron Nevison, que había hecho la grabación de mis discos favoritos de Led Zeppelin, y había trabajado con los Who. Me llevó a su despacho y me indicó dónde debía colocarme en el semicírculo que empezaba a formarse. La gente charlaba y yo escuchaba con respeto. Pero Ron Nevison parecía no reparar en mí y era precisamente a quien yo quería conocer. Miré el reloj..., habían pasado quince minutos. Sonaba en el estéreo del rincón Boz Scaggs (otro cliente). «Lowdown.» «Lido.» Habían pasado veinte minutos. ¿Iba a conocer alguna vez a Nevison? Llegó «We're All Alone» y la letra se me metió debajo de la piel (como a veces puede hacer la música). Tenía que tomar yo la iniciativa. Me acerque a Nevison y me presenté. Él me estrechó la mano y volvió a la conversación en la que estaba metido. Eso fue todo. Michelle me riñó más tarde: esas cosas simplemente no se hacen. Si hubiese esperado a que ella me presentase, le habría recordado que yo era el joven productor del que le había hablado, el aprendiz potencial, el joven respetuoso e irreflexivo al que ella quería que conociese. Nunca volví a ver a Nevison.

A la hora de comer, Ursula y yo salimos al cálido aire de primavera de San Diego. Se oían los chillidos de las gaviotas en el cielo. Fuimos hasta el rincón del campus del Salk que tenía la mejor vista del Pacífico y subimos tres tramos de escaleras hasta el comedor de los profesores. Yo reconocí

inmediatamente a Crick, aunque parecía muy débil: estaba ya al final de los ochenta, llamando vacilante a la puerta de los noventa. Ursula me indicó un asiento que estaba a cuatro personas de distancia de él, a su derecha.

La conversación en la comida era una cacofonía. Yo oía fragmentos de conversaciones sobre un gen cancerígeno que acababa de identificar uno de los profesores, y sobre el desciframiento de la genética del sistema visual del calamar. Otro de los comensales especulaba sobre una intervención farmacológica para retrasar la pérdida de memoria asociada con el Alzheimer. Crick escuchaba más que nada, pero hablaba de vez en cuando, con una voz tan apagada que yo no podía oír ni una palabra. El comedor fue vaciándose a medida que iban terminando de comer los profesores.

Después del postre, Crick aún seguía a cuatro asientos de distancia de mí, hablando animadamente con alguien situado a su izquierda, dándonos la espalda. Yo quería conocerle, para hablar sobre *The Astonishing Hypothesis*, para saber qué pensaba de la relación entre cognición, emoción y control motriz. ¿Y qué opinaba el codescubridor de la estructura del ADN de una posible base genética de la música?

Ursula, percibiendo mi impaciencia, dijo que me presentaría a Francis cuando saliésemos. Yo estaba decepcionado, previendo un «hola-adiós». Ursula me cogió por el codo; mide sólo uno cuarenta y cinco y tiene que estirarse para llegar. Me acercó a Crick, que estaba hablando de leptones y muones con un colega. Le interrumpió. «Francis —dijo—, quería presentarte a mi colega Dan Levitin, de McGill, que trabaja sobre Williams y la música conmigo.» Antes de que Crick pudiese decir una palabra, Ursula me empujó por el codo hacia la puerta. A Crick se le iluminaron los ojos. Se incorporó en su asiento. «Música —dijo. Se olvidó de su colega de los leptones—. Me gustaría hablar contigo sobre eso alguna vez.» «Bueno —dijo Ursula astutamente—, tenemos algo de tiempo en este momento.»

Crick quería saber si habíamos hecho estudios de neuroimágenes de la música; le hablé de los que habíamos hecho respecto a la música y el cerebelo. Le intrigaron nuestros resultados y la posibilidad de que el cerebelo pudiese intervenir en la emoción musical. El papel del cerebelo ayudando a intérpretes y directores a seguir el compás musical y a mantener un tempo constante era algo sabido. Muchos suponían también que el cerebelo

participaba en el seguimiento del compás musical en los oyentes. Pero ¿dónde encajaba la emoción? ¿Cuál podría haber sido la conexión evolutiva entre emoción, sincronización y movimiento?

En primer lugar, ¿cuál podría ser la base evolutiva de las emociones? Los científicos no pueden ponerse de acuerdo ni siquiera sobre lo que son las emociones. Distinguimos entre emociones (estados temporales que suelen deberse a algún acontecimiento exterior, presente, recordado o anticipado), estados de ánimo (estados no tan temporales, de más larga duración, que pueden o no tener una causa externa) y rasgos (una proclividad o tendencia a determinados estados, como por ejemplo «ella es en general una persona feliz» o «él nunca parece satisfecho»). Algunos científicos utilizan la palabra «afecto» para referirse a la valencia (positiva o negativa) de nuestros estados internos, y reservan la palabra «emoción» para referirse a estados particulares. Afecto puede así asumir sólo dos valores (o un tercer valor si se cuenta «estado no afectivo») y dentro de cada uno tenemos una gama de emociones: entre las emociones positivas se incluirían la felicidad y la saciedad, entre las negativas el miedo y la cólera.

Crick y yo hablamos de cómo en la historia evolutiva las emociones estaban estrechamente relacionadas con la motivación. Crick me recordó que las emociones de nuestros antiguos ancestros homínidos eran un estado neuroquímico que servía para motivarnos a actuar, generalmente por motivos de supervivencia. Vemos un león e instantáneamente genera miedo, un estado interno (una emoción) que se produce cuando se logra un determinado cóctel de neurotransmisores e índices de activación. Ese estado que llamamos «miedo» nos hace dejar lo que estuviésemos haciendo y (sin pensarlo siquiera) correr. Comemos algo en malas condiciones y sentimos la emoción del asco; de inmediato se disparan ciertos reflejos fisiológicos, como taparse la nariz (para impedir que penetre un posible aroma tóxico) y sacamos la lengua (para expulsar el alimento malsano); contraemos también el cuello para limitar la cantidad de alimento que nos llegue al estómago. Vemos una extensión de agua después de llevar vagando horas y nos entusiasmos: bebemos y nos invade la saciedad con una sensación de bienestar y alegría, emociones que nos harán recordar la próxima vez dónde está esa extensión de agua.

No todas las actividades emotivas conducen a movimientos motores, pero muchas de las importantes sí, y correr figura a la cabeza de ellas. Corremos mucho más deprisa y con mucha mayor eficacia si lo hacemos con un paso regular: así es menos probable que demos un traspiés o perdamos el equilibrio. El papel del cerebelo está claro en este caso. Y también parece razonable la idea de que las emociones puedan estar relacionadas con las neuronas cerebelares. Las actividades de supervivencia más cruciales entrañan a menudo correr (para huir de un predador o tras la presa que escapa) y nuestros ancestros necesitaban reaccionar rápida, instantáneamente, sin analizar la situación y estudiar la mejor forma de actuar. En suma, aquellos ancestros que estaban dotados de un sistema emotivo directamente conectado con el sistema motor podían reaccionar más rápido, y vivir así para reproducirse y transmitir sus genes a otra generación.

A Crick lo que le interesaba sobre todo, más que los orígenes evolutivos de la conducta, eran los datos. Había leído la obra de Schmammann, que estaba intentando resucitar muchas viejas ideas que habían caído en desgracia o simplemente se habían olvidado, como por ejemplo un artículo de 1934 en el que se indicaba que el cerebelo participaba en la modulación de la excitación, la atención y el sueño. Durante la década de los sesenta nos enteramos de que lesiones en determinadas zonas del cerebelo podían provocar cambios espectaculares en la excitación. Monos con una lesión en una parte del cerebelo experimentaban cólera, una cólera llamada por los científicos infundada, debido a que no había en el entorno nada que provocase esa reacción. (Por supuesto, los monos tenían todos los motivos para estar furiosos, ya que algún cirujano les había lesionado parte del cerebro, pero de acuerdo con los experimentos sólo mostraban cólera después de sufrir esas lesiones cerebelares, y no otras.) Las lesiones en otras partes del cerebelo provocaban calma, y se habían utilizado clínicamente para calmar a esquizofrénicos. La estimulación eléctrica de una fina capa de tejido del centro del cerebelo, llamada la vermis, podía provocar agresividad en los seres humanos, y en una región diferente una disminución de la angustia y de la depresión.

Crick aún tenía delante el plato del postre y lo apartó a un lado. Tenía cogido con una mano un vaso de agua con hielo. Podía verle las venas de las

manos a través de la piel. Durante un instante creí que podía realmente verle el pulso. Se quedó en silencio un momento, con la mirada fija, pensando. Había un silencio completo ya en el comedor, pero podíamos oír abajo el estruendo de las olas a través de la ventana abierta.

Hablamos del trabajo de los neurobiólogos que habían demostrado en los años setenta que el oído interno no envía todas sus conexiones al córtex auditivo, como se creía antes. En gatos y ratas, animales cuyos sistemas auditivos se conocen bien y muestran una marcada semejanza con los nuestros, hay proyecciones directas desde el oído interno al cerebelo (conexiones que entran en el cerebelo desde el oído) que coordinan los movimientos que participan en la orientación del animal hacia un estímulo auditivo en el espacio. Hay incluso neuronas sensibles a la ubicación en el cerebelo, una forma eficaz de orientar rápidamente la cabeza o el cuerpo hacia una fuente de sonido. Esas áreas envían a su vez proyecciones a las áreas del lóbulo frontal que mis estudios con Vinod Menon y Ursula descubrieron que participaban en el procesamiento del lenguaje y de la música, regiones del córtex orbitofrontal y frontal inferior. ¿Qué estaba pasando? ¿Por qué razón las conexiones que partían del oído eludían el córtex auditivo, el área de recepción central para la audición, y enviaban masas de fibras al cerebelo, un centro de control motriz (y tal vez, estábamos enterándonos, de la emoción)?

La redundancia y la distribución de la función son principios cruciales en neuroanatomía. El meollo del asunto es que un organismo tiene que vivir lo suficiente para transmitir sus genes a través de la reproducción. La vida es peligrosa; hay muchísimas posibilidades de recibir un golpe en la cabeza y perder alguna función cerebral. Para que el organismo siga funcionando después de una lesión cerebral es necesario que un golpe en una sola parte del cerebro no desbarate todo el sistema. Los sistemas cerebrales importantes elaboraron evolutivamente vías suplementarias adicionales.

Nuestro sistema perceptivo está afinado de forma exquisita para detectar cambios en el entorno, ya que un cambio puede ser una señal de que el peligro es inminente. Comprobamos eso con cada uno de los cinco sentidos. Nuestro sistema visual, aunque dotado de una capacidad que le permite apreciar millones de colores y ver en la oscuridad cuando la iluminación es

tan tenue como un fotón en un millón, es el más sensible al cambio súbito. Una región completa del córtex visual, el área MT, está especializada en la detección del movimiento; las neuronas se activan allí cuando se mueve en nuestro campo visual un objeto. Todos hemos tenido la experiencia de que se nos pose un insecto en el cuello e instintivamente le demos un manotazo: nuestro sistema táctil percibió un cambio muy sutil de presión en la piel. Y aunque es ya un tópico de los tebeos de los niños, el poder de un cambio olfativo (el olor que llega por el aire de una tarta de manzana enfriándose en el alféizar de la casa de al lado) puede provocar en nosotros una reacción de alerta y de orientación. Pero los sonidos desencadenan de forma característica las mayores reacciones de sobresalto. Un ruido súbito nos hace saltar de nuestro asiento, girar la cabeza, agacharnos o taparnos los oídos.

El sobresalto auditivo es la más rápida de nuestras reacciones al sobresalto, y puede considerarse la más importante. Esto tiene sentido: en el mundo en que vivimos, rodeados de una capa de atmósfera, el movimiento súbito de un objeto (sobre todo uno grande) provoca una perturbación del aire. Percibimos este movimiento de moléculas del aire como sonido. El principio de redundancia dicta que nuestro sistema nervioso tenga que ser capaz de reaccionar al mensaje sonoro aunque pueda llegar a lesionarse parcialmente. Cuanto más profundizamos en el cerebro, más vías redundantes encontramos, más circuitos latentes y más conexiones entre sistemas de las que antes no teníamos noticia. Estos sistemas secundarios cumplen una función importante de supervivencia. En la literatura científica han aparecido recientemente artículos sobre individuos cuyas vías visuales fueron cortadas, pero que a pesar de ello pueden «ver». Aunque no tengan conciencia de ver nada (de hecho, aseguran que están ciegos) pueden orientarse hacia objetos y en algunos casos identificarlos.

Parece haber también un sistema auditivo rudimentario o complementario en el que participa el cerebelo. Esto preserva nuestra capacidad para reaccionar con rapidez (emotivamente y con el movimiento) a sonidos que puedan ser peligrosos.

El circuito de habituación está relacionado con el reflejo de sobresalto y con la exquisita sensibilidad del sistema auditivo al cambio. Si tu refrigerador tiene un zumbido, llegas a acostumbrarte tanto a él que ya no lo percibes: eso

es habituación. Una rata que duerme en su agujero en el suelo oye encima un ruido fuerte. Podría ser la pisada de un predador, y debería sobresaltarse inmediatamente. Pero podría ser también el ruido de una rama movida por el viento que golpea el suelo encima de una forma más o menos rítmica. Si después de una o dos docenas de golpes de la rama contra el tejado de su casa la rata descubre que no hay ningún peligro, no debería prestar atención a esos sonidos, y comprender que no son ninguna amenaza. Si cambiasen la intensidad o la frecuencia, eso indicaría que las condiciones del entorno han cambiado y que debería estar alerta. Tal vez haya arremetido el viento y su mayor velocidad haga que la rama agujeree el techo de su residencia de roedor. Tal vez el viento haya amainado, y podrá salir sin problemas y buscar alimento y pareja sin miedo a que vientos huracanados la arrastren. La habituación es un proceso importante y necesario para diferenciar lo amenazador de lo que no lo es. El cerebelo actúa como una especie de cronometrador, de modo que cuando está dañado, su capacidad para rastrear la regularidad de la estimulación sensorial queda comprometida y la habituación se va al garete.

Ursula le contó a Crick el descubrimiento de Albert Galaburda en Harvard de que en los individuos con el síndrome de Williams (SW) el cerebelo se forma defectuosamente. Este síndrome se produce cuando faltan unos veinte genes en un cromosoma (el cromosoma 7). Ocurre en uno de cada 20.000 nacimientos, por lo que su frecuencia es cuatro veces menor que la del trastorno del desarrollo más conocido denominado síndrome de Down. El síndrome de Williams, como el de Down, se debe a un error de transcripción genética que se produce en las primeras etapas del desarrollo fetal. La pérdida de esos veinte genes de los aproximadamente 25.000 que tenemos resulta devastadora. Quienes sufren síndrome de Williams pueden padecer una discapacidad intelectual profunda. Pocos aprenden a contar, saber la hora, o leer. Sin embargo, tienen más o menos intactas las habilidades lingüísticas, son muy buenos para la música y extraordinariamente extrovertidos y agradables; son, en realidad, más emotivos que el resto de nosotros, y desde luego más cordiales y sociables que el individuo medio. Hacer música y conocer gente nueva tienden a ser dos de sus actividades favoritas. Schmahmann había descubierto que las

lesiones en el cerebelo pueden crear síntomas similares a los del síndrome de Williams; la persona se volvía de pronto muy extrovertida y mostraba una familiaridad excesiva con los desconocidos.

Hace un par de años me pidieron que visitase a un adolescente con síndrome de Williams. Kenny, que era como se llamaba, era extrovertido, alegre y le encantaba la música, pero tenía un coeficiente de inteligencia de menos de cincuenta, lo que significaba que a los catorce años de edad tenía la capacidad mental de un niño de siete. Además, como la mayoría de la gente afectada por el síndrome de Williams, tenía una coordinación ojo-mano muy pobre, por lo que le resultaba difícil abotonarse (tenía que ayudarle su madre), atarse los cordones de los zapatos (usaba tiras Velcro en vez de cordones) e incluso tenía dificultades para subir escaleras o llevarse la comida del plato a la boca. Pero tocaba el clarinete. Había aprendido unas cuantas piezas y era capaz de ejecutar los numerosos y complicados movimientos digitales necesarios para tocarlas. No era capaz de nombrar las notas, y no podía explicarme lo que estaba haciendo en ningún punto de la pieza: era como si sus dedos tuviesen una mente propia. ¡De pronto los problemas de coordinación ojo-mano habían desaparecido! Pero luego, en cuanto paraba de tocar, necesitaba ayuda para abrir la caja y meter otra vez en ella el clarinete.

Allan Reiss, de la facultad de medicina de la Universidad de Stanford, ha demostrado que el neocerebelo, la zona más reciente del cerebelo, es mayor de lo normal en las personas que padecen síndrome de Williams. Había algo en el movimiento de la gente con síndrome de Williams, cuando podía adiestrarse para la música, que era distinto de otros tipos de movimiento. Dado que su morfometría cerebelar era diferente de la de los demás, parecería indicar que el cerebelo podría ser la parte que tendría una «mente propia», y decirnos algo sobre cómo influye normalmente el cerebelo en el procesamiento de la música para los que no tienen síndrome de Williams. El cerebelo es decisivo para algo relacionado con la emoción: sobresalto, miedo, cólera, calma, sociabilidad. Ahora participaba también en un procesamiento auditivo.

Crick, que seguía sentado conmigo, mucho después de que hubiesen retirado los platos de la comida, mencionó «el problema del vínculo», uno de

los problemas más difíciles de la neurociencia cognitiva. La mayoría de los objetos tienen un número de rasgos diferentes que son procesados por subsistemas neuronales independientes: en el caso de los objetos visuales, estos rasgos podrían ser color, forma, movimiento, contraste, tamaño, etc. El cerebro tiene que «vincular» de algún modo estos componentes de la percepción diferentes e independientes en un todo coherente. Ya he explicado que los científicos cognitivos creen que la percepción es un proceso constructivo, pero ¿qué es lo que hacen realmente las neuronas para juntarlo todo? Sabemos que eso es un problema por el estudio de pacientes con determinadas lesiones o enfermedades neuropáticas como el síndrome de Balint. Las personas que lo padecen pueden reconocer uno o dos rasgos de un objeto, pero son incapaces de relacionarlos. Algunos pacientes pueden decirte dónde está situado un objeto dentro de su campo visual pero no su color, o viceversa. Otros pacientes oyen el timbre y el ritmo pero no la melodía o viceversa. ¡Isabelle Peretz descubrió un paciente que tiene oído absoluto pero es sordo al tono! Puede nombrar las notas perfectamente, pero sería incapaz de cantar aunque le fuese en ello la vida.

Una solución al problema de la vinculación, propuso Crick, era la activación sincrónica de neuronas a lo largo del córtex. Parte de la «hipótesis asombrosa» del libro de Crick era que la conciencia aflora por la activación sincrónica, a 40 hercios, de neuronas en el cerebro. Los neurocientíficos habían considerado en general que las operaciones del cerebelo se producían a un nivel «preconsciente» porque el cerebelo coordina acciones como correr, caminar, coger o alcanzar algo, que no se hallan normalmente bajo control consciente. No hay ninguna razón por la que las neuronas cerebelares no puedan activarse a 40 hercios para contribuir a la conciencia, dijo, aunque normalmente no atribuyamos conciencia similar a la humana a los organismos que sólo tienen cerebelo, como los reptiles. «Examina las conexiones», dijo. Él había estudiado neuroanatomía durante su período en Salk, y se había dado cuenta de que muchos de los que investigaban en neurociencia cognitiva no se estaban ateniendo a sus propios principios básicos, a utilizar el cerebro como marco delimitador de las hipótesis; Crick tenía poca paciencia con eso, y creía que sólo se podría avanzar estudiando rigurosamente los aspectos funcionales y estructurales del cerebro.

El colega de los leptones había vuelto por entonces, recordándole a Crick una cita inminente. Nos levantamos todos para irnos y Crick se volvió hacia mí por última vez y repitió: «Examina las conexiones...». No volví a verle. Murió pocos meses después.

La conexión entre el cerebelo y la música no era tan difícil de ver. Los participantes en la reunión de Cold Spring Harbor hablaban de cómo el lóbulo frontal (el centro de las cogniciones más avanzadas de los humanos) está directamente conectado con el cerebelo, la parte más primitiva del cerebro. Las conexiones van en ambas direcciones, así que las dos estructuras se influyen mutuamente. Las regiones del córtex frontal que estaba estudiando Paula Tallal (las que nos ayudan a apreciar diferencias precisas en los sonidos del habla) estaban también conectadas con el cerebelo. El trabajo de Ivry sobre control motriz mostró que había conexiones entre los lóbulos frontales, el córtex occipital (y la franja motriz) y el cerebelo. Pero había otro intérprete en esta sinfonía neuronal, una estructura profundamente hundida en el córtex.

En 1999, en un estudio que hizo época, Anne Blood, una docente posdoctoral que trabajaba con Robert Zatorre en el Instituto Neurológico de Montreal, había demostrado que la emoción musical intensa (lo que sus sujetos describían como «escalofríos y estremecimientos») estaba relacionada con regiones cerebrales que se consideraba que participaban en el proceso de recompensa, motivación y excitación: el striatum ventral, la amígdala, el cerebro medio y regiones del córtex frontal. Yo estaba en especial interesado en el striatum ventral, una estructura que incluye el nucleus accumbens, porque este último es el centro del sistema de recompensa del cerebro, y juega un papel importante en el placer y en la adicción. Se activa cuando los jugadores ganan una apuesta, o los consumidores de drogas toman su droga favorita. Está también íntimamente relacionado con la transmisión de opiáceos en el cerebro, a través de su capacidad para liberar el neurotransmisor dopamina. Avram Goldstein había demostrado en 1980 que el placer de escuchar música podía bloquearse administrando la droga nalaxone, que se creía que bloqueaba la dopamina en el nucleus accumbens. Pero el tipo concreto de escáner cerebral que habían utilizado Blood y Zatorre, la tomografía de emisión positrónica, no tiene una resolución

espacial lo bastante elevada para detectar si participaba en el asunto el pequeño nucleus accumbens. Vinod Menon y yo teníamos datos abundantes obtenidos con la MRI de más alta resolución, y disponíamos de potencial resolutivo para determinarlo. Pero para precisar del todo la historia de cómo se produce placer en el cerebro en respuesta a la música tendríamos que demostrar que el nucleus accumbens actuaba en el momento justo en que se activa una secuencia de estructuras neuronales durante la audición de música, tras la activación de estructuras del lóbulo frontal que procesa el contenido y la estructura musicales. Y para saber si ése era el papel del nucleus accumbens como modulador de la dopamina, teníamos que hallar un medio de demostrar que su activación se producía al mismo tiempo que la de otras estructuras cerebrales que participaban en la producción y transmisión de dopamina, porque si no, no podríamos alegar que su participación fuese algo más que simple coincidencia. Por último, como había tantos indicios que parecían señalar al cerebelo, que sabemos que tiene también receptores de dopamina, debía aparecer también en ese análisis.

Menon acababa de leer algunos artículos de Karl Friston y sus colegas sobre una nueva técnica matemática, llamada análisis de conectividad funcional y efectiva, que nos permitía afrontar esos problemas, y revelar cómo diferentes regiones cerebrales interactúan durante las operaciones cognitivas. Estos nuevos análisis de conectividad nos permitirían detectar asociaciones entre regiones neuronales en el procesamiento de la música que no podían abordarse con técnicas convencionales. Midiendo la interacción de una región cerebral con otra (delimitada por nuestro conocimiento de las conexiones anatómicas entre ellas), la técnica nos permitiría efectuar un examen momento a momento de las redes neurales provocadas por la música. Eso es sin duda lo que habría querido ver Crick. La tarea no era fácil; los experimentos de escaneo cerebral producen millones y millones de puntos de datos; una sola sesión puede ocupar todo el disco duro de un ordenador normal. Analizar los datos de la forma ordinaria (sólo para ver qué áreas son activadas, no el nuevo tipo de análisis que nos proponíamos) puede llevar meses. Y no había un programa estadístico «prefabricado» que hiciese esos nuevos análisis por nosotros. Menon se pasó tres meses trabajando en las ecuaciones necesarias para hacer esos análisis, y cuando acabó, reanalizamos

los datos que yo había recogido de gente escuchando música clásica.

Descubrimos exactamente lo que habíamos esperado encontrar. La audición de música provocaba que se activasen en un orden determinado una cascada de regiones cerebrales: primero, el córtex auditivo para el procesamiento inicial de los componentes del sonido. Luego regiones frontales, como BA44 y BA47, que habíamos determinado previamente que participaban en el procesamiento de las expectativas musicales y la estructura musical. Finalmente, una red de regiones (el sistema mesolímbico) que participaban en la excitación, el placer y la transmisión de opiáceos y la producción de dopamina, para culminar con la activación del nucleus accumbens. Y a lo largo de todo el proceso se mantenían activos el cerebelo y los ganglios basales, apoyando de manera presumible el procesamiento de ritmo y compás. En los aspectos de recompensa y reforzamiento de la audición de música parecen, pues, intervenir niveles crecientes de dopamina en el nucleus accumbens y la contribución del cerebelo en la regulación de la emoción a través de sus conexiones con el lóbulo frontal y el sistema límbico. Las teorías neuropsicológicas vigentes asocian estado de ánimo positivo y afecto con un aumento de los niveles de dopamina, uno de los motivos de que muchos de los antidepresivos más recientes actúen sobre el sistema dopaminérgico. La música es claramente un medio para mejorar el estado de ánimo de la gente. Ahora creemos que sabemos por qué.

La música parece remedar algunos rasgos del lenguaje y transmitir algunas de las mismas emociones que transmite la comunicación vocal, pero de un modo no referencial y no específico. Activa también algunas de las mismas regiones neuronales que activa el lenguaje, pero la música aprovecha mucho más que el lenguaje estructuras del cerebro primitivo que participan en la motivación, la recompensa y la emoción. Ya se trate de los primeros toques del cencerro de «Honky Tonk Women» o de las primeras notas de «Sheherezade», sistemas computacionales del cerebro sincronizan osciladores neuronales con la cadencia de la música, y empiezan a predecir cuándo se producirá el próximo tiempo fuerte. A medida que la música se despliega, el cerebro va actualizando constantemente sus cálculos de cuándo se producirán nuevos tiempos, y se complace de que un músico habilidoso viole esa expectativa de una forma interesante (una especie de broma musical

en la que todos participamos). La música respira, acelera y aminora exactamente igual que lo hace el mundo real, y nuestro cerebelo goza ajustándose para mantenerse sincronizado.

La música eficaz (*groove*) incluye violaciones sutiles de sincronización. Igual que la rata experimenta una reacción emotiva ante una violación del ritmo en el golpeteo de la rama sobre su casa, nosotros experimentamos una reacción emotiva ante la violación del ritmo en la música que es *groove*. La rata, sin ningún contexto para la violación del ritmo, lo experimenta como miedo. Nosotros sabemos a través de la cultura y de la experiencia que la música no es amenazadora, y nuestro sistema cognitivo interpreta esas violaciones como una fuente de placer y de diversión. Esta reacción emocional a lo *groove* se produce vía oído-cerebelo-nucleus accumbens-circuito límbico más que vía oído-circuito del córtex auditivo. Nuestra reacción a lo *groove* es mayoritariamente pre o inconsciente, porque pasa a través del cerebelo en vez de hacerlo a través de los lóbulos frontales. Lo notable es que todas esas vías diferentes se integren en nuestra experiencia de una canción única.

La historia de lo que hace tu cerebro cuando oye música es la historia de una orquestación exquisita de regiones cerebrales, en la que participan las zonas más antiguas y más recientes del cerebro humano, regiones tan apartadas como el cerebelo, situado en la parte de atrás de la cabeza, y los lóbulos frontales, justo detrás de los ojos. Se trata de una coreografía precisa de liberación y respuesta neuroquímicas entre sistemas lógicos de predicción y sistemas emotivos de recompensa. Cuando nos gusta una pieza de música, nos recuerda otra música que hemos oído, y eso activa huellas mnemotécnicas de períodos emotivos de nuestras vidas. La relación entre tu cerebro y la música consiste toda ella, como repitió Francis Crick cuando abandonamos aquel comedor, en conexiones.

¿QUÉ SE NECESITA PARA SER MÚSICO?

DISECCIÓN DE LA MAESTRÍA

Frank Sinatra, en su álbum *Songs for Swinging Lovers*, muestra un control asombroso de su expresión emotiva, del ritmo y del tono. En fin, yo no soy un fanático de Sinatra. Sólo tengo una media docena de los más de doscientos álbumes que ha publicado, y no me gustan sus películas. La verdad es que la mayor parte de su repertorio me parece sencillamente ñoño; y todo lo de después de 1980 me suena demasiado chulesco. Hace años *Billboard* me encargó una crítica de su último álbum, duetos con cantantes populares como Bono y Gloria Estefan. Puse el disco por los suelos, llegando a decir que Frank «canta con la satisfacción de un hombre que acabase de matar a alguien».

Pero en *Swinging Lovers*, cada nota que canta está perfectamente emplazada en el ritmo y el tono. No quiero decir «perfectamente» en el sentido estricto y según la partitura; ritmos y sincronización son del todo equivocados de acuerdo con cómo está escrita la música sobre el papel, pero son perfectos para expresar emociones que no se pueden describir. Su fraseo contiene matices increíblemente detallados y sutiles...; ser capaz de prestar atención a tanto detalle, ser capaz de controlarlo, es algo que a mí me resulta inverosímil. Intenta cantar con él cualquier canción de *Swinging Lovers*. No he conocido a nadie que fuese capaz de seguirle con exactitud en el fraseo: hay demasiados matices, es demasiado extravagante, demasiado idiosincrásico.

¿Cómo se convierte uno en un músico experto? ¿Y cómo es que de los millones de personas que reciben clases de música en la infancia, son relativamente pocos los que siguen tocando de adultos? Muchas personas, cuando se enteran de qué es lo que hago yo para ganarme la vida, me dicen que les encanta oír música, pero que sus lecciones de música «no dieron fruto». Yo creo que son demasiado duros consigo mismos. El abismo que media entre los expertos musicales y profesionales de la música se ha hecho tan grande en nuestra cultura que la gente se desalienta y por alguna razón esto sólo pasa con la música. Aunque la mayoría no podamos jugar al baloncesto como Shaquille O’Neal, ni cocinar como un chef, podemos disfrutar de todos modos jugando a encestar amigablemente en el patio de atrás de casa, o cocinando un día de fiesta para la familia y los amigos. Este abismo en la práctica de la música parece ser cultural, específico de la sociedad occidental contemporánea. Y aunque mucha gente dice que las lecciones de música no dieron resultado, los neurocientíficos cognitivos han descubierto en sus laboratorios que no es así. Una exposición, aunque sea pequeña, a lecciones de música en la infancia crea circuitos neuronales para el procesamiento de la música estimulados y más eficientes que los de los que carecen de esa instrucción. Las lecciones de música nos enseñan a escuchar mejor, y aceleran nuestra capacidad para discernir entre estructura y forma en música, haciendo que nos resulte más fácil decir qué música es la que nos gusta y la que no nos gusta.

Pero ¿qué decir de esa clase de personas que todos reconocemos que son auténticos expertos musicales, los Alfred Brendel, Sarah Chang, Wynton Marsalis y Tori Amos? ¿Cómo consiguieron ellos lo que la mayoría de nosotros no tenemos, esa facilidad extraordinaria para tocar e interpretar? ¿Poseen acaso una serie de capacidades (o de estructuras neuronales) que son de un tipo diferente de las que tenemos el resto de los mortales (una diferencia de género) o simplemente más de esa misma materia básica de la que todos nosotros estamos dotados (una diferencia de grado)? Y ¿tienen los compositores y los que escriben canciones un conjunto de dotes básicamente distinto del de los intérpretes?

El estudio científico de la maestría ha sido un tema importante dentro de la ciencia cognitiva durante los últimos treinta años, y la maestría musical ha

tendido a estudiarse dentro del contexto de la maestría general. En casi todos los casos, la maestría musical se ha definido como pericia técnica: dominio de un instrumento o de dotes compositivas. El difunto Michael Howe, y sus colaboradores Jane Davidson y John Sloboda, pusieron en marcha un debate internacional cuando preguntaron si es científicamente defendible la noción vulgar de «talento». Partieron de la dicotomía siguiente: o bien los niveles elevados de pericia musical se basan en estructuras cerebrales innatas (lo que denominamos «talento»), o son sólo el resultado de la práctica y de la instrucción. Ellos definen el talento como algo 1) que se origina en estructuras genéticas; 2) que es identificable en una etapa temprana por gente instruida que puede reconocerlo antes incluso de que se haya adquirido un grado excepcional de pericia; 3) que se puede utilizar para predecir quién es probable que sobresalga, y 4) que sólo se puede identificar a una minoría como dotada de él porque si todo el mundo lo tuviese el concepto perdería sentido. La insistencia en una identificación exige que estudiemos el desarrollo de habilidades en los niños. Ellos añaden que en un campo como el de la música, el «talento» podría manifestarse de forma diferente en diferentes niños.

Es evidente que algunos niños adquieren habilidades más deprisa que otros: la edad a que se empieza a caminar, a hablar y controlar los esfínteres varía mucho de un niño a otro, incluso en el mismo hogar. Pueden intervenir en ello factores genéticos, pero es difícil diferenciar otros factores secundarios (con un componente presumiblemente ambiental) como motivación, personalidad y dinámica de la familia. Factores similares pueden influir en el desarrollo musical y pueden ocultar las aportaciones de la genética a la capacidad musical. Los estudios del cerebro no han sido hasta ahora de gran utilidad para aclarar estas cuestiones porque ha sido difícil separar causa y efecto. Gottfried Schlaug, de Harvard, reunió escáners cerebrales de individuos con oído absoluto y demostró que una región del córtex auditivo (el planum temporale) es mayor en los que tienen oído absoluto que en los que no lo tienen. Esto parece indicar que el planum interviene en el oído absoluto, pero no está claro si empieza siendo más grande en la gente que acabará adquiriendo oído absoluto o si será más bien que la adquisición del oído absoluto hace que el planum aumente de tamaño.

La historia está más clara en las zonas del cerebro que participan en movimientos motrices especializados. Los estudios de violinistas de Thomas Elbert han demostrado que la región del cerebro responsable del movimiento de la mano izquierda (la mano a la que se exige la máxima precisión al tocar el violín) aumenta de tamaño como consecuencia de la práctica. Aún no sabemos si la tendencia al aumento es preexistente en algunos casos y en otros no.

La prueba más firme de la tesis del talento es que algunas personas adquieren simplemente habilidades musicales más rápido que otras. Las pruebas contrarias a esa tesis (o más bien, favorables a la idea de que la perfección viene con la práctica) proceden de las investigaciones sobre cuánta formación y ejercitación reciben los especialistas y los grandes profesionales de la música. Los especialistas en música, como los especialistas en matemáticas, en ajedrez o en los deportes, tienen que pasar por largos períodos de estudio y práctica para adquirir las dotes necesarias para sobresalir de verdad. Se ha comprobado en varios estudios que los mejores estudiantes de los conservatorios eran los que más habían practicado, a veces el doble que aquellos a los que no se consideraba buenos.

En otro estudio, se dividió secretamente a los alumnos en dos grupos (sin revelárselo para no condicionarlos) basándose en las valoraciones de los profesores de su capacidad, o del talento que apreciaban en ellos. Varios años después, los que lograron los niveles más altos de maestría fueron los que más habían practicado con independencia de a qué grupo de «talento» habían sido asignados previamente. Esto parece indicar que la práctica es la causa del logro, no simplemente algo correlacionado con él. Sugiere también que el uso que hacemos de la etiqueta «talento» es una forma de círculo vicioso: cuando decimos que alguien tiene talento, pensamos que queremos decir que tiene cierta predisposición innata a sobresalir, pero en el fondo, sólo aplicamos el término retrospectivamente, después de que se han alcanzado logros significativos.

