



Por qué unas notas suenan bien juntas

Consonancia, afinación y por qué ningún piano está afinado del todo bien.

Llegamos al último tema, y este es donde todo lo que hemos visto se pone al servicio de la música tal como la usamos. En el Tema 1 montamos el sistema general y nombramos las tres cualidades del sonido. En el Tema 2 entramos en la altura: banda crítica, fundamental ausente. En el Tema 3 entramos en la sonoridad: decibelios, curvas de Fletcher-Munson. En el Tema 4 cerramos las cualidades con el timbre: Fourier, espectros, ADSR, formantes. Y en el Tema 6 vimos la cuarta dimensión, el tiempo: pulso, compás, ritmo, sincronización.

Todo eso lo hicimos pensando en sonidos individuales o en estructuras temporales. Una nota. Un instrumento. Una sala. Un pulso. Pero la música no es solo eso. La música es lo que pasa cuando juntas notas: cuando suenan dos a la vez, cuando se siguen unas a otras formando una melodía, cuando se apilan en acordes, cuando una pieza tiene tonalidad y tensión y resolución. Y lo asombroso es que **casi todo eso tiene una raíz acústica directa que ya conoces.**

Y al final del tema vamos a dar un paso más: vamos a ver que **la emoción musical no nace de lo que la música cumple, sino de lo que la música nos sorprende**. La cadencia engañosa, la apoyatura, la nota común que cambia de función: tres recursos que tienen detrás una misma idea, formulada por el musicólogo **Leonard Meyer** en 1956, y que explica por qué nos emocionamos con cuatro acordes y una melodía sencilla.

Ese es el viaje del Tema 5. Y el viaje del libro entero, que termina aquí.

§ 5.1

Disonancia sensorial: cuando dos notas chocan

Empecemos por lo más cotidiano: te toco al piano un Do y un Sol al mismo tiempo, suena bien. Te toco un Do y un Re al mismo tiempo, suena raro, áspero, «queremos que se mueva». Cualquiera con dos oídos lo distingue. ¿Por qué pasa esto?

La respuesta arranca con un concepto que ya conoces del Tema 2: la **banda crítica**. Recuerda: en la membrana basilar, cada frecuencia activa una zona de resonancia, no un punto. Esa zona tiene una anchura concreta, y dos frecuencias que caigan dentro de la misma zona crítica no se discriminan limpiamente: el oído percibe una textura áspera, «rugosa», desagradable. Solo cuando las dos frecuencias están suficientemente separadas —fuera de la banda crítica— el oído las percibe como dos tonos limpios.

Eso explica el caso más simple, el de dos tonos puros. Dos tonos puros muy juntos en frecuencia: rugosidad. Dos tonos puros suficientemente separados: pureza. Es física directa, no estética: tu oído procesa fisiológicamente la cercanía de dos vibraciones dentro de la misma zona de la membrana basilar como aspereza.

→ DOS PALABRAS IMPORTANTES

A esa sensación de aspereza producida por la cercanía de frecuencias dentro de la banda crítica los acústicos la llaman, según el contexto, **rugosidad** (cuando se refieren a la propiedad acústica concreta del estímulo) o **disonancia sensorial** (cuando se refieren a su correlato perceptivo). Esta disonancia sensorial es **una de las dos patas** de lo que en música llamamos «disonancia». La otra es musical y cultural.

§ 5.2

Disonancia sensorial vs disonancia musical

La disonancia sensorial es la que acabamos de describir: una propiedad fisiológica, predecible a partir de las frecuencias y del timbre. Si te pongo dos tonos puros separados un cuarto de banda crítica, vas a sentir rugosidad, seas occidental, oriental, niño o adulto, músico o aficionado. No depende principalmente de tu formación.

La **disonancia musical**, en cambio, es contextual y cultural. Lo que un compositor o un oyente experimenta como «tensión que pide resolverse» depende del estilo, del momento histórico, del repertorio aprendido. Un acorde de séptima dominante tiene cierta disonancia sensorial leve, pero su carácter de «tensión que necesita resolverse» en una sonata de Haydn es eminentemente cultural: un oyente que solo conoce música clásica japonesa probablemente no sentiría esa misma fuerza de resolución. En el jazz moderno, esa misma séptima dominante puede usarse como sonoridad estable.