Anders Ericsson, de la Universidad del Estado de Florida, y sus colegas enfocan el tema de la maestría musical como un problema general de psicología cognitiva, el de cómo los seres humanos se convierten en general en expertos. Es decir, parte del supuesto de que hay ciertos temas

relacionados con el hecho de convertirse en un experto en cualquier cosa; que podemos aprender sobre la pericia musical estudiando a matemáticos, artistas, atletas, ajedrecistas y escritores expertos, además de músicos.

Primero, ¿qué queremos decir con «experto»? En general queremos decir que es alguien que ha alcanzado un alto grado de pericia en relación con otros. La maestría, en cuanto tal, es un juicio social; estamos haciendo una afirmación sobre unos cuantos miembros de una sociedad respecto a una población más amplia. Además, la pericia se considera normalmente relacionada con un campo en el que estamos interesados. Como señala Sloboda, yo puedo convertirme en un experto en cruzar los brazos o en pronunciar mi propio nombre, pero no se otorga en general a eso la misma consideración que a convertirse, por ejemplo, en un experto en ajedrez o en reparación de Porsche, o a ser capaz de robar las joyas de la corona inglesa sin que te pesquen.

El cuadro que aflora de esos estudios es que hacen falta diez mil horas de práctica para alcanzar el nivel de maestría asociado con ser un experto a escala mundial... en cualquier cosa. Este número aparece una y otra vez en un estudio tras otro, de compositores, jugadores de baloncesto, escritores de ficción, patinadores sobre hielo, pianistas de concierto, ajedrecistas, delincuentes expertos. Diez mil horas equivale aproximadamente a tres horas diarias, o veinte horas a la semana, de práctica a lo largo de diez años. Por supuesto, esto no explica por qué algunas personas no parecen llegar a ninguna parte cuando practican y por qué hay gente que saca más provecho de sus sesiones de práctica que otra. Pero nadie ha encontrado aún un caso en el que un auténtico experto a escala mundial consiga ese nivel en menos tiempo. Parece que el cerebro necesita esa práctica para asimilar todo lo que ha de saber para conseguir la maestría auténtica.

La teoría de las diez mil horas coincide con lo que sabemos sobre cómo aprende el cerebro. El aprendizaje exige la asimilación y consolidación de información en el tejido neuronal. Cuantas más experiencias tenemos de algo más firme se hace la huella recuerdo/aprendizaje de esa experiencia. Aunque la gente difiera en el tiempo que tarda en consolidar neuronalmente información, sigue siendo cierto que el aumento de práctica significa un mayor número de huellas neuronales, que pueden combinarse para crear una

representación mnemotécnica más fuerte. Esto es así ya se incline uno por la teoría de la huella múltiple o por cualquier número de variantes de teorías de la neuroanatomía de la memoria: la fuerza de un recuerdo está vinculada al número de veces que se ha experimentado el estímulo original.

La fuerza del recuerdo depende también de cuánto nos interese por la experiencia. Etiquetas neuroquímicas asociadas con recuerdos los marcan según su importancia, y tendemos a codificar como cosas importantes aquellas que aportan mucha emoción, tanto positiva como negativa. Yo les digo a mis alumnos que si quieren hacer bien un examen, tienen que interesarse realmente por la materia cuando la estudian. El interés puede explicar, en parte, algunas de las diferencias iniciales que vemos en la rapidez con la que las personas adquieren nuevas habilidades. Si me gusta realmente una pieza concreta de música, querré practicarla más y, como me interesa, asignaré etiquetas neuroquímicas a cada aspecto del recuerdo que lo clasificarán como importante: los sonidos de la pieza, cómo muevo los dedos, si estoy tocando un instrumento de viento, cómo respiro...; todos esos elementos pasan a formar parte de una huella mnemotécnica que he catalogado como importante.

Del mismo modo, si estoy tocando un instrumento que me gusta, y cuyos sonidos en sí me complacen, es más probable que preste atención a diferencias sutiles de tonalidad, y a cómo puedo moderar y modificar la tonalidad de mi instrumento. Estos factores tienen una importancia decisiva; el interés conduce a la atención, y juntos conducen a cambios neuroquímicos mensurables. Se libera dopamina, el neurotransmisor asociado con la regulación emocional, la alerta y el estado de ánimo, y el sistema dopaminérgico ayuda en la codificación de la huella mnemotécnica.

Debido a factores diversos, algunas personas que reciben lecciones de música sienten menos motivación para practicar; su práctica es menos eficaz por factores motivacionales y de atención. El argumento de las diez mil horas es convincente porque aparece en un estudio tras otro en todos los campos. A los científicos les gusta el orden y la sencillez, así que si vemos un número o una fórmula que aparece en contextos distintos, tenderemos a favorecerlo como explicación. Pero la teoría de las diez mil horas, como muchas teorías científicas, tiene agujeros, y necesita rebatir argumentos en contra y

refutaciones.

La refutación clásica de la teoría de las diez mil horas es más o menos ésta: «Bueno, ¿y Mozart qué? ¡Tengo entendido que componía sinfonías a los cuatro años de edad! E incluso en el caso de que practicase cuarenta horas por semana desde el día en que nació, eso no serían diez mil horas». Primero, hay errores objetivos: Mozart no empezó a componer hasta los seis años de edad, y no escribió su primera sinfonía hasta los ocho. De todos modos, es excepcional, por decir poco, el que compusiese una sinfonía a los ocho años. Mozart demostró precocidad a una edad muy temprana. Pero eso no es lo mismo que ser un experto. Hay muchos niños que componen música, y algunos llegan a componer obras de envergadura con sólo ocho años de edad. Y Mozart estuvo sometido a una instrucción exhaustiva por parte de su padre, al que se consideraba generalmente en la época el mejor profesor de música de toda Europa. No sabemos cuánto practicó Mozart, pero si empezó a los dos años y trabajó veintidós horas por semana en ello (cosa muy posible, dada la fama que tenía su padre de duro, estricto y exigente como maestro), habría hecho sus diez mil horas a los ocho años. Aunque no hubiese practicado tanto, el argumento de las diez mil horas no dice que hagan falta diez mil horas para escribir una sinfonía. Es evidente que Mozart acabó convirtiéndose en un maestro, pero ¿la autoría de esa primera sinfonía lo cualifica como un experto, o alcanzó su nivel de maestría musical en una época posterior?

John Hayes, de Carnegie Mellon, planteó esa misma pregunta. ¿La Sinfonía número 1 de Mozart puede considerarse la obra de un experto musical? Dicho de otro modo, si Mozart no hubiese escrito nada más, ¿nos parecería esa sinfonía la obra de un genio de la música? Tal vez no sea en realidad muy buena, y la única razón de que sepamos de ella es porque el niño que la escribió acabó convirtiéndose en Mozart: nos inspira un interés histórico, pero no un interés estético. Hayes estudió los programas de las principales orquestas y el catálogo de grabaciones comerciales, considerando que es más probable que se interpreten y graben las mejores composiciones musicales que las obras menores. Descubrió que las primeras obras de Mozart no se interpretaban ni grababan muy a menudo. Los musicólogos las consideran principalmente curiosidades, composiciones que no predecían en

modo alguno las obras maestras que habrían de seguir. Las composiciones de Mozart que se consideran verdaderamente grandes son las que compuso mucho después de que hubiese dedicado diez mil horas a hacerlo.

Como hemos visto en los debates sobre memoria y categorización, la verdad se halla en algún punto situado entre los dos extremos, en una mezcla de las dos hipótesis que se enfrentan en el debate naturaleza/educación. Para entender cómo se produce esta síntesis y qué predicciones hace, necesitamos examinar con más detenimiento lo que pueden decir los genetistas.

Los genetistas quieren encontrar un grupo de genes asociados con determinados rasgos observables. Suponen que si hay una aportación genética a la música, aparecerá en las familias, ya que hermanos y hermanas comparten el 50 por ciento de los genes. Pero puede ser difícil en este caso separar la influencia de los genes de la influencia del entorno. El entorno incluye el del vientre materno: los alimentos que ingiera la madre, si fuma o bebe, la cantidad de nutrientes y oxígeno que reciba el feto. Hasta los gemelos idénticos pueden tener entornos muy distintos, condicionados por el sitio de que disponen, su espacio para el movimiento y su posición.

Es difícil diferenciar las influencias genéticas de las ambientales en una habilidad que tiene un componente de aprendizaje, como la música. La música tiende a ser cosa de familia. Pero es más probable que al hijo de músicos se le estimulen más sus tempranas tendencias musicales que al de un hogar no musical, y los hermanos de ese niño educado musicalmente es probable que reciban niveles similares de apoyo. Por analogía, los padres que hablan francés es probable que críen niños que hablen francés, y los que no probablemente no lo hagan. Podemos decir que hablar francés «es cosa de familia», pero no conozco a nadie que afirme que hablar francés sea algo genético.

Una forma que tienen los científicos de determinar la base genética de rasgos o habilidades es estudiando gemelos idénticos, sobre todo aquellos que se han criado separados. El registro de gemelos de Minnesota, una base de datos mantenida por los psicólogos David Lykken, Thomas Bouchard y sus colegas, ha seguido a hermanos gemelos simples e idénticos educados separadamente y juntos. Dado que los hermanos gemelos comparten el cincuenta por ciento de su material genético y que los gemelos idénticos

comparten el cien por cien, esto permite a los científicos diferenciar las influencias respectivas de la naturaleza y de la educación. Si algo tiene un componente genético, lo lógico sería que se presentase más a menudo en los individuos que son gemelos idénticos que en los que son sólo gemelos. Además, sería lógico esperar que apareciese incluso cuando los gemelos idénticos han sido educados en entornos completamente separados. Los genetistas conductuales buscan esas pautas y elaboran teorías sobre el carácter hereditario de ciertos rasgos.

El enfoque más reciente examina las vinculaciones genéticas. Si un rasgo parece ser hereditario, podemos intentar aislar los genes que están vinculados a él. (No digo «responsable de ese rasgo», porque las interacciones entre genes son muy complicadas y no podemos decir con seguridad que un solo gen «cause» un rasgo.) Complica el asunto el hecho de que podemos tener un gen para algo sin que sea activo. No todos los genes que tenemos están «conectados», o expresados, todo el tiempo. Utilizando perfil de expresión de chip genético, podemos determinar qué genes son y qué genes no son los que están expresados en un momento dado. ¿Qué significa esto? Nuestros aproximadamente veinticinco mil genes controlan la síntesis de las proteínas que el cuerpo y el cerebro utilizan para realizar todas las funciones biológicas. Controlan el crecimiento del cabello, su color, la formación de fluidos digestivos y saliva, si acabamos midiendo uno ochenta de estatura o uno cincuenta. Durante el período en que se acelera el crecimiento, en torno a la pubertad, ha de haber algo que le diga al cuerpo que se ponga a crecer, y media docena de años más tarde algo que le diga que pare. Ese algo son los genes, que llevan instrucciones sobre qué es lo que hay que hacer y cómo hay que hacerlo.

Utilizando el perfil de expresión de chip genético puedo analizar una muestra de tu ARN y (si sé lo que estoy buscando) puedo decir si tu gen del crecimiento está activo (es decir, expresado) en ese momento. Actualmente, el análisis de expresión genética no es viable en el cerebro porque las técnicas que existen (y que pueden preverse) exigen que analicemos un trozo de tejido cerebral. Esto a la mayoría de la gente le resulta desagradable.

Los científicos que han estudiado a gemelos idénticos que se han educado separadamente han hallado similitudes notables. En algunos casos, los

gemelos fueron separados al nacer, y no se informó siquiera a ninguno de ellos de la existencia del otro. Podían haber sido criados en entornos que diferían muchísimo geográficamente (Maine frente a Texas, Nebraska frente a Nueva York), en medios económicos y en valores religiosos o culturales de otro tipo. Al investigarlos veinte o más años más tarde, afloraron muchas similitudes asombrosas. A una mujer le gustaba ir a la playa y cuando lo hacía, entraba de espaldas en el agua; su hermano gemelo (al que no había conocido) hacía exactamente lo mismo. Un hombre se ganaba la vida vendiendo seguros, cantaba en el coro de la iglesia y llevaba hebillas de cinturón de cerveza Lone Star; lo mismo hacía su gemelo idéntico completamente separado de él desde el nacimiento. Estudios semejantes sugieren que la musicalidad, la religiosidad y la delincuencia tienen un fuerte componente genético. ¿Cómo podrían explicarse si no tales coincidencias?

Una explicación alternativa es estadística y puede formularse así: «Si te esfuerzas lo suficiente en buscar y haces suficientes comparaciones, encontrarás algunas coincidencias que resultan muy extrañas pero que en realidad no significan nada». Toma dos personas al azar en la calle que no tengan ninguna relación entre ellas, salvo quizás a través de sus ancestros comunes Adán y Eva. Si te fijas en un número suficiente de rasgos, tendrás que encontrar algunos en común que no son obvios. No estoy hablando de cosas como «¡oh Dios mío! ¡¡También tú respiras aire!!», sino de cosas como «Yo me lavo la cabeza los martes y los viernes y utilizo un champú de hierbas los martes y me froto el pelo sólo con la mano izquierda y no uso acondicionador. Los viernes utilizo un champú australiano que tiene un acondicionador incorporado. Después, leo *The New Yorker* mientras escucho a Puccini». Historias como éstas parecen indicar que hay una conexión subyacente entre esas personas, a pesar de las seguridades de los científicos de que sus genes y su entorno son completamente distintos. Pero todos diferimos entre nosotros de miles y miles de formas diferentes y todos tenemos nuestras peculiaridades. De cuando en cuando encontramos coincidencias y nos sorprendemos. Sin embargo, desde un punto de vista estadístico, eso no es más sorprendente que si yo pienso en un número entre el uno y el cien y tú lo adivinas. Puedes no adivinarlo la primera vez, pero si jugamos ese juego el tiempo suficiente, acabarás adivinándolo de vez en

cuando (un uno por ciento de las veces, para ser exactos).

Una segunda explicación alternativa es psicológico-social: el aspecto que uno tiene influye en cómo te tratan los otros (considerando genético el «aspecto»); el mundo actúa en general con un organismo de una forma determinada en función de su apariencia. Esta noción intuitiva tiene una rica tradición en la literatura, desde Cirano de Bergerac a Shrek: rechazados por gente a la que su aspecto exterior inspira repugnancia, rara vez tienen la posibilidad de mostrar su yo interno y su auténtica naturaleza. Rodeamos de un halo romántico en nuestra cultura historias como éstas y experimentamos un sentimiento trágico ante la persona buena que sufre por algo que no es culpa suya: su aspecto. Esto opera también a la inversa: la gente con buena apariencia tiende a ganar más dinero, a conseguir mejores trabajos y a declarar que es más feliz. Incluso independientemente de si uno se considera atractivo o no, su apariencia influye en cómo nos relacionamos con él. Alguien que haya nacido con rasgos faciales que asociamos a la honradez (ojos grandes, por ejemplo, con cejas arqueadas) es alguien en quien la gente tenderá a confiar. Es posible que mostremos más respeto hacia una persona alta que hacia una baja. Muchos de los incidentes que nos suceden en la vida están condicionados en cierta medida por cómo nos ven otros.

Así que no tiene nada de raro que gemelos idénticos puedan acabar teniendo personalidades, rasgos, hábitos o peculiaridades similares. Alguien con las cejas inclinadas hacia abajo podría parecer siempre furioso, y el mundo le tratará de ese modo. La gente se aprovechará de alguien que parezca desvalido; a alguien que parezca un matón es posible que le provoquen continuamente a pelear, y desarrollará con el tiempo una personalidad agresiva. Vemos operar este principio con determinados actores. Hugh Grant, Judge Reinhold, Tom Hanks y Adrien Brody tienen caras de aspecto inocente; Grant, sin hacer nada, tiene aspecto de no haber roto un plato. Esta línea de razonamiento dice que algunas personas nacen con rasgos determinados, y sus personalidades se desarrollan en gran parte como un reflejo de su aspecto. Los genes están influyendo aquí en la personalidad, pero sólo de una forma indirecta y secundaria.

No es difícil imaginar un argumento similar aplicado a los músicos, y en particular a los vocalistas. La voz de Doc Watson produce la impresión de

sinceridad y absoluta inocencia; no sé si él es personalmente así, y a un cierto nivel no importa. Puede que se convirtiese en el artista de éxito que es debido a cómo reacciona la gente ante la voz con la que nació. No estoy hablando de nacer con (o adquirir) una «gran» voz, como la de Ella Fitzgerald o Plácido Domingo, estoy hablando de expresividad independientemente de si la voz en sí es un gran instrumento. A veces cuando canta Aimee Mann yo percibo los rasgos de una voz de niña pequeña, una inocencia innegable que me conmueve porque siento que ella está llegando hasta las profundidades de sí misma y confesando sentimientos que normalmente sólo se revelan a un amigo íntimo. Si ella pretende transmitir eso, o si siente de verdad eso, yo no lo sé, es posible que haya nacido con una cualidad vocal que haga que los que la oyen la invistan de esos sentimientos, esté experimentándolos ella o no. La esencia de la interpretación musical es, en el fondo, ser capaz de transmitir emoción. Si el artista la está sintiendo o si nació con la capacidad de hacer que parezca que la siente puede no tener importancia.

No quiero decir con esto que los actores y los músicos a los que he mencionado no tengan que trabajar para hacer lo que hacen. No conozco ningún músico de éxito que no haya trabajado de firme para llegar donde está; no conozco a ninguno al que el éxito le haya caído del cielo. He conocido a muchos artistas de los que la prensa ha dicho que han triunfado «de la noche a la mañana», pero que en realidad se pasaron cinco o diez años esforzándose por conseguirlo. La genética es un punto de partida que puede influir en la personalidad o en la carrera, o en las cosas concretas que uno elige cuando emprende una carrera. Tom Hanks es un gran actor, pero no es probable que consiga los mismos papeles que Arnold Schwarzenegger, debido principalmente a, diferencias de dotación genética. Schwarzenegger no nació con un cuerpo de culturista; trabajó muy duro con él, pero tenía una predisposición genética para ello. Del mismo modo, medir dos metros crea, una predisposición a convertirse en un jugador de baloncesto más que en un jockey. Pero no basta que alguien que mida dos metros se plante en la cancha: tiene que aprender a jugar y tiene que practicar durante años para convertirse en un experto. El tipo de cuerpo, que es algo mayoritariamente (aunque no exclusivamente) genético, crea predisposiciones para el baloncesto lo mismo que las crea para ser actor, bailarín y músico.

Los músicos, como los atletas, los actores, los bailarines, los escultores y los pintores, utilizan el cuerpo además de la mente. El papel del cuerpo en el manejo de un instrumento musical o en el canto (menos, por supuesto, en la composición y en los arreglos) significa que las predisposiciones genéticas pueden contribuir notablemente a la elección de instrumentos que un músico pueda tocar bien... y así una persona decide convertirse en un músico.

Cuando yo tenía seis años, vi a los Beatles en el programa de Ed Sullivan y, en lo que se ha convertido en un tópico para la gente de mi generación, decidí en ese mismo instante que quería tocar la guitarra. Mis padres, que eran de la vieja escuela, no veían la guitarra como un «instrumento serio» y me dijeron que en vez de la guitarra tocara el piano de la familia. Pero yo estaba loco por tocarla. Recortaba imágenes de guitarristas clásicos como Andrés Segovia de las revistas y las dejaba por la casa como quien no quiere la cosa. A los seis años, yo aún ceceaba; no me libré de ello hasta los diez años, cuando el logopeda del colegio me sacó embarazosamente de mi clase de cuarto y se pasó dos duros años (a tres horas por semana) enseñándome a cambiar la forma que tenía de decir la letra s. Yo alegaba que los Beatles tenían que ser zorios para compartir el escenario del programa de Ed Sullivan con artizta zorioz como Beverly Hills, Rodgers y Hammerstein, y John Guielgud. Era incansable.

En 1965, cuando tenía ocho años, la guitarra estaba por todas partes. San Francisco estaba a sólo veintitantos kilómetros de distancia, sentía la revolución cultural y musical en marcha, y la guitarra estaba en el centro de todo ello. A mis padres seguía sin entusiasmarles que yo tuviese guitarra, tal vez por su asociación con hippies y drogas, o quizás como consecuencia de que el año anterior no había practicado diligentemente con el piano. Yo insistía por entonces en que los Beatles habían estado ya en el programa de Ed Sullivan cuatro veces y mis padres al final medio transigieron, accediendo a pedir consejo a un amigo suyo. «Jack King toca la guitarra —le dijo mi madre una noche a mi padre durante la cena—. Podríamos preguntarle si cree que Danny tiene ya edad para poder empezar a dar lecciones de guitarra.» Jack, un viejo amigo de la universidad de mis padres, se dejó caer por nuestra casa un día cuando regresaba a la suya del trabajo. Su guitarra no sonaba igual que las que me habían hipnotizado en la radio y la televisión; era una

guitarra clásica, no hecha para los oscuros acordes del rock and roll. Jack era un hombre alto con unas manos grandes y el pelo negro cortado a cepillo. Sostenía la guitarra en brazos como si estuviese acunando a un niño. Observé las pautas intrincadas de las vetas de la madera rodeando las curvas del instrumento. Nos tocó algo. No me dejó tocar la guitarra, en vez de eso me pidió que extendiera la mano y posó su palma en la mía. No me dijo nada ni me miró, pero le dijo a mi madre una cosa que sí oí claramente: «Tiene las manos demasiado pequeñas para la guitarra».

Ahora sé que hay guitarras tamaño tres cuartos y hasta de la mitad del tamaño de una normal (hasta tengo una yo), y sé que Django Reinhardt, uno de los mejores guitarristas de todos los tiempos, tenía sólo dos dedos en la mano izquierda. Pero para un niño de ocho años, las palabras de los adultos pueden parecer indiscutibles. En 1966, cuando ya había crecido algo y los Beatles me estaban azuzando con los compases de guitarra eléctrica de «Help», yo estaba tocando el clarinete y feliz de poder al menos hacer música. Acabé comprando mi primera guitarra a los dieciséis años y con la práctica aprendí a tocarla razonablemente bien; el rock y el jazz que toco no exigen el largo alcance que exige la guitarra clásica. La primera canción que aprendí a tocar (en lo que se ha convertido en otro tópico para mi generación) fue «Stairway to Heaven» de Led Zeppelin (bueno, eran los años setenta). Algunas partes musicales que los guitarristas con manos más grandes pueden tocar sin problema me resultarán siempre difíciles, pero eso pasa con todos los instrumentos. En el bulevar Hollywood de Hollywood, California, han grabado en el cemento las huellas de sus manos algunos de los grandes músicos de rock. Me quedé sorprendido el verano pasado cuando puse las manos sobre la huella dejada por Jimmy Page (de Led Zeppelin), uno de mis guitarristas favoritos, y comprobé que sus manos no eran mayores que las mías.

Hace unos cuantos años estreché la mano de Oscar Peterson, el gran pianista de jazz. Tenía las manos muy grandes; las manos más grandes que he estrechado en mi vida, el doble de grandes que las mías como mínimo. Inició su carrera tocando el piano *stride* («piano de zancada»), un estilo que se remonta a los años veinte y en que el pianista toca un bajo de octava con la izquierda y la melodía con la derecha. Para ser un buen pianista stride, tienes

que llegar a ser capaz de alcanzar teclas que están muy separadas con un mínimo de movimiento de manos, ¡y Oscar puede conseguir una octava y media tremenda con una mano! Su estilo está relacionado con los tipos de acordes que es capaz de tocar, acordes que alguien con manos más pequeñas no podría. Si a Oscar Peterson le hubiesen obligado a tocar el violín de niño le habría resultado imposible con unas manos tan grandes; sus anchos dedos habrían hecho difícil tocar un semitono en el mástil relativamente pequeño del violín.

Algunas personas tienen una predisposición biológica hacia instrumentos concretos, o hacia el canto. Puede haber también un grupo de genes que trabajen juntos para crear las dotes que uno ha de tener para convertirse en un músico de éxito: buena coordinación ojo-mano, control muscular, control motriz, tenacidad, paciencia, memoria para ciertos tipos de estructuras y pautas, un sentido del ritmo y de la sincronización. Uno tiene que tener esas cosas para ser un buen músico. Algunas de ellas son necesarias para ser bueno en cualquier cosa, sobre todo la resolución, la seguridad en uno mismo y la paciencia.

Sabemos también que la gente de éxito ha tenido, en general, muchos más fracasos que la gente que no llega a alcanzarlo. Esto parece contradictorio. ¿Cómo podría la gente de éxito haber fracasado más a menudo que los demás? El fracaso es inevitable y a veces se produce al azar. Lo importante es lo que haces después del fracaso. La gente de éxito es constante y persistente. No abandonan. Desde el presidente de FedEx al novelista Jerzy Kosinsky, desde Van Gogh a Bill Clinton y a Fleetwood Mac, la gente de éxito ha tenido muchos, muchos fracasos, pero aprendieron de ellos y siguieron avanzando. Esta cualidad podría ser en parte innata, pero tienen que jugar también un papel factores ambientales.

La mejor hipótesis que tienen los científicos actualmente sobre el papel de los genes y del entorno en las conductas cognitivas complejas es que cada uno es responsable de aproximadamente el 50 por ciento de la historia. Los genes pueden transmitir una propensión a ser paciente, a tener una buena coordinación ojo-mano, o a ser apasionado, pero ciertos acontecimientos de la vida (acontecimientos de la vida en el sentido más amplio, no sólo tus experiencias y recuerdos conscientes, sino cómo te alimentaste y cómo se

alimentó tu madre mientras estabas en su vientre) pueden influir en que una propensión genética se materialice o no. Traumas del período inicial de la vida, como la pérdida de un progenitor, o sufrir abusos físicos o emocionales, son sólo los ejemplos obvios de influencias del entorno que pueden hacer que una predisposición genética resulte estimulada o anulada. Debido a esta interacción, sólo podemos hacer predicciones sobre la conducta humana a escala de una población, no de un individuo. Dicho de otro modo, si sabes que alguien tiene una predisposición genética a delinquir, no puedes hacer predicciones sobre si va a acabar en la cárcel en los cinco años siguientes. Por otra parte, sabiendo que un centenar de personas tienen esa predisposición, podemos predecir que algún porcentaje de ellos probablemente acabará en la cárcel; simplemente no sabemos cuáles. Y algunos nunca se meterán en ningún lío.

Lo mismo se aplica a los genes musicales que podamos encontrar algún día. Lo único que se puede decir es que es más probable que un grupo de personas con esos genes produzca músicos expertos, pero no podemos saber qué individuos se convertirán en expertos. Esto presupone, sin embargo, que seamos capaces de identificar las correlaciones genéticas de la pericia musical, y que podamos ponernos de acuerdo en lo que constituye la maestría musical. La maestría musical es algo más que técnica estricta. Oír música y disfrutar de ella, la memoria musical y cómo se relaciona con la música una persona son también aspectos de una mente musical y una personalidad musical. Deberíamos adoptar el enfoque más inclusivo posible en la identificación de la musicalidad, para no excluir a aquellos que, aunque musicales en el sentido amplio, tal vez no lo sean en un sentido técnico y estricto. Muchas de nuestras mentes musicales más preclaras no eran considerados expertos en un sentido técnico. Irving Berlin, uno de los compositores de más éxito del siglo XX, era un mal instrumentista y apenas sabía tocar el piano.

Incluso entre los mejores músicos clásicos de élite, hay más en lo de ser un músico que tener una excelente técnica. Tanto Arthur Rubinstein como Vladimir Horowitz son considerados generalmente dos de los mejores pianistas del siglo XX y sin embargo cometieron errores (pequeños errores técnicos) con una frecuencia sorprendente. Una nota equivocada, una nota

precipitada, una nota que no ha sido pulsada del modo correcto. Pero como escribió un crítico: «Rubinstein comete errores en algunas de sus grabaciones, pero yo prefiero esas interpretaciones que están llenas de pasión al mago técnico de veintidós años que es capaz de tocar las notas pero no es capaz de transmitir el sentido».

Lo que la mayoría de nosotros buscamos en la música es una experiencia emotiva. No estamos estudiando la interpretación en busca de notas equivocadas y, mientras éstas no nos saquen de nuestro ensueño, la mayoría de nosotros ni siquiera las advertimos. Así que gran parte de la investigación sobre pericia musical ha buscado los logros en el lugar equivocado, en la facilidad de los dedos más que en la expresividad de la emoción. Hace poco le pregunté a la decana de una de las escuelas de música más importantes de Norteamérica sobre esta paradoja: ¿en qué punto del currículum se enseñan la emoción y la expresividad? Su respuesta fue que no se enseñan. «Hay tanto que abarcar en el programa aprobado —explicó—, repertorio, conjunto y solos, cantar y tocar repentizando, teoría de la música..., que no hay sencillamente tiempo para enseñar expresividad.» ¿Cómo se consigue entonces que los músicos sean expresivos? «Algunos vienen ya sabiendo cómo conmover al auditorio. Normalmente lo han aprendido ellos mismos en algún momento de su trayectoria.» La sorpresa y la decepción se me debían de ver en la cara. «De vez en cuando —añadió, casi en un susurro—, si hay un alumno excepcional, se busca tiempo durante la última parte de su último semestre aquí para enseñarle a transmitir emoción... Normalmente se trata de alumnos que han actuado ya como solistas en nuestra orquesta, y les ayudamos a conseguir más expresividad en su interpretación.» Así que, en una de las mejores escuelas de música que tenemos, la razón de ser de la música es enseñar a una minoría selecta, y eso sólo en las últimas semanas de unos estudios de cuatro a cinco años.

Hasta los individuos más serios y analíticos esperan que Shakespeare y Bach los conmuevan. Podemos maravillarnos de la destreza que estos genios han logrado, de su facilidad en el manejo del lenguaje o de las notas, pero en último término esa facilidad debe ponerse al servicio de un tipo diferente de comunicación. Los aficionados al jazz, por ejemplo, son especialmente exigentes con sus héroes del período posterior al de las grandes bandas,

empezando por la era de Miles Davis, John Coltrane y Bill Evans. Decimos de los músicos de jazz menores que parecen distanciados de sus auténticos yos y de la emoción, que su interpretación no es nada más que «*shucking and jiving*» (cuentos y pamplinas), tentativas de complacer al público con exequias musicales sin alma.

Así pues, en un sentido científico, ¿por qué son algunos músicos superiores a otros no en la dimensión técnica de la música sino en la emocional? Éste es el gran misterio y nadie sabe en realidad por qué. Los músicos aún no han interpretado con sentimiento dentro de los escáneres cerebrales, debido a problemas técnicos. (Los escáneres que utilizamos actualmente exigen que el sujeto permanezca completamente inmóvil, para que no se desdibuje la imagen del cerebro; esto puede cambiar en los próximos cinco años.) Las entrevistas y entradas de diarios de músicos que van desde Beethoven y Tchaikovsky hasta Rubinstein y Bernstein, B. B. King y Stevie Wonder parecen indicar que en la tarea de comunicar emoción participan factores mecánicos y técnicos y además algo que sigue siendo misterioso.

El pianista Alfred Brendel dice que él no piensa en notas cuando está en el escenario; piensa en crear una experiencia. Stevie Wonder me contó en 1996 que él cuando está actuando intenta situarse en el mismo marco mental y en el mismo «marco del corazón» en que estaba cuando escribió la canción; se esfuerza por evocar las mismas sensaciones y el mismo sentimiento, y eso le ayuda en la interpretación. En qué sentido influye esto en su forma diferente de cantar o de tocar es algo que nadie sabe. Desde una perspectiva neurocientífica, sin embargo, todo eso tiene mucho sentido. Como hemos visto, recordar la música entraña volver a poner las neuronas que estuvieron activas originalmente en la percepción de una pieza de música en su estado original, reactivando su pauta concreta de conectividad y logrando unos índices de activación lo más próximo posible a sus niveles originales. Esto significa reclutar neuronas en el hipocampo, la amígdala y los lóbulos temporales en una sinfonía neuronal orquestada por los centros de planificación y atención del lóbulo frontal.

El neuroanatomista Andrew Arthur Abbie especuló en 1934 sobre un vínculo entre el movimiento, el cerebro y la música que no ha llegado a

demostrarse hasta hoy. Según él, las vías que van del tallo cerebral y el cerebelo a los lóbulos frontales son capaces de tejer toda la experiencia sensorial y de coordinar con precisión los movimientos musculares en un «tejido homogéneo» y que cuando eso ocurre, el resultado son «los máximos poderes del hombre tal como se expresan... en el arte». Creía que esa vía neuronal estaba dedicada a movimientos motrices que incorporan o reflejan un propósito creador. Nuevos estudios de Marcelo Wanderley de McGill, y de mi antiguo alumno de doctorado Bradley Vines (ahora en Harvard) han demostrado que los oyentes no músicos son exquisitamente sensibles a los gestos físicos que hacen los músicos. Observando una interpretación musical con el sonido apagado, y atendiendo a cosas como los movimientos del brazo, el hombro y el torso del músico, los oyentes ordinarios pueden detectar una gran cantidad de intenciones expresivas de éste. Si se añade el sonido, aparece una cualidad emergente: una comprensión de las intenciones expresivas del músico que va más allá de lo que es asequible sólo en el sonido o sólo en la imagen visual.

Si la música sirve para transmitir sentimientos a través de la interacción de gestos físicos y sonido, el músico necesita que su estado cerebral se corresponda con el estado emotivo que está intentando expresar. Aunque aún no se hayan hecho estudios, estoy dispuesto a apostar que cuando B. B. King está tocando el blues y cuando lo está sintiendo, las firmas neuronales son muy parecidas. (También habrá diferencias, claro, y parte del obstáculo científico será sustraer los procesos vinculados a la emisión de órdenes motrices y a la audición de la música, del de simplemente estar sentado, con la cabeza apoyada en las manos, sintiendo.) Y como oyentes, hay todas las razones para creer que algo de nuestros estados cerebrales coincidirá con los de los músicos a los que estamos escuchando. En lo que es un tema recurrente de este libro, hasta los que carecen de formación explícita en interpretación y teoría de la música tienen cerebros musicales y son oyentes expertos.

Para entender la base neuroconductual de la pericia musical y por qué algunas personas se convierten en mejores intérpretes que otras, hemos de tener en cuenta que la pericia musical adopta muchas formas, a veces técnicas (que afectan a la destreza) y a veces emotivas. La capacidad de arrastrarnos

con una interpretación de manera que olvidemos todo lo demás es también un tipo especial de habilidad. Muchos intérpretes tienen un magnetismo personal, o carisma, que es independiente de cualquier otra habilidad que puedan o no tener. Cuando Sting está cantando no podemos apartar el oído de él. Cuando Miles Davis está tocando la trompeta, o Eric Clapton la guitarra, parece arrastrarnos hacia él una fuerza invisible. Esto no tiene mucho que ver con las notas concretas que están cantando o tocando, son muchos los buenos músicos que pueden tocar o cantar esas notas, tal vez incluso con mayor facilidad técnica. Es, más bien, lo que los ejecutivos de las discográficas llaman «cualidad de estrella». Cuando decimos de una modelo que es fotogénica, estamos hablando de cómo se manifiesta esa cualidad de estrella en las fotos. Lo mismo sucede con los músicos, y en cómo se manifiesta esa cualidad suya en las grabaciones. Yo la llamo fonogénica.

También es importante diferenciar celebridad de pericia. Los factores que contribuyen a la celebridad podrían ser diferentes de los que contribuyen a la pericia, tal vez hasta no tener absolutamente ninguna relación con ellos. Neil Young me explicó que él no consideraba que tuviese un talento muy especial como músico, sino que era más bien uno de los afortunados que conseguían alcanzar el éxito comercial. Pocas personas llegan a pasar el molinete de un contrato con una discográfica importante y menos aún los que consiguen mantenerse décadas en la carrera profesional como ha hecho Neil. Pero él, como Stevie Wonder y Eric Clapton, atribuye gran parte de su éxito no a una pericia musical, sino a una buena oportunidad. Paul Simon está de acuerdo con eso. «He tenido la suerte de poder trabajar con algunos de los músicos más asombrosos del mundo —dijo— y la mayoría de ellos son gente de la que nadie ha oído hablar.»