El caso del canto ganga. En Bosnia-Herzegovina, los cantantes de *ganga* consideran AGRADABLES los intervalos de segunda mayor y segunda menor — exactamente los que para un oído occidental promedio son los más disonantes. Y todavía más sorprendente: para amplificar ese roce, **se colocan muy cerca unos de otros mientras cantan**, buscando que las dos voces choquen físicamente en el oído del otro. No solo aceptan la disonancia sensorial: la BUSCAN, la subrayan, la usan como signo de calidad estética. La banda crítica está haciendo exactamente lo mismo que hace en tu oído. Lo que cambia es lo que la cultura lee como «bonito».

Y no es un caso marginal. Hermann von Helmholtz, el padre de la psicoacústica moderna, ya lo decía hace siglo y medio con una franqueza llamativa: que la escala diatónica mayor occidental tiene tan poco de natural como el arco apuntado del estilo gótico, y que la elección concreta de intervalos refleja diferencias culturales de gusto, no leyes universales.

Y todavía un giro más, esta vez del lado de la propia música occidental. El crítico musical estadounidense **Charles Rosen**, que sabía de lo que hablaba, escribió en sus análisis que **a la mayoría de la gente le resultan más atractivas las disonancias que las consonancias**. Léelo de nuevo. En la música real, lo que engancha al oyente NO es la pureza limpia de la consonancia. Es la tensión de la disonancia que pide resolverse. Si pones tres minutos de notas puramente consonantes en una pieza, te aburrirás antes del minuto. **La consonancia sola es estática; la música ocurre en el viaje entre tensión y resolución.**

§ 5.3

La curva de Plomp-Levelt

La intuición de la disonancia sensorial se puede medir con experimentos. En los años 60, dos investigadores holandeses, **Reinier Plomp y Willem**

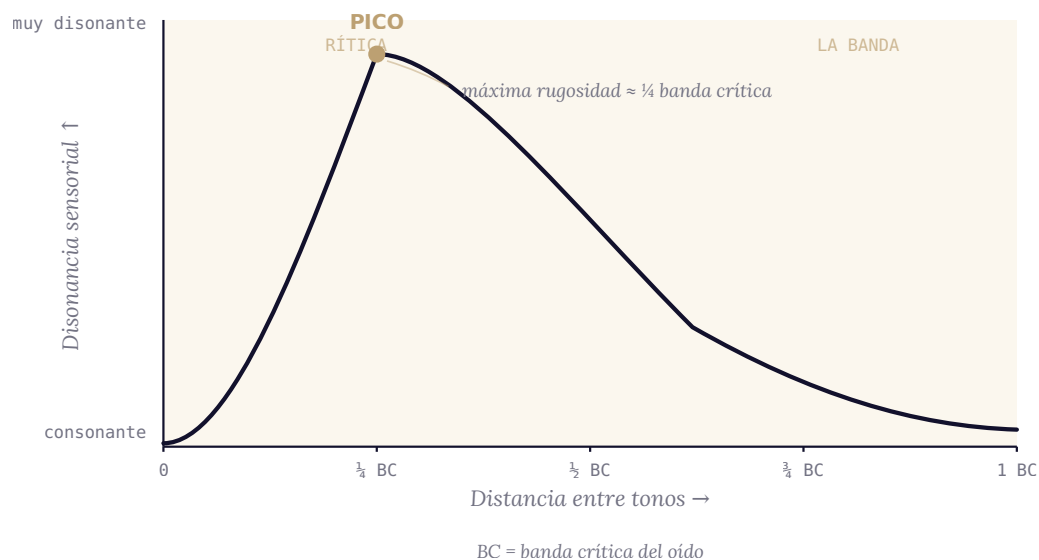
Levelt, hicieron una serie de pruebas sencillas pero ingeniosas: ponían a un oyente frente a dos altavoces, le hacían escuchar pares de tonos puros, y le pedían que valorara cuánto le agradaba el resultado. Variaban la distancia entre los dos tonos. Y lo que obtuvieron es lo que hoy se conoce como la **curva de Plomp-Levelt**.