Francis Crick convirtió su falta de formación en un aspecto positivo del trabajo de su vida. Sin el peso del dogma científico, se sintió libre (completamente libre, escribió) para abrir su mente y descubrir la ciencia. Cuando un artista aporta esta libertad, esta *tabula rasa* a la música, los resultados pueden ser asombrosos. Muchos de los mejores músicos de nuestra época carecían de formación oficial, entre ellos Sinatra, Louis Armstrong, John Coltrane, Eric Clapton, Eddie Van Halen, Stevie Wonder y Joni

Mitchell. Y en música clásica, George Gershwin, Mussorgsky y David Helfgott figuran entre los que carecían de formación, y Beethoven, según sus diarios, consideraba que su propia formación había sido pobre.

Joni Mitchell había cantado en coros en la escuela pública, pero no había dado nunca lecciones de guitarra ni ningún otro tipo de lecciones de música. Su música tiene una cualidad única que se ha descrito de muchos modos, se ha dicho que es de vanguardia, etérea y que tiende puentes entre la música clásica, la popular, el jazz y el rock. Utiliza muchas afinaciones alternas, es decir, en vez de afinar la guitarra de la forma acostumbrada, afina las cuerdas a tonos de su propia elección. Eso no significa que toque notas que otra gente no toca (aún hay sólo doce notas en una escala cromática) sino que significa que puede llegar con facilidad con los dedos a hacer combinaciones de notas que otros guitarristas no pueden hacer (independientemente del tamaño de sus manos).

Una diferencia aún más importante es la relacionada con la forma en que la guitarra hace el sonido. Cada una de las seis cuerdas está afinada a una altura de tono determinada. Cuando un guitarrista quiere uno distinto, por supuesto, aprieta una o más cuerdas contra el mástil; esto acorta la cuerda, lo que hace que vibre más rápido, y que la nota tenga un tono más agudo. Una cuerda sobre la que se presiona («trasteada») tiene un sonido diferente de la que no se presiona, debido a un leve amortiguamiento del sonido que emite provocado por el dedo; las cuerdas no trasteadas o «libres» tienen una cualidad más clara, más resonante, y seguirán sonando más tiempo que las trasteadas. Cuando se dejan sonar juntas dos o más de esas cuerdas libres, emerge un timbre único. Joni, reafinando, cambiaba la configuración de las notas pulsadas cuando una cuerda está libre, de modo que oímos resonar notas que normalmente no suenan en la guitarra y en combinaciones que no solemos oír. Puedes comprobarlo en sus canciones «Chelsea Morning» y «Refuge of the Roads», por ejemplo.

Pero hay algo más que eso en el asunto: hay muchos guitarristas que tienen afinaciones propias, como por ejemplo David Crosby, Ry Cooder, Leo Kottke y Jimmy Page. Una noche que estaba cenando con Joni en Los Ángeles ella empezó a hablarme de bajistas con los que había trabajado. Había trabajado con algunos de los mejores de nuestra generación: Jaco

Pastorius, Max Bennett, Larry Klein, y escribió un álbum entero con Charles Mingus. Joni es capaz de hablar horas, convincente y apasionadamente, sobre afinaciones alternadas, comparándolas a los diferentes colores que utilizaba Van Gogh en sus cuadros.

Mientras esperábamos el plato principal, me explicó la historia de cómo Jaco Pastorius siempre discutía con ella, desafiándola y armando gresca en general entre bastidores antes de que salieran a actuar. Por ejemplo, cuando la empresa Roland le entregó en mano a Joni el primer amplificador de coro de jazz Roland para que lo usara en una actuación, Jaco cogió y se lo llevó a su rincón del escenario. «Es mío», gruñó. Cuando Joni se acercó a él, le lanzó una mirada feroz. Y no hubo nada que hacer.

Llevábamos ya lo menos veinte minutos de historias de bajistas. Como yo era un gran fan de Jaco cuando tocaba con Weather Report, la interrumpí y le pregunté cómo era musicalmente lo de tocar con él. Me dijo que era distinto a todos los demás bajos con que había tocado en su vida; que era el único hasta entonces con el que tenía realmente la sensación de que entendía lo que ella estaba intentando hacer. Por eso era por lo que aguantaba todos sus comportamientos agresivos.

«Cuando yo empecé —dijo—, la discográfica quería asignarme un productor, alguien que tuviese experiencia sacando discos de gran éxito. Pero [David] Crosby dijo: “No les dejes: un productor te destruirá. Diles que te lo produciré yo; confiarán en mí”. Así que básicamente Crosby puso su nombre como productor para apartar de mi camino a la discográfica y que pudiese hacer la música del modo que yo quería hacerla.

»Pero luego llegaron los músicos y todos tenían su idea de cómo querían tocar. ¡En mi disco! Los peores eran los bajistas, porque siempre querían saber cuál era la raíz del acorde.»

La «raíz» de un acorde, en teoría de la música, es esa nota por la que se nombra el acorde y en la que se basa. Un acorde en «do mayor», por ejemplo, tiene la nota do como raíz y uno en «mi bemol menor» la nota mi bemol. Es así de simple. Pero los acordes que toca Joni, como consecuencia de su composición única y de su forma de tocar la guitarra, no son acordes típicos: Joni lanza notas juntas de una manera que hace que no resulte fácil etiquetar los acordes.

«Los bajistas querían saber la raíz porque era así como les habían enseñado a tocar. Pero yo dije: “Tocad sólo algo que suene bien, no os preocupéis de cuál es la raíz”. Y ellos dijeron: “Nosotros no podemos hacer eso..., tenemos que tocar la raíz porque si no no sonará bien”.»

Como Joni no había estudiado teoría de la música y no sabía leer música, no podía decirles cuál era la raíz. Tenía que decirles qué notas estaba tocando en la guitarra, una a una, y ellos tenían que deducir por su cuenta, laboriosamente, un acorde cada vez. Pero aquí es donde chocan en una conflagración explosiva la psicoacústica y la teoría de la música: los acordes estándar que usan la mayoría de los compositores (do mayor, mi bemol menor, re séptima, etc.) no dejan lugar a la ambigüedad. Ningún músico competente necesitaría preguntar cuál es la raíz de un acorde así; es evidente, y sólo hay una posibilidad. El genio de Joni consiste en que ella quería acordes que eran ambiguos, acordes que podrían tener dos o más raíces diferentes. Cuando no hay ningún bajista acompañando su guitarra (como en «Chelsea Morning» o «Sweet Bird»), el oyente se queda en un estado de posibilidades estéticas en expansión. Como cada acorde podría interpretarse de dos o más modos diferentes, cualquier predicción o expectativa que tenga un oyente sobre lo que viene a continuación se basa menos en la certidumbre que con los acordes tradicionales. Y cuando Joni pulsa juntos varios de esos acordes ambiguos, la complejidad armónica aumenta notablemente. Y cada progresión de acordes puede interpretarse de docenas de formas distintas, según cómo se oiga cada uno de los que la constituyen. Como mantenemos en la memoria inmediata lo que acabamos de oír y lo integramos con el flujo de nueva música que nos llega a los oídos y al cerebro, los oyentes atentos a la música de Joni (incluso los no músicos) pueden escribir y reescribir en sus mentes una multitud de interpretaciones musicales mientras la pieza se va desplegando, y cada nueva audición aporta una nueva serie de contextos, expectativas e interpretaciones. En este sentido, la música de Joni es la que está más próxima al arte visual impresionista de todas las que yo haya podido oír.

En cuanto un bajo toca una nota, fija una interpretación musical determinada, destruyendo así la delicada ambigüedad que tan habilidosamente ha construido el compositor. Todos los bajistas con los que

trabajó Joni antes de Jaco insistían en tocar raíces, o lo que ellos creían que eran raíces. La brillantez de Jaco consistía, dijo Joni, en que sabía instintivamente vagar por el espacio de posibilidades, reforzando las diferentes interpretaciones de acordes con el mismo énfasis, manteniendo de forma sublime la ambigüedad en un delicado equilibrio suspendido. Jaco permitía a Joni tener bajo eléctrico en sus canciones sin destruir una de sus cualidades más expansivas. Esto era, pues, dedujimos en la cena de aquella noche, uno de los secretos de por qué la música de Joni tiene un sonido distinto a todas las demás: su complejidad armónica debida a su insistencia rigurosa en que la música no esté anclada en una interpretación armónica única. Al añadir a eso su voz fonogénica y persuasiva nos sentimos inmersos en un mundo auditivo, un paisaje sonoro distinto a cualquier otro.

La memoria musical es otro aspecto de la pericia musical. Muchos de nosotros conocemos a alguien que recuerda todo tipo de detalles que el resto no podemos recordar. Podría tratarse de un amigo que recuerda todos los chistes que ha oído en su vida, mientras otros no podemos siquiera repetir uno que hemos oído ese mismo día. Mi colega Richard Parncutt, un conocido musicólogo y profesor de cognición musical de la Universidad de Graz de Viena, solía tocar el piano en una taberna para ganar dinero para estudiar. Siempre que viene a verme a Montreal se sienta al piano en mi salón y me acompaña mientras yo canto. Podemos tocar juntos mucho tiempo: es capaz de tocar de memoria cualquier canción que le nombre. Conoce también las diferentes versiones de las canciones: si le pido que toque «Anything Goes», me preguntará si quiero una versión de Sinatra, la de Ella Fitzgerald o la de Count Basie. Yo, por mi parte, probablemente pueda cantar o tocar un centenar de canciones de memoria. Esto es típico de alguien que ha tocado en bandas u orquestas, y ha cantado. Pero Richard parece conocer miles y miles de canciones, tanto los acordes como las letras. ¿Cómo lo hace? ¿Es posible que simples mortales como yo aprendan también todo eso de memoria?

Cuando yo estaba en la escuela de música, en el Berklee College de Boston, conocí a alguien con un tipo de memoria musical igual de notable, pero diferente de la de Richard. Carla era capaz de reconocer una pieza de música en sólo tres o cuatro segundos y nombrarla. No sé en realidad lo

buena que era cantando canciones de memoria, porque siempre estábamos ocupados intentando dar con una melodía que no fuese capaz de identificar, y era difícil de conseguir. Acabó trabajando en la Asociación Estadounidense de Compositores y Editores (ASCAP, según sus siglas en inglés), una organización de los compositores que controla la música que emiten las estaciones de radio para recaudar los derechos de autor de sus miembros. Los empleados de esta asociación están todo el día sentados en una sala de Manhattan escuchando pasajes de programas de radio de todo el país. Para ser eficientes en su tarea, y en primer lugar para que los contraten, tienen que ser capaces de identificar una canción y al intérprete en sólo tres o cuatro segundos para anotarla en el diario y pasar a la siguiente.

Mencioné ya antes a Kenny, el chico con el síndrome de Williams que toca el clarinete. Una vez que estaba tocando «The Entertainer» (el tema musical de *The Sting*), de Scott Joplin, tenía problemas con cierto pasaje. «¿Puedo intentar eso de nuevo?», me preguntó, con un afán de complacer que es típico del síndrome de Williams. «Por supuesto», dije. Pero, en vez de volver atrás sólo unas cuantas notas o unos cuantos segundos de la pieza, ¡empezó otra vez desde el principio! Yo había visto eso antes, en los estudios de grabación, con grandes músicos, desde Carlos Santana a los Clash: una tendencia a volver atrás, si no al principio de toda la pieza, al principio de una frase. Es como si el músico estuviese ejecutando una secuencia memorizada de movimientos musculares y la secuencia tuviese que empezar desde el principio.

¿Qué tienen en común estas tres demostraciones de memoria para la música? ¿Qué pasa en el cerebro de alguien con una memoria musical fantástica como Richard y Carla, o con la «memoria digital» que tiene Kenny? ¿En qué podrían ser diferentes esas operaciones de los procesos neuronales ordinarios de alguien con una simple memoria musical media, o en qué podrían parecerse? La pericia en cualquier campo se caracteriza por una memoria superior, pero sólo para cosas incluidas dentro del campo de esa pericia. Mi amigo Richard no tiene una memoria superior para todo en la vida..., pierde las llaves exactamente igual que cualquier otro. Los grandes ajedrecistas han memorizado miles de configuraciones de juego y tablero. Sin embargo, su memoria excepcional para el ajedrez no abarca más que las

posiciones legales de las piezas del ajedrez. Si se les pide que memoricen distribuciones al azar de piezas en un tablero, no lo harán mejor que los novicios; en otras palabras, su conocimiento de las posiciones de las piezas de ajedrez está esquematizado y se basa en el conocimiento de los movimientos y posiciones legales que pueden tener esas piezas. Y los expertos en música se basan también en su conocimiento de la estructura musical. Destacan recordando series de acordes que son «legítimos» o que tienen sentido dentro de sistemas armónicos de los que ellos tienen experiencia, pero no son mejores que los demás aprendiendo series de acordes al azar.

Cuando los músicos memorizan canciones se basan, pues, para hacerlo en una estructura y los detalles encajan en esa estructura. Se trata de una forma eficiente y frugal que tiene el cerebro de funcionar. En vez de memorizar cada acorde o cada nota, construimos una estructura dentro de la cual pueden encajar diferentes sonidos, una plantilla mental que puede incluir gran número de piezas musicales. Cuando el pianista aprende a tocar la Sonata «Patética» de Beethoven, puede aprender las primeras ocho medidas y luego, para las ocho siguientes, sólo necesita saber que se repite el mismo tema pero una octava más alta. Un músico de rock puede tocar «One After 909» de los Beatles aunque no la haya tocado nunca antes, sólo con que se le diga que es una «progresión de acordes estándar de dieciséis compases de blues». Esa frase es una estructura dentro de la cual encajan miles de canciones. «One After 909» tiene ciertos matices que constituyen variaciones de la estructura. La cuestión es que los músicos no suelen aprender nuevas piezas nota a nota una vez que han llegado a un cierto nivel de experiencia, conocimiento y pericia. Pueden apoyarse en las piezas previas que conocen y limitarse a anotar las variaciones que pueda haber respecto al esquema estándar.

La memoria para interpretar una pieza musical entraña un proceso muy parecido al de escuchar música tal como vimos en el capítulo 4, a través de establecer esquemas estándar y expectación. Además, los músicos utilizan el troceo, una forma de organizar información parecida a cómo organizan la información los ajedrecistas, los atletas y otros expertos. «Trocear» consiste en un proceso de ligar unidades de información en grupos, y recordar el grupo como un todo en vez de las piezas individuales. Hacemos esto

continuamente sin tener mucha conciencia de ello cuando tenemos que recordar el número de teléfono de alguien. Si estás intentando recordar el número de teléfono de alguien de la ciudad de Nueva York y conoces otros números de teléfono de esa ciudad y estás familiarizado con ellos, no tendrás ya que recordar el código de zona como tres números individuales, lo recordarás más bien como una unidad: 212. También puedes saber que el de Los Ángeles es 213, el de Atlanta es 404, o que el código de país de Inglaterra es 44. La razón de que trocear sea importante es que nuestros cerebros tienen límites en cuanto a la cantidad de información que pueden rastrear activamente. No hay ningún límite práctico para la memoria a largo plazo que sepamos, pero la memoria de trabajo (los contenidos de nuestra conciencia presente) están rigurosamente limitados, en general a nueve piezas de información. Codificar un número de teléfono norteamericano como el código de zona (una unidad de información) más siete dígitos nos ayuda a eludir ese límite. Los ajedrecistas utilizan también el troceo, recordando configuraciones del tablero en forma de grupos de piezas distribuidas en pautas estándar fáciles de nombrar.

Los músicos también utilizan el troceo de varios modos. Primero, tienden a codificar en la memoria un acorde completo, en vez de las notas individuales del acorde; recuerdan «do mayor 7» en lugar de las notas individuales do-mi-sol-si, y recuerdan la regla para construir acordes, de manera que puedan crear esas cuatro notas sobre la marcha con sólo una entrada en la memoria. Segundo, los músicos tienden a codificar secuencias de acordes, en vez de acordes aislados. «Cadencia plagal», «cadencia eólica», «doce barras de blues menor con un cambio V-I» o «cambios de ritmo» son etiquetas taquigráficas que utilizan los músicos para describir secuencias de diversas longitudes. El tener almacenada la información de lo que significan esas etiquetas permite al músico recordar grandes trozos de información de una sola entrada mnemotécnica. Tercero, obtenemos conocimiento como oyentes sobre normas estilísticas y como intérpretes sobre cómo producir esas normas. Los músicos saben cómo coger una canción y aplicar ese conocimiento (esquemas de nuevo) para hacer que suene como salsa o grunge o disco o heavy metal; cada género y época tiene tics estilísticos o elementos rítmicos, tímbricos o armónicos característicos que los definen. Podemos

codificarlos en la memoria holísticamente y recuperarlos luego todos de una vez.

Estas tres formas de trocear son lo que Richard Parncutt utiliza cuando se sienta al piano para tocar miles de canciones. Sabe también bastante teoría de la música y tiene un conocimiento suficiente de los diferentes estilos y géneros como para sortear mediante un apaño un pasaje que en realidad no conoce, igual que un actor podría sustituir palabras que no están en el guión si momentáneamente se olvida de lo que tiene que decir. Si Richard no está seguro de una nota o un acorde, hará uso de otra u otro que resulte estilísticamente plausible.

La memoria de identificación (la capacidad que la mayoría de nosotros tenemos para identificar piezas de música que hemos oído antes) es similar a la memoria de rostros, fotos, incluso gustos y olores, y hay variabilidad individual; simplemente unas personas son mejores que otras; es también específica de dominio, de modo que algunas (como mi compañera de clase Carla) son especialmente buenas en música, mientras que otras sobresalen en otros dominios sensoriales. Ser capaz de recuperar rápidamente una pieza familiar de música de la memoria es una habilidad, pero ser capaz de adjudicarle luego enseguida y sin esfuerzo una etiqueta, como el título de la canción, el artista y el año de grabación (cosa que Carla podía hacer) implica a una red cortical diferente, que creemos ahora que incluye el planum temporale (una estructura asociada con el oído absoluto) y regiones en el córtex prefrontal inferior que sabemos que son necesarias para adjudicar etiquetas verbales a impresiones sensoriales. Aún no sabemos por qué unas personas son mejores en esto que otras, pero puede deberse a predisposición innata o integrada en el proceso de formación de sus cerebros, y esto puede tener a su vez en parte una base genética.

Los músicos, cuando aprenden secuencias de notas en una nueva pieza musical, tienen que recurrir a veces al enfoque de fuerza bruta que adoptamos la mayoría de nosotros de niños para aprender nuevas secuencias de sonidos, como el alfabeto o el padrenuestro. Simplemente hacemos todo lo posible para memorizar la información repitiéndola una y otra vez. Pero esta memorización mecánica se facilita enormemente con una organización jerárquica del material. Ciertas palabras de un texto o ciertas notas de una

pieza musical (como vimos en el capítulo 4) son estructuralmente más importantes que otras, y organizamos nuestro aprendizaje en torno a ellas. Este tipo de vieja y sencilla memorización es lo que hacen los músicos cuando aprenden los movimientos musculares necesarios para tocar una pieza determinada; es parte de la razón de que músicos como Kenny no puedan empezar a tocar justo en cualquier nota, sino que tiendan a ir al principio de unidades significativas, el principio de sus trozos jerárquicamente organizados.

Ser un músico experto adopta así muchas formas: destreza tocando un instrumento, comunicación emotiva, creatividad y estructuras mentales especiales para recordar la música. Ser un oyente experto, cosa que la mayoría de nosotros somos a los seis años de edad, entraña haber incorporado la gramática de nuestra cultura musical en esquemas mentales que nos permitan formar expectativas musicales, la esencia de la experiencia estética de la música. Aún sigue siendo un misterio neurocientífico cómo se adquieren todas esas formas diversas de pericia. Pero el consenso emergente es que la pericia musical no es algo individual, sino que incluye muchos componentes, y no todos los expertos musicales estarán dotados por igual de estos diversos componentes: algunos, como Irving Berlin, pueden carecer de lo que la mayoría de nosotros consideraríamos incluso un aspecto fundamental de la condición de músico, y no son capaces de tocar bien un instrumento. Parece improbable por lo que ya sabemos que la pericia musical sea completamente distinta de la pericia en otros campos. Aunque la música por supuesto emplea estructuras cerebrales y circuitos neuronales que otras actividades no utilizan, los procesos para convertirse en un experto musical (ya sea un compositor o un intérprete) exigen muchos de los mismos rasgos de personalidad que son necesarios para llegar a ser un experto en otros campos, sobre todo diligencia, paciencia, motivación y la simple y anticuada constancia.

Convertirse en un músico famoso es otra cuestión completamente distinta, y puede no tener tanto que ver con factores intrínsecos o con la habilidad como con el carisma, la oportunidad y la suerte. Pero un aspecto esencial es el que corresponde a la repetición. Todos somos oyentes

musicales expertos, capaces de tomar decisiones muy sutiles sobre lo que nos gusta y lo que no nos gusta, aunque seamos incapaces de explicar la razón. La ciencia tiene algo que decir sobre por qué nos gusta la música que nos gusta, y esa historia es otra faceta interesante de la interacción entre las neuronas y las notas.

MIS COSAS FAVORITAS

¿POR QUÉ NOS GUSTA LA MÚSICA QUE NOS GUSTA?

Despiertas de un sueño profundo y abres los ojos. El batir lejano y regular de la periferia de tu audición aún está allí. Te frotas los ojos con las manos, pero no puedes distinguir contornos y formas. Pasa el tiempo, pero ¿cuánto? ¿Media hora? ¿Una hora? Luego oyes un sonido distinto pero identificable: un sonido serpenteante, móvil, amorfo, con un ritmo rápido, un batir que puedes sentir en los pies. Los sonidos comienzan y cesan sin definición. Creciendo y decreciendo gradualmente, se entretajan sin principios ni fines claros. Estos sonidos familiares son reconfortantes, los has oído antes. Cuando escuchas, tienes una vaga idea de lo que vendrá a continuación, y llega, aunque los sonidos sigan siendo remotos y confusos, como si estuvieses oyéndolos debajo del agua.

El feto, dentro del vientre, rodeado de líquido amniótico, oye sonidos. Oye los latidos del corazón de su madre, acelerándose unas veces y otras aminorando. Y el feto oye música, como descubrió recientemente Alexandra Lamont, de la Universidad Keele del Reino Unido. Descubrió que los niños, un año después del nacimiento, reconocían y preferían música a la que habían estado expuestos en el claustro materno. El sistema auditivo del feto es plenamente funcional unas veinte semanas después de la concepción. En el experimento de Lamont las madres pusieron una pieza de música determinada a sus bebés repetidas veces durante los tres últimos meses de gestación. Por supuesto, los bebés estaban oyendo también (filtrados, a través

del agua por el líquido amniótico) todos los sonidos de la vida cotidiana de sus madres, incluyendo la otra música, conversaciones y ruidos del entorno. Pero se eligió una pieza determinada para que cada bebé la oyese de forma regular. Las piezas seleccionadas se eligieron entre música clásica (Mozart, Vivaldi), los 40 Principales (Five, Backstreet Boys), reggae (UB40, Ken Boothe) y world beat (Spirits of Nature). Después del parto no se permitió a las madres poner la canción experimental a sus hijos. Un año después Lamont puso a los bebés la música que habían oído en el claustro materno, junto con otra pieza elegida por corresponderse en el estilo y el tempo con la otra. Por ejemplo, un bebé que había oído el tema de reggae «Many Rivers to Cross» de UB40, oyó de nuevo esa pieza, un año después, junto con «Stop Loving You» del artista de reggae Freddie McGregor. Lamont determinó entonces cuál de las dos preferían los niños.

¿Cómo se puede saber cuál de los dos estímulos prefiere un niño preverbal? La mayoría de los que investigan con niños utilizan una técnica conocida como el procedimiento de giro de cabeza condicionado, ideado por Robert Fantz en la década de los sesenta y perfeccionado por John Columbo, Anne Fernald, el difunto Peter Jusczyk y sus colegas. Se instalan dos altavoces en el laboratorio y se coloca al niño entre ellos (normalmente en el regazo de su madre). Cuando un niño mira hacia un altavoz, éste empieza a emitir música o algún otro sonido, y cuando mira al otro altavoz, empieza a tocar música diferente o a emitir un sonido diferente. El niño aprende enseguida que puede controlar lo que se toque según mire a un lado o a otro; es decir, aprende que las condiciones del experimento están bajo su control. Los experimentadores se cercioran de que contrapesan (aleatorizan) la ubicación de la que llegan los diferentes estímulos; es decir, la mitad del tiempo el estímulo que se estudia llega de un altavoz y la otra mitad llega del otro. Cuando Lamont hizo esto con los niños de su estudio, descubrió que tendían a mirar más tiempo al altavoz que tocaba la música que ellos habían oído en el vientre materno que al de la música nueva, lo que confirmaba que preferían la música de la que habían tenido experiencia prenatal. Un grupo de control de niños de un año que no habían oído ninguna música de la utilizada antes no mostraron ninguna preferencia, confirmando que no había nada en la música en sí que causase aquellos resultados. Lamont descubrió también que,

si no intervienen otros factores, el niño prefiere la música rápida y alegre a la lenta.

Estos descubrimientos contradicen la idea predominante durante mucho tiempo de la amnesia infantil: que no podemos tener ningún recuerdo verídico antes de los cinco años, más o menos. Mucha gente asegura que tiene recuerdos de la temprana infancia, de en torno a los dos y tres años, pero es difícil saber si son verdaderos recuerdos del acontecimiento original o si son más bien recuerdos de lo que nos dijo alguien más tarde sobre el acontecimiento. El cerebro del niño de pecho está aún subdesarrollado, no se ha completado la especialización funcional y aún se hallan en proceso de construcción las vías neuronales. La mente del niño está intentando asimilar el máximo posible de información en el tiempo más breve posible; es característico que haya grandes vacíos en la interpretación, la conciencia y el recuerdo de los acontecimientos por parte del niño, debido a que aún no ha aprendido a diferenciar los acontecimientos importantes de los intrascendentes ni a codificar de forma sistemática la experiencia de la realidad. En consecuencia, es un candidato excelente para la sugestión, y podría archivar involuntariamente como propias historias que le contaron sobre él. Parece que en el caso de la música hasta la experiencia prenatal se archiva en la memoria, y se puede acceder a ella en ausencia de lenguaje o de conciencia explícita del recuerdo.

Según un estudio que realizaron algunos periódicos y programas matutinos de entrevistas hace varios años, escuchar a Mozart durante diez minutos al día te hacía más listo («el Efecto Mozart»). Concretamente escuchar música, se aseguraba, puede mejorar el rendimiento en tareas de razonamiento espacial efectuadas inmediatamente después de la sesión de audición (en el caso de algunos periodistas se consideró afectada también la pericia matemática). Miembros del Congreso empezaron a aprobar resoluciones, el gobernador de Georgia asignó fondos para comprar un disco de Mozart a cada niño que naciese en el estado. La mayoría de los científicos se hallaban en una posición incómoda. Aunque creemos intuitivamente que la música puede estimular otras habilidades cognitivas, y aunque a todos nos gustaría ver que se dedican más fondos públicos a programas escolares de música, el

estudio concreto que afirmaba esto contenía muchos fallos científicos. Afirmaba algunas cosas que eran ciertas, pero lo hacía por motivos que no lo eran. A mí personalmente todo este alboroto me pareció un poco ofensivo, porque parecía implicar que la música no debería estudiarse en sí, por derecho propio, sino sólo porque podía ayudar a la gente a hacer mejor otras cosas «más importantes». Piensa lo absurdo que esto podría resultar si le diésemos la vuelta. Si yo afirmase que estudiar matemáticas estimulaba la habilidad musical, ¿empezarían los políticos a bombear dinero para las matemáticas por ese motivo? La música ha sido a menudo la hijastra pobre de las escuelas públicas, lo primero que se elimina cuando hay problemas de financiación, y la gente suele intentar justificar el hecho de que se enseñe por sus beneficios colaterales, en vez de dejar que exista por sus frutos.

El problema del estudio de «la música te hace más listo» es bastante evidente: los controles experimentales eran inadecuados, y la pequeña diferencia en la habilidad espacial entre los dos grupos, según la investigación de Bill Thompson, Glenn Schellenberg y otros, se debía sólo a la elección de la tarea de control. Comparado con estar sentado en una habitación sin hacer nada, escuchar música estaba muy bien. Pero si a los sujetos se les diese en esa tarea de control el más leve estímulo mental (oír un libro en grabación, leer, etc.) no habría ninguna ventaja para la audición de música. Otro problema del estudio era que no se proponía ningún mecanismo plausible por el que eso pudiese operar: ¿cómo podía el hecho de escuchar música aumentar la eficiencia espacial?

Glenn Schellenberg ha destacado la importancia de diferenciar entre los efectos de la música a corto y a largo plazo. El Efecto Mozart se refería a efectos inmediatos, pero otra investigación ha revelado efectos a largo plazo de la actividad musical. Escuchar música estimula o modifica ciertos circuitos neuronales, incluyendo la densidad de conexiones dendríticas en el córtex auditivo primario. El neurocientífico de Harvard Gottfried Schlaug ha demostrado que la porción frontal del cuerpo calloso (la masa de fibras que conectan los dos hemisferios cerebrales) es significativamente mayor en los músicos que en los que no son músicos, y especialmente en los músicos que empiezan muy pronto su formación. Esto refuerza la idea de que las operaciones musicales pasan a ser bilaterales al aumentar la instrucción, pues

los músicos coordinan y reclutan estructuras neuronales tanto en el hemisferio izquierdo como en el derecho.

Varios estudios han descubierto cambios microestructurales en el cerebelo tras la adquisición de habilidades motrices, como las que adquieren los músicos, incluyendo un aumento del número y la densidad de las sinapsis. Schlaug descubrió que los músicos tendían a tener cerebelos más grandes que los que no lo eran, y una mayor concentración de materia gris; la materia gris es esa parte del cerebro que contiene los cuerpos celulares, axones y dendritas, y se la considera responsable del procesamiento de información, mientras que a la materia blanca se la considera responsable de transmitir información.

No se ha demostrado que esos cambios estructurales del cerebro se traduzcan en un estímulo de las habilidades en campos ajenos a la música, pero se ha demostrado que la audición de música y la terapia musical ayudan a la gente a superar una amplia gama de problemas físicos y psicológicos. De todos modos, volviendo a una línea de investigación más fructífera respecto al gusto musical, los resultados de Lamont son importantes porque muestran que el cerebro prenatal y el del recién nacido son capaces de almacenar recuerdos y recuperarlos después de largos períodos de tiempo. Desde un punto de vista más práctico, los resultados indican que el entorno (incluso mediando el líquido amniótico y el claustro materno) puede afectar al desarrollo y a las preferencias del niño. Así que las semillas de la preferencia musical se siembran en el vientre materno, pero tiene que haber algo más que eso, porque si no los niños gravitarían simplemente hacia la música que les gusta a sus madres o que se pone en las clases de Lamaze. Lo que podemos decir es que lo que oímos en el vientre materno influye en las preferencias musicales pero no las determina. Hay también un largo período de aculturación, durante el cual el niño asimila la música de la cultura en la que nace. Hace unos años hubo informes según los cuales todos los niños, antes de acostumbrarse a la música de una cultura ajena (para nosotros) prefieren la música occidental a las otras músicas, independientemente de su cultura o de su raza. Estos informes no fueron corroborados, sino que lo que se descubrió fue que los niños muestran una preferencia mayor por la consonancia que por la disonancia. La percepción de la disonancia llega más tarde en la vida, y la gente difiere respecto al grado en que la puede soportar.

Esto probablemente tenga una base neuronal. Los intervalos consonantes y los disonantes se procesan en el córtex auditivo a través de mecanismos diferenciados. Estudios recientes de las reacciones electrofisiológicas de humanos y monos a la disonancia sensorial (es decir, acordes que resultan disonantes en virtud de sus índices de frecuencia, no debido a un contexto armónico o musical) muestran que neuronas del córtex auditivo primario (el primer nivel de procesamiento cortical para el sonido) sincronizan sus índices de activación durante acordes disonantes, pero no durante los consonantes. Aún no está claro por qué eso tiene que crear una preferencia por la consonancia.

Sabemos un poco sobre el mundo auditivo del niño de pecho. Aunque los oídos funcionan plenamente cuatro meses antes del nacimiento, el desarrollo del cerebro tardará meses o años en alcanzar la capacidad de procesamiento auditivo plena. Los niños pequeños reconocen trasposiciones de tono y de compás (cambios de tempo), lo que indica que son capaces de procesamiento relacional, algo que aún no son capaces de hacer demasiado bien los ordenadores más avanzados. Jenny Saffran, de la Universidad de Wisconsin, y Laurel Trainor, de la Universidad McMaster, han reunido pruebas de que los niños pequeños pueden también atender a entradas de oído absoluto si la tarea lo requiere, lo que parece indicar una flexibilidad cognitiva desconocida hasta ahora: los niños pequeños pueden utilizar diferentes modos de procesamiento (presumiblemente por medio de circuitos neuronales distintos) según lo que les ayude mejor a resolver el problema que se les plantea.

Trehub, Dowling y otros han demostrado que el contorno es la característica musical más destacada para los niños pequeños; se pueden detectar similitudes de contorno y diferencias hasta con treinta segundos de retención. El recuerdo de ese contorno remite a una pauta de altura de tono musical de una melodía (la sucesión de subidas y bajadas que la melodía adopta) con independencia del tamaño del intervalo. Alguien que atienda exclusivamente al contorno sólo retendría que la melodía sube, por ejemplo, pero no cuánto. Hay un paralelismo entre la sensibilidad de los niños pequeños al contorno musical y su sensibilidad a contornos lingüísticos, que separan por ejemplo preguntas de exclamaciones y forman parte de lo que los lingüistas llaman prosodia. Fernald y Trehub han documentado las diferentes

formas que tienen los padres de hablar a los niños pequeños, a los niños mayores y a los adultos, algo que se da en muchas culturas. La forma resultante de hablar a los bebés utiliza un tempo más lento, una gama tonal ampliada y un nivel de altura de tono global más alto.

Las madres (y en una medida menor los padres) hacen esto con toda naturalidad sin ninguna instrucción explícita, utilizando una entonación exagerada que los investigadores llaman habla dirigida al niño o «maternés». Creemos que el maternés ayuda a llamar la atención de los bebés hacia la voz de su madre y ayuda a diferenciar palabras dentro de la frase. En vez de decir, como haríamos con un adulto: «Esto es una pelota», en maternés se diría algo así como: «¿Veeees?» (con el tono de la eeee subiendo hasta el final de la palabra). «¿Ves la PELOOOOTAAA?» (con el tono cubriendo un registro ampliado y subiendo de nuevo al final de la palabra «pelota»). En estas expresiones, el contorno es una señal de que la madre está haciendo una pregunta o una declaración, y al exagerar las diferencias entre los contornos de subida y bajada, la madre llama la atención hacia ellos. En realidad, la madre está creando un prototipo de pregunta y un prototipo de declaración, y asegurando que esos prototipos sean fácilmente diferenciables. Cuando una madre regaña con una exclamación, de un modo completamente natural (y de nuevo sin adiestramiento explícito), es probable que esté creando un tercer tipo de expresión prototípica, una expresión breve y cortada sin mucha variación de tono: «¡No!» (pausa) «¡No! ¡Mal!» (pausa) «¡He dicho que no!» Los bebés parecen venir con una capacidad incorporada de detectar y seguir el contorno, preferentemente, en intervalos de altura de tono específicos.