La curva tiene una forma muy característica. En el unísono, la sensación es completamente consonante: no hay choque. A medida que separamos los dos tonos, la sensación se vuelve disonante muy rápido: **el pico de máxima disonancia aparece cuando los dos tonos están separados aproximadamente un cuarto de la banda crítica**. Más allá de ese pico, la disonancia decae rápidamente. Cuando los dos tonos están a más o menos una banda crítica de distancia, la disonancia ha desaparecido casi por completo.

Veámoslo gráficamente:

Curva de Plomp-Levelt

Disonancia sensorial entre dos tonos puros según su separación



► Diagrama 1 · Curva de Plomp-Levelt

Lo importante de esta curva: explica la consonancia y la disonancia sensorial **sin recurrir a teoría musical**. No menciona ni «quinta justa» ni «tercera mayor» ni «tonalidad». Solo banda crítica y distancia entre frecuencias. Si pudiéramos aislar a un oyente de toda su cultura musical y ponerle dos tonos puros, su oído rechazaría las distancias pequeñas y aceptaría las grandes, exactamente como predice la curva.

Y aquí está una de las consecuencias musicales importantísimas: **la banda crítica se ensancha en el registro grave**. En la zona media (entre 500 y 2.000 Hz) es de unos tres semitonos; en el registro de las notas bajas del piano puede abarcar fácilmente cinco o seis. Eso hace que **los intervalos disonantes se vuelvan aún más disonantes en grave**: dos notas a distancia de tercera (cuatro semitonos) en la zona media del piano suenan plenas y satisfactorias; las mismas dos notas en el registro grave suenan turbias, embarradas. Por eso en la música polifónica clásica el bajo casi nunca toca terceras: se mueve principalmente en quintas y octavas. **No es estética: es banda crítica.**

El descubrimiento de David Huron. El musicólogo Huron midió, con precisión cuantitativa, las distancias entre las dos notas más graves de los acordes empleados por Joseph Haydn en sus cuartetos de cuerda y por J. S. Bach en sus piezas para piano. Encontró que esas distancias **aumentan a un ritmo constante conforme las notas más graves se hacen más graves**, y se separan exactamente en la proporción que predice la banda crítica del oído. Ni Haydn ni Bach tenían ni la más remota idea de qué era la banda crítica. Plomp y Levelt nacerían siglo y medio después. Pero sus oídos sabían perfectamente cuándo dos notas graves «embarraban» y cuándo no, y lo solucionaban espaciándolas. **La fisiología del oído estaba dictando reglas de armonía sin que nadie supiera que existía.**

Esto es directamente aplicable a tu guitarra. Si voicearas un acorde con dos notas muy graves cerca entre sí, vas a oír el barrido, la turbidez. Si

voicearas las mismas dos notas dos octavas arriba (en las cuerdas agudas), la disonancia disminuye notablemente. Por eso los voicings de guitarra clásica tienden a tener la nota más grave aislada, la siguiente nota a una distancia respetuosa (rara vez menos de una cuarta), y el cuerpo del acorde —terceras, sextas, séptimas— en la zona media y aguda donde caben.

§ 5.4

Por qué la quinta es «perfecta»

Hasta aquí hemos hablado de tonos puros. Pero la música real no se hace con tonos puros: se hace con notas reales que ya tienen dentro un montón de armónicos, como vimos en el Tema 4. ¿Qué pasa cuando suenan a la vez dos notas con sus respectivos espectros? Pasa lo mismo, pero multiplicado: ahora no tenemos dos frecuencias chocando o no chocando, tenemos **muchas frecuencias chocando o no chocando a la vez**.

Empecemos por el caso extremo, el más bonito: la **octava**. Si tocas un Do y el Do una octava más arriba, las frecuencias fundamentales están en una relación 2:1. Mira lo que pasa con los armónicos:

→ Armónicos del Do grave: 1, 2, 3, 4, 5, 6...

→ Armónicos del Do agudo: 2, 4, 6, 8...