Trehub demostró también que los niños pequeños tienen una capacidad mayor para codificar los intervalos consonantes como cuarta perfecta y quinta perfecta que los disonantes, como el tritono. Descubrió que los grados desiguales de nuestra escala hacen que resulte más fácil procesar intervalos incluso en la muy temprana infancia. Ella y sus colegas experimentaron con niños de nueve meses con la escala mayor regular de siete notas y dos escalas inventadas por ella. En una de esas escalas inventadas, dividió la octava en once grados de espacios iguales y luego seleccionó siete notas con pautas de uno y dos grados, y en la otra dividió la octava en siete grados iguales. La tarea de los niños era detectar una nota desentonada. A los adultos les fue

bien con la escala mayor, pero mal con las dos escalas artificiales que nunca habían oído. Sin embargo, a los niños les fue igual de bien en las dos escalas de grados iguales y en la de desiguales. Por trabajos anteriores se cree que los niños de nueve meses aún no han incorporado un esquema mental para la escala mayor, así que esto parece indicar una ventaja general de procesamiento para grados desiguales, como los que tiene nuestra escala mayor.

Dicho de otro modo, nuestros cerebros y las escalas musicales que utilizamos parecen haber coevolucionado. Y no es ningún accidente el que tengamos esa curiosa disposición asimétrica de notas en la escala mayor: es más fácil aprender melodías con esa ordenación, que es una consecuencia de la física de la producción del sonido (a través de las series de armónicos que anteriormente analizamos); el conjunto de tonos que utilizamos en nuestra escala mayor está muy próximo en altura a los que forman las series de armónicos. La mayoría de los niños empiezan en una etapa muy temprana de la infancia a vocalizar espontáneamente, y estas tempranas vocalizaciones pueden parecerse mucho al canto. Los bebés exploran el registro de sus voces y empiezan a explorar la emisión fonética, en respuesta a los sonidos que reciben del mundo que los rodea. Cuanta más música oyen, más probable es que incluyan variaciones rítmicas y de tono en sus vocalizaciones espontáneas.

Los niños pequeños empiezan a mostrar una preferencia por la música de su cultura a los dos años de edad, aproximadamente en la época en que empiezan a desarrollar un procesamiento verbal especializado. Tienden a gustarles al principio canciones simples; música «simple» quiere decir temas claramente definidos (como algo opuesto, por ejemplo, a contrapunto a cuatro partes) y progresiones de acordes que se resuelven de formas directas y fácilmente previsibles. Cuando maduran, los niños empiezan a cansarse de la música fácilmente predecible y a buscar música que plantee algún reto. Según Mike Posner, los lóbulos frontales y el cíngulo anterior (una estructura situada justo detrás de los lóbulos frontales que dirige la atención) no están plenamente formados en los niños, lo que significa una incapacidad de prestar atención a varias cosas a la vez; a los niños les resulta difícil atender a un estímulo cuando hay presentes distracciones. Esto explica por

qué a los niños menores de ocho años, más o menos, les resulta tan difícil cantar «*rounds*» como «Row, Row, Row Your Boat». Este sistema atencional, concretamente la red que conecta el giro cingulado (la estructura más grande en que se encuentra el cingulado anterior) y las regiones orbitofrontales del cerebro, no puede bloquear adecuadamente los estímulos no deseados o que distraen. Los niños que aún no han llegado a la etapa del desarrollo en que son capaces de excluir información auditiva irrelevante se enfrentan a un mundo de gran complejidad sónica con todos los sonidos irrumpiendo en un aluvión sensorial. Deben intentar seguir la parte de la canción que tiene que estar cantando su grupo, pero les distraen y les hacen tropezar las partes rivales de *round*. Posner ha demostrado que ciertos ejercicios adaptados de juegos de concentración y de atención utilizados por la NASA pueden ayudar a acelerar el desarrollo de la capacidad atencional del niño.

La trayectoria que siguen los niños en su desarrollo de preferir primero canciones simples y luego más complejas es, por supuesto, una generalización; en primer lugar, no a todos los niños les gusta la música, y algunos desarrollan un gusto por la que se aparta del camino trillado, a veces por pura serendipia. Yo me quedé fascinado por la música de big band y swing cuando tenía ocho años, época en que mi abuelo me dio su colección de discos de 78 rpm de los años de la segunda guerra mundial. Lo que más me atrajo en principio fue lo novedoso de las canciones, como «The Syncopated Clock», «Would You Like to Swing on a Star», «The Teddy Bear's Picnic» y «Bibbidy Bobbidy Boo», canciones que estaban hechas para niños. Pero una exposición suficiente a las pautas de acordes y temples relativamente exóticos de las orquestas de Frank de Vol y Leroy Anderson se convirtieron en parte de mi cableado mental y no tardé en encontrarme escuchando todo tipo de jazz; el jazz de niños abrió las puertas neuronales para hacer el jazz en general saboreable y comprensible.

Los investigadores señalan los diez años como el momento decisivo para las preferencias musicales. Es en torno a los diez u once años de edad cuando la mayoría de los niños se toman un interés real por la música, incluso los niños que no habían expresado antes interés por ella. La música hacia la que tendremos a sentir nostalgia en la edad adulta, la que sentimos como

«nuestra» música, se corresponde con la que oímos durante esos años. Uno de los primeros indicios de la enfermedad de Alzheimer (una enfermedad caracterizada por cambios en los niveles de neurotransmisores y células nerviosas, y por la destrucción de sinapsis) en los adultos de más edad es la pérdida de memoria. A medida que avanza la enfermedad, la pérdida de memoria se hace más profunda. Sin embargo, muchos de esos veteranos aún pueden recordar las canciones que oyeron cuando tenían catorce años y cantarlas. ¿Por qué catorce? Parte de la razón de que recordemos canciones de nuestros años de adolescencia es porque esos años fueron períodos de autodescubrimiento y estuvieron cargados en consecuencia emotivamente; tendemos en general a recordar cosas que tienen un componente emotivo, porque la amígdala y los neurotransmisores actúan de forma conjunta para «etiquetar» los recuerdos como algo importante. Parte de la razón tiene que ver también con la maduración neuronal y la poda; es hacia los catorce años cuando el cableado de nuestros cerebros musicales se aproxima a los niveles adultos de culminación.

No parece haber un punto de ruptura a partir del cual no puedan adquirirse ya nuevos gustos en música, pero la mayoría de las personas tienen formados sus gustos entre los dieciocho y los veinte años. No está claro por qué sucede eso, pero varios estudios han descubierto que es así. Tal vez se deba en parte a que tendemos en general a abrirnos menos a nuevas experiencias al hacernos mayores. Durante los años de adolescencia empezamos a descubrir que existe un mundo de ideas diferentes, culturas diferentes, gentes diferentes. Experimentamos con la idea de que no tenemos que limitar el curso de nuestra vida, nuestra personalidad o nuestras decisiones a lo que nos enseñaron nuestros padres o a cómo se nos educó. Buscamos también tipos de música diferentes. En la cultura occidental en concreto, la elección de música tiene consecuencias sociales importantes. Escuchamos la música que escuchan nuestros amigos. Cuando somos jóvenes sobre todo y andamos a la busca de nuestra identidad, creamos vínculos o grupos sociales con gente a la que queremos parecernos o con la que creemos tener algo en común. Como un modo de exteriorizar el vínculo, vestimos de manera parecida, compartimos actividades y escuchamos la misma música. Nuestro grupo escucha este tipo de música, esa otra gente escucha otro. Esto

enlaza con la idea evolucionista de la música como un vehículo de vinculación y cohesión social. La música y las preferencias musicales se convierten en una señal de distinción y de identidad personal y de grupo.

Podríamos decir que las características de la personalidad de un individuo están asociadas, en cierta medida, con el tipo de música que le gusta, o que lo predican. Pero viene determinada en mayor medida por factores que son más o menos casuales: dónde estudiaste, con quién salías, qué música daba la casualidad que escuchaban. Cuando yo viví de niño en el norte de California, lo mejor era Creedence Clearwater Revival...; eran de allí al lado. Cuando me trasladé al sur de California, el sello CCR de música country-hick no se ajustaba bien a la cultura surfista/Hollywood que incluye a los Beach Boys y a artistas de actuación más teatral como David Bowie.

El cerebro está además desarrollando y formando nuevas conexiones a una velocidad explosiva a lo largo de la adolescencia, pero ese ritmo se reduce sustancialmente después de ese período, la fase formativa en que los circuitos neuronales quedan estructurados por nuestras experiencias. Ese proceso se aplica a la música que oímos; la nueva música pasa a incorporarse dentro de la estructura de la música que escuchamos en ese período crítico. Sabemos que hay períodos críticos para la adquisición de nuevas habilidades, como el lenguaje. Si el niño no aprende un idioma hacia los seis años (ya sea el primero o el segundo) nunca aprenderá a hablar con esa facilidad que caracteriza a la mayoría de los hablantes nativos de un idioma. Con la música y con las matemáticas el margen es más amplio, pero no ilimitado: si un estudiante no ha recibido lecciones de música ni estudiado matemáticas antes de los veinte años, aún puede aprender esas materias, pero sólo con gran dificultad, y es probable que nunca llegue a «hablar» en el lenguaje de las matemáticas ni en el de la música como alguien que las haya aprendido antes. Esto se debe a la trayectoria biológica del crecimiento sináptico. Las sinapsis del cerebro están programadas para crecer durante un número de años, haciendo nuevas conexiones. Después de ese período, hay un cambio hacia la poda, para librarse de conexiones innecesarias.

La neuroplasticidad es la capacidad del cerebro para reorganizarse. Aunque en los últimos cinco años ha habido algunas demostraciones impresionantes de reorganización cerebral que no se consideraban posibles,

el grado de reorganización que puede producirse en la mayoría de los adultos es muchísimo menor de la que puede producirse en los niños y en los adolescentes.

Hay diferencias individuales, claro. Lo mismo que hay personas que se curan de cortes en la piel y huesos rotos antes que otras, las hay también que pueden establecer nuevas conexiones con más facilidad que otras. La poda se inicia generalmente entre los ocho y los catorce años de edad en los lóbulos frontales, la sede del pensamiento superior y el razonamiento, la planificación y el control del impulso. Empieza a aumentar durante ese período la mielinación. La mielina es una sustancia grasa que cubre los axones, acelerando la transmisión sináptica. (Ésa es la razón de que aumente en los niños al hacerse mayores la capacidad y la rapidez para resolver problemas más complejos.) La mielinación de todo el cerebro se completa en general a los veinte años de edad. La esclerosis múltiple es una de las diversas enfermedades degenerativas que pueden afectar a la vaina de mielina que rodea las neuronas.

El equilibrio entre simplicidad y complejidad en la música influye también en nuestras preferencias. Estudios científicos sobre lo que nos gusta y lo que no nos gusta en una diversidad de dominios estéticos (pintura, poesía, danza y música) han demostrado que existe una relación metódica entre la complejidad de una obra artística y lo que nos gusta. Por supuesto, la complejidad es un concepto totalmente subjetivo. Para que la idea tenga algún sentido, tenemos que aceptar que lo que le parece de una complejidad impenetrable a un individuo podría corresponder al «punto dulce» de preferencia de otro. Asimismo, lo que a una persona le parece soso y de una simplicidad odiosa, a otra podría parecerle difícil de entender, debido a diferencias de formación, experiencia, interpretación y esquemas cognitivos.

Los esquemas lo son todo en cierto modo. Estructuran nuestra comprensión; son el sistema en el que emplazamos los elementos y las interpretaciones de un objeto estético. Los esquemas alimentan nuestras expectativas y nuestros modelos cognitivos. Con un esquema, la Quinta de Mahler es perfectamente interpretable, incluso aunque se oiga por primera vez: es una sinfonía, sigue la forma sinfónica con cuatro movimientos; contiene un tema principal y subtemas, y repeticiones del tema; los temas se

manifiestan a través de instrumentos orquestales, a diferencia de los tambores hablantes africanos o del distorsionador (*fuzz bass*). Los que conozcan la Cuarta de Mahler se darán cuenta de que la Quinta se inicia con una variación del mismo tema, e incluso el mismo tono. Los que conozcan a fondo la obra de Mahler se darán cuenta de que el compositor incluye citas de tres de sus propias canciones. Los que tengan formación musical se darán cuenta de que la mayoría de las sinfonías desde Haydn a Brahms y Bruckner empiezan y acaban característicamente con la misma nota. Mahler prescinde de esa convención en su Quinta, pasando de do menor sostenido a la menor y finalmente acaba en re mayor. Si no hubieses aprendido a mantener en tu mente un sentido de tonalidad mientras se desarrolla la sinfonía, o si no tuvieses un sentido de la trayectoria normal de una sinfonía, esto carecería de sentido; pero para el oyente experimentado, ese desacato a la convención aporta una sorpresa grata, una violación de expectativas, especialmente cuando esos cambios de tonalidad se hacen con la habilidad precisa para que no resulten estridentes. La Quinta de Mahler, al carecer de un esquema sinfónico apropiado, o si el oyente posee otro esquema, por ejemplo el de un aficionado a la música de rasgas india, es absurda o tal vez divagatoria, una idea musical se funde en ella con la siguiente de un modo amorfo, sin ninguna frontera, sin principios ni fines que la hagan parecer parte de un todo coherente. El esquema enmarca nuestra percepción, nuestro procesamiento cognitivo y en último término nuestra experiencia de la realidad.

Cuando una pieza musical es demasiado simple tiende a no gustarnos, nos parece trivial. Cuando es demasiado compleja, tiende también a no gustarnos, nos parece imprevisible: no percibimos que esté asentada en algo familiar. La música, como toda forma artística en realidad, tiene que lograr para que nos guste el equilibrio justo entre sencillez y complejidad. La sencillez y la complejidad se relacionan con la familiaridad y *familiaridad* es una palabra que equivale a esquema.

En ciencia es importante, por supuesto, definir los términos. ¿Qué significa «demasiado simple» o «demasiado complejo»? Una definición operativa es que una pieza nos parece demasiado simple cuando es tan previsible que resulta trivial, parecida a algo que hemos oído antes y que no nos plantea el menor reto. Pensemos, por analogía, en el juego de tres en

raya. A los niños les resulta infinitamente fascinante porque tiene muchas características que resultan interesantes para su nivel de capacidad cognitiva: tiene normas claramente definidas que cualquier niño puede exponer con facilidad; tiene un elemento de sorpresa porque el jugador nunca sabe seguro qué va a hacer exactamente su adversario; el juego es dinámico, porque en la jugada siguiente que uno hace influye la que haya hecho antes nuestro adversario; cuándo acabará el juego, quién ganará o si habrá un empate es algo indeterminado, pero hay un límite externo de nueve jugadas. Esa indeterminación crea tensión y expectativas, y la tensión se libera finalmente cuando termina la partida.

Al mismo tiempo que desarrolla un refinamiento cognitivo creciente, el niño va aprendiendo estrategias: el que juega segundo no puede ganar frente a un jugador competente; a lo máximo que puede aspirar es a empatar. Cuando la secuencia de jugadas y el final de la partida resultan previsibles, el tres en raya pierde su atractivo. Por supuesto, los adultos aún podemos disfrutar jugando al tres en raya con niños, pero disfrutamos viendo el placer en la cara del niño y disfrutamos del proceso (que se extiende a lo largo de varios años) durante el cual el niño aprende a desentrañar los misterios del juego al ir desarrollándose su cerebro.

Para muchos adultos Raffi y Barney el Dinosaurio son el equivalente musical del tres en raya. Cuando la música es demasiado previsible, el desenlace demasiado seguro y el «movimiento» de una nota o de un acorde al siguiente no contiene ningún elemento de sorpresa, la música nos parece insulsa y simplista. Mientras la música está sonando (sobre todo si tienes la atención centrada en ella), el cerebro va pensando por delante cuáles son las diferentes posibilidades para la nota siguiente, hacia dónde va la música, su trayectoria, la dirección que se propone seguir y su punto final definitivo. El compositor tiene que conseguir emplazarnos en un estado de confianza y de seguridad; tenemos que dejarle que nos lleve en un viaje armónico; tiene que darnos las suficientes pequeñas recompensas (culminaciones de expectativas) para que tengamos una sensación de orden y una sensación de ubicación.

Pongamos que estás haciendo autostop de Davis, California, a San Francisco. Podrías querer que la persona que te coja te lleve por la ruta normal, la autopista 80. Podrías estar dispuesto a tolerar unos cuantos atajos,

sobre todo si el automovilista es cordial, creíble y te dice claramente lo que está haciendo. («Voy a cortar por aquí para evitar las obras que hay en la autopista».) Pero si te lleva por carreteras secundarias sin darte ninguna explicación y llega un momento en que no ves ya señales ni hitos, seguro que tu sentido de la seguridad se siente acosado. Por supuesto, las reacciones a esos viajes no previstos, musicales o automovilísticos, serán diferentes según las diferentes personas y los diferentes tipos de personalidad. Algunos reaccionarán con puro pánico («¡Ese Stravinsky está volviéndome loco!») y otros con espíritu aventurero ante la emoción del descubrimiento («Coltrane está haciendo aquí una cosa rara, pero, qué demonios, no me hará ningún mal seguir oyendo un poco, soy perfectamente capaz de preservar mi yo armónico y de encontrar el camino de vuelta a la realidad musical si tengo que hacerlo»).

Continuando la analogía con los juegos, hay algunos con reglas tan complicadas que el individuo medio no tiene paciencia para aprenderlas. Las opciones de lo que puede pasar en cualquier momento son demasiado numerosas e imprevisibles para que el novicio pueda considerarlas. Pero la incapacidad para prever qué pasará a continuación no siempre es una señal de que un juego acabe teniendo interés si uno persiste en él el tiempo suficiente. Un juego puede tener una trayectoria completamente imprevista sin que importe el que tengas mucha práctica en él: hay muchos juegos de mesa en que todo consiste en tirar el dado y esperar a ver qué es lo que sale. Es lo que pasa por ejemplo con la Oca. Los niños disfrutan de la sensación de sorpresa, pero a los adultos el juego puede resultarles tedioso porque, aunque nadie pueda prever exactamente lo que pasará (todo depende del azar de las tiradas de dados), el resultado no tiene ninguna estructura y no puede influir además en el proceso la habilidad del jugador.

La música que contiene demasiados cambios de acordes, o una estructura con la que los oyentes no están familiarizados, puede conducir a muchos de ellos directamente a la salida más próxima, o al botón de «salto» de su equipo de música. Algunos juegos, como Go, Axiom o Zendo, resultan lo bastante complicados y opacos al novicio para que muchos renuncien antes de llegar muy lejos: la estructura ofrece una curva de aprendizaje empinada, y el novicio no puede estar seguro de si el tiempo que ha de invertir merecerá la

pena o no. Muchos tenemos la misma experiencia con música o con formas musicales con las que no estamos familiarizados. La gente puede explicarte que Schönberg es brillante, o que Tricky es el próximo Prince, pero si no puedes hacerte idea de lo que está pasando en el primer minuto o así de una de sus piezas, quizás empieces a preguntarte si los beneficios justificarán el esfuerzo que dedicas a intentar aclararlo todo. Nos decimos que si lo escuchamos el número suficiente de veces, podremos empezar a entenderlo y nos gustará tanto como les gusta a nuestros amigos. Sin embargo, recordamos otras ocasiones de nuestras vidas en las que invertimos horas escuchando a un artista y nunca llegamos a ese punto en el que lo «cogemos». Intentar apreciar nueva música puede ser como considerar una nueva amistad teniendo en cuenta que lleva tiempo y que a veces no hay nada que puedas hacer para acelerar el asunto. A nivel neuronal, tenemos que poder encontrar unos cuantos hitos que nos permitan invocar un esquema cognitivo. Si oímos una pieza de música radicalmente nueva el suficiente número de veces, parte de esa pieza acabará codificada en el cerebro y formaremos hitos. Si el compositor es habilidoso, esas partes de la pieza que se convierten en nuestros hitos serán las mismas que el compositor se propuso que fuesen; su conocimiento de la composición y de la memoria y la percepción humanas le habrá permitido crear ciertos «ganchos» en la música que acabarán instalándose en nuestra mente.

El procesamiento estructural plantea dificultades al apreciar una nueva pieza musical. No entender la forma sinfónica, o la forma de sonata, o la estructura AABA de una pauta de jazz es el equivalente en escuchar música a conducir por una autopista sin señales de tráfico: nunca sabes dónde estás ni cuándo llegarás a tu destino (o incluso a un punto intermedio que no sea tu destino, pero que pueda proporcionar un hito orientador). Por ejemplo, mucha gente simplemente no «entiende» el jazz; dice que suena como una improvisación loca sin forma ni estructura, una competición musical que consiste en ver quién mete el mayor número de notas posible en el menor espacio posible. Hay más de media docena de subgéneros de lo que la gente llama colectivamente «jazz»: dixieland, bugi-bugi, big band, swing, bebop, «sin etiqueta», acid-jazz, fusión, metafísico, etc. El jazz «sin etiqueta» o «clásico», como también se le llama a veces, es más o menos la forma

estándar de jazz, análoga a la sonata o la sinfonía en la música clásica, o a lo que es para la música rock una canción típica de los Beatles o de Billy Joel o de Temptations.

En el jazz clásico el artista empieza tocando el tema principal de la canción; se trata a menudo de una canción bien conocida de Broadway, o una que ha sido ya un éxito con algún otro artista; esas canciones se llaman «clásicos», y se incluyen entre ellas «As Time Goes By», «My Funny Valentine» y «All of Me». El artista recorre la forma completa de la canción una vez; lo característico son dos versos y el coro (conocido también como un «estribillo»), seguido de otro verso. El coro es la parte de una canción que se repite regularmente a lo largo de ella; los versos son lo que cambia. Llamamos a esta forma AABA, donde la letra *A* representa el verso y la letra *B* representa el coro. AABA significa que tocamos verso-verso-coro-verso. Hay muchas otras variaciones posibles, por supuesto. Algunas canciones tienen una sección C, llamada el puente.

El término *coro* se utiliza para indicar no sólo la segunda sección de la canción, sino también un recorrido de la forma completa. En otras palabras, recorrer la porción AABA de una canción una vez se llama «tocar un coro». Cuando yo toco jazz, si alguien dice: «Toca el coro» o «Hagamos el coro» (utilizando el artículo *el*), damos por supuesto que significa una sección de la canción. Si en vez de eso alguien dice «Hagamos un coro» o «Hagamos un par de coros», sabemos que quiere decir la forma entera.

«Blue Moon» (Frank Sinatra, Billie Holiday) es un ejemplo de canción con la forma AABA. Un artista de jazz puede jugar con el ritmo o la forma de sentir la canción y puede embellecer la melodía. Después de recorrer la forma de la canción una vez, que es a lo que los músicos de jazz llaman «la cabeza», los diferentes miembros del conjunto se turnan improvisando música nueva sobre la forma y la progresión de acordes de la canción original. Cada músico toca uno o más acordes y luego el músico siguiente retoma del principio de la cabeza. Durante las improvisaciones, algunos artistas se atienen rigurosamente a la melodía original, otros añaden desviaciones armónicas cada vez más alejadas y exóticas. Cuando todos han tenido una oportunidad de improvisar, la banda vuelve a la cabeza, tocándola más o menos tal cual es y con eso se acaba. Las improvisaciones pueden

durar muchos minutos, no es raro que una versión de jazz de una canción de dos o tres minutos se prolongue hasta diez o quince. Hay también un orden característico de cómo se turnan los músicos: primero los instrumentos metálicos de viento, seguidos del piano y/o la guitarra, después el bajo. A veces improvisa también el batería, y lo característico es que lo haga después del bajo. A veces los músicos comparten parte de un coro, tocando cada uno de ellos de cuatro a ocho compases y pasando luego el solo a otro músico, una especie de carrera de relevos musical.

Al novato todo este asunto puede parecerle caótico, pero el sólo hecho de saber que se produce la improvisación sobre los coros y la forma original de la canción puede significar mucho para orientar al neófito e indicarle en qué parte de la canción están los intérpretes. Yo suelo aconsejar a los que empiezan a escuchar jazz que se limiten a tararear mentalmente la melodía principal en cuanto empiece la improvisación (eso es lo que suelen estar haciendo los propios improvisadores) porque es algo que enriquece considerablemente la experiencia.

Cada género musical tiene su propia serie de reglas y su propia forma. Cuanto más escuchamos, más se instalan esas normas en la memoria. No estar familiarizado con la estructura puede conducir a frustración o a una simple falta de aprecio. Conocer un género o un estilo es tener en realidad una categoría edificada a su alrededor y ser capaz de categorizar nuevas canciones como miembros o no de esa categoría... y en algunos casos como miembros «parciales» o «imprecisos» de ella, miembros sometidos a ciertas excepciones.

La relación ordenada entre complejidad y gusto se denomina la función U invertida, por la forma que tendría un gráfico que relacionase esos dos factores. Imagina un gráfico en el que el eje X es lo compleja que es (para ti) una pieza de música, y el eje Y lo que te gusta. En la parte inferior izquierda de este gráfico, cerca del origen, habría un punto para la música que es muy simple, y tu reacción es que no te gusta. Al aumentar la complejidad de la música, aumenta también el placer que te causa. Las dos variables se van siguiendo entre ellas un rato en el gráfico: un aumento de la complejidad produce un aumento en el aprecio, hasta que cruzas cierto umbral personal y

pasas, del desagrado intenso frente a la pieza, a que empiece a gustarte un poco. Pero llega un momento en que al seguir aumentando la dificultad, la música se hace demasiado compleja y empieza a gustarte menos. El gusto va disminuyendo a partir de entonces, hasta que cruzas otro umbral y esa música ya no te gusta en absoluto. Es demasiado difícil y no te gusta nada. La forma de ese gráfico sería una U o una V invertida.

La hipótesis de la U invertida no significa que la única razón por la que pueda gustarte o no una pieza de música sea su sencillez o su complejidad. Lo que se pretende es más bien explicar esa variable. Los propios elementos de la música pueden formar una barrera que impida apreciar una pieza nueva. Si la música es demasiado fuerte o demasiado suave, eso puede resultar, claro está, problemático. Pero hasta el registro dinámico de una pieza (la disparidad entre las partes de sonido más fuerte y las más suaves) puede hacer que algunas personas la rechacen. Esto puede suceder sobre todo con los que utilizan la música para regular su estado de ánimo de una forma específica. Alguien que quiera oír música para relajarse o para estimularse con vistas a una tanda de ejercicios gimnásticos, es probable que no quiera escuchar una pieza musical que recorra toda la gama de intensidad desde lo muy suave a lo muy fuerte, o emotivamente desde lo triste a lo excitante (como hace, por ejemplo, la Quinta de Mahler). Tanto el registro dinámico como el emocional resultan sencillamente demasiado amplios y pueden crear una barrera que bloquee el acceso.

El tono puede influir también en la preferencia. Algunas personas no pueden soportar los tiempos graves y golpeteantes del moderno hip-hop, otros no soportan lo que describen como el quejido agudo de los violines. Esto puede ser en parte cuestión de fisiología; algunos oídos pueden literalmente transmitir partes distintas del espectro de frecuencias que otros, y como resultado algunos sonidos parecen agradables y otros odiosos. Puede haber también asociaciones psicológicas, tanto positivas como negativas, con los diversos instrumentos.

El ritmo y las pautas rítmicas influyen en nuestra capacidad para apreciar una composición o un género musical determinado. A muchos músicos les atrae la música latina por la complejidad de los ritmos. Para un novicio, todo suena simplemente «latino», pero para alguien que puede diferenciar los

matices, cuándo un determinado compás es fuerte respecto a otros, la música latina es un mundo de interesante complejidad: bossa nova, samba, rumba, beguine, mambo, merengue, tango..., cada uno de ellos es un estilo de música completamente diferenciado e identificable. Hay muchas personas a las que les gusta realmente la música y los ritmos latinos, sin que sean capaces de diferenciarlos, por supuesto, pero para otros esos ritmos resultan demasiado complicados e imprevisibles, y eso los aleja de ellos. He descubierto que si enseño uno o dos ritmos latinos a los oyentes, acaban apreciándolos; es todo cuestión de tener una base y un esquema. Para otros los ritmos que son demasiado simples les hacen rechazar un estilo de música. La queja típica de la generación de mis padres respecto al rock, aparte de que el sonido les parecía muy fuerte, era que todo tenía el mismo compás.

El timbre es otra barrera para muchas personas y su influencia está casi con seguridad creciendo, tal como expliqué en el capítulo 1. La primera vez que oí cantar a John Lennon y a Donald Fagen las voces me parecieron inconcebiblemente extrañas. No quería que me gustasen. Pero había algo que me hacía volver a escucharlas (tal vez el que fuesen tan extrañas) y acabarían siendo dos de mis voces favoritas; voces que ahora han pasado el límite de lo familiar y se aproximan a lo que sólo puedo llamar íntimo; siento como si esas voces hubiesen llegado a incorporarse a lo que soy. Y a un nivel neuronal, lo han hecho. Después de oír miles de horas a estos dos cantantes y de poner decenas de miles de veces sus canciones, mi cerebro ha desarrollado un sistema de circuitos que puede distinguir sus voces entre miles, aunque canten algo que no les haya oído cantar nunca. Mi cerebro ha codificado todos los matices vocales y todos los floreros tímbricos, de manera que si oigo una versión alternativa de una de sus canciones (como en las versiones de demostración de la *John Lennon Collection* de sus álbumes), puedo identificar de inmediato en qué se desvía una interpretación de la que tengo almacenada en las vías neuronales de la memoria a largo plazo.

Nuestras preferencias musicales, como sucede con otros tipos de preferencias, están influidas también por lo que hemos experimentado antes, y por si el resultado de esa experiencia fue positivo o negativo. Si tuviste una experiencia negativa una vez con la calabaza (digamos, por ejemplo, que te

sentó mal), es probable que mires con recelo futuras incursiones de degustación. Si has tenido sólo unas cuantas experiencias, pero predominantemente positivas, con el brócoli, podrías estar dispuesto a probar una nueva receta de brócoli, tal vez sopa de brócoli, aunque no la hayas comido nunca. La única experiencia positiva genera otras.

Los tipos de sonidos, ritmos y texturas musicales que nos resultan agradables son en general ampliaciones de experiencias positivas previas que hemos tenido con la música a lo largo de la vida. Esto es porque oír una canción que te gusta es muy parecido a disfrutar de cualquier otra experiencia sensorial agradable: comer una chocolatina, frambuesas recién cogidas, el olor a café por la mañana, ver una obra de arte o el plácido rostro de alguien a quien quieres que está durmiendo. La experiencia sensorial nos causa placer y su familiaridad y la seguridad que esa familiaridad aporta nos resultan gratas. Puedo mirar una frambuesa madura, olerla y prever que sabrá bien y que la experiencia será segura: no me sentará mal. Si no he visto nunca una frambuesa de Logan, hay suficientes puntos en común con la frambuesa normal para que corra el riesgo de comerla y prevea que no habrá problema.

La seguridad juega en muchos casos un papel en la elección de música. Nos entregamos en cierta medida a la música cuando la escuchamos: y nos permitimos confiar a los compositores y a los músicos una parte de nuestros corazones y de nuestro espíritu; dejamos que la música nos lleve a algún lugar situado fuera de nosotros mismos. Muchos sentimos que la buena música nos conecta con algo mayor que nuestra propia existencia, o con otras personas o con Dios. Incluso cuando la buena música no nos transporta a un lugar emocional que es trascendente, puede cambiar nuestro estado de ánimo. Es comprensible, pues, que podamos mostrarnos reacios a bajar la guardia, a prescindir de nuestras defensas emotivas, con cualquiera. Lo haremos si los músicos y el compositor nos hacen sentirnos seguros. Queremos saber que no se va a explotar nuestra vulnerabilidad. Ésa es en parte la razón de que algunas personas no sean capaces de escuchar a Wagner. Hay quien no se siente seguro escuchando su música debido a su pernicioso antisemitismo, a la profunda vulgaridad de su mente (en palabras de Oliver Sacks) y a la asociación de su música con el régimen nazi. A mí Wagner me ha perturbado siempre profundamente, y no sólo su música, sino también la idea de

escucharla. Me siento reacio a entregarme a la seducción de una música creada por una mente tan perturbada y un corazón tan peligroso (e impenetrablemente duro) como el suyo, por miedo a poder desarrollar algunos de esos mismos horribles pensamientos. Cuando oigo la música de un gran compositor siento que estoy, en cierto modo, haciéndome uno con él, o dejando que una parte de él entre en mí. Esto también resulta inquietante con la música popular, ya que no hay duda de que algunos de los proveedores de pop son toscos, sexistas, racistas o las tres cosas a la vez.

Esta sensación de vulnerabilidad y entrega predomina muy especialmente en el rock y en la música popular de los últimos cuarenta años. Es lo que explica las multitudes de seguidores que rodean a los músicos populares (los Grateful Dead, la Dave Matthews Band, Phish, Neil Young, Joni Mitchell, los Beatles. R.E.M., Ani DiFranco). Les permitimos controlar nuestras emociones e incluso nuestras ideas políticas, que nos animen, que nos depriman, que nos conforten, que nos inspiren. Les dejamos entrar en nuestros salones y nuestros dormitorios cuando estamos solos. Les dejamos entrar en nuestros oídos, directamente, a través de auriculares, cuando no estamos comunicándonos con nadie más en el mundo.

Es insólito que nos entreguemos a un absoluto desconocido de ese modo, en una posición tan vulnerable. La mayoría de nosotros tenemos algún tipo de protección que nos impide soltar cada pensamiento y cada sentimiento que nos asalta. Cuando alguien nos pregunta: «¿Qué tal te va?», decimos: «Bien», aunque estemos tristes por una pelea que acabamos de tener en casa, o tengamos una pequeña molestia física. Mi abuelo solía decir que la definición de un pelma es alguien que cuando le preguntas: «¿Cómo estás?» te lo explica de verdad. Hay algunas cosas que simplemente mantenemos ocultas, incluso con los amigos íntimos (por ejemplo problemas relacionados con la digestión o con los intestinos, o sentimientos de inseguridad personal). Una de las razones de que estemos dispuestos a adoptar esa posición tan vulnerable con nuestros músicos favoritos es que se nos presentan ellos también a menudo como vulnerables, o transmiten vulnerabilidad a través de su arte (y no importa a esos efectos si son realmente vulnerables o se limitan a representarlo artísticamente).

El poder del arte consiste en que puede conectarnos entre nosotros, y con

verdades más amplias sobre lo que significa estar vivo y lo que significa ser humano. Cuando Neil Young canta

Viejo, mira mi vida, soy muy parecido a como eras tú...

Vivo solo en un paraíso que me hace pensar en dos.

lo sentimos por el hombre que escribió la canción. Yo puedo no vivir en un paraíso, pero puedo sentirme solidario con un hombre que puede tener cierto éxito material pero nadie con quien compartirlo, un hombre que siente que ha «ganado el mundo pero perdido su alma», como cantó una vez George Harrison, citando al mismo tiempo el Evangelio según san Marcos y a Mahatma Gandhi.

O cuando Bruce Springsteen canta «Back in Your Arms» sobre el amor perdido, vibramos ante un tema similar, por un poeta con un personaje que puede ser «cualquiera» como el de Neil Young. Y cuando consideramos lo mucho que tiene Springsteen (la adoración de millones de personas en todo el mundo, y millones de dólares), resulta aún más trágico que no pueda tener a la única mujer a la que quiere.

Percibimos vulnerabilidad en lugares insólitos y eso nos acerca más al artista. David Byrne (de Talking Heads) es conocido en general por sus letras abstractas y artísticas, con un toque cerebral. En su interpretación en solitario de «Lilies of the Valley» canta sobre estar solo y asustado. Parte de nuestro aprecio por su letra lo estimula el hecho de saber algo sobre el artista, o al menos sobre el personaje del artista, que es un intelectual excéntrico, que era difícil que confesase algo tan primario y transparente como tener miedo.