Todos los armónicos del Do agudo coinciden exactamente con armónicos pares del Do grave: el espectro se solapa de manera completa. Por eso la octava es el intervalo más consonante después del unísono, y por eso, perceptivamente, las dos notas parecen «el mismo sonido en otro registro»: se trata del fenómeno de **fusión tonal**, en el que el oído deja casi de oírlas como dos notas separadas. (Es la razón por la que en casi todas las culturas humanas la octava recibe el mismo nombre que la nota original.)

Vayamos ahora al caso central: la **quinta justa**. Si tocas un Do y un Sol, las frecuencias están en relación 2:3. El 3.º armónico del Do coincide con el 2.º del Sol. El 6.º del Do coincide con el 4.º del Sol. Y los armónicos que no coinciden están suficientemente alejados como para no caer dentro de la misma banda crítica. **Hay menos interacción crítica entre los parciales que en cualquier otro intervalo (salvo la octava)**, y eso es exactamente lo que el oído percibe como «quinta justa pura».

Pongamos ahora el caso opuesto: la **segunda menor**. Si tocas un Do y un Do# (ratio aproximado 16:15), los armónicos están todos muy cerca unos de otros en frecuencia. En la zona media, esa cercanía cae dentro de la misma banda crítica para los primeros armónicos. Resultado: muchos pares de armónicos cercanos chocando, mucha rugosidad acumulada, ^o muy alta disonancia sensorial. La segunda menor suena precisamente al «pisotón» sonoro.

Aquí está el punto que me importa que se quede grabado: la consonancia de la quinta no es solo un convenio cultural ni una preferencia estética arbitraria; es, en buena medida, una consecuencia directa de cómo está estructurado el espectro armónico de los sonidos reales y de cómo procesa la banda crítica nuestro oído. Por eso, cuando los acústicos del siglo XX revisaron las jerarquías de consonancia que la teoría musical clásica había heredado, descubrieron que el orden coincidía casi exactamente con la cantidad de armónicos coincidentes: **octava (2:1) > quinta (3:2) > cuarta (4:3) > tercera mayor (5:4) > tercera menor (6:5) > sexta mayor (5:3)**... La música y la física estaban diciendo lo mismo.

Importante: todo este análisis presupone sonidos con **espectros armónicos** «naturales», que es lo que producen casi todos los instrumentos occidentales. Pero el resultado cambia radicalmente si cambiamos el espectro. Con sonidos cuyos parciales NO sean múltiplos enteros de la fundamental (parciales no armónicos, como los del gamelán de Indonesia), los intervalos consonantes y disonantes se reorganizan de manera distinta. **La consonancia no es solo cosa de las notas: depende también del timbre con el que se tocan.**

§ 5.5

Cents: la unidad universal de los intervalos

Antes de seguir necesitamos una unidad para hablar de afinación. En el Tema 2 vimos que la altura se percibe logarítmicamente. Para hablar con precisión de pequeñas diferencias, los músicos y acústicos usan una unidad llamada **cent**.

→ EL CENT

Una octava = 1.200 cents. Un semitono temperado = 100 cents. Como la altura se percibe logarítmicamente, los cents también lo son: cada vez que sumas 1.200 cents multiplicas la frecuencia por 2; cada vez que sumas 100 cents multiplicas por $2^{(1/12)} \approx 1,0595$.

Cualquier intervalo se puede medir en cents y comparar con otro independientemente del tono de partida. Las pequeñas diferencias de afinación se cuantifican de manera limpia:

INTERVALO	JUSTA (CENTS)	TEMPERADA (CENTS)	DIFERENCIA
Octava (2:1)	1.200	1.200	0 (perfecta)
Quinta justa (3:2)	702	700	2 (imperceptible)

Cuarta justa (4:3)	498	500	2 (imperceptible)
Tercera mayor (5:4)	386	400	14 (perceptible)
Tercera menor (6:5)	316	300	16 (perceptible)
Sexta mayor (5:3)	884	900	16 (perceptible)

Esos números —2 cents, 14 cents— van a ser importantes en lo que viene. La conclusión es que **el temperamento igual sacrifica un poco la afinación de las terceras pero deja las quintas casi intactas.**

§ 5.6

La escala pitagórica y la coma que no cierra

¿De dónde vienen las doce notas de la escala occidental? La historia más antigua arranca con Pitágoras, en el siglo VI a.C., y con una observación que para él tenía algo de mística: si tomas una cuerda y la divides en una proporción 2:1, suena la octava; si la divides en 3:2, suena la quinta. **Los intervalos más consonantes corresponden a los ratios numéricos más simples.**

A partir de esa observación, los pitagóricos construyeron una escala usando solo el intervalo más consonante después de la octava: la quinta. La idea es ir subiendo por quintas justas (cada una multiplicando la frecuencia por $\frac{3}{2}$) y bajándolas a la misma octava cuando hace falta. Si sigues este proceso doce veces deberías volver al Do de partida, porque doce quintas equivalen aproximadamente a siete octavas.

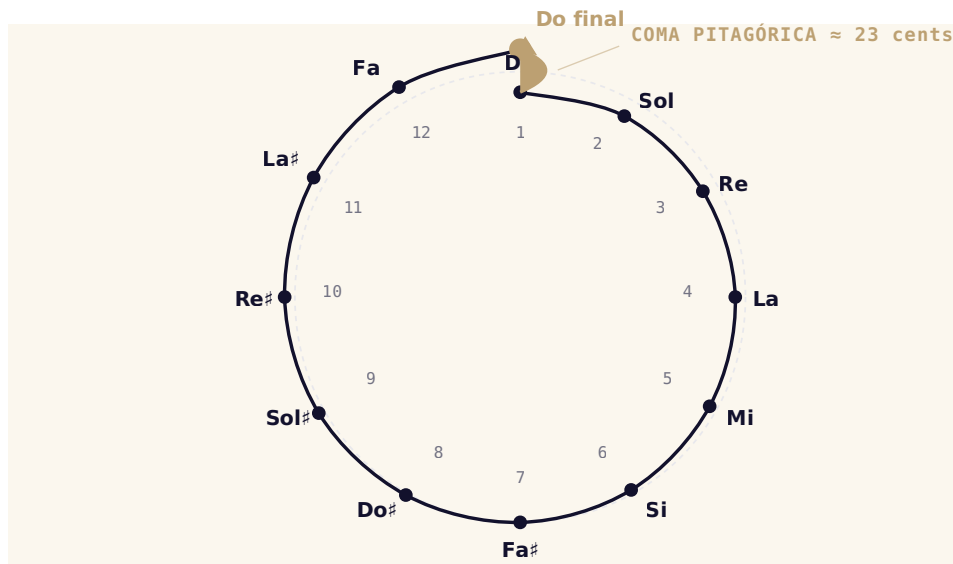
Pero no se cierra exactamente. Doce quintas justas dan un factor de aproximadamente 129,75. Siete octavas dan exactamente 128. La diferencia es pequeña pero real: el Do final está unos **23 cents más alto** que el Do inicial. A esa diferencia se la llama **coma pitagórica**, y es la primera grieta seria en el sueño

matemático de los pitagóricos: **el círculo de quintas no es un círculo, es una espiral.**

Veámoslo gráficamente:

La espiral de quintas

Doce quintas justas no cierran el círculo – la diferencia es la coma pitagórica



el desplazamiento radial está exagerado para visibilidad

► Diagrama 2 · La espiral de quintas

23 cents es perfectamente perceptible: equivale a casi un cuarto de semitono. Y crea un problema práctico: si afinas un piano con todas las quintas perfectamente justas, el último intervalo tendrá que cargar con toda la coma acumulada. Esa quinta sonará tan desafinada que en la práctica es inutilizable. A esa quinta los teóricos antiguos la llamaron «**la quinta del lobo**», porque su sonido áspero les recordaba al aullido del animal. En la afinación pitagórica pura puedes tocar en algunas tonalidades, donde la quinta del lobo no aparece, pero no en otras.

Las terceras que chirrían

La afinación pitagórica tenía un segundo problema, este aún más grave para la música polifónica que se desarrolla a partir del Renacimiento. Cuando construyes la tercera mayor a base de quintas justas (subiendo cuatro quintas y bajando dos octavas), obtienes un ratio 81:64, que mide unos 408 cents. Pero la tercera mayor «natural» —la que aparece directamente en los armónicos de cualquier nota— tiene ratio 5:4 y mide aproximadamente 386 cents.