Las conexiones con el artista o con lo que el artista representa pueden, pues, formar parte de nuestras preferencias musicales. Johnny Cash cultivó una imagen forajida y mostró también su compasión por los presidiarios haciendo muchos conciertos en las cárceles. A los presos puede gustarles la música de Johnny Cash (o llegar a gustarles) por lo que el artista representa, independientemente de consideraciones estrictamente musicales. Pero los fans sólo llegarán hasta ahí siguiendo a sus héroes, como aprendió Dylan en el Festival Folk de Newport. Johnny Cash podría cantar sobre querer dejar la cárcel sin ahuyentar a su público, pero si hubiese dicho que le gustaba visitar

las cárceles porque eso le ayudaba a apreciar más su propia libertad, habría cruzado sin duda una línea que separa la compasión del regodeo, y de forma comprensible, su público presidiario se habría enfurecido con él.

Las preferencias comienzan con la exposición y cada uno de nosotros tiene su propio cociente de «aventurerismo» sobre cuánto estamos dispuestos a alejarnos en un momento dado de nuestra zona de seguridad musical. Algunos somos más aficionados a experimentar que otros en todos los aspectos de la vida, incluida la música, y podemos hacerlo o evitarlo en diversos períodos de nuestra vida. En general, es en los períodos en los que nos sentimos aburridos cuando buscamos nuevas experiencias. Ahora que los intérpretes en solitario de música y de radio por Internet se están haciendo más populares, creo que veremos emisoras de música personalizadas en pocos años, en las que todo el mundo pueda tener su emisora de radio personal, controlada por algoritmos informáticos que nos proporcione una mezcla de música que ya conocemos y que nos gusta, y una mezcla de música que no conocemos pero que es probable que nos guste. Creo que será importante que cualquiera que sea la forma que adopte esta tecnología, los oyentes puedan tener un mando de «aventurerismo» que puedan apagar y que controle la mezcla de lo viejo y lo nuevo, o lo lejos que esté la nueva música de lo que normalmente escucha. Se trata de algo que varía muchísimo de una persona a otra, e incluso, en la misma persona, de un período del día al siguiente.

La música que oímos crea esquemas para géneros y formas musicales hasta cuando sólo oímos de un modo pasivo y no intentamos analizar la música. Sabemos desde una edad temprana cuáles son las medidas aceptadas por la música de nuestra cultura. Para muchos, lo que nos guste y lo que no nos guste en el futuro será consecuencia de los tipos de esquemas cognitivos formados con la música que oímos durante la infancia. No quiero decir con esto que la música que escuchamos de niños vaya a determinar necesariamente nuestros gustos musicales durante el resto de la vida; muchas personas están expuestas a música de estilos y culturas diferentes, o los estudian, y se aculturán a ellos, aprendiendo también sus esquemas. La cuestión es que esa temprana exposición suele ser la más profunda, y se convierte en el fundamento de nuestra futura visión de la música.

Las preferencias musicales tienen también un gran componente social basado en lo que sabemos del cantante o el músico, en lo que sabemos que le gusta a la familia y a los amigos y en lo que sabemos sobre lo que la música representa. Desde el punto de vista histórico, y especialmente desde el evolutivo, la música ha formado parte de las actividades sociales. Esto puede explicar por qué la forma más común de expresión musical, desde los Salmos de David a Tin Pan Alley y a la música contemporánea, sea la canción de amor, y por qué para la mayoría de nosotros las canciones de amor parecen figurar entre nuestras cosas favoritas.

EL INSTINTO DE LA MÚSICA

EL ÉXITO NÚMERO 1 DE LA EVOLUCIÓN

¿De dónde vino la música? El estudio de los orígenes evolutivos de la música tiene una historia distinguida que se remonta al propio Darwin, que creía que se había desarrollado a través de la selección natural como parte de rituales de apareamiento humanos o paleohumanos. Yo creo que las pruebas científicas apoyan también esa idea, pero no todo el mundo está de acuerdo. Después de décadas de trabajos dispersos sobre el tema, el interés se centró súbitamente en 1997 en el reto que planteó el psicólogo cognitivo y científico cognitivo Steven Pinker.

Hay unas doscientas cincuenta personas en todo el mundo que estudian cognición y percepción de la música como su foco primordial de investigación. Como sucede con la mayoría de las disciplinas científicas, celebramos conferencias una vez al año. En 1997 la conferencia se celebró en el MIT, y se invitó a Steven Pinker a pronunciar el discurso de apertura. Pinker acababa de terminar *Cómo funciona la mente*, un importante trabajo a gran escala que explica y sintetiza los principios importantes de la ciencia cognitiva, pero aún no había alcanzado notoriedad popular. «El lenguaje es claramente una adaptación evolutiva —nos dijo durante su discurso central—. De los mecanismos cognitivos que estudiamos nosotros, como psicólogos cognitivos y científicos cognitivos, mecanismos como la memoria, la atención, la categorización y la toma de decisiones, tienen todos un claro propósito evolutivo.» Explicó que, de vez en cuando, encontramos una

conducta o un atributo en un organismo que carece de una clara base evolutiva; esto ocurre cuando fuerzas evolutivas propagan una adaptación por una razón determinada, y hay algo más que se incorpora al viaje, lo que Stephen Jay Gould llamó una «enjuta», en una expresión que tomó prestada de la arquitectura. En arquitectura, un diseñador podría planear una cúpula sostenida por cuatro arcos. Habrá necesariamente un espacio entre los arcos, no porque se hubiese planeado, sino porque es un subproducto del diseño. Las aves desarrollaron evolutivamente plumas para conservar el calor, pero las utilizaron también para otro propósito: volar. Eso es «una enjuta».

Hay muchas enjutas de las que se hace tan buen uso que es difícil saber después si fueron o no adaptaciones. El espacio entre los arcos en un edificio se convirtió en un lugar donde se pintaban ángeles y se hacían otras decoraciones. La enjuta (un subproducto del diseño de los arquitectos) se convirtió en una de las partes más bellas de un edificio. Pinker aseguró que el lenguaje era una adaptación y la música su enjuta. Entre las operaciones cognitivas que realizan los humanos, la música es la que resulta menos interesante estudiar porque no es más que un subproducto, continuó diciendo, un accidente evolutivo que llegó a caballo del lenguaje.

«La música es la tarta de queso auditiva —dijo despectivamente—. Sucede simplemente que cosquillea en varias partes importantes del cerebro de un modo sumamente agradable, igual que la tarta de queso cosquillea el paladar.» Los humanos no adquirieron evolutivamente un gusto por la tarta de queso, sino un gusto por las grasas y los azúcares, de los que hubo un suministro escaso durante nuestra historia evolutiva. Los humanos desarrollaron evolutivamente un mecanismo neuronal que hizo que nuestros centros de recompensa se activasen cuando comiésemos azúcares y grasas, porque en las pequeñas cantidades en que estaban disponibles, eran beneficiosos para nuestro bienestar.

La mayoría de las actividades que son importantes para la supervivencia de las especies, como alimentarse y mantener relaciones sexuales, son también agradables; nuestros cerebros desarrollaron evolutivamente mecanismos para recompensar y fomentar esas conductas. Pero podemos aprender a puentear las actividades originales y acceder directamente a esos sistemas de recompensa. Podemos comer alimentos que carecen totalmente

de valor nutritivo y tener relaciones sexuales sin procrear; podemos tomar heroína, que explota los receptores de placer normales del cerebro; nada de esto es adaptativo, pero los centros de placer del sistema límbico no conocen la diferencia. Los humanos, pues, descubrieron que la tarta de queso daba la casualidad que pulsaba botones de placer vinculados a la grasa y al azúcar, explicó Pinker, y la música es simplemente una conducta que busca placer explotando uno o más canales de placer existentes que se desarrollaron evolutivamente para reforzar un comportamiento adaptativo, de forma presumible, la comunicación lingüística.

«La música —nos ilustró Pinker— pulsa botones de la habilidad lingüística (con la que la música se solapa de diversos modos); botones en el córtex auditivo, el sistema que responde a las señales emotivas de una voz humana que llora o arrulla, y el sistema de control motriz, que inyecta ritmo en los músculos cuando caminamos o bailamos.»

«Por lo que se refiere a la causa y el efecto biológicos —escribió Pinker en *El instinto del lenguaje* (y lo parafraseó en la charla que nos dio)—, la música no tiene utilidad. No muestra indicio alguno de estar diseñada para alcanzar un objetivo, como por ejemplo larga vida, nietos, o una percepción y una predicción precisas del mundo. Comparada con el lenguaje, la visión, el razonamiento social y la pericia física, podría desaparecer de nuestra especie sin que el resto de nuestro estilo de vida apenas se modificase.»

Cuando un científico brillante y respetado como Pinker hace una afirmación polémica, la comunidad científica toma nota, y a mí y a muchos de mis colegas eso nos hizo reevaluar nuestra posición sobre la base evolucionista de la música que habíamos dado por supuesta, sin ponerla en entredicho. Pinker nos obligó a pensar. Y un poco de investigación mostró que no es el único teórico que desdeña los orígenes evolutivos de la música. Para el cosmólogo John Barrow la música no tiene ningún papel en la supervivencia de la especie, y el psicólogo Dan Sperber la llamó «un parásito evolutivo». Sperber cree que desarrollamos evolutivamente una capacidad cognitiva para procesar pautas sonoras complejas que varían en tono y duración, y que esta habilidad comunicativa surgió primero en humanos primitivos prelingüísticos. La música, según él, se desarrolló de forma parasitaria para explotar esa capacidad que había evolucionado para la

verdadera comunicación. Ian Cross, de la Universidad de Cambridge, lo resume así: «Para Pinker, Sperber y Barrow, la música existe simplemente por el placer que proporciona; su base es puramente hedonista».

Sucede que yo creo que Pinker está equivocado, pero dejaré que las pruebas hablen por sí mismas. Dejadme que retroceda primero ciento cincuenta años hasta Charles Darwin. Ese latiguillo que a la mayoría de nosotros nos enseñaron en la escuela, «la supervivencia del más apto» (propagada por desgracia por el filósofo británico Herbert Spencer) simplifica demasiado la evolución. La teoría de la evolución se apoya en varios supuestos. Primero, todos los atributos fenotípicos del individuo (la apariencia, los atributos fisiológicos y algunas conductas) están codificados en los genes, que pasan de una generación a la siguiente. Los genes le dicen al cuerpo cómo hacer las proteínas, que generan nuestras características fenotípicas. La acción de los genes es específica de las células en las que reside; un gen determinado puede contener información que sea útil o no según la célula en cuestión: las células del ojo no necesitan desarrollar piel, por ejemplo. El genotipo (la secuencia particular de ADN) da origen al fenotipo (las características físicas particulares). Así que resumiendo: muchas de las formas en que difieren entre sí los miembros de una especie están codificadas en los genes, que se transmiten a través de la reproducción.

El segundo supuesto de la teoría evolucionista es que existe entre nosotros cierta variabilidad genética natural. Tercero, cuando nos apareamos, el material genético se combina para formar un nuevo ser, que tendrá un cincuenta por ciento de material genético de cada progenitor. Finalmente, debido a errores espontáneos, se producen a veces confusiones o mutaciones que se pueden transmitir a la generación siguiente.

Los genes que existen en ti hoy (con excepción de un pequeño número que pueden haber mutado) son los que se reprodujeron con éxito en el pasado. Cada uno de nosotros es un vencedor en una carrera de armamentos genética; muchos genes que no consiguieron reproducirse con éxito murieron, sin dejar descendientes. Todos los que hoy están vivos tienen genes que ganaron una competición genética a largo plazo y a gran escala. «Supervivencia del más apto» es una simplificación exagerada porque conduce al punto de vista distorsionado de que los genes que confieren una

ventaja de supervivencia en su organismo anfitrión son los que ganarán la carrera genética. Pero vivir una larga vida, aunque sea feliz y productiva, no es algo que se transmita en los genes. Un organismo necesita reproducirse para transmitir sus genes. El nombre del juego evolucionista es reproducirse a toda costa, y procurar que los propios vástagos vivan para hacer lo mismo, y para que sus vástagos vivan lo suficiente para hacer lo mismo y así sucesivamente.

Si un organismo vive lo suficiente para reproducirse y sus vástagos son sanos y están protegidos de modo que puedan hacer lo mismo, no hay ninguna razón evolutiva convincente para que el organismo viva mucho tiempo. Algunas especies de aves y de arañas mueren durante el apareamiento sexual o después. Los años posteriores al apareamiento no confieren ninguna ventaja para la supervivencia de los genes del organismo, salvo que éste sea capaz de utilizar ese tiempo para proteger a sus vástagos, asegurarles recursos o ayudarles a encontrar pareja. Así pues, hay dos cosas que llevan a que los genes «triunfen»: 1) que el organismo sea capaz de aparearse con éxito y transmita sus genes, y 2) que sus vástagos sean capaces de sobrevivir para hacer lo mismo.

Darwin reconoció esta consecuencia de su teoría de la selección natural y propuso la idea de la selección sexual. Dado que un organismo debe reproducirse para transmitir sus genes, las cualidades que atraerán a la pareja deberían acabar codificadas en el genoma. Si una mandíbula cuadrada y unos bíceps muy grandes son rasgos atractivos en un hombre (a ojos de sus parejas potenciales), los hombres con esos rasgos se reproducirán con más éxito que sus competidores de mandíbula estrecha y brazos flacos. Los genes de la mandíbula cuadrada y el bíceps grande pasarán a ser por ello más abundantes. Los vástagos también necesitan que se les proteja de los elementos, de los predadores, de la enfermedad, y que se les proporcionen alimentos y otros recursos para que puedan reproducirse. Así pues, un gen que promueva esa conducta de colaboración en la cría después de la cópula podría también difundirse entre la población, en la medida en que a la descendencia de aquellos que tienen ese gen de colaboración en la cría les va mejor, como grupo, compitiendo por recursos y parejas.

¿Podría jugar la música un papel en la selección sexual? Darwin pensaba

que sí. En *El origen del hombre* dice: «Mi conclusión es que el ritmo y las notas musicales los adquirieron primero los progenitores masculinos o femeninos de la humanidad con el fin de atraer al sexo opuesto. Así, las notas musicales pasaron a asociarse firmemente con algunas de las pasiones más fuertes que es capaz de sentir un animal, y que se usan en consecuencia de forma instintiva...». Al buscar pareja, nuestro impulso innato es encontrar (consciente o inconscientemente) alguien que sea biológica y sexualmente apto, alguien que nos proporcione hijos que sea probable que sean sanos y capaces, para que puedan atraer a su vez a otras parejas. La música puede indicar aptitud biológica y sexual y servir para atraer al sexo opuesto.

Darwin creía que la música había precedido al lenguaje como medio de cortejo, y la equiparaba a la cola del pavo real. En su teoría de la selección sexual atribuyó la aparición de rasgos que no servían directamente a ningún propósito de supervivencia a conseguir que el individuo resultase atractivo (y con ello sus genes). El psicólogo cognitivo Geoffrey Miller ha relacionado esta idea con el papel que desempeña la música en la sociedad contemporánea. Jimi Hendrix tuvo «relaciones sexuales con centenares de fans, mantuvo relaciones paralelas de larga duración con dos mujeres al menos y engendró al menos tres hijos, en los Estados Unidos, Alemania y Suecia. En condiciones ancestrales previas al control de la natalidad, habría engendrado muchos más», escribe Miller. Robert Plant, el cantante principal de Led Zeppelin, recuerda su experiencia en sus grandes giras de conciertos de los años setenta: «Yo viajaba para amar. Siempre. Siguiese la ruta que siguiese, el coche se dirigía a una de las más grandes experiencias sexuales de mi vida».

El número de parejas sexuales de las estrellas de rock puede ser cientos de veces mayor que el de un varón normal, y en el caso de las estrellas de rock más destacadas, como Mike Jagger, la apariencia física no parece tener importancia.

Durante el cortejo sexual, los animales suelen publicitar la calidad de sus genes, su cuerpo y su mente con el fin de atraer a la mejor pareja posible. Muchas conductas específicamente humanas (como la conversación, la música, la habilidad artística y el humor) deben haberse desarrollado a lo largo de la evolución para publicitar sobre todo la inteligencia durante el

cortejo. Miller indica que en las condiciones que debieron de existir a lo largo de la mayor parte de nuestra historia evolutiva, en que música y baile estaban completamente entrelazados, la habilidad para ambos debía de ser indicativa de aptitud sexual en dos frentes. Primero, cualquiera que fuese capaz de cantar y bailar estaba publicitando ante parejas potenciales su resistencia y su buena salud global, física y mental. En segundo lugar, todo el que se convirtiese en un experto o destacase en música y danza estaba publicitando que tenía alimento suficiente y un refugio lo bastante sólido para poder permitirse derrochar un tiempo valioso desarrollando una habilidad absolutamente innecesaria. Éste es el argumento de la bella cola del pavo real: el tamaño de la cola está correlacionado con la edad del animal, su salud y su buena condición física general. La cola colorista indica que el saludable pavo real tiene metabolismo para desperdiciar, que es tan apto, tan equilibrado, tan sano en términos de recursos que tiene de sobra y puede dedicar una parte a algo que sólo sirve para fines estéticos y de exhibición.

En la sociedad contemporánea, vemos que sucede esto con la gente rica que construye casas suntuosas o conduce coches de cientos de miles de dólares. El mensaje de la selección natural es claro: elígeme. Tengo tantos alimentos y tantos recursos que puedo permitirme derrocharlos en esos artículos de lujo. No es ninguna casualidad que muchos hombres que viven en el nivel de pobreza o cerca de él en Estados Unidos se compren Cadillacs y Lincolns viejos, unos vehículos de estatus elevado que no son prácticos pero que indican inconscientemente la aptitud sexual de su propietario. Esto puede considerarse también el *bling*, la tendencia de los hombres a llevar joyas ostentosas. Que esa ansia y esa adquisición de coches y de joyas alcance su punto culminante en los hombres durante la adolescencia, cuando mayor es su potencia sexual, apoya la teoría. Hacer música, dado que exige una serie de habilidades físicas y mentales, sería un despliegue claro de salud, y tener tiempo para desarrollar esa habilidad musical, se argumenta, indicaría abundancia de recursos.

En la sociedad contemporánea, el interés por la música alcanza también su punto culminante durante la adolescencia, lo que subraya más los aspectos de selección sexual de la música. Hay muchos más jóvenes de diecinueve años formando bandas e intentando introducirse en música nueva que

hombres de cuarenta, aunque los de cuarenta hayan tenido más tiempo para desarrollar su habilidad musical y sus preferencias. «La música se desarrolló evolutivamente y sigue funcionando como un despliegue del cortejo, que exhiben sobre todo los machos jóvenes para atraer a las hembras», argumenta Miller.

La música como exhibición de aptitud sexual no es una idea tan descabellada si tenemos en cuenta la forma que adoptaba la caza en algunas sociedades de cazadores-recolectores. Algunos protohumanos confiaban para la caza en la persistencia: arrojar lanzas, piedras y otros proyectiles contra su presa y luego perseguirla durante horas hasta que se desplomaba por las heridas y el agotamiento. Si el baile en las antiguas sociedades de cazadores-recolectores se parecía a lo que observamos en las contemporáneas, se prolongaba característicamente muchas horas y exigía por ello un gran esfuerzo aeróbico. Como exhibición de la aptitud de un varón para participar en una cacería o dirigirla, ese baile tribal sería un magnífico indicador. La mayoría de los bailes tribales incluyen alzar mucho los pies, pisar fuerte y saltar utilizando los músculos más grandes y más ávidos de energía del cuerpo. Hoy sabemos que muchas enfermedades mentales minan la habilidad para bailar o para moverse rítmicamente (la esquizofrenia y el Parkinson, por nombrar sólo dos), y así el tipo de música y baile rítmicos que ha caracterizado a la mayor parte de la música a lo largo de los siglos sirve como garantía de aptitud física y mental, e incluso quizá como garantía de habilidad y aplicación (porque, como vimos en el capítulo 7, para ser un experto hace falta un tipo determinado de concentración mental).

Otra posibilidad es que la evolución seleccionase la creatividad en general como un indicador de aptitud sexual. La improvisación y lo novedoso en una sesión conjunta de música y danza indicaría la flexibilidad cognitiva del bailarín, mostrando su potencial para la astucia y la estrategia en la caza. La riqueza material de un pretendiente masculino ha sido considerada desde hace mucho tiempo uno de los atractivos más convincentes para las mujeres, que suponen que aumentará la probabilidad de que sus hijos dispongan de protección, cobijo y alimento abundantes. (Los ricos pueden conseguir más protección porque pueden solicitar el apoyo de otros miembros de la comunidad a cambio de alimentos o de muestras simbólicas de riqueza como

las joyas o el dinero.) Si la riqueza fuese lo decisivo en el juego del cortejo, la música parecería relativamente intrascendente. Pero Miller y su colega Martie Haselton, de la Universidad de California, en Los Ángeles, han demostrado que la creatividad derrota a la riqueza, al menos en las hembras humanas. Su hipótesis es que mientras que la riqueza predice que tendremos un buen papá (para la crianza de los niños), la creatividad predice mejor quién proporcionará los mejores genes (para engendrar hijos).

En un inteligente estudio, se preguntó a mujeres en diversas etapas de su ciclo menstrual (unas durante su punto culminante de fertilidad, otras en el punto mínimo y otras en un punto intermedio) que valorasen el atractivo de parejas potenciales basándose en viñetas escritas que describían a varones ficticios. Una viñeta típica describía a un hombre que era un artista, y que mostraba una gran inteligencia creadora en su trabajo, pero que era pobre debido a la mala suerte. Una viñeta alternativa describía a un hombre que tenía una inteligencia creadora media, pero que era rico debido a la buena suerte. Todas las viñetas estaban diseñadas para dejar claro que la creatividad de cada hombre estaba en función de sus rasgos y atributos (y era por tanto endógena, genética y heredable) mientras la situación económica de cada hombre era mayoritariamente accidental (y por tanto exógena y no heredable).

Los resultados mostraron que cuando las mujeres estaban en el punto culminante de su fertilidad, preferían al artista creativo pero pobre en vez del hombre rico pero no creativo como pareja a corto plazo, o en un breve intercambio sexual. En otros períodos de su ciclo las mujeres no mostraban esas preferencias. Es importante tener en cuenta que las preferencias están en gran medida incorporadas y no son fácilmente dominables a través de cogniciones conscientes; el hecho de que las mujeres puedan hoy evitar el embarazo mediante un método de control de la natalidad casi infalible es algo demasiado reciente en nuestra especie como para que pueda influir en las preferencias innatas. Los hombres (y las mujeres) que podrían ser los mejores cuidadores no son necesariamente los que pueden aportar los mejores genes para los vástagos potenciales. La gente no siempre se casa con aquellos candidatos que les atraen más sexualmente, y el cincuenta por ciento de las personas de ambos sexos afirman que tienen aventuras extramaritales. Son

muchas más las mujeres que quieren acostarse con estrellas de rock y atletas que las que quieren casarse con ellos. En suma, los mejores padres (en el sentido biológico) no siempre son los mejores papás (para la crianza de los niños). Esto puede explicar por qué, según un reciente estudio europeo, el diez por ciento de las madres dice que sus hijos estaban siendo criados por hombres que creían falsamente que los niños eran suyos. Aunque hoy la reproducción pueda no ser el motivo, es difícil separar nuestras preferencias innatas, derivadas del proceso evolutivo en la elección de pareja para el apareamiento, de nuestros gustos en cuanto a pareja sexual social y culturalmente condicionados.

Para el musicólogo David Huron, de Ohio State, la cuestión clave para la base evolutiva es qué ventaja podría atribuirse a individuos que exhiben conductas musicales, frente a aquellos que no lo hacen. Si la música es una conducta anómala optativa en la que sólo se busca el placer (el argumento de la tarta de queso auditiva) sería lógico pensar que no habría durado mucho en la historia de la evolución. «Los consumidores de heroína —escribe Huron— tienden a descuidar su salud y es sabido que tienen elevados índices de mortalidad. Además, no son buenos padres; tienden a despreocuparse de sus hijos.» Que uno no cuide de la salud propia y la salud de sus hijos es un medio infalible de reducir la probabilidad de que los propios genes pasen a las generaciones futuras. En primer lugar, si la música fuese no adaptativa, los amantes de la música deberían hallarse en cierta desventaja evolutiva o de supervivencia. En segundo lugar, la música no debería haber durado mucho tiempo. Es improbable que cualquier actividad con un valor adaptativo pequeño se practique durante mucho tiempo en la historia de la especie, o que ocupe una porción significativa del tiempo y de las energías de un individuo.

Todas las pruebas de que disponemos nos indican que la música no puede ser sólo tarta de queso auditiva; ha acompañado durante muchísimo tiempo a la especie. Los instrumentos musicales figuran entre los artefactos más antiguos fabricados por el hombre que se han encontrado. La flauta de hueso eslovena, fechada hace cincuenta mil años, hecha con el fémur de un oso europeo ya extinto, es un excelente ejemplo. La música precede a la agricultura en la historia de la especie. Podemos decir, como mínimo, que no hay ninguna prueba tangible de que el lenguaje precediese a la música. De

hecho, las pruebas materiales sugieren lo contrario. La música es sin duda alguna más antigua que esa flauta de hueso de hace cincuenta mil años, porque no es verosímil que las flautas fuesen los primeros instrumentos. Es probable que diversos instrumentos de percusión, entre los que se incluyen los tambores, las maracas y las sonajas, se utilizasen miles de años antes que las flautas: lo comprobamos en las sociedades contemporáneas de cazadores-recolectores y en las descripciones de los invasores europeos que informaron de lo que encontraron en las culturas americanas nativas. El registro arqueológico muestra una presencia ininterrumpida de creación de música en todas las zonas en las que encontramos humanos, y en todas las épocas. Y, por supuesto, también el canto precedió probablemente a las flautas.

Repitiendo el principio sumario de la biología evolutiva: «Las mutaciones genéticas que aumentan la probabilidad de que uno viva lo suficiente para reproducirse se convierten en adaptaciones». Según los mejores cálculos hace falta un mínimo de cincuenta mil años para que aparezca en el genoma humano una adaptación. A esto se le llama lapso evolutivo: el lapso temporal entre la primera aparición de una adaptación en una pequeña proporción de individuos y el momento en que pasa a distribuirse ampliamente en la población. Cuando los genetistas conductistas y los psicólogos evolucionistas buscan una explicación evolutiva a nuestras conductas o nuestra apariencia, consideran qué problema evolutivo se estaba intentando resolver con la adaptación en cuestión. Pero debido al lapso evolutivo, la adaptación en cuestión habría sido una reacción a esas condiciones tal como eran cincuenta mil años atrás, no como son hoy. Nuestros ancestros cazadores-recolectores tenían un estilo de vida muy diferente al de cualquiera que esté leyendo este libro, con presiones y prioridades diferentes. Muchos de los problemas a los que nos enfrentamos hoy (cánceres, enfermedades cardíacas, tal vez incluso la elevada tasa de divorcios) han venido a atormentarnos porque nuestros cuerpos y nuestros cerebros estaban diseñados para manejar la vida de la forma que era para nosotros hace cincuenta mil años. Dentro de cincuenta mil años, en 52.006 (milenio más o menos), nuestra especie tal vez haya evolucionado por fin para manejar la vida tal como es ahora, con ciudades superpobladas, contaminación del aire y del agua, videojuegos, poliéster, donuts glaseados y un gran desequilibrio mundial en la distribución de

recursos. Podemos desarrollar evolutivamente mecanismos mentales que nos permitan vivir unos al lado de otros sin sentir una pérdida de intimidad, y mecanismos fisiológicos para procesar monóxido de carbono, desechos radiactivos y azúcar refinado, y podemos aprender a utilizar recursos que hoy son inutilizables.

Cuando preguntamos por la base evolutiva de la música, no sirve de nada pensar en Britney o en Bach. Tenemos que pensar en cómo era la música hace unos cincuenta mil años. Los instrumentos recuperados en los yacimientos arqueológicos pueden ayudarnos a entender lo que utilizaban nuestros ancestros para hacer música, y qué tipos de melodías escuchaban. Las pinturas de las cuevas, sobre cerámica de gres y otros restos históricos pueden explicarnos algo del papel que tenía la música en la vida cotidiana. Podemos estudiar también sociedades contemporáneas que han estado aisladas de la civilización tal como la conocemos, grupos de gentes que viven como cazadores-recolectores y que se han mantenido invariables durante miles de años. Un descubrimiento sorprendente es que en todas las sociedades de las que tenemos noticia, la música y la danza son inseparables.

Los argumentos contra la música como una adaptación la consideran sólo un sonido desencarnado y, además, algo interpretado por una clase experta para un público. Pero la música se ha convertido en una actividad de espectador sólo en los últimos quinientos años: la idea de un concierto musical en el que una clase de «expertos» actuaba para una audiencia apreciativa es algo completamente desconocido a lo largo de nuestra historia como especie. Y sólo en los últimos cien años se han minimizado los vínculos entre el sonido musical y el movimiento humano. El carácter de la música como algo vinculado al cuerpo, el carácter indivisible de movimiento y sonido, escribe el antropólogo John Blacking, caracteriza a la música a través de las culturas y a través de las épocas. La mayoría de nosotros nos quedaríamos estupefactos si los miembros del público de un concierto sinfónico se levantaran de sus sillas y empezaran a batir palmas, a gritar, a armar jaleo y a bailar, como es de rigor en un concierto de James Brown. Pero la reacción a James Brown está sin duda alguna más próxima a nuestra verdadera naturaleza. Esa reacción de escuchar de forma respetuosa, en la que la música se ha convertido en una experiencia absolutamente cerebral

(hasta las emociones de la música han de sentirse, en la tradición clásica, interiormente y no deben causar ningún arrebató físico) es contraria a nuestra historia evolutiva. Los niños muestran a menudo la reacción que se corresponde con nuestra auténtica naturaleza: se mueven y gritan y participan en general cuando sienten ganas de hacerlo, incluso en conciertos de música clásica. Hay que educarles para que se comporten «civilizadamente».

Cuando una conducta o un rasgo está ampliamente distribuido entre los miembros de una especie, consideramos que está codificado en el genoma (de forma independiente de si fue una adaptación o una enjuta). Blacking dice que la distribución universal de la habilidad para hacer música en las sociedades africanas parece indicar que «la habilidad musical [es] una característica general de la especie humana, más que un raro talento». Más importante aún, Cross escribe que «la habilidad musical no se puede definir sólo en términos de competencia productiva»; casi todos los miembros de nuestra sociedad son capaces de escuchar música y por tanto de entenderla.

Aparte de esos factores sobre la ubicuidad, la historia y la anatomía de la música, es importante comprender cómo y por qué se seleccionó la música. Darwin propuso la hipótesis de la selección sexual, que ha sido expuesta más recientemente por Miller y otros. Se han alegado también posibilidades adicionales. Una es la vinculación y cohesión social. Interpretar música de forma colectiva puede fomentar conexiones sociales: los humanos son animales sociales y la música puede haber servido históricamente para fomentar sentimientos de unidad y sincronía del grupo y haber sido un ejercicio para otros actos sociales como las conductas de turnarse para hablar. Cantar alrededor del antiguo fuego de campamento podría haber sido un medio de mantenerse despierto, de protegerse de los predadores y de desarrollar coordinación social y cooperación dentro del grupo. Los humanos necesitan vínculos sociales para hacer funcionar la sociedad, y la música es uno de ellos.

Una vía intrigante de investigación a partir de la música como medio de vinculación social es la relacionada con mi trabajo junto a Ursula Bellugi con afectados por trastornos mentales como el síndrome de Williams (SW) y por los trastornos del espectro del autismo (ASD, según sus siglas en inglés). Como vimos en el capítulo 6, el síndrome de Williams tiene origen genético

y provoca un desarrollo cognitivo y neuronal anormal, que tiene como consecuencia una discapacidad intelectual. A pesar de su discapacidad mental general, los afectados por el síndrome de Williams son muy sensibles a la música y muy sociables.

Contrastan con ellos los que padecen trastornos del espectro del autismo, muchos de los cuales sufren también discapacidad intelectual. Sigue siendo un tema controvertido si los trastornos de este género tienen o no una base genética. Un indicador de los trastornos del espectro del autismo es la incapacidad para identificarse con los demás, para entender las emociones o la comunicación emotiva, sobre todo las emociones de los otros. Los que los padecen sin duda se pueden mostrar furiosos y alterados, no son robots. Pero su capacidad para «leer» las emociones de los demás está significativamente perturbada, lo que se extiende de forma característica a una incapacidad total para apreciar las cualidades estéticas del arte y de la música. Aunque algunas personas con trastornos del espectro de autismo interpretan música y algunas han llegado a un alto nivel de pericia técnica, la música no les conmueve emotivamente. Las pruebas preliminares y sobre todo anecdóticas indican más bien que lo que les atrae es la estructura de la música. Temple Grandin, una profesora que es autista, ha escrito que la música le parece «bonita» pero que en general, simplemente «no la capta» y no entiende por qué la gente reacciona con ella como lo hace.

El síndrome de Williams y los trastornos del espectro del autismo son dos síndromes complementarios. Por una parte tenemos una población que es sumamente sociable, gregaria y muy musical. Por la otra, una población antisocial y poco musical. El supuesto vínculo entre música y cohesión social lo refuerzan casos complementarios como éstos, lo que los neurocientíficos llaman una doble disociación. El argumento es que tiene que haber un conjunto de genes que influye tanto en la extroversión como en la musicalidad. Si esto fuese cierto, podría esperarse que las desviaciones en una habilidad coincidieran con desviaciones en la otra, como vemos en el síndrome de Williams y los desórdenes del espectro del autismo.

Los cerebros de los afectados por el síndrome de Williams y por los desórdenes del espectro del autismo revelan también, como podría esperarse, discapacidades complementarias. Allan Reiss ha demostrado que el

neocerebelo, la parte más reciente del cerebelo, es mayor de lo normal en las personas con síndrome de Williams y más pequeño de lo normal en las que padecen trastornos del espectro del autismo. Esto no es sorprendente, si tenemos en cuenta lo que ya sabemos sobre el importante papel que juega el cerebelo en la cognición musical. Parece haber alguna anomalía genética todavía no identificada que causa, directa o indirectamente, la dismorfología neuronal del síndrome de Williams, y suponemos que también la de los trastornos del espectro del autismo. Esto conduce, a su vez, a un desarrollo anormal de las conductas musicales, que en un caso se potencian y en el otro se reducen.

Debido al carácter complejo e interactivo de los genes, es seguro que hay otras correlaciones genéticas de la sociabilidad y la musicalidad que van más allá del cerebelo. La genetista Julie Korenberg ha propuesto la existencia de un conjunto de genes relacionados con la extroversión o la introversión, y que los afectados por el síndrome de Williams carecerían de algunos de los genes inhibidores normales que tenemos todos los demás, lo que haría sus conductas musicales más desinhibidas; durante toda una década en informes anecdóticos basados en relatos en el noticiario *60 Minutes* de la CBS, en una película narrada por Oliver Sacks sobre Williams y en una gran cantidad de artículos de prensa, se ha asegurado que las personas que padecen el síndrome de Williams se vinculan más a la música, y están más inmersos en ella que la mayoría de la gente. Mi propio laboratorio ha aportado pruebas neuronales sobre este hecho. Hicimos escáners cerebrales a afectados por el síndrome de Williams después de que oyesen música y descubrimos que estaban utilizando un conjunto de estructuras neurales muchísimo mayor que el que usan todos los demás. La activación de la amígdala y del cerebelo (los centros emotivos del cerebro) era significativamente más fuerte que en las personas sin síndrome. Había dondequiera que mirábamos una activación neuronal más intensa y más ampliamente difundida. Sus cerebros zumbaban.