La diferencia entre las dos terceras es de unos 22 cents: la **coma sintónica**. Y esos 22 cents se notan muchísimo cuando tocas una tercera mayor de manera sostenida. La tercera pitagórica suena chirriante, alta, tensa. La tercera justa (5:4) suena dulce, redonda, «afinada». Mientras la música medieval se basaba en octavas y quintas (donde el problema no aparece), la cosa funcionaba. Pero a partir del siglo XV, cuando la armonía polifónica empezó a apoyarse en acordes de tres notas con terceras sostenidas, el problema se hizo intolerable.

A lo largo de los siglos XV y XVI los músicos europeos fueron buscando soluciones. La **afinación justa** ajusta a oído los intervalos para que las terceras suenen 5:4 puras: funciona perfectamente para una sola tonalidad, pero al cambiar de tonalidad las terceras vuelven a chirriar. El **temperamento mesotónico** afina las terceras justas a costa de quitarle un poco a cada quinta: funciona muy bien para tonalidades cercanas pero deja «lobos» en las alejadas. **Cada solución arregla un problema y crea otro.**

Los buenos temperamentos y el clave de Bach

Hay aquí una corrección histórica importante. Cuando se habla de Bach y su famoso «Clave bien temperado» (1722, 1742), mucha gente cree — porque es lo que se enseña en las escuelas— que Bach estaba defendiendo el **temperamento igual moderno**: ese en el que los doce semitonos son exactamente iguales y todas las tonalidades suenan idénticas. **Pero eso es casi seguramente falso.**

En tiempos de Bach existían varios «temperamentos buenos» o **temperamentos circulares**, de Werckmeister, Vallotti, Kirnberger y otros. Eran soluciones desiguales: cada tonalidad tenía un carácter ligeramente distinto, porque los intervalos no eran exactamente los mismos en todas. Las tonalidades «centrales» (como Do mayor o Sol mayor) sonaban casi como en afinación justa, con terceras dulces. Las tonalidades «lejanas» (como Si mayor o Fa# mayor) sonaban más tensas, más nerviosas. Pero ninguna era «del lobo»: todas eran tocables.

Cuando Bach escribió 24 preludios y fugas en las 24 tonalidades posibles del «Clave bien temperado», su objetivo no era demostrar que todas suenan iguales, sino al revés: demostrar que todas son tocables y que cada una tiene su propio carácter. Si lees con atención los preludios y fugas, vas a notar que los de tonalidades centrales tienen un carácter más sereno y los de tonalidades alejadas tienen un carácter más tenso, y eso no es solo elección compositiva: tiene que ver con la afinación de los intervalos en cada tono. **La afinación coloreaba la tonalidad.**

Esta es una lección importante: el temperamento que escuchamos hoy en un piano moderno (igual perfecto) **no es el temperamento que escuchaban los oyentes de Bach.** Cuando hoy tocamos a Bach en un

piano de cola moderno, perdemos algo que para él era esencial. Existen pianos y claves históricos afinados con buenos temperamentos para ejecutar la música antigua: si alguna vez te toca oír el «Clave bien temperado» en un instrumento así, vas a notar la diferencia entre Do mayor (limpio y abierto) y Mi bemol mayor (más oscuro y matizado).

§ 5.9

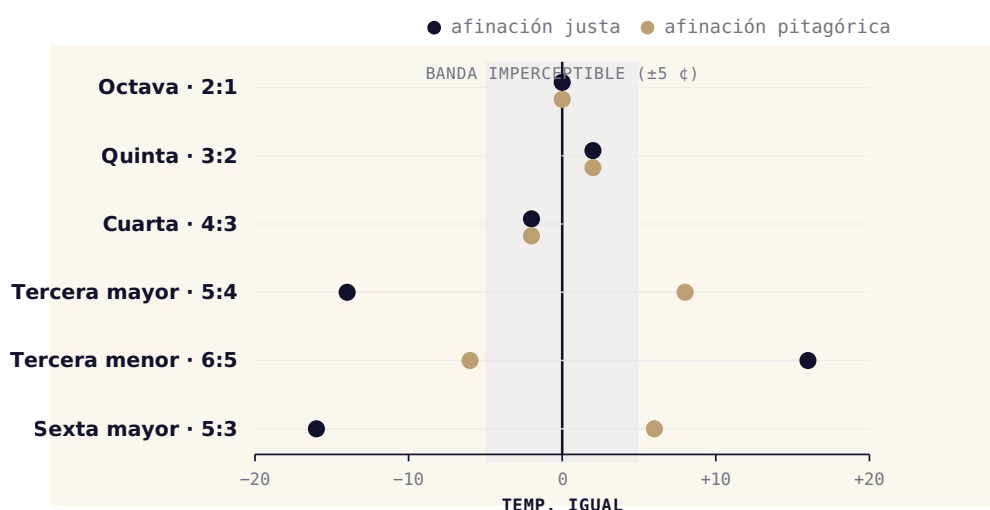
El temperamento igual: democracia de tonalidades

El temperamento igual moderno triunfa en el siglo XIX, sobre todo con la consolidación del piano de cola y la música romántica. Su lógica es brutalmente simple: **dividir la octava en doce partes exactamente iguales**. Cada semitono mide exactamente 100 cents. Cada nota es la nota anterior multiplicada por $2^{(1/12)} \approx 1,0595$ (recuerda esta cifra del Tema 2 — ya entiendes ahora de dónde sale).

Veámoslo gráficamente:

Comparación de afinaciones

Desviación de las afinaciones justa y pitagórica respecto al temperamento igual



Desviación en cents respecto al temperamento igual

Marcadores dentro de la banda gris: diferencia imperceptible. Fuera: claramente audible.

► Diagrama 3 · Comparación de afinaciones

El temperamento igual sacrifica las terceras y las sextas (que quedan unos 14-16 cents desviadas, perceptiblemente «altas» o «bajas» según el caso), pero deja las quintas y las cuartas casi intactas (2 cents, imperceptible). Y a cambio consigue una cosa decisiva: **todas las tonalidades son intercambiables**. Puedes modular libremente de Do a Si bemol o a Fa# o a cualquier sitio sin que ninguna tonalidad suene «peor» que otra.

Este es el compromiso que define la música occidental moderna. Wagner no podría haber escrito la música cromática que escribió en una afinación pitagórica o mesotónica: las modulaciones constantes lo habrían hecho insoportable. El jazz no podría haber sustituido acordes en cada compás. Es un sistema diseñado para **maximizar la libertad armónica al precio de una pequeña desafinación uniforme**.

Consecuencia para el guitarrista. La guitarra moderna está diseñada en temperamento igual: los trastes están colocados para que cada uno suba la frecuencia un factor exacto de $2^{(1/12)}$. Cuando tocas un acorde, las terceras están unos 14 cents más altas de lo que serían en afinación natural. Cuando un cantante o un violinista (que no tienen trastes) tocan con una guitarra, intuitivamente tienden a «bajar» un poco las terceras hacia su afinación justa, lo que crea pequeños roces afinatorios que cualquier guitarrista que ha tocado con voz o violín conoce de oído. **No es que el cantante esté «mal afinado»: es que está afinando hacia la afinación natural mientras la guitarra está afinada al temperamento igual.**

Otra observación. En el Tema 4 mencionamos la **inarmonicidad del piano** y el «stretch tuning»: los pianos profesionales se afinan ligeramente «estirados» para compensar la rigidez de las cuerdas. Eso significa que un piano profesional **tampoco está afinado en temperamento igual estricto**: tiene su propio compromiso adicional. La afinación práctica de un piano real es siempre una negociación entre matemática pura, fisiología del instrumento y oído humano.

La tonalidad: una fundamental ausente a gran escala

Hasta ahora hemos hablado de pares de notas. Pero la música tonal va más allá: organiza muchas notas alrededor de un centro de gravedad llamado **tónica**. Cuando escuchas una pieza en Do mayor, el Do tiene un papel especial: es el sitio «donde la pieza quiere descansar». Esa sensación de «casa» tonal es uno de los pilares de la música occidental.