Un tercer argumento en favor de la primacía de la música en la evolución humana (y protohumana) es que la música se desarrolló evolutivamente porque fomentaba el desarrollo cognitivo. La música pudo ser la actividad que preparó a nuestros ancestros prehumanos para la comunicación verbal y

para la propia flexibilidad cognitiva y de representación necesaria para convertirse en humanos. El canto y las actividades instrumentales podrían haber ayudado a nuestra especie a perfeccionar habilidades motrices, preparando el camino para el desarrollo del control muscular exquisitamente delicado que se necesita para el lenguaje vocal o de señas. Como la música es una actividad compleja, Trehub opina que puede ayudar a preparar al niño de pecho, en proceso de desarrollo, para su vida mental futura. Comparte muchos de los rasgos del lenguaje y puede establecer un medio de «practicar» la percepción del lenguaje en un marco diferenciado. Ningún ser humano ha aprendido nunca el lenguaje por memorización. Los bebés no se limitan a memorizar cada palabra y cada frase que han oído; aprenden más bien reglas y las aplican para la percepción y la generación de nuevo lenguaje. Hay dos pruebas de lo anterior, una empírica y otra lógica. La prueba empírica procede de lo que los lingüistas llaman sobreextensión: los niños que están aprendiendo las reglas del lenguaje las aplican a menudo de forma lógica pero incorrecta. Donde se ve más claro esto es en el caso de la conjugación los verbos irregulares. El cerebro en desarrollo se apresta a establecer nuevas conexiones neuronales y a podar otras viejas que ya no son útiles o no son exactas, y su misión es asentar las reglas en la medida de lo posible. Por eso oímos a los niños pequeños decir «No lo he hecho», en vez de «No lo he hecho». Están aplicando una regla lógica: en la mayoría de los verbos cuyo infinitivo termina en *er* el participio termina en *-ido*: *nacer/nacido*, *beber/bebido*, *tejer/tejido*. Una aplicación razonable de la regla conduce a sobreextensiones como esa. De hecho, es más probable que cometan estos errores los niños más inteligentes y que los cometan antes en el curso de su desarrollo, porque tienen un sistema generador de reglas más perfeccionado. Como son muchísimos los niños que cometen esos errores lingüísticos y pocos los adultos que lo hacen, el hecho demuestra que los niños no están simplemente remedando lo que oyen, sino que sus cerebros están desarrollando teorías y reglas sobre lenguaje que ellos luego aplican.

La segunda prueba de que los niños no se limitan a memorizar el lenguaje es lógica: todos nosotros decimos frases que no hemos oído nunca. Podemos formar un número infinito de frases para expresar pensamientos e ideas que no hemos expresado antes ni hemos oído expresar: es decir, el lenguaje es

generativo. Los niños deben aprender las reglas gramaticales generando frases únicas para convertirse en hablantes competentes de su idioma. Un ejemplo trivial de que el número de frases del lenguaje humano es infinito es que a cada frase que me digas, siempre puedo añadirle al principio «no creo» y hacer una frase nueva. «Me gusta la cerveza» se convierte en «no creo que me guste la cerveza». «Mary dice que le gusta la cerveza» se convierte en «no creo que Mary diga que le gusta la cerveza». Hasta «no creo que Mary diga que le gusta la cerveza» se convierte en «no creo que no crea que Mary diga que le gusta la cerveza». Aunque una frase como ésta es torpe, eso no altera el hecho de que expresa una nueva idea. Al ser el lenguaje generativo, los niños no pueden aprenderlo de memoria. La música también es generativa. A cada frase musical que oigo, siempre puedo añadirle una nota al principio, al final o en medio y generar una frase musical nueva.

Cosmides y Tooby sostienen que la función de la música en el niño en desarrollo es ayudar a preparar su mente para una serie de actividades sociales y cognitivas complejas, ejercitando el cerebro de manera que esté preparado para las exigencias que le plantean el lenguaje y la interacción social. El hecho de que la música carezca de referentes específicos la convierte en un sistema simbólico seguro para expresar estados de ánimo y sentimientos sin que haya confrontación. El procesamiento de la música ayuda a los niños pequeños a prepararse para el lenguaje; debe disponer el camino para la prosodia lingüística, antes incluso de que el cerebro en desarrollo del niño esté en condiciones de procesar la fonética. El desarrollo de la música opera como una forma de juego, un ejercicio que invoca procesos integradores de nivel más elevado que alimentan la competencia exploratoria, preparando al niño para explorar cuando llegue el momento el desarrollo de lenguaje generativo a través del balbuceo y finalmente de manifestaciones lingüísticas y paralingüísticas más complejas.

Las interacciones madre-niño que incluyen la música casi siempre entrañan canto y movimiento rítmico, como cuando la madre acuna al bebé o lo acaricia. Esto parece ser común a todas las culturas. Durante más o menos los primeros seis meses de vida, como mostré en el capítulo 7, el cerebro del niño es incapaz de distinguir con claridad la fuente de las impresiones sensoriales; la visión, el oído y el tacto se mezclan en una representación

perceptiva unitaria. Las regiones del cerebro que acaban convirtiéndose en el córtex auditivo, el córtex sensorial y el córtex visual están indiferenciadas funcionalmente y las impresiones que reciben los diversos receptores sensoriales deben conectarse a muchas partes distintas del cerebro, hasta que se produzca la poda en una época posterior de la vida. Según la descripción de Simon Baron-Cohen, el niño, con toda esta charla sensorial cruzada, vive en un estado de pleno esplendor psicodélico (sin la ayuda de drogas).

Cross reconoce de forma explícita que en lo que la música se ha convertido hoy con la influencia de la época y de la cultura, no es necesariamente lo que era hace cincuenta mil años, ni debería esperarse que lo fuese. Pero un análisis del carácter de la música antigua explica por qué a tantos nos conmueve literalmente el ritmo; según casi todas las referencias la música de nuestros remotos ancestros era muy rítmica. El ritmo agita el cuerpo. La tonalidad y la melodía agitan el cerebro. La agrupación de ritmo y melodía tiende un puente entre el cerebelo (el control motriz, el pequeño cerebro primitivo) y el córtex central (la parte más evolucionada y más humana del cerebro). Así es como el *Bolero* de Ravel, «Koko» de Charlie Parker o «Honky Tonk Women» de los Rolling Stones nos inspiran y nos conmueven, tanto metafórica como físicamente, con exquisitas uniones de compás y espacio melódico. Por eso el rock, el heavy metal y el hip-hop son los géneros musicales más populares del mundo, y lo han sido durante los últimos veinte años. Mitch Miller, el cazatalentos jefe de Columbia Records, dijo en una frase célebre que el rock and roll era una moda que pronto moriría. Hoy, en 2006, no hay indicio alguno de que su popularidad disminuya. Ya no se compone música clásica, tal como la mayoría de nosotros la concebimos (es decir, desde 1575 a 1959, desde Monteverdi a Bach a Stravinsky, Rachmaninoff y demás). Los compositores contemporáneos de los conservatorios de música no componen ya ese tipo de música como norma, sino que escriben más bien lo que muchos denominan música de arte del siglo XX (ahora del siglo XXI). Y tenemos así a Philip Glass y John Cage y compositores más recientes y menos conocidos cuya música raras veces interpretan nuestras orquestas sinfónicas. Cuando Copeland y Bernstein componían, las orquestas interpretaban sus obras y el público las disfrutaba. Esto ha ido sucediendo cada vez menos en los últimos

cuarenta años. La música «clásica» contemporánea se practica primordialmente en las universidades; no la escucha casi nadie; deconstruye la armonía, la melodía y el ritmo, haciéndolos casi irreconocibles; es un ejercicio puramente intelectual y, salvo alguna rara compañía de ballet de vanguardia, tampoco la baila nadie.

Un cuarto argumento en apoyo de la música como adaptación nos lo aportan otras especies. Si podemos demostrar que otras especies utilizan la música con fines similares, tal hecho constituye un firme argumento evolutivo. Pero es especialmente importante no antropomorfizar conductas animales, interpretándolas sólo desde nuestra perspectiva cultural. Lo que a nosotros nos suena como música o como una canción puede tener para los animales una función muy diferente de la que tiene para nosotros. Cuando vemos que un perro se echa a rodar en la hierba fresca en verano, con una cara de satisfacción perruna, pensamos: «Qué contento está *Spike*». Estamos interpretando su conducta de acuerdo con lo que sabemos de nuestra especie, sin pararnos a considerar que podría significar algo distinto para *Spike* y para la suya. Los niños humanos se echan a rodar en la hierba, dan volteretas y hacen cabriolas cuando están contentos. Los perros se echan a rodar en la hierba cuando descubren en ella un olor particularmente acre, con preferencia de un animal que haya muerto hace poco, y cubren su piel con ese olor para que los otros perros piensen que son unos magníficos cazadores. El canto de un pájaro puede parecernos asimismo muy alegre, pero puede que el cantor no se propusiese dar esa impresión ni sea así como lo interpreta el pájaro que lo escuche.

Sin embargo, de todas las llamadas de otras especies, el canto de los pájaros ocupa una posición especial debido a lo que nos sobrecoge e intriga. ¿Quién no ha oído el canto de un pájaro una mañana de primavera y le ha parecido cautivadora su belleza, su melodía, su estructura? Aristóteles y Mozart figuran entre los que sintieron esa sensación; consideraron que los cantos de los pájaros eran tan musicales como las composiciones de los humanos. Pero ¿por qué escribimos o interpretamos música? ¿Son nuestras motivaciones diferentes de las de los animales?

Las aves, las ballenas, los gibones, las ranas y otras especies utilizan vocalizaciones con diversos propósitos. Los chimpancés y los perrillos de la

pradera tienen llamadas de alerta para avisar a sus semejantes de que se aproxima un predador, y las llamadas son específicas para ese predador. Los chimpancés utilizan una vocalización para indicar que se aproxima un águila (alertando a sus camaradas primates para que se oculten debajo de algo) y otra para comunicar la incursión de una serpiente (alertando a sus amigos para que se suban a un árbol). Los machos de las aves utilizan sus vocalizaciones para establecer territorio; los petirrojos y los cuervos reservan una llamada especial para avisar de predadores como perros y gatos.

Otras vocalizaciones animales están más claramente relacionadas con el cortejo. Entre los pájaros cantores, es generalmente el macho de la especie el que canta, y en algunas especies cuanto más grande es el repertorio más probable es que atraiga a una hembra. Sí, para las hembras de pájaros cantores, el tamaño importa; es indicativo del intelecto del macho y, por tanto, de una fuente de genes potencialmente buenos. Esto se demostró en un estudio que emitió por altavoces diferentes cantos dirigidos a pájaros hembra. Estas ovulaban más rápidamente con un repertorio más grande de cantos que en presencia de uno pequeño. Algunos machos de pájaros cantores son capaces de continuar con su canto de cortejo hasta caer muertos de agotamiento. Los lingüistas señalan el carácter generativo de la música humana, la capacidad que tenemos de crear nuevas canciones a partir de sus elementos componentes de una forma casi ilimitada. Ése no es tampoco un rasgo exclusivamente humano. Varias especies de aves generan sus canciones partiendo de un repertorio de sonidos básicos, y componen nuevas melodías y variaciones sobre ellas, y el macho que canta los cantos más elaborados es en general el que tiene más éxito en el apareamiento. La función de la música en la selección sexual tiene así un análogo en otras especies.

El origen evolutivo de la música está demostrado porque está presente en todos los humanos (cumpliendo el criterio de los biólogos de estar extendido en la especie); lleva presente mucho tiempo (lo que refuta la idea de que es sólo tarta de queso auditiva); involucra estructuras cerebrales especializadas, incluyendo sistemas mnemotécnicos asignados que pueden seguir siendo funcionales cuando otros sistemas mnemotécnicos fallan (cuando un sistema cerebral físico se desarrolla en todos los humanos, consideramos que tiene una base evolutiva), y es análoga a la música que hacen otras especies. Las

secuencias rítmicas excitan óptimamente redes neuronales recurrentes en los cerebros de los mamíferos, incluyendo circuitos retroalimentados entre el córtex motriz, el cerebelo y las regiones frontales. Los sistemas tonales, las transiciones de altura y los acordes se apoyan sobre ciertas propiedades del sistema auditivo que son producto a su vez del mundo físico, de la naturaleza intrínseca de los objetos vibratorios. El sistema auditivo se desarrolló de formas que se apoyan en la relación entre escalas y series armónicas. La novedad musical atrae la atención y vence el aburrimiento, lo que la hace más recordable.

El descubrimiento del gen, sobre todo el descubrimiento de la estructura del ADN por Watson y Crick, revolucionó la teoría de la selección natural de Darwin. Tal vez seamos testigos de otra revolución en el aspecto de la evolución que se basa en la conducta social, en la cultura.

Es indudable que uno de los descubrimientos más citados en neurociencia en los últimos veinte años fue el de neuronas especulares en el cerebro primate. Giacomo Rizzolatti, Leonardo Fogassi y Vittorio Gallese estaban estudiando los mecanismos cerebrales responsables de movimientos como extender el brazo y asir en los monos. Leyeron el producto de una sola neurona en el cerebro del mono cuando extendía la mano para coger trozos de comida. En determinado momento, Fogassi fue a coger un plátano y la neurona del mono (una que había sido asociada ya con el movimiento) empezó a activarse. «¿Cómo pudo pasar eso si el mono no se movió?», recuerda Rizzolatti que pensó. «Al principio creímos que era un fallo de nuestra medición o tal vez un fallo del equipo, pero lo comprobamos y todo estaba bien, y la reacción se repitió cuando repetimos el movimiento.» Una década de trabajo ha demostrado después que los primates, como las aves y los humanos, tienen neuronas especulares, neuronas que se activan cuando realizan una acción y cuando observan que algún otro está realizando esa acción.

La finalidad de las neuronas especulares parece ser adiestrar y preparar el organismo para hacer movimientos que no ha hecho antes. Hemos encontrado neuronas especulares en el área de Broca, una parte del cerebro íntimamente relacionada con el lenguaje y el aprendizaje del habla. Las neuronas

especulares pueden explicar un viejo misterio, el de cómo aprenden los niños pequeños a imitar las muecas que les hacen sus padres. Pueden también explicar por qué el ritmo musical nos conmueve, tanto emotiva como físicamente. No tenemos aún pruebas sólidas, pero algunos neurocientíficos piensan que nuestras neuronas especulares pueden activarse cuando vemos y oímos actuar a los músicos, mientras el cerebro intenta adivinar cómo se están creando esos sonidos, como preparación para poder reflejarlos o repetirlos como parte de un sistema de señales. Muchos músicos pueden repetir una pieza musical en sus instrumentos después de haberla oído sólo una vez. Es probable que las neuronas especulares colaboren en esta habilidad.

Los genes son los que transmiten las recetas de la proteína entre los individuos y a través de las generaciones. Tal vez las neuronas especulares, ahora junto con las partituras, los CD y los iPod resultarán ser los mensajeros fundamentales de la música a través de individuos y generaciones, permitiendo ese tipo especial de evolución (la evolución cultural) por medio de la cual se desarrollan las creencias, las obsesiones y todo el arte.

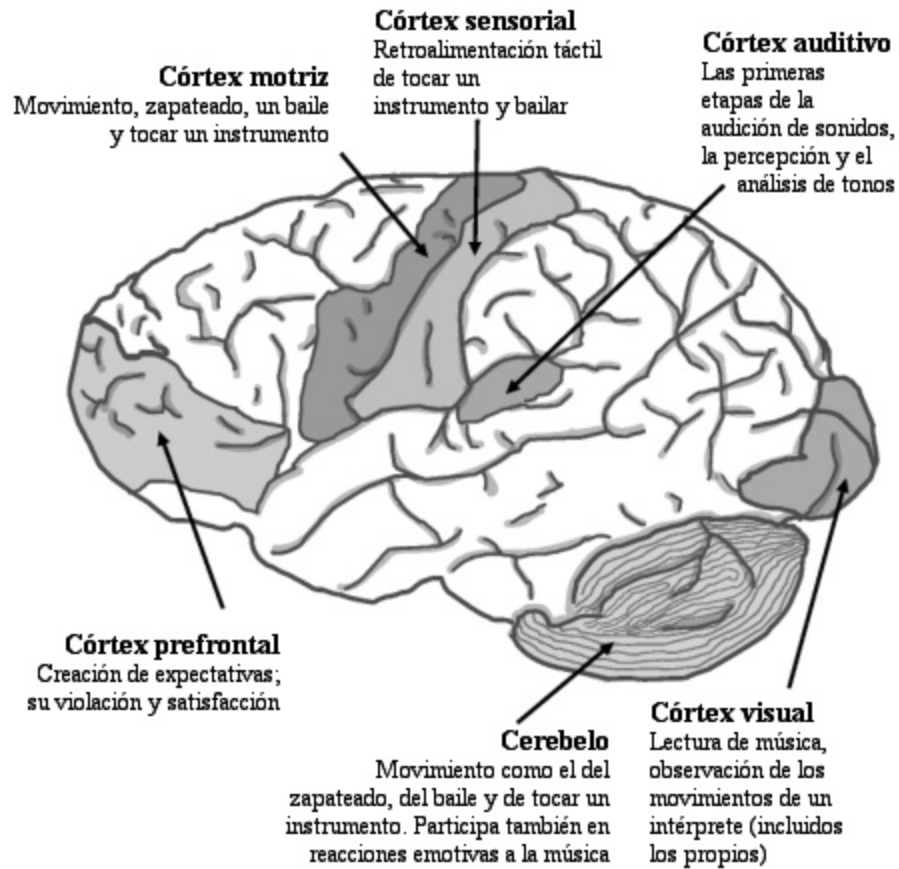
Para muchas especies solitarias la capacidad de ritualizar ciertos indicios de una buena forma física en un despliegue de cortejo tiene sentido, ya que los miembros de una pareja potencial sólo pueden verse durante unos minutos. Pero en sociedades sumamente sociales como las nuestras, ¿qué necesidad podría haber de indicar una buena forma física a través de medios tan sumamente estilizados y simbólicos como el baile y el canto? Los humanos viven en grupos sociales y tienen numerosas oportunidades de observarse en una diversidad de situaciones y durante largos períodos de tiempo. ¿Por qué iba a ser necesaria la música para mostrar aptitud? Los primates son sumamente sociables, viven en grupos y establecen complejas relaciones a largo plazo que incluyen estrategias sociales. El cortejo homínido probablemente fuese una relación a largo plazo. La música, especialmente la música recordable, se insinuaría en la mente de una pareja potencial, llevándola a pensar en su pretendiente incluso cuando él estuviese fuera en una larga cacería y predisponiéndola hacia él cuando volviese. Los múltiples vínculos reforzadores de una buena canción (ritmo, melodía, contorno) hacen que la música se nos quede en la cabeza. Ésa es la razón de

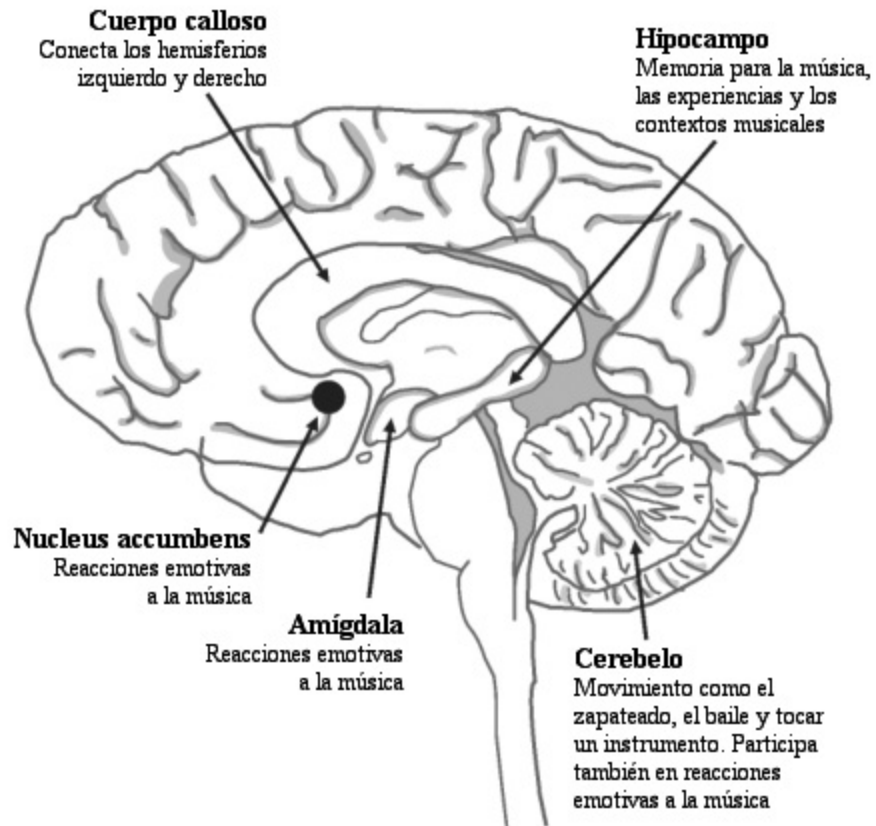
que a muchos mitos antiguos y epopeyas e incluso al Antiguo Testamento se les pusiese música con vistas a transmitirlos por tradición oral a lo largo de las generaciones. Como instrumento de activación de pensamientos específicos, la música no es tan buena como el lenguaje. Como un instrumento para despertar sentimientos y emociones, la música es mejor que el lenguaje. La combinación de ambos (en su mejor ejemplo, la canción de amor) es el mejor de todos los ceremoniales del cortejo.

APÉNDICE A

TU CEREBRO Y LA MÚSICA

El procesamiento de la música está distribuido por todo el cerebro. Las figuras de las dos páginas siguientes muestran los principales centros computacionales del cerebro para la música. La primera ilustración es una vista lateral del cerebro. La parte frontal del cerebro está a la izquierda. La segunda ilustración muestra el interior del cerebro desde el mismo punto de vista que la primera ilustración. Estas figuras se basan en ilustraciones de Mark Tramo publicadas en *Science* en 2001, pero se han redibujado y se ha incluido información más reciente.





APÉNDICE B

ACORDES Y ARMONÍA

Dentro de la tonalidad de do, los únicos acordes legales son acordes contruidos fuera de las notas de la escala en do mayor. Esto hace que algunos acordes sean mayores y algunos menores, debido al espadamiento desigual de tonos en la escala. Para construir el acorde de tres notas estándar (un acorde triádico) empezamos con cualquiera de las notas de la escala en do mayor, saltamos una, y luego utilizamos la siguiente, luego volvemos a saltar una y utilizamos la siguiente a ésta. El primer acorde en do mayor, pues, viene de las notas do-mi-sol, y debido a que el primer intervalo formado, entre do y mi, es una tercera mayor, llamamos a este acorde un acorde mayor, y en particular un acorde de do mayor. El siguiente lo construimos de forma similar y está compuesto por re-fa-la. Como el intervalo entre re y fa es una tercera menor, este acorde se llama un acorde de re menor. Recuerda que los acordes mayores y los acordes menores tienen un sonido muy distinto. Aunque la mayoría de los que no son músicos no puedan nombrar un acorde al oírlo, o etiquetarlo como mayor o menor, si oyen un acorde mayor y menor juntos pueden apreciar la diferencia. Y desde luego sus cerebros la aprecian: una serie de estudios han demostrado que producen reacciones fisiológicas diferentes ante los acordes mayores y menores y los tonos mayores y menores.

En la escala mayor, considerando los acordes triádicos contruidos de la forma estándar que acabamos de describir, tres son mayores (en los grados primero, cuarto y quinto de la escala), tres son menores (en los grados segundo, tercero y sexto) y están contruidos de dos intervalos y una tercera menor. La razón de que digamos que estamos en la tonalidad de do mayor,

aunque haya tres acordes menores en ella, se debe a que el acorde raíz (el acorde hacia el que apunta la música, el que parece «casa») es do mayor.

Los compositores usan en general acordes para establecer un estado de ánimo. El uso de acordes y cómo están ligados unos con otros se llama armonía. Otro uso, tal vez más conocido, de la palabra *armonía* es para indicar cuándo dos o más cantantes o instrumentistas están interpretando juntos y no están dando las mismas notas, pero conceptualmente se trata de la misma idea. Algunas progresiones de acordes se utilizan más que otras, y pueden convertirse en características de un género determinado. Por ejemplo, el blues está definido por una secuencia determinada de acordes: un acorde mayor en el primer grado de la escala (que se escribe I mayor) seguido de un acorde mayor en el cuarto grado de la escala (que se escribe IV mayor) seguido de nuevo por I mayor, luego V mayor, con opción a IV mayor, luego vuelta a I mayor. Ésta es la progresión estándar del blues, que aparece en canciones como «Crossroads» (Robert Johnson, substituido más tarde por Cream), «Sweet Sixteen» por B. B. King, y «I Hear You Knockin'» (en grabación de Smiley Lewis, Big Joe Turner, Screamin' Jay Hawkins y Dave Edmunds). La progresión del blues (ya sea literal o con algunas variaciones) es la base de la música rock y se encuentra en miles de canciones, entre ellas «Tutti Frutti» de Little Richard, «Rock and Roll Music» de Chuck Berry, «Kansas City» de Wilbert Marrison, «Rock and Roll» de Led Zeppelin, «Jet Airliner» de la Steve Miller Band (que es sorprendentemente similar a «Crossroads») y «Get Back» de los Beatles. Artistas de jazz como Miles Davis y artistas de rock progresivo como Steely Dan han escrito docenas de canciones que están inspiradas por esta progresión, con sus propias formas creadoras de sustituir los tres acordes estándar por otros más exóticos; pero aunque engalanadas con acordes más elegantes, siguen siendo progresiones de blues.

La música bebop se inclinó predominantemente por una determinada progresión compuesta originalmente por George Gershwin para la canción «I've Got Rhythm». En la tonalidad de do, los acordes básicos serían:

Do mayor-la menor-re menor-sol 7-do mayor-la menor-re menor-sol 7

Do mayor-do 7-fa mayor-fa menor-do mayor-sol 7-do mayor

Do mayor-la menor-re menor-sol 7-do mayor-la menor-re menor-sol 7
Do mayor-do 7-fa mayor-fa menor-do mayor-sol 7-do mayor

El 7 junto a una nota indica una tétrada (un acorde de cuatro notas) que es simplemente un acorde mayor con una cuarta nota añadida encima; la nota de encima es una tercera menor por encima de la nota tercera del acorde. El acorde de sol 7 se llama bien «sol séptima» o «sol séptima dominante». En cuanto empezamos a utilizar tétradas en vez de tríadas para los acordes, es posible una gran cantidad de rica variación tonal. El rock y el blues tienden a utilizar sólo el séptima dominante, pero hay otros dos tipos de acordes de «séptima» que son de uso común, y que transmiten cada uno de ellos un aroma emotivo diferente. «Tin Man» y «Sister Golden Hair» del grupo America utilizan el acorde séptima mayor para dar su sonido característico (una tríada mayor con una tercera mayor encima, en vez de la tercera menor del acorde que estamos llamando séptima dominante); «The Thrill Is Gone» de B. B. King utiliza de forma general acordes de séptima menor (una tríada menor con una tercera menor encima).

El acorde de séptima dominante se produce de forma natural (es decir, diatónicamente) cuando empieza en el quinto grado de la escala mayor. En la tonalidad de do, sol 7 se puede construir tocando todas las notas blancas. El séptima dominante contiene ese intervalo antiguamente prohibido, el tritono, y es el único acorde de una tonalidad que lo hace. El tritono es armónicamente el intervalo más inestable que tenemos en la música occidental, y lleva consigo por ello una urgencia perceptiva muy fuerte de resolver. Como el acorde de séptima dominante también contiene la tonalidad escalar más inestable (el grado séptimo, si en la tonalidad de do), el acorde «desea» resolverse volviendo a do, la raíz. Es por esta razón por lo que el acorde de séptima dominante construido en el quinto grado de una escala mayor (el acorde V7, o sol 7 en la tonalidad de do) es el acorde más típico, característico y estándar antes de que una composición termine en su raíz. Dicho de otro modo, la combinación de sol 7 y do mayor (o sus equivalentes en otras tonalidades) nos dan el acorde único más inestable seguido por el acorde único más estable; nos da la máxima sensación de tensión y resolución que podemos tener. Al final de algunas de las sinfonías de

Beethoven, cuando la terminación parece prolongarse sin fin, lo que está haciendo el maestro es dándonos esa progresión de acordes una y otra y otra vez hasta que la pieza se resuelve finalmente en la raíz.

NOTAS BIBLIOGRÁFICAS

Los artículos y libros que siguen son algunos de los muchos que he consultado. Aunque no se trata en modo alguno de una lista exhaustiva, representa las fuentes suplementarias que son más relevantes para las cuestiones expuestas en este libro. Se trata de un libro dirigido al no especialista y no a mis colegas, por lo que he procurado simplificar temas sin excederme en la simplificación. En estas lecturas, y en las lecturas que se citan en ellas, se puede hallar un tratamiento más completo y detallado del cerebro y la música. Algunas de las obras citadas a continuación están escritas para el investigador especialista. He utilizado un asterisco (*) para indicar las lecturas más técnicas. La mayoría de las entradas marcadas son fuentes primarias y unas cuantas son libros de texto a nivel de graduado.

INTRODUCCIÓN

Churchland, P. M. 1986. *Matter and Consciousness*. Cambridge: MIT Press. [Edición en castellano: *Materia y conciencia. Introducción contemporánea a la filosofía de la mente*, Mizraji, Margarita, tr., Editorial Gedisa, S.A., Barcelona, 1992.]

En el pasaje en el que hablo de que la curiosidad de la humanidad resolvió muchos de los mayores misterios científicos, he tomado prestada liberalmente la introducción a esta obra, excelente e inspiradora, sobre la filosofía de la mente.

*Cosmides, L., y J. Tooby. 1989. Evolutionary psychology and the generation of culture, Part I. Case study: A computational theory of social exchange. *Ethology and Sociobiology* 10: 51-97.

Una introducción excelente al campo de la psicología evolucionista por dos destacados especialistas.

*Deaner, R. O., y C. L. Nunn. 1999. How quickly do brains catch up with bodies? A comparative method for detecting evolutionary lag. *Proceedings of Biological Sciences* 266 (1420): 687-694.

Un docto artículo reciente sobre el tema del lapso evolutivo, la idea de que nuestros cuerpos y mentes están hoy equipados para afrontar el mundo y las condiciones de vida tal como eran hace cincuenta mil años, debido a la cantidad de tiempo que hace falta para que las adaptaciones pasen a estar codificadas en el genoma humano.

Levitin, D. J. 2001. Paul Simon: The Grammy Interview. *Grammy*, septiembre, 42-46.

Fuente de la cita de Paul Simon sobre la audición del sonido.

*Miller, G. F. 2000. Evolution of human music through sexual selection. En *The Origins of Music*, compilado por N. L. Wallin, B. Merker y S. Brown, Cambridge: MIT Press.

Este artículo, escrito por otra figura destacada del campo de la psicología evolutiva, analiza muchas de las ideas que se analizan en el capítulo 9, y que se mencionan sólo brevemente en el capítulo 1.

Pareles, J., y P. Romanowski, eds. 1983. *The Rolling Stone Encyclopedia of Rock & Roll*. Nueva York: Summit Books.

Adam and the Ants tuvieron veinte centímetros de columna más una foto en esta edición, U2 (ya bien conocido y con tres álbumes y el éxito «New Year's Day») sólo tuvo cuatro pulgadas y ninguna foto.

*Pribram, K. H. 1980. Mind, brain, and consciousness: the organization of competence and conduct. En *The Psychobiology of Consciousness*, compilado por J. M. D. Davidson, R.J. Nueva York: Plenum.

*—: 1982. Brain mechanism in music: prolegomena for a theory of the meaning of meaning. En *Music, Mind, and Brain*, compilado por M. Clynes. Nueva York: Plenum. Pribram dio su curso a partir de una colección de artículos y notas que él había compilado. Éstos fueron dos de los artículos que leímos.

Sapolsky, R. M. 1998. *Why Zebras Don't Get Ulcers*, 3.^a ed. Nueva York: Henry Holt and Company. [En castellano: ¿Por qué las cebras no tienen úlcera?: La guía del estrés, González Serrano, Celina, y Coll Rodríguez, Miguel Ángel, trs., Alianza Editorial, S.A., Madrid, 2008.]

Un libro excelente y una lectura divertida sobre la ciencia del estrés, y las razones por las que los humanos modernos lo padecen; la idea del «lapso evolutivo» que introduzco más ampliamente en el capítulo 9 se aborda muy bien en este libro.

*Shepard, R. N. 1987. Towards a Universal Law of Generalization for psychological Science. *Science* 237 (4820): 1317-1323.

*—: 1992. The perceptual organization of colors: an adaptation to regularities of the terrestrial world? En *The Adapted Mind: Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*, compilado por J. H. Barkow, L. Cosmides y J. Tooby. Nueva York: Oxford University Press.

*—: 1995. Mental universals: Toward a twenty-first century science of mind. En *The Science of the Mind: 2001 and Beyond*, compilado por R. L. Salsa y D. W. Massaro. Nueva York: Oxford University Press.

Tres artículos de Shepard en los que se analiza la evolución de la mente.

Tooby, J., y L. Cosmides. 2002. Toward mapping the evolved functional organization of mind and brain. En *Foundations of Cognitive Psychology*, compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.

Otro artículo de esas dos figuras destacadas de la psicología evolutiva, tal vez el más general de los dos artículos incluidos aquí.

CAPÍTULO 1

*Balzano, G. J. 1986. What are musical pitch and timbre? *Music Perception* 3 (3): 297-314.

Un artículo científico sobre los temas relacionados con la investigación de la altura de tono y el timbre.

Berkeley, G. 1734/2004. *A Treatise Concerning the Principles of Human Knowledge*. Whitefish, Mont.: Kessinger Publishing Company.

El que primero planteó la famosa pregunta «si un árbol cae en el bosque y no hay nadie allí para oírlo, ¿produce un sonido?» fue el teólogo y filósofo George Berkeley, obispo de Cloyne, en esta obra.

*Bharucha, J. J. 2002. Neural nets, temporal composites, and tonality. En *Foundations of Cognitive Psychology: Core Readings*, compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.

Redes neuronales para la identificación de acordes.

*Boulanger, R. 2000. *The C-Sound Book: Perspectives in Software Synthesis, Sound Design, Signal Processing, and Programming*. Cambridge: MIT Press.

Una introducción al sistema/programa informático de síntesis de sonido de mayor uso. El mejor libro que yo conozco para gente que quiera aprender a programar ordenadores para hacer música y crear timbres de su propia elección.

Burns, E. M. 1999. Intervals, scales, and tuning. En *Psychology of Music*, compilado por D. Deutsch. San Diego: Academic Press.

Sobre el origen de las escalas, las relaciones entre las notas, la naturaleza de intervalos y escalas.

*Chowning, J. 1973. The synthesis of complex audio spectra by means of frequency modulation. *Journal of the Audio Engineering Society* 21: 526-534.

La síntesis FM, tal como acabaría siendo en los sintetizadores Yamaha DX, se describió por primera vez en esta revista profesional.

Clayson, A. 2002. *Edgard Varèse*. Londres: Sanctuary Publishing, Ltd.

Fuente de la cita «Música es sonido organizado».

Dennett, Daniel C. 2005. Show me the Science. *The New York Times*, 28 de agosto.

Fuente de la cita «El calor no está hecho de pequeñas cosas calientes».

Doyle, P. 2005. *Echo & Reverb: Fabricating Space in Popular Music Recording, 1900-1960*. Middletown, Conn.

Un examen amplio y docto de la fascinación de la industria discográfica con el espacio y la creación de ambientes artificiales.

Dwyer, T. 1971. *Composing with Tape Recorders: Musique Concrète*. Nueva York: Oxford University Press.

Para información sobre los antecedentes de la *musique concrète* de Schaeffer, Dhomon, Normandeau y otros.

*Grey, J. M. 1975. An exploration of musical timbre using computer-based techniques for analysis, synthesis, and perceptual scaling. Ph.D. Thesis, Music, Center for Computer Research in Music and Acoustics, Stanford University, Stanford, California.