Y aquí pasa una cosa curiosa, que conecta con un fenómeno que ya conoces del Tema 2. Recuerda la **fundamental ausente**: cuando el oído escucha un espectro armónico, construye automáticamente la «fundamental» como nota de referencia, incluso si esa fundamental no está físicamente presente. Algo análogo —y conviene tomarlo como analogía pedagógica, no como mecanismo idéntico— parece ocurrir, a una escala mucho mayor, con la tonalidad. Cuando escuchas una pieza en Do mayor, las notas que aparecen están todas en relaciones armónicas con el Do. Tu cerebro parece construir al Do como **fundamental ausente del conjunto**: el centro de gravedad implícito.

Conviene matizar la analogía. La tonalidad como «fundamental ausente a gran escala» es un puente conceptual útil, pero no es el mismo mecanismo perceptivo que el de la fundamental ausente espectral del Tema 2. La tonalidad es un fenómeno principalmente cognitivo y estadístico, basado en gran parte en el aprendizaje de regularidades musicales, mientras que la fundamental ausente espectral es un fenómeno más automático y de bajo nivel. Conviene tomar la analogía como lo que es: un puente para pensar, no una equivalencia mecánica.

Que la tonalidad sea aprendida, y no biológicamente predeterminada, lo ha mostrado experimentalmente la neurociencia moderna con un detalle elegante. El neurocientífico **Petr Janata** y sus colaboradores publicaron

en 2002 un estudio que escaneaba el cerebro de oyentes mientras escuchaban una pieza que iba modulando a través de las doce tonalidades del círculo de quintas. Lo que encontraron es que **el córtex prefrontal de cada oyente «dibuja» un mapa interno** donde cada tonalidad activa un grupo de neuronas distinto, y las tonalidades cercanas activan grupos vecinos. El cerebro tiene literalmente un mapa neuronal del espacio tonal.

Pero ese mapa no aparece grabado en la misma orientación en todos los oyentes. Cada cerebro lo redibuja en una posición aproximadamente aleatoria. No es un mapa biológicamente fijo, no viene «de fábrica». Es un mapa **aprendido**, construido a lo largo de los años por el cerebro de cada persona conforme escucha música occidental tonal. La tonalidad, como sistema de expectativas, existe en tu cabeza más que en la naturaleza física del sonido. Y existe porque tu cerebro ha estado cartografiándola pacientemente cada vez que has escuchado una canción desde la cuna.

Las funciones tonales clásicas (tónica, dominante, subdominante) son nombres de puntos dentro de esta gravitación. La **dominante** (un Sol en Do mayor) es el lugar de máxima tensión hacia la tónica, justamente porque está en una relación de quinta justa con ella. La **subdominante** (un Fa) tiene una función estable secundaria. Y la **sensible** (un Si en Do mayor: a un semitono del Do) es la nota que más fuerza hacia la tónica, porque su disonancia respecto del Do la «empuja» hacia él.

§ 5.11

La música de las expectativas

Una vez que el cerebro ha construido una tónica —una casa—, no solo sabe dónde quiere descansar: empieza a predecir cuándo y cómo vas a llevarlo de vuelta a ella. Y aquí abre otra cara del fenómeno tonal, posiblemente la más importante de toda la música: la emoción que sentimos

cuando escuchamos una pieza. ¿De dónde sale? ¿Por qué nos emocionamos con cuatro acordes y una melodía sencilla?

En 1956 el musicólogo **Leonard Meyer** publicó un libro llamado «La emoción y el significado en la música» en el que formuló una tesis radical. Hasta entonces, las explicaciones de la emoción musical pasaban por una de dos puertas: o bien la música «expresa» emociones que el oyente reconoce y comparte; o bien la música «simboliza» cosas extramusicales. Meyer propuso una tercera puerta, mucho más interesante: **la emoción musical no nace ni de la expresión ni de la simbolización. Nace de las expectativas del oyente**, y más concretamente de cómo la música las cumple, las retrasa o las infringe.

— LA TESIS DE MEYER

La emoción musical no surge cuando la música cumple las expectativas del oyente, sino cuando las quiebra, las retrasa o las desvía. La música emociona porque juega con lo que el cerebro estaba esperando.

— Leonard Meyer, **La emoción y el significado en la música (1956)**

Léelo otra vez. **La emoción musical es el rumor de tus propias predicciones siendo desafiadas.** Por eso una primera