El artículo más influyente sobre enfoques modernos del estudio del timbre.

*Janata, P. 1997. Electrophysiological studies of auditory contexts. Dissertation Abstracts International: Section B: The Sciences and Engineering, Universidad de Oregón.

Contiene los experimentos que muestran que el culículo inferior de la lechuza restaura la nota fundamental que falta.

*Krumhansl, C. L. 1990. *Cognitive Foundations of Musical Pitch*. Nueva York: Oxford University Press.

*—: 1991. Music psychology: Tonal structures in perception and memory. *Annual Review of Psychology* 42: 277-303.

*—: 2000. Rhythm and pitch in music cognition. *Psychological Bulletin* 126 (1): 159-179.

*—: 2002. Music: A link between cognition and emotion. *Current Directions in Psychological Science* 11 (2): 45-50.

Krumhansl es uno de los principales científicos que trabajan en la cognición y la percepción musical; estos artículos, y la monografía, aportan las bases del campo, y en particular el concepto de jerarquías tonales, la dimensionalidad del tono y la representación mental de éste.

*Kubovy, M. 1981. Integral and separable dimensions and the theory of indispensable attributes. En *Perceptual Organization*, compilado por M. Kubovy y J. Pomerantz. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.

Fuente del concepto de dimensiones separables en música.

Levitin, D. J. 2002. Memory for musical attributes. En *Foundations of Cognitive Psychology: Core Readings*, compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.

Fuente de la enumeración de los ocho atributos perceptuales diferentes de un sonido.

*McAdams, S., J. W. Beauchamp y S. Meneguzzi. 1999. Discrimination of musical instrument sounds resynthesized with simplified spectrotemporal parameters. *Journal of the Acoustical Society of America* 105 (2): 882-897.

McAdams, S., y E. Bigand. 1993. Introduction to auditory cognition. En *Thinking in Sound: The Cognitive Psychology of Audition*, compilado por S. McAdams y E. Bigand. Oxford: Clarendon Press.

*McAdams, S., y J. Cusack. 1992. Perception of timbral analogies. *Philosophical*

Transactions of the Royal Society of London, B 336: 383-389.

*McAdams, S., S. Winsberg, S. Donnadieu y G. De Soete. 1995. Perceptual scaling of synthesized musical timbres: Common dimensions, specificities, and latent subject classes. *Psychological Research/Psychologische Forschung* 58 (3): 177-192.

McAdams es el investigador más destacado del mundo en el estudio del timbre, y estos cuatro artículos aportan una visión general de lo que sabemos actualmente sobre su percepción.

Newton, I. 1730/1952. *Opticks: or, A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections, and Colours of Light*. Nueva York: Dover.

Fuente de la observación de Newton de que las ondas luminosas no son en sí mismas coloreadas.

*Oxenham, A. J., J. G. W. Bernstein y H. Penagos. 2004. Correct tonotopic representation is necessary for complex pitch perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101: 1421-1425.

Sobre representaciones tonotópicas del tono en el sistema auditivo.

Palmer, S. E. 2000. *Vision: From Photons to Phenomenology*. Cambridge: MIT Press.

Una excelente introducción a la ciencia cognitiva y a la ciencia de la visión, a un nivel de pregraduado. He de añadir que Palmer y yo somos colaboradores y que hice algunas aportaciones a este libro. Fuente para los diferentes atributos de los estímulos visuales.

Pierce, J. R. 1992. *The Science of Musical Sound*, edición revisada. San Francisco: W. H. Freeman. [En castellano: *Los sonidos de la música*, Lewin-Richter, Andrés, tr., Prensa Científica, S.A., Barcelona, 1990.]

Una fuente magnífica para el lego culto que quiera comprender la física del sonido, los armónicos, las escalas, etc. He de añadir que Pierce fue en vida profesor mío y amigo.

Rossing, T. D. 1990. *The Science of Sound*, 2.^a ed. Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing.

Otra fuente magnífica para la física del sonido, los armónicos, las escalas, etc.; apropiado para pregraduados.

Schaeffer, Pierre. 1967. *La musique concrète*. París: Presses Universitaires de France.

—: 1968. *Traité des objets musicaux*. París: Le Seuil. [En castellano: *Tratado de los objetos musicales*, Cabezón de Diego, Araceli (tr.) Alianza Editorial, S.A., Madrid, 1988]

En el primero se exponen los principios de la *musique concrète* y en el segundo la obra maestra de Schaeffer sobre la teoría del sonido. Por desgracia aún no hay ninguna traducción al inglés.

Schmeling, P. 2005. *Berklee Music Theory Book I*. Boston: Berklee Press.

Yo aprendí teoría de la música en Berklee College, y éste es el primer volumen de su serie. Adecuado para el que quiera aprender por su cuenta, cubre todo lo básico.

*Schroeder, M. R. 1962. Natural sounding artificial reverberation. *Journal of the Audio*

Engineering Society 10 (3): 219-233.

El artículo fundamental sobre la creación de la reverberación artificial.

Scorsese, Martin. 2005. *No Direction Home*. USA: Paramount.

Fuente de las informaciones sobre el abucheo a Bob Dylan en el Festival Folk de Newport.

Sethares, W. A. 1997. *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*. Londres: Springer.

Una introducción rigurosa a la física de la música y de los sonidos musicales.

*Shamma, S., y D. Klein. 2000. The case of the missing pitch templates: How harmonic templates emerge in the early auditory system. *Journal of the Acoustical Society of America* 107 (5): 2631-2644.

*Shanuna, S. A. 2004. Topographic organization is essential for pitch perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101: 1114-1115.

Sobre representaciones tonotópicas sobre el tono en el sistema auditivo.

*Smith, J. O. 1992. Physical modeling using digital waveguides. *Computer Music Journal* 16 (4): 74-91.

El artículo que introdujo la síntesis de las guías de onda.

Surmani, A., K. F. Surmani y M. Manus. 2004. *Essentials of Music Theory: A Complete Self-Study Course for All Musicians*. Van Nuys, Calif.: Alfred Publishing Company.

Otra excelente y guía autodidáctica sobre teoría de la música.

Taylor, C. 1992. *Exploring Music: The Science and Technology of Tones and Tunes*. Bristol: Institute of Physics Publishing.

Otro excelente texto de nivel universitario sobre la física del sonido.

Trehub, S. E. 2003. Musical predispositions in infancy. En *The Cognitive Neuroscience of Music*, compilado por I. Peretz y R. J. Zatorre. Oxford: Oxford University Press.

*Västfjäll, D., P. Larsson y M. Kleiner. 2002. Emotional and auditory virtual environments: Affect-based judgments of music reproduced with virtual reverberation times. *CyberPsychology & Behavior* 5 (1): 19-32.

Un docto artículo reciente sobre los efectos de la reverberación en la reacción emotiva.

CAPÍTULO 2

*Bregman, A. S. 1990. *Auditory Scene Analysis*. Cambridge: MIT Press.

La obra definitiva sobre principios de agrupación general auditiva.

Clarke, E. F. 1999. Rhythm and timing in music. En *The Psychology of Music*, compilado por D. Deutsch. San Diego: Academic Press.

Un artículo a nivel de pregraduado sobre la psicología de la percepción del ritmo en la música, fuente de la cita de Eric Clarke.

*Ehrenfels, C. von. 1890/1988. On «Gestalt qualities». En *Foundations of Gestalt Theory*, compilado por B. Smith. Munich: Philosophia Verlag.

Sobre la fundación de la psicología de la Gestalt y el interés de los psicólogos de la Gestalt por la melodía.

Elias, L. J., y D. M. Saucier. 2006. *Neuropsychology: Clinical and Experimental Foundations*. Boston: Pearson.

Manual de introducción a los conceptos fundamentales de la neuroanatomía y las funciones de las diversas regiones del cerebro.

*Fishman, Y. I., D. H. Reser, J. C. Arezzo y M. Steinschneider. 2000. Complex tone processing in primary auditory cortex of the awake monkey. I. Neural ensemble correlates of roughness. *Journal of the Acoustical Society of America* 108: 235-246.

La base fisiológica de la percepción de la consonancia y la disonancia.

Gilmore, Mikal. 2005. Lennon lives forever: Twenty-five years after his death, his music and message endure. *Rolling Stone*, 15 de diciembre.

Fuente de la cita de John Lennon.

Helmholtz, H. L. F. 1885/1954. *On the Sensations of Tone*, 2.^a edición revisada. Nueva York: Dover.

Inferencia inconsciente.

Lerdahl, Fred. 1983. *A Generative Theory of Tonal Music*. Cambridge: MIT Press. [En castellano: *Teoría generativa de la música tonal*, González Castela, Juan, tr., Ediciones Akal, S.A., Tres Cantos, 2003.]

La exposición de los principios de la agrupación auditiva en música que ha ejercido mayor influencia.

*Levitin, D. J., y P. R. Cook. 1996. Memory for musical tempo: Additional evidence that auditory memory is absolute. *Perception and Psychophysics* 58: 927-935.

Éste es el artículo mencionado en el texto en el que Cook y yo pedimos a la gente que cantara sus canciones de rock favoritas y reprodujeron el tempo con una gran exactitud.

Luce, R. D. 1993. *Sound and Hearing: A Conceptual Introduction*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.

Manual sobre el oído y la audición que incluye fisiología del oído, intensidad del sonido, percepción del tono, etc.

*Mesulam, M.-M. 1985. *Principles of Behavioral Neurology*. Philadelphia: F. A. Davis Company.

Manual avanzado para graduados que sirve como introducción a conceptos fundamentales de neuroanatomía y de las funciones de las diversas regiones del cerebro.

Moore, B. C. J. 1982. *An Introduction to the Psychology of Hearing*, 2.^a ed. Londres: Academic Press.

—: 2003. *An Introduction to the Psychology of Hearing*, 5.^a ed. Amsterdam: Academic Press.

Manuales sobre el oído y la audición que incluyen fisiología del oído, intensidad del

sonido, percepción del tono, etc.

Palmer, S. E. 2002. Organizing objects and scenes. En *Foundations of Cognitive Psychology: Core readings*, compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.

Sobre los principios de agrupación visual de la Gestalt.

Stevens, S. S., y F. Warshofsky. 1965. *Sound and Hearing*, compilado por R. Dubos, H. Margenau y C. P. Snow. Life Science Library. Nueva York: Time Incorporated.

Una buena introducción a los principios de la audición y la percepción auditiva para el lector general.

*Tramo, M. J., P. A. Cariani, B. Delgutte y L. D. Braida. 2003. Neurobiology of harmony perception. En *The Cognitive Neuroscience of Music*, compilado por I. Peretz y R. J. Zatorre. Nueva York: Oxford University Press.

La base fisiológica de la percepción de la consonancia y de la disonancia.

Yost, W. A. 1994. *Fundamentals of Hearing: An Introduction*, 3.^a ed. San Diego: Academic Press, Inc.

Manual sobre la percepción de la intensidad del sonido, el tono y la audición.

Zimbardo, P. G., y R. J. Gerrig. 2002. Perception. En *Foundations of Cognitive Psychology*, compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.

Los principios gestálticos de la agrupación.

CAPÍTULO 3

Bregman, A. S. 1990. *Auditory Scene Analysis*. Cambridge: MIT Press.

Un recorrido por el timbre y otros principios de agrupación auditiva. Mi analogía sobre el tímpano como una funda de almohadón estirada sobre un cubo toma prestado liberalmente de una analogía distinta que se propone en este libro.

*Chomsky, N. 1957. *Syntactic Structures*. La Haya, Holanda: Mouton.

Sobre el carácter innato de una capacidad lingüística en el cerebro humano.

Crick, F. H. C. 1995. *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*. Nueva York: Touchstone/Simon & Schuster. [En castellano: *La búsqueda científica del alma: una revolucionaria hipótesis*, Páez de la Cadena Tortosa, Francisco, tr., Editorial Debate, Barcelona, 1994.]

La idea de que toda la conducta humana se puede explicar por la actividad del cerebro y de las neuronas.

Dennett, D. C. 1991. *Consciousness Explained*. Boston: Little, Brown and Company. [En castellano: *La conciencia explicada: una teoría interdisciplinar*, Balari Ravera, Sergio, tr., Ediciones Paidós Ibérica, S.A., Barcelona, 1995.]

Sobre las ilusiones de la experiencia consciente y del cerebro que ponen al día la información.

—: 2002. Can machines think? En *Foundations of Cognitive Psychology: Core Readings*,

compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.

—: 2002. Where am I? En *Foundations of Cognitive Psychology: Core Readings*, compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.

Estos dos artículos abordan temas básicos del cerebro como computadora y la idea filosófica del *funcionalismo*; «Can machines think?» resume también el test de Turing sobre la inteligencia y sus fuerzas y debilidades.

*Friston, K. J. 2005. Models of brain function in neuroimaging. *Annual Review of Psychology* 56: 57-87.

Una panorámica técnica de los métodos de investigación para el análisis de datos de imágenes del cerebro por los inventores del SPM, un paquete estadístico de amplio uso para los datos MRIf.

Gazzaniga, M. S., R. B. Ivry y G. Mangun. 1998. *Cognitive Neuroscience*. Nueva York: Norton.

Divisiones funcionales del cerebro; divisiones básicas en lóbulos, hitos anatómicos principales; texto para pregraduados.

Gertz, S. D., y R. Tadmor. 1996. *Liebman's Neuroanatomy Made Easy and Understandable*, 5.^a ed. Gaithersburg, Md.: Aspen.

Una introducción a la neuroanatomía y a las principales regiones del cerebro.

Gregory, R. I. 1986. *Odd Perceptions*. Londres: Routledge.

Sobre la percepción como inferencia.

*Griffiths, T. D., S. Uppenkamp, I. Johnsrude, O. Josephs y R. D. Patterson. 2001. Encoding of the temporal regularity of sound in the human brainstem. *Nature Neuroscience* 4 (6): 633-637.

*Griffiths, T. D., y J. D. Warren. 2002. The planum temporale as a computational hub. *Trends in Neuroscience* 25 (7): 348-353.

Obra reciente sobre el procesamiento del sonido en el cerebro de Griffiths, uno de los investigadores más estimados de la actual generación de científicos del cerebro que estudian procesos auditivos.

*Hickok, G., B. Buchsbaum, C. Humphries y T. Muftuler. 2003. Auditory-motor interaction revealed by fMRI: Speech, music, and working memory in area Spt. *Journal of Cognitive Neuroscience* 15 (5): 673-682.

Fuente primordial para la activación musical en una región del cerebro de la parte posterior de la fisura de Silvio en la frontera parietotemporal.

*Janata, P., J. L. Birk, J. D. Van Horn, M. Leman, B. Tillmann y J. J. Bharucha. 2002. The cortical topography of tonal structures underlying Western music. *Science* 298: 2167-2170.

*Janata, P., y S. T. Grafton. 2003. Swinging in the brain: Shared neural substrates for behaviors related to sequencing and music. *Nature Neuroscience* 6 (7): 682-687.

*Johnsrude, I. S., V. B. Penhune y R. J. Zatorre. 2000. Functional specificity in the right

human auditory cortex for perceiving pitch direction. *Brain Res Cogn Brain Res* 123: 155-163.

*Knosche, T. R., C. Neuhaus, J. Haueisen, K. Alter, B. Maess, O. Witte y A. D. Friederici. 2005. Perception of phrase structure in music. *Human Brain Mapping* 24 (4): 259-273.

*Koelsch, S., E. Kasper, D. Sammler, K. Schulze, T. Gunter y A. D. Friederici. 2004. Music, language and meaning: brain signatures of semantic Processing. *Nature Neuroscience* 7 (3): 302-307.

*Koelsch, S., E. Schroger y T. C. Gunter. 2002. Music matters: Preattentive musicality of the human brain. *Psychophysiology* 39 (1): 38-48.

*Kuriki, S., N. Isahai, T. Hasimoto, F. Takeuchi y Y. Hirata. 2000. Music and language: Brain activities in processing melody and words. Ponencia leída en la duodécima Conferencia Mundial de Biomagnetismo.

Fuentes primarias sobre la cognición y la percepción de la música.

Levitin, D. J. 1996. High-fidelity music: Imagine listening from inside the guitar. *The New York Times*, 15 de diciembre.

—: 1996. The modern art of studio recording. *Audio*, Septiembre, 46-52.

Sobre las modernas técnicas de grabación y las ilusiones que crean.

—: 2002. Experimental design in psychological research. En *Foundations of Cognitive Psychology: Core Readings*, compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.

Sobre planificación de los experimentos y qué es un «buen» experimento.

*Levitin, D. J., y V. Menon. 2003. Musical structure is processed in «language» areas of the brain: A possible role for Brodmann Area 47 in temporal coherence. *NeuroImage* 20 (4): 2142-2152.

El primer artículo de investigación utilizando MRIf para demostrar que la estructura temporal y la coherencia temporal en la música se procesan en la misma región del cerebro que el lenguaje hablado y de señas.

*McClelland, J. L., D. E. Rumelhart y G. E. Hinton. 2002. The appeal of parallel distributed processing. En *Foundations of Cognitive Psychology: Core Readings*, compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.

El cerebro como una máquina de procesamiento en paralelo.

Palmer, S. 2002. Visual awareness. En *Foundations of Cognitive Psychology: Core Readings*, compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.

Los fundamentos filosóficos de la ciencia cognitiva moderna, el dualismo y el materialismo.

*Parsons, L. M. 2001. Exploring the functional neuroanatomy of music performance, perception, and comprehension. En I. Peretz y R. J. Zatorre, eds., *Biological Foundations of Music, Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 930, pp. 211-230.

*Patel, A. D., y E. Balaban. 2004. Human auditory cortical dynamics during perception of

long acoustic sequences: Phase tracking of carrier frequency by the auditory steady-state response. *Cerebral Cortex* 14 (1): 35-46. Patel, A. D. 2003. Language, music, syntax, and the brain. *Nature Neuroscience* 6 (7): 674-681.

*Patel, A. D., y E. Balaban. 2000. Temporal patterns of human cortical activity reflect tone sequence structure. *Nature* 404: 80-84.

*Peretz, I. 2000. Music cognition in the brain of the majority: Autonomy and fractionation of the music recognition system. En *The Handbook of Cognitive Neuropsychology*, compilado por B. Rapp. Hove, Reino Unido: Psychology Press.

*Peretz, I. 2000. Music perception and recognition. En *The Handbook of Cognitive Neuropsychology*, compilado por B. Rapp. Hove, Reino Unido: Psychology Press.

*Peretz, I., y M. Coltheart. 2003. Modularity of music processing. *Nature Neuroscience* 6 (7): 688-691.

*Peretz, I., y L. Gagnon. 1999. Dissociation between recognition and emotional judgements for melodies. *Neurocase* 5: 21-30.

*Peretz, I., y R. J. Zatorre, eds. 2003. *The Cognitive Neuroscience of Music*. Nueva York: Oxford.

Fuentes primordiales de la neuroanatomía de la cognición y la percepción de la música.

Pinker, S. 1997. *How The Mind Works*. Nueva York: W. W. Norton. [En castellano: *Cómo funciona la mente*, Meler Ortí, Ferran, tr., Ediciones Destino, S.A., Barcelona, 2004.]

Pinker afirma aquí que la música es un accidente de la evolución.

*Posner, M. I. 1980. Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 32: 3-25.

El paradigma de señalización de Posner.

Posner, M. I., y D. J. Levitin. 1997. Imaging the future. En *The Science of the Mind: The 22st Century*. Cambridge: MIT Press.

Una explicación más completa de la oposición de Posner y mía a la simple «cartografía mental» *per se*.

Ramachandran, V. S. 2004. *A Brief Tour of Human Consciousness: From Impostor Poodles to Purple Numbers*. Nueva York: Pi Press.

La conciencia y nuestras intuiciones ingenuas sobre ella.

*Rock, I. 1983. *The Logic of Perception*. Cambridge: MIT Press.

La percepción como un proceso lógico y como constructiva.

*Schmahmann, J. D., ed. 1997. *The Cerebellum and Cognition*. San Diego: Academic Press.

Sobre el papel del cerebelo en la regulación emotiva.

Searle, J. R. 2002. Minds, brains, and programs. En *Foundations of Cognitive Psychology: Core Readings*, compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.

El cerebro como un ordenador; éste es uno de los artículos más analizados, discutidos y

citados de la filosofía moderna de la mente.

- *Sergent, J. 1993. Mapping the musician brain. *Human Brain Mapping* 1: 20-38.
Uno de los primeros informes de neuroimágenes de la música y el cerebro, que aún sigue citándose y utilizándose ampliamente.
- Shepard, R. N. 1990. *Mind Sights: Original Visual Illusions, Ambiguities, and Other Anomalies, with a Commentary on the Play of Mind in Perception and Art*. Nueva York: W. H. Freeman.
Fuente de la ilusión de «girar las mesas».
- *Steinke, W. R., y L. L. Cuddy. 2001. Dissociations among functional subsystems governing melody recognition after right hemisphere damage. *Cognitive Neuroscience* 18 (5): 411-437.
- *Tillmann, B., P. Janata, y J. J. Bharucha. 2003. Activation of the inferior frontal cortex in musical priming. *Cognitive Brain Research* 16: 145-161.
Fuentes primarias de la neuroanatomía de la percepción y la cognición de la música.
- *Warren, R. M. 1970. Perceptual restoration of missing speech sounds. *Science*, enero 23, 392-393.
Fuente del ejemplo de «relleno» auditivo o de finalización perceptual.
- Weinberger, N. M. 2004. Music and the Brain. *Scientific American*, noviembre 2004: 89-95.
- *Zatorre, R. J., y P. Belin. 2001. Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cerebral Cortex* 11: 946-953.
- Zatorre, R. J., P. Belin y V. B. Penhune. 2002. Structure and function of auditory cortex: Music and speech. *Trends in Cognitive Sciences* 6 (1): 37-46.
Fuentes primarias de la neuroanatomía de la percepción y la cognición de la música.

CAPÍTULO 4

- *Bartlett, F. C. 1932. *Remembering: A Study in Experimental and Social Psychology*. Londres: Cambridge University Press.
Sobre esquemas.
- *Bavelier, D., C. Brozinsky, A. Tomann, T. Mitchell, H. Neville y G. Liu. 2001. Impact of early deafness and early exposure to sign language on the cerebral organization for motion processing. *The Journal of Neuroscience*. 21 (22): 8931-8942.
- *Bavelier, D., D. P. Corina y H. J. Neville. 1998. Brain and language: A perspective from sign language. *Neuron* 21: 275-278.
La neuroanatomía del lenguaje de señas.
- *Bever, T. G., y R. J. Chiarell. 1974. Cerebral dominance in musicians and nonmusicians. *Science* 185 (4150): 537-539.
Un artículo fundamental sobre la especialización hemisférica para la música.

- Bharucha, J. J. 1987. Music cognition and perceptual facilitation. A connectionist framework. *Music Perception* 5 (1): 1-30.
- *—: 1991. Pitch, harmony, and neural nets: A psychological perspective. En *Music and Connectionism*, compilado por P. M. Todd y D. G. Loy. Cambridge: MIT Press.
- *Bharucha, J. J., y P. M. Todd. 1989. Modeling the perception of tonal structure with neural nets. *Computer Music Journal* 13 (4): 44-53.
- *Bharucha, J. J. 1992. Tonality and learnability. En *Cognitive Bases of Musical Communication*, compilado por M. R. Jones y S. Holleran. Washington DC: American Psychological Association.
Sobre esquemas musicales.
- *Binder, J., y C. J. Price. 2001. Functional neuroimaging of language. En *Handbook of Functional Neuroimaging of Cognition*, compilado por A. Cabeza y A. Kingston.
- *Binder, J. R., E. Liebenthal, E. T. Possing, D. A. Medler y B. D. Ward. 2004. Neural correlates of sensory and decision processes in auditory object identification. *Nature Neuroscience* 7 (3): 295-301.
- *Bookheimer, S. Y. 2002. Functional MRI of language: New approaches to understanding the cortical organization of semantic processing. *Annual Review of Neuroscience* 25: 151-188.
La neuroanatomía funcional del lenguaje.
- Cook, P. R. 2005. The deceptive cadence as a parlor trick. Princeton, N.J., Montreal, Quebec, 30 de noviembre.
Comunicación personal de Perry Cook, que me describía la cadencia engañosa de este modo en un mensaje electrónico.
- *Cowan, W. M., T. C. Südhof y C. F. Stevens, eds. 2001. *Synapses*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
Información en profundidad sobre las sinapsis, la sinapsis clave y la transmisión sináptica.
- *Dibben, N. 1999. The perception of structural stability in atonal music: the influence of salience, stability, horizontal motion, pitch commonality, and dissonance. *Music Perception* 16 (3): 265-24.
Sobre música atonal, tal como la describe Schönberg en este capítulo.
- *Franceries, X., B. Doyon, N. Chauveau, B. Rigaud, P. Celsis y J.-P. Morucci. 2003. Solution of Poisson's equation in a volume conductor using resistor mesh models: Application to event related potential imaging. *Journal of Applied Physics* 93 (6): 3578-3588.
El problema de localización inverso de Poisson con EEG.
- Fromkin, V., y R. Rodman. 1993. *An Introduction to Language*, 5.^a ed. Fort Worth, Tex.: Harcourt Brace Jovanovich College Publishers.
Las bases de la psicolingüística, los fonemas y la formación de palabras.

- *Gazzaniga, M. S. 2000. *The New Cognitive Neurosciences*, 2.^a ed. Cambridge: MIT Press.
Los fundamentos de la neurociencia.
- Gemsbacher, M. A, y M. P. Kaschak. 2003. Neuroimaging studies of language production and comprehension. *Annual Review of Psychology* 54: 91-114.
Una reseña reciente de estudios sobre la base neuroanatómica del lenguaje.
- *Hickok, G., B. Buchsbaum, C. Humphries y T. Muftuler. 2003. Auditory-motor interaction revealed by fMRI: Speech, music, and working memory in area Spt. *Journal of Cognitive Neuroscience* 15 (5): 673-682.
- *Hickok, G., y Poeppel, D. 2000. Towards a functional neuroanatomy of speech perception. *Trends in Cognitive Sciences* 4 (4): 131-138.
Las bases neuroanatómicas del habla y de la música.
- Holland, B. 1981. A man who sees what others hear. *The New York Times*, 19 de noviembre.
Un artículo sobre Arthur Lintgen, el hombre capaz de leer los surcos de los discos. Sólo puede leer los de la música que conoce y sólo de la música clásica post-Beethoven.
- *Huettel, S. A., A. W. Song y G. McCarthy. 2003. *Functional Magnetic Resonance Imaging*. Sunderland, Mass.: Sinauer Associates, Inc.
Sobre las bases teóricas de la resonancia magnética funcional.
- *Ivry, R. B., y L. C. Robertson. 1997. *The Two Sides of Perception*. Cambridge: MIT Press.
Sobre especialización hemisférica.
- *Johnsrude, I. S., V. B. Penhune y R. J. Zatorre. 2000. Functional specificity in the right human auditory cortex for perceiving pitch direction. *Brain Res Cogn Brain Res* 123: 155-163.
- *Johnsrude, I. S., R. J. Zatorre, B. A. Milner y A. C. Evans. 1997. Left-hemisphere specialization for the processing of acoustic transients. *NeuroReport* 8: 1761-1765.
La neuroanatomía del habla y de la música.
- *Kandel, E. R., J. H. Schwartz y T. M. Jessell. 2000. *Principles of Neural Science*, 4.^a ed. Nueva York: McGraw-Hill.
Fundamentos de la neurociencia. (Eric Kandel es premio Nobel.) Se trata de un texto muy utilizado en las facultades de medicina y en los programas de neurociencia para graduados.
- *Knosche, T. R., C. Neuhaus, J. Haueisen, K. Alter, B. Maess, O. Witte y A. D. Friederici. 2005. Perception of phrase structure in music. *Human Brain Mapping* 24 (4): 259-273.
- *Koelsch, S., T. C. Gunter, D. Y. V. Cramon, S. Zysset, G. Lohmarm y A. D. Friederici. 2002. Bach speaks: A cortical «language-network» serves the processing of music. *NeuroImage* 17: 956-966.
- *Koelsch, S., E. Kasper, D. Sammler, K. Schulze, T. Gunter y A. D. Friederici. 2004. Music, language, and meaning: Brain signatures of semantic processing. *Nature*

Neuroscience 7 (3): 302-307.

*Koelsch, S., B. Maess, y A. D. Friederici. 2000. Musical syntax is processed in the area of Broca: an MEG study. *NeuroImage* 11 (5): 56.

Artículos sobre estructura musical por Koelsch, Friederici y sus colegas.

Kosslyn, S. M., y O. Koenig. 1992. *Wet Mind: The New Cognitive Neuroscience*. Nueva York: Free Press.

Una introducción a la neurociencia para el público en general.

*Krumhansl, C. L. 1990. *Cognitive Foundations of Musical Pitch*. Nueva York: Oxford University Press.

Sobre la dimensionalidad del tono.

*Lerdahl, F. 1989. Atonal prolongational structure. *Contemporary Music Review* 3 (2).

Sobre música atonal, como la de Schönberg.

*Levitin, D. J., y V. Menon. 2003. Musical structure is processed in «language» areas of the brain: A possible role for Brodmann Area 47 in temporal coherence. *NeuroImage* 20 (4): 2142-2152.

*—: 2005. The neural locus of temporal structure and expectancies in music: Evidence from functional neuroimaging at 3 Tesla. *Music Perception* 22 (3): 563-575.

La neuroanatomía de la estructura musical.

*Maess, B., S. Koelsch, T. C. Gunter y A. D. Friederici. 2001. Musical syntax is processed in Broca's area: An MEG study. *Nature Neuroscience* 4 (5): 540-545.

La neuroanatomía de la estructura musical.

*Marin, O. S. M. 1982. Neurological aspects of music perception and performance. En *The Psychology of Music*, compilado por D. Deutsch. Nueva York: Academic Press.

Pérdida de función musical debida a lesiones.

*Martin, R. C. 2003. Language processing: Functional organization and neuroanatomical basis. *Annual Review of Psychology* 54: 55-89.

La neuroanatomía de la percepción del habla.

McClelland, J. L., D. E. Rumelhart y G. E. Hinton. 2002. The Appeal of Parallel Distributed Processing. En *Foundations of Cognitive Psychology: Core Readings*, compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.

Sobre esquemas.

Meyer, L. B. 2001. Music and emotion: distinctions and uncertainties. En *Music and Emotion: Theory and Research*, compilado por P. N. Juslin y J. A. Sloboda. Oxford y Nueva York: Oxford University Press.

Meyer, Leonard B. 1956. *Emotion and Meaning in Music*. Chicago: University of Chicago Press.

—: 1994. *Music, the Arts, and Ideas: Patterns and Predictions in Twentieth Century Culture*. Chicago: University of Chicago Press.

Sobre estilo musical, repetición, relleno de huecos y expectativas.

*Milner, B. 1962. Laterality effects in audition. En *Interhemispheric Effects and Cerebral Dominance*, compilado por V. Mountcastle. Baltimore: Johns Hopkins Press.
Lateralidad en audición.

*Narmour, E. 1992. *The Analysis and Cognition of Melodic Complexity: The Implication-Realization Model*. Chicago: University of Chicago Press.

*—: 1999. Hierarchical expectation and musical style. En *The Psychology of Music*, compilado por D. Deutsch. San Diego: Academic Press.
Sobre estilo musical, repetición, relleno de huecos y expectativas.

*Niedermeyer, E., y F. L. DaSilva. 2005. *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, 5.^a ed. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins.

Una introducción a la EEG (avanzado, técnico y no para pusilánimes).

*Panksepp, J., ed. 2002. *Textbook of Biological Psychiatry*. Hoboken, N.J.: Wiley.
Sobre inhibidores selectivos de reabsorción de serotonina, dopamina y neuroquímica.

*Patel, A. D. 2003. Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience* 6 (7): 674-681.

La neuroanatomía de la estructura musical; este artículo introduce la hipótesis del recurso de integración sintáctica compartido.

*Penhune, V. B., R. J. Zatorre, J. D. MacDonald y A. C. Evans. 1996. Interhemispheric anatomical differences in human primary auditory cortex: Probabilistic mapping and volume measurement from magnetic resonance scans. *Cerebral Cortex* 6: 661-672.

*Peretz, I., R. Kolinsky, M. J. Tramo, R. Labrecque, C. Hublet, G. Demeurisse y S. Belleville. 1994. Functional dissociations following bilateral lesions of auditory cortex. *Brain* 117: 1283-1301.

*Perry, D. W., R. J. Zatorre, M. Petrides, B. Alivisatos, E. Meyer y A. C. Evans. 1999. Localization of cerebral activity during simple singing. *NeuroReport* 10: 3979-3984.
La neuroanatomía del procesamiento musical.

*Petitto, L. A., R. J. Zatorre, K. Gauna, E. J. Nikelski, D. Dostie y A. C. Evans. 2000. Speech-like cerebral activity in profoundly deaf people processing signed languages: Implications for the neural basis of human language. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97 (25): 13961-13966.
La neuroanatomía del lenguaje de señas.

Posner, M. I. 1973. *Cognition: An Introduction*. Compilado por J. L. E. Bourne y L. Berkowitz, 1.^a ed. Basic Psychological Concepts Series. Glenview, Ill.: Scott, Foresman and Company.

—: 1986. *Chronometric Explorations of Mind: The Third Paul M. Fitts Lectures, Delivered at the University of Michigan, September 1976*. Nueva York: Oxford University Press.

Sobre códigos mentales.

Posner, M. I., y M. E. Raichle. 1994. *Images of Mind*. Nueva York: Scientific American Library.

Una introducción a las neuroimágenes para el público en general.

Rosen, C. 1975. *Arnold Schoenberg*. Chicago: University of Chicago Press.

Sobre la música atonal y de doce notas del compositor.

*Russell, G. S., K. J. Eriksen, P. Poolman, P. Luu y D. Tucker. 2005. Geodesic photogrammetry for localizing sensor positions in dense-array EEG. *Clinical Neuropsychology* 116: 1130-1140.

El problema inverso de Poisson en la localización electroencefalográfica.

Samson, S., y R. J. Zatorre. 1991. Recognition memory for text and melody of songs after unilateral temporal lobe lesion: Evidence for dual encoding. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 17 (4): 793-804.

—: 1994. Contribution of the right temporal lobe to musical timbre discrimination. *Neuropsychologia* 32: 231-240.

Neuroanatomía de la música y de la percepción del habla.

Schank; R. C., y R. P. Abelson. 1977. *Scripts, plans, goals, and understanding*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.

Obra fundamental sobre los esquemas.

*Shepard, R. N. 1964. Circularity in judgments of relative pitch. *Journal of The Acoustical Society of America* 36 (12): 2346-2353.

*—: 1982. Geometrical approximations to the structure of musical pitch. *Psychological Review* 89 (4): 305-333.

*—: 1982. Structural representations of musical pitch. En *Psychology of Music*, compilado por D. Deutsch. San Diego: Academic Press.

La dimensionalidad del tono.

Squire, L. R., F. E. Bloom, S. K. McConnell, J. L. Roberts, N. C. Spitzer y M. J. Zigmond, eds. 2003. *Fundamental Neuroscience*, 2.^a ed. San Diego: Academic Press.

Texto básico de neurociencia.

*Temple, E., R. A. Poldrack, A. Protopapas, S. S. Nagarajan, T. Salz, P. M. M. Merzenich y J. D. E. Gabrieli. 2000. Disruption of the neural response to rapid acoustic stimuli in dyslexia: Evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97 (25): 13907-13912.

Neuroanatomía funcional del habla.

*Tramo, M. J., J. J. Bharucha y F. E. Musiek. 1990. Music perception and cognition following bilateral lesions of auditory cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2: 195-212.

*Zatorre, R. J. 1985. Discrimination and recognition of tonal melodies after lateral cerebral

excisions. *Neuropsychologia* 23 (1): 31-41.

*—: 1998. Functional specialization of human auditory cortex for musical Processing. *Brain* 121 (parte 10): 1817-1818.

*Zatorre, R. J., P. Belin y V. B. Penhune. 2002. Structure and function of auditory cortex: Music and speech. *Trends in Cognitive Sciences* 6 (1): 37-46.

*Zatorre, R. J., A. C. Evans, E. Meyer y A. Gjedde. 1992. Lateralization of phonetic and pitch discrimination in speech processing. *Science* 256 (5058): 846-849.

*Zatorre, R. J., y S. Samson. 1991. Role of the right temporal neocortex in retention of pitch in auditory short-term memory. *Brain* (114): 2403-2417.

Estudios de la neuroanatomía del habla y de la música y del efecto de las lesiones.

CAPÍTULO 5

Bjork, E. L., y R. A. Bjork, eds. 1996. *Memory, Handbook of Perception and Cognition*, 2.^a ed. San Diego: Academic Press.

Texto general sobre la memoria para el investigador.

Cook, P. R., ed. 1999. *Music, Cognition, and Computerized Sound: An Introduction to Psychoacoustics*. Cambridge: MIT Press.

Este libro consiste en las clases a las que yo asistí como pregraduado en el curso que menciono, que impartieron Pierce, Chowning, Mathews, Shepard y otros.

*Dannenber, R. B., B. Thom y D. Watson. 1997. A machine learning approach, to musical style recognition. Ponencia de la Conferencia Internacional de Música por Ordenador. Tesalónica, Grecia.

Un artículo básico sobre la huella dactilar musical.

Dowling, W. J., y D. L. Harwood. 1986. *Music Cognition*. San Diego: Academic Press.

Sobre el reconocimiento de melodías a pesar de las transformaciones.

Gazzaniga, M. S., R. B. Ivry, y G. R. Mangun. 1998. *Cognitive Neuroscience: The Biology of the Mind*. Nueva York: W. W. Norton.

Contiene un resumen de los estudios de cerebros escindidos de Gazzaniga.

*Goldinger, S. D. 1996. Words and voices: Episodic traces in spoken word identification and recognition memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 22 (5): 1166-1183.

*—: 1998. Echoes of echoes? An episodic theory of lexical access. *Psychological Review* 105 (2): 251-279.

Artículos básicos sobre la teoría de huellas múltiples de la memoria.

Guenther, R. K. 2002. Memory. En *Foundations of Cognitive Psychology: Core Readings*, compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.

Una panorámica de las teorías de conservación de registros y constructivista de la

memoria.

- *Haitsma, J., y T. Kalker. 2003. A highly robust audio fingerprinting system with an efficient search strategy. *Journal of New Music Research* 32 (2): 211-221.
Otro artículo fundamental sobre huella dactilar auditiva.
- *Halpern, A. R. 1988. Mental scanning in auditory imagery for songs. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 143: 434-443.
Fuente del análisis que se hace en este capítulo de la capacidad de explorar la música mentalmente.
- *—: 1989. Memory for the absolute pitch of familiar songs. *Memory and Cognition* 17 (5): 572-581.
Este artículo fue la inspiración de mi estudio de 1994.
- *Heider, E. R. 1972. Universals in color naming and memory. *Journal of Experimental Psychology* 93 (1): 10-20.
Una obra fundamental sobre categorización de Eleanor Rosch, con su apellido de casada.
- *Hintzman, D. H. 1986. «Schema abstraction» in a multiple-trace memory model. *Psychological Review* 93 (4): 411-428.
Analiza el modelo MINERVA de Hintzman en el marco de los modelos de memoria de huella múltiple.
- *Hintzman, D. L., R. A. Block, y N. R. Inskeep. 1972. Memory for mode of input. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 11: 741-749.
Base para el estudio de tipos de letras que analizo.
- *Ishai, A., L. G. Ungerleider y J. V. Haxby. 2000. Distributed neural systems for the generation of visual images. *Neuron* 28: 979-990.
Fuente del trabajo sobre separación categorial en el cerebro.
- *Janata, P. 1997. Electrophysiological studies of auditory contexts. Dissertation Abstracts International: Section B: The Sciences and Engineering, Universidad de Oregón.
Contiene el informe sobre el hecho de que imaginar una pieza musical deja un registro electroencefalográfico idéntico a escucharla.
- *Levitin, D. J. 1994. Absolute memory for musical pitch: Evidence from the production of learned melodies. *Perception and Psychophysics* 56 (4): 414-423.
Éste es el artículo fuente que informa sobre mi estudio de gente cantando sus canciones populares y de rock favoritas en una tonalidad correcta o casi correcta.
- *—: 1999. Absolute pitch: Self-reference and human memory. *International Journal of Computing Anticipatory Systems*.
Una panorámica de la investigación sobre el oído absoluto.
- *—: 1999. Memory for musical attributes. En *Music, Cognition and Computerized Sound: An Introduction to Psychoacoustics*, compilado por P. R. Cook. Cambridge: MIT Press.
Descripción de mi estudio con diapasones y memoria del tono.

- : 2001. Paul Simon: The Grammy interview. *Grammy*, septiembre, 42-46.
Fuente del comentario de Paul Simon sobre audición de timbres.
- *Levitin, D. J., y P. R. Cook. 1996. Memory for musical tempo: Additional evidence that auditory memory is absolute. *Perception and Psychophysics* 58: 927-935.
Fuente de mi estudio sobre el recuerdo del tempo de una canción.
- *Levitin, D. J., y S. E. Rogers. 2005. Pitch perception: Coding, categories and controversies. *Trends in Cognitive Sciences* 9 (1): 26-33.
Un repaso de la investigación sobre el oído absoluto.
- *Levitin, D. J., y R. J. Zatorre. 2003. On the nature of early training and absolute pitch: A reply to Brawn, Sachs, Cammuso and Foldstein. *Music Perception* 21 (1): 105-110.
Una nota técnica sobre problemas de la investigación del oído absoluto.
- Loftus, E. 1979/1996. *Eyewitness Testimony*. Cambridge: Harvard University Press.
Fuente de los experimentos sobre distorsiones de la memoria.
- Luria, A. R. 1968. *The Mind of a Mnemonist*. Nueva York: Basic Books.
Fuente de la historia del paciente con hipermnnesia.
- McClelland, J. L., D. E. Rumelhart y G. E. Hinton. 2002. The appeal of parallel distributed processing. En *Foundations of Cognitive Psychology: Core Readings*, compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.
Artículo básico sobre modelos de procesamiento distribuido en paralelo, conocidos también como «redes neuronales», simulaciones computacionales de la actividad cerebral.
- *McNab, R. J., L. A. Smith, I. H. Witten, C. L. Henderson y S. J. Cunningham. 1996. Towards the digital music library: tune retrieval from acoustic input. *Proceedings of the First ACM International Conference on Digital Libraries*: 11-18.
Panorámica de la dactiloscopia musical.
- *Parkin, A. J. 1993. *Memmy: Phenomena, Experiment and Theory*. Oxford, UK: Blackwell.
Libro de texto sobre la memoria.
- *Peretz, I., y R. J. Zatorre. 2005. Brain organization for music processing. *Annual Review of Psychology* 56: 89-114.
Un repaso de los fundamentos neuroanatómicos de la percepción de la música.
- Pope, S. T., F. Holm y A. Kouznetsov. 2004. Feature extraction and database design for music software. Paper read at International Computer Music Conference in Miami.
Sobre dactiloscopia de la música.
- *Posner, M. I., y S. W. Keele. 1968. On the genesis of abstract ideas. *Journal of Experimental Psychology* 77: 353-363.
- *—: 1970. Retention of abstract ideas. *Journal of Experimental Psychology* 83: 304-308.
Fuente de los experimentos descritos que mostraban que pueden almacenarse prototipos en la memoria.

- *Rosch, E. 1977. Human categorization. En *Advances in Crosscultural Psychology*, compilado por N. Warren. Londres: Academic Press.
- *—: 1978. Principles of categorization. En *Cognition and Categorization*, compilado por E. Rosch y B. B. Lloyd. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- *Rosch, E., y C. B. Mervis. 1975. Family resemblances: Studies in the internal structure of categories. *Cognitive Psychology* 7: 573-605.
- *Rosch, E., C. B. Mervis, W. D. Gray, D. M. Johnson y P. Boyes-Braem. 1976. Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology* 8: 382-439.
Fuente de los artículos sobre la teoría del prototipo de Rosch.
- *Schellenberg, E. G., P. Iverson y M. C. McKinnon. 1999. Name that tune: Identifying familiar recordings from brief excerpts. *Psychonomic Bulletin & Review* 6 (4): 641-646.
Fuente para el estudio descrito sobre individuos que identificaban canciones basándose en claves tímbricas.
- Smith, E. E., y D. L. Medin. 1981. *Categories and concepts*. Cambridge: Harvard University Press.
- Smith, E., y D. L. Medin. 2002. The exemplar view. En *Foundations of Cognitive Psychology: Core Readings*, compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.
Sobre el enfoque ejemplar, como alternativa a la teoría del prototipo de Rosch.
- *Squire, L. R. 1987. *Memory and Brain*. Nueva York: Oxford University Press.
El libro de texto sobre la memoria.
- *Takeuchi, A. H., y S. H. Hulse. 1993. Absolute pitch. *Psychological Bulletin* 113 (2): 345-361.
- *Ward, W. D. 1999. Absolute Pitch. En *The Psychology of Music*, compilado por D. Deutsch, San Diego: Academic Press.
Panorámica general sobre el oído absoluto.
- *White, B. W. 1960. Recognition of distorted melodies. *American Journal of Psychology* 73: 100-107.
Fuente de los experimentos sobre cómo se puede identificar música sometida a una transposición y a otras transformaciones.
- Wittgenstein, L. 1953. *Philosophical Investigations*. Nueva York: Macmillan. [En castellano: *Investigaciones filosóficas*, García Suárez, A., y Moulines, U. trs., Editorial Crítica, Barcelona, 1988.]
Fuente de las consideraciones de Wittgenstein sobre «¿Qué es un juego?» y los parecidos de familia.

CAPÍTULO 6

- *Desain, P., y H. Honing. 1999. Computational models of beat induction: The rule-based approach. *Journal of New Music Research* 28 (1): 29-42.

Este artículo analiza algunos de los algoritmos que utilizaron los autores en el espectáculo de zapateado sobre el que escribí.

*Aitkin, L. M., y J. Boyd. 1978. Acoustic input to lateral pontine nuclei. *Hearing Research* 1 (1): 67-77.

Fisiología de la vía auditiva, nivel bajo.

*Barnes, R., y M. R. Jones. 2000. Expectancy, attention, and time. *Cognitive Psychology* 41 (3): 254-311.

Un ejemplo del trabajo de Mari Reiss Jones sobre el compás y el ritmo en la música. La búsqueda científica del alma.

Crick, F. 1988. *What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery*. Nueva York: Basic Books. [En castellano: *Qué loco propósito*, Goday, Adela, y Puigdomenech, Pere, trs., Tusquets Editores, Barcelona, 1989.]

Fuente de la cita sobre los primeros años de Crick como científico.

Crick, F. H. C. 1995. *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*. Nueva York: Touchstone/Simon & Schuster. [En castellano: *La búsqueda científica del alma: una revolucionaria hipótesis*, Páez de la Cadena Tortosa, Francisco (tr.), Editorial Debate, Barcelona, 1994.]

Fuente del análisis de Crick del reduccionismo.

*Friston, K. J. 1994. Functional and effective connectivity in neuroimaging: a synthesis. *Human Brain Mapping* 2: 56-68.

El artículo sobre conectividad funcional que ayudó a Menon a elaborar el análisis que necesitábamos para nuestro artículo sobre la emoción musical y el nucleus accumbens.

*Gallistel, C. R. 1989. *The Organization of Learning*. Cambridge: MIT Press.

Una muestra del trabajo de Randy Gallistel.

*Goldstein, A. 1980. Thrills in response to music and other stimuli. *Physiological Psychology* 8 (1): 126-129.

El estudio que mostró que el naloxone puede bloquear la emoción musical.

*Grabow, J. D., M. J. Ebersold y J. W. Albers. 1975. Summated auditory evoked potentials in cerebellum and inferior colliculus in young rat. *Mayo Clinic Proceedings* 50 (2): 57-68.

Fisiología de las conexiones del cerebelo.

*Holinger, D. P., U. Bellugi, D. L. Mills, J. R. Korenberg, A. L. Reiss, G. F. Sherman y A. M. Galaburda. En prensa. Relative sparing of primary auditory cortex in Williams syndrome. *Brain Research*.

El artículo del que Ursula habló a Crick.

Hopfield, J. J. 1982. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of National Academy of Sciences* 79 (8): 2554-2558.

La primera exposición de las redes de Hopfield, una forma de modelo de red neuronal.

- *Huang, C., y G. Liu 1990. Organization of the auditory area in the posterior cerebellar vermis of the cat. *Experimental Brain Research* 81 (2): 377-383.
- *Huang, C.-M., G. Liu y R. Huang. 1982. Projections from the cochlear nucleus to the cerebellum. *Brain Research* 244: 1-8.
- *Ivry, R. B., y R. E. Hazeltine. 1995. Perception and production of temporal intervals across a range of durations: Evidence for a common timing mechanism. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 21 (1): 3-18.
Artículos sobre la fisiología, la anatomía y la conectividad del cerebelo y de las áreas auditivas inferiores.
- *Jastreboff, P. J. 1981. Cerebellar interaction with the acoustic reflex. *Acta Neurobiologiae Experimentalis* 41 (3): 279-298.
Fuente de información sobre el reflejo acústico de «alerta».
- *Jones, M. R. 1987. Dynamic pattern structure in music: recent theory and research. En *Perception and Psychophysics* 41: 611-634.
- *Jones, M. R., y M. Boltz. 1989. Dynamic attending and responses to time. *Psychological Review* 96: 459-491.
Ejemplos del trabajo de Jones sobre ritmo y música.
- *Keele, S. W., y R. Ivry. 1990. Does the cerebellum provide a common computation for diverse task: A timing hypothesis. *Annals of The New York Academy of Sciences* 608: 179-211.
Ejemplo del trabajo de Ivry sobre el ritmo y el cerebelo.
- *Large, E. W., y M. R. Jones. 1995. The time course of recognition of novel melodies. *Perception and Psychophysics* 57 (2): 136-149.
- *—: 1999. The dynamics of attending: How people track time-varying events. *Psychological Review* 106 (1): 119-159.
Más muestras del trabajo de Jones sobre ritmo y música.
- *Lee, L. 2003. A report of the functional connectivity workshop, Düsseldorf 2002. *NeuroImage* 19: 457-465.
Uno de los artículos que leyó Menon para elaborar los análisis que necesitábamos para nuestro estudio del nucleus accumbens.
- *Levitin, D. J., y U. Bellugi. 1998. Musical abilities in individuals with Williams syndrome. *Music Perception* 15 (4): 357-389.
- *Levitin, D. J., K. Cole, M. Chiles, Z. Lai, A. Lincoln y U. Bellugi. 2004. Characterizing the musical phenotype in individuals with Williams syndrome. *Child Neuropsychology* 10 (4): 223-247.
Información sobre el síndrome de Williams y dos estudios de las habilidades musicales que lo acompañan.
- *Levitin, D. J., y V. Menon. 2003. Musical structure is processed in «language» areas of the brain: A possible role for Brodmann Area 47 in temporal coherence. *NeuroImage*

20 (4): 2142-2152.

- *—: 2005. The neural locus of temporal structure and expectancies in music: Evidence from functional neuroimaging at 3 Tesla. *Music Perception* 11 (3): 563-575.
- *Levitin, D. J., V. Menon, J. E. Schmitt, S. Eliez, C. D. White, G. H. Glover, J. Kadis, J. R. Korenberg, U. Bellugi y A. Reiss. 2003. Neural correlates of auditory perception in Williams syndrome: An fMRI study. *NeuroImage* 18 (1): 74-82.
Estudios que mostraron activaciones cerebelares con la audición de música.
- *Loeser, J. D., R. J. Lemire y E. C. Alvord. 1972. Development of folia in human cerebellar vermis. *Anatomical Record* 173 (1): 109-113.
Antecedentes de la fisiología cerebral.
- *Menon, V., y D. J. Levitin. 2005. The rewards of music listening: Response and physiological connectivity of the mesolimbic system. *NeuroImage* 28 (1): 175-184.
El artículo en el que demostramos la participación del nucleus accumbens y del sistema de recompensas del cerebro en la audición de música.
- *Merzenich, M. M., W. M. Jenkins, P. Johnston, C. Schreiner, S. L. Miller y P. Tallal. 1996. Temporal Processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training. *Science* 271: 77-81.
Artículo que muestra que la dislexia puede ser debida a un déficit del ritmo en el sistema auditivo de los niños.
- *Middleton, F. A., y P. L. Strick: 1994. Anatomical evidence for cerebellar and basal ganglia involvement in higher cognitive function. *Science* 266 (5184): 458-461.
- *Penhune, V. B., R. J. Zatorre y A. C. Evans. 1998. Cerebellar contributions to motor timing: A PET study of auditory and visual rhythm reproduction. *Journal of Cognitive Neuroscience* 10 (6): 752-765.
- *Schmahmann, J. D. 1991. An emerging concept—the cerebellar contribution to higher function. *Archives of Neurology* 48 (11): 1178-1187.
- *Schmahmann, Jeremy D., ed. 1997. *The Cerebellum and Cognition. (International Review of Neurobiology, v. 41)*. San Diego: Academic Press.
- *Schmahmann, S. D., y J. C. Sherman. 1988. The cerebellar cognitive affective syndrome. *Brain and Cognition* 121: 561-579.
Información básica sobre el cerebelo, su función y su anatomía.
- *Tallal, P., S. L. Miller, G. Bedi, G. Byma, X. Wang, S. S. Nagarajan, C. Schreiner, W. M. Jenkins y M. M. Merzenich. 1996. Language comprehension in language learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science* 271: 81-84.
Artículo que muestra que la dislexia puede deberse a un déficit del ritmo en el sistema auditivo de los niños.
- *Ullman, S. 1996. *High-level Vision: Object Recognition and Visual Cognition*. Cambridge: MIT Press.
Sobre la arquitectura del sistema visual.

- *Weinberger, N. M. 1999. Music and the auditory system. En *The Psychology of Music*, compilado por D. Deutsch. San Diego: Academic Press.
Sobre fisiología y conectividad de sistema auditivo/música.

CAPÍTULO 7

- *Abbie, A. A. 1934. The projection of the forebrain on the pons and cerebellum. *Proceedings of the Royal Society of London (Biological Sciences)* 115: 504-522.
Fuente de la cita sobre la participación del cerebelo en el arte.
- *Chi, Michelene T. R., Robert Glaser y Marshall J. Farr, eds. 1988. *The Nature of Expertise*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
Estudios psicológicos sobre la pericia, incluida la de los jugadores de ajedrez.
- *Elbert, T., C. Pantev, C. Wienbruch, B. Rockstroh y E. Taub. 1995. Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science* 270 (5234): 305-307.
Los cambios corticales asociados con tocar el violín.
- *Ericsson, K. A., y J. Smith, eds. 1991. *Toward a General Theory of Expertise: Prospects and Limits*. Nueva York: Cambridge University Press.
Estudios psicológicos de la pericia, incluida la de los jugadores de ajedrez.
- *Gobet, F., P. C. R. Lane, S. Croker, P. C. R. Cheng, G. Jones, I. Oliver y J. M. Pine. 2001. Chunking mechanisms in human learning. *Trends in Cognitive Sciences* 5: 236-243.
Sobre trocear para recordar.
- *Hayes, J. R. 1985. Three problems in teaching general skills. En *Thinking and Learning Skills: Research and Open Questions*, compilado por S. F. Chipman, J. W. Segal y R. Glaser. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
Fuente para el estudio que sostiene que las obras iniciales de Mozart no se tenían en gran estima y refutación de la tesis de que Mozart no necesitó diez mil horas para alcanzar la pericia como todos los demás.
- Howe, M. J. A., J. W. Davidson, y J. A. Sloboda. 1998. Innate talents: Reality or myth? *Behavioral & Brain Sciences* 21 (3): 399-442.
Uno de mis artículos favoritos, aunque no esté de acuerdo con él en todo; una panorámica general de la idea de que «el talento es un mito».
- Levitin, D. J. 1982. Conversación inédita con Neil Young, Woodside, CA.
—: 1996. Interview: A Conversation with Joni Mitchell. *Grammy*, primavera, 26-32.
—: 1996. Stevie Wonder: Conversation in the Key of Life. *Grammy*, verano, 14-25.
—: 1998. Still Creative After All These Years: A Conversation with Paul Simon. *Grammy*, febrero, 16-19, 46.
—: 2000. A conversation with Joni Mitchell. En *The Joni Mitchell Companion: Four Decades of Commentary*, compilado por S. Luftig. Nueva York: Schirmer Books.

- : 2001. Paul Simon: The Grammy Interview. *Grammy*, septiembre, 42-46.
- : 2004. Conversación inédita con Joni Mitchell, diciembre, Los Ángeles, California.
Fuentes de las anécdotas y citas de esos músicos sobre pericia musical.
- MacArthur, P. 1999. JazzHouston Website. <http://www.jazzhouston.com/forum/messages.jsp?key=352&page=7&pKey=1&fpage=1&total=588>.
Fuente de la cita sobre los errores de Rubinstein.
- *Sloboda, J. A. 1991. Musical expertise. En *Toward a General Theory of Expertise*, compilado por K. A. Ericsson y J. Smith. Nueva York: Cambridge University Press.
Panorámica de temas y descubrimientos en la literatura sobre pericia musical.
- Tellegen, Auke, David Lykken, Thomas Bouchard, Kimerly Wilcox, Nancy Segal y Stephen Rich. 1988. Personality similarity in twins reared apart and together. *Journal of Personality and Social Psychology* 54 (6): 1031-1039.
Estudio de los gemelos de Minnesota.
- *Vines, B. W., C. Krumhansl, M. M. Wanderley y D. Levitin. En prensa. Crossmodal interactions in the perception of musical performance. *Cognition*.
Fuente del estudio sobre la transmisión de emociones a través de gestos musicales.

CAPÍTULO 8

- *Berlyne, D. E. 1971. *Aesthetics and Psychobiology*. Nueva York: Appleton-Century-Crofts.
Sobre la hipótesis de la U invertida en el aprecio de la música.
- *Gaser, C., y G. Schlaug. 2003. Gray matter differences between musicians and nonmusicians. *Annals of the New York Academy of Sciences* 999: 514-517.
Diferencias entre el cerebro de los músicos y el de los que no son músicos.
- *Husain, G., W. F. Thompson y E. G. Schellenberg. 2002. Effects of musical tempo and mode on arousal, mood, and spatial abilities. *Music Perception* 20 (2): 151-171.
El «Efecto Mozart» explicado.
- *Hutchinson, S., L. H. Lee, N. Gaab y G. Schlaug. 2003. Cerebellar volume of musicians. *Cerebral Cortex* 13: 943-949.
Diferencias entre el cerebro de los músicos y el de los que no son músicos.
- *Lamont, A. M. 2001. Infants' preferences for familiar and unfamiliar music: A socio-cultural study. Ponencia en la sociedad para la Percepción y Cognición Musical, 9 de agosto, 2001, Kingston, Ontario.
Sobre experiencia musical prenatal de los niños pequeños.
- *Lee, D. J., Y. Chen y G. Schlaug. 2003. Corpus callosum: musician and gender effects. *NeuroReport* 14: 205-209.
Diferencias entre el cerebro de los músicos y el de los que no son músicos.
- *Rauscher, F. H., G. L. Shaw y K. N. Ky. 1993. Music and spatial task performance.

Nature 365: 611.

El informe original del «Efecto Mozart».

- *Saffran, J. R. 2003. Absolute pitch in infancy and adulthood: the role of tonal structure. *Developmental Science* 6 (1): 35-47.
Sobre el uso de entradas de oído absoluto por niños pequeños.
- *Schellenberg, E. G. 2003. Does exposure to music have beneficial side effects? En *The Cognitive Neuroscience of Music*, compilado por I. Peretz y R. J. Zatorre. Nueva York: Oxford University Press.
- *Thompson, W. F., E. G. Schellenberg y G. Husain. 2001. Arousal, mood, and the Mozart Effect. *Psychological Science* 12 (3): 248-251.
El «Efecto Mozart» explicado.
- *Trainor, L. J., L. Wu y C. D. Tsang. 2004. Long-term memory for music: Infants remember tempo and timbre. *Developmental Science* 7 (3): 289-296.
Sobre el uso de entradas de oído absoluto por niños pequeños.
- *Trehub, S. E. 2003. The developmental origins of musicality. *Nature Neuroscience* 6 (7): 669-673.
- *—: 2003. Musical predispositions in infancy. En *The Cognitive Neuroscience of Music*, compilado por I. Peretz y R. J. Zatorre. Oxford: Oxford University Press.
Sobre la experiencia musical en la temprana infancia.

CAPÍTULO 9

- Barrow, J. D. 1995. *The Artful Universe*. Oxford, Reino Unido: Clarendon Press. [En castellano: *El universo como obra de arte*, García Sanz, Javier, tr., Editorial Crítica, Barcelona, 2007.]
«La música no tiene ningún papel en la supervivencia de la especie.»
- Blacking, J. 1995. *Music, Culture, and Experience*. Chicago: University of Chicago Press.
«La naturaleza encarnada de la música, la indivisibilidad de movimiento y sonido, es una característica de la música en todas las culturas y en todas las épocas.»
- Buss, D. M., M. G. Haselton, T. K. Shackelford, A. L. Bleske y J. C. Wakefield. 2002. Adaptations, exaptations, and spandrels. En *Foundations of Cognitive Psychology: Core Readings*, compilado por D. J. Levitin, Cambridge: MIT Press.
He evitado intencionadamente establecer una distinción entre dos tipos de subproductos evolutivos, *enjutas* y *exaptaciones*, para simplificar la exposición en este capítulo y he utilizado el término *enjuta* para ambos tipos de subproductos de la evolución. Dado que el propio Gould no utilizó los términos de forma coherente en todos sus escritos, y dado que el punto principal no queda afectado por pasar por alto esa distinción, expongo una explicación *simplificada aquí y no creo que los lectores sufran por ello ninguna pérdida de comprensión*. Buss, et al., analiza esta y otras distinciones, basadas en la obra de Stephen Jay Gould citada más abajo.

*Cosmides, L. 1989. The logic of social exchange: Has natural selection how humans reason? *Cognition* 31: 187-276.

*Cosmides, L., y J. Tooby. 1989. Evolutionary psychology and the generation of culture, Part II, Case Study: A computational theory of social exchange. *Ethology and Sociobiology* 10: 51-97.

Enfoques de la psicología evolutiva sobre cognición como adaptación.

Cross, I. 2001. Music, cognition, culture, and evolution. *Annals of the New Academy of Sciences* 930: 28-42.

—: 2001. Music, mind and evolution. *Psychology of Music* 29 (1): 95-102.

—: 2003. Music and biocultural evolution. En *The Cultural Study of Music: A Critical Introduction*, compilado por M. Clayton, T. Herbert y R. Middleton. York: Routledge.

—: 2003. Music and evolution: Consequences and causes. *Comparative Music Review* 22 (3): 79-89.

—: 2004. Music and meaning, ambiguity and evolution. En *Musical Communications*, compilado por D. Miell, R. MacDonald y D. Hargraves.

Las fuentes de los argumentos de Cross como se exponen en este capítulo.

Darwin, C. 1871/2004. *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*. Nueva York: Penguin Classics. [En castellano: *El origen del hombre y de la selección en relación al sexo*. Editorial Edaf, S.A., Madrid, 1982.]

La fuente de las ideas de Darwin sobre música, selección sexual y adaptación. «Mi conclusión es que las notas musicales y el ritmo las adquirieron primero los progenitores macho o hembra de la humanidad con el objeto de embelesar al sexo opuesto. De manera que los tonos musicales pasaron a asociarse firmemente con algunas de las pasiones más fuertes que es capaz de sentir un animal, y se utilizaron en consecuencia de forma instintiva...»

*Deaner, R. O., y C. I. Nunn. 1999. How quickly do brains catch up with bodies? A comparative method for detecting evolutionary lag. *Proceedings of the Royal Society of London B* 266 (1420): 687-694.

Sobre el lapso evolutivo.

Gleason, J. B. 2004. *The Development of Language*, 6.^a ed. Boston: Allyn & Bacon.

Texto para pregraduados sobre el desarrollo de la habilidad lingüística.

*Gould, S. J. 1991. Exaptation: A crucial tool for evolutionary psychology. *Journal of Social Issues* 47: 43-65.

Explicación de Gould de diferentes tipos de subproductos de la evolución.

Huron, D. 2001. Is music an evolutionary adaptation? En *Biological Foundations of Music*. Respuesta de Huron a Pinker (1997); la idea de comparar el autismo con el síndrome de Williams para defender el vínculo entre musicalidad y sociabilidad apareció aquí por primera vez.

*Miller, G. F. 1999. Sexual selection for cultural displays. En *The Evolution of Culture*,

compilado por R. Dunbar, C. Knight y C. Power. Edimburgo: Edinburgh University Press.

*—: 2000. Evolution of human music through sexual selection. En *The Origins of Music*, compilado por N. I. Wallin, B. Merker y S. Brown. Cambridge: MIT Press.

—: 2001. Aesthetic fitness: How sexual selection shaped artistic virtuosity as a fitness indicator and aesthetic preferences as mate choice criteria. *Bulletin of Psychology and the Arts* 2 (1): 20-25.

*Miller, G. F., y M. G. Haselton. En prensa. Women's fertility across the cycle increases the short-term attractiveness of Creative intelligence compared to wealth. *Human Nature*.

Artículos base para la idea de Miller sobre la música como exhibición de aptitud sexual.

Pinker, S. 1997. *How the Mind Works*. Nueva York: W. W. Norton. [En castellano: *Cómo funciona la mente*, Meler Ortí, Ferran (tr.), Ediciones Destino, S.A., Barcelona, 2004.]

Fuente de la analogía de Pinker de la «tarta de queso auditiva».

Sapolsky, R. M. *Why Zebras Don't Get Ulcers*, 3.^a ed. 1998. Nueva York: Henry Holt and Company. [En castellano: *¿Por qué las cebras no tienen úlcera? La guía del estrés*, González Serrano, Celina, y Coll Rodríguez, Miguel Ángel (trs.), Alianza Editorial, S.A., Madrid, 2008.]

Sobre el lapso evolutivo.

Sperber, D. 1996. *Explaining Culture*. Oxford, Reino Unido: Blackwell. [En castellano: *Explicar la cultura: un enfoque naturalista*, Manzano, Pablo, tr., Ediciones Morata, S.L., Madrid, 2005.]

La música como un parásito de la evolución.

*Tooby, J., y L. Cosmides. 2002. Toward mapping the evolved functional organization of mind and brain. En *Foundations of Cognitive Psychology*, compilado por D. J. Levitin. Cambridge: MIT Press.

Otra obra de estos psicólogos evolucionistas sobre cognición como adaptación.

Turk, I. *Mousterian Bone Flute*. Znanstvenoraziskovalni Center Sazu 1997 [citado 1 de diciembre de 2005. Disponible en www.uvi.si/eng/slovenia/backgroundinformation/neanderthal-flute/].

El informe original sobre el descubrimiento de la flauta de hueso eslovena.

*Wallin, N. L. 1991. *Biomusicology: Neurophysiological, Neuropsychological, and Evolutionary Perspectives on the Origins and Purposes of Music*. Stuyvesant, Nueva York: Pendragon Press.

*Wallin, N. L., B. Merker y S. Brown, eds. 2001. *The Origins of Music*. Cambridge: MIT Press.

Más información sobre los orígenes evolutivos de la música.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar las gracias a todos los que me ayudaron a aprender lo que sé sobre la música y el cerebro. Por enseñarme a hacer grabaciones, estoy en deuda con los ingenieros Leslie Ann Jones, Ken Kessie, Maureen Droney, Wayne Lewis, Jeffrey Norman, Bob Misbach, Mark Needham, Paul Mandl, Ricky Sánchez, Fred Catero, Dave Frazer, Oliver di Cicco, Stacey Baird, Marc Senasac, y los productores Narada Michael Walden, Sandy Pearlman y Randy Jackson; y por darme la oportunidad a Howie Klein, Seymour Stein, Michelle Zarin, David Robinson, Brian Rohan, Susan Skaggs, Dave Wellhausen, Norm Kerner y Joel Jaffe. Por su inspiración musical y el tiempo que pasamos conversando debo dar las gracias a Stevie Wonder, Paul Simon, John Fogerty, Lindsey Buckingham, Carlos Santana, kd lang, George Martin, Geoff Emerick, Mitchell Froom, Phil Ramone, Roger Nichols, George Massenburg, Cher, Linda Ronstadt, Peter Asher, Julia Fordham, Rodney Crowell, Rosanne Cash, Guy Clark y Donald Fagen. Por lo que me enseñaron sobre psicología cognitiva y neurociencia a Susan Carey, Roger Shepard, Mike Posner, Doug Hintzman y Helen Neville. Doy las gracias también a mis colaboradores Ursula Bellugi y Vinod Menon, que me dieron una emocionante y gratificante segunda carrera como científico, y a mis estimados colegas Steve McAdams, Evan Balaban, Perry Cook, Bill Thompson y Lew Goldberg. Mis alumnos y mis colegas de posdoctorado han sido una fuente adicional de orgullo y de inspiración, y una ayuda con sus comentarios sobre primeras versiones de este libro: Bradley Vines, Catherine Guastavino, Susan Rogers, Anjali Bhatara, Theo Koulis, Eve-Marie Quintin, Ioana Dalca, Anna Tirovolas y Andrew Schaaf. Jeff Mogil, Evan Balaban, Vinod Menon y Len Blum aportaron valiosos comentarios sobre partes del manuscrito. De todos modos, los errores son todos míos. Mis queridos

amigos Michael Brook y Jeff Kimball me han ayudado de muchas formas mientras escribí este libro con su conversación, sus preguntas, su apoyo y sus conocimientos musicales. El titular de mi cátedra, Keith Franklin, y el decano de la Escuela de Música Schulich, Don McLean, me proporcionaron un entorno intelectual para poder trabajar envidiablemente productivo e intelectual.

Me gustaría dar también las gracias a mi editor de Dutton, Jeff Galas, por guiarme y apoyarme en todas las etapas de la conversión de estas ideas en un libro, por centenares de sugerencias y excelentes consejos, y a Stephen Morrow de Dutton por sus útiles aportaciones en la corrección del manuscrito; sin Jeff y Stephen, este libro no habría existido. Gracias a los dos.

El subtítulo del capítulo 3 se tomó del excelente libro compilado por R. Steinberg y publicado por Springer-Verlag.

Y gracias a vosotras, mis piezas favoritas de música: Sexta Sinfonía de Beethoven; «Joanne» de Michael Nesmith; «Sweet Georgia Brown» de Chet Atkins y Lenny Breau; y «The End» de los Beatles.



DANIEL J. LEVITIN (San Francisco, California, 27 de diciembre de 1957), psicólogo cognitivo, neurocientífico, escritor, músico y productor musical.

Director del Laboratorio de Percepción, Conocimiento y Dominio de la Música de la Universidad McGill, graduado en Psicología Cognitiva y Ciencia Cognitiva, se doctoró en Psicología en la Universidad de Oregón. Ha sido profesor en las universidades de Stanford y McGill. Paralelamente a su carrera académica, ha sido también productor discográfico y músico profesional, llegando a colaborar con artistas de la talla de Stevie Wonder, Grateful Dead, Blue Öyster Cult, Joe Satriani y David Byrne. Ha escrito artículos tanto para publicaciones científicas como musicales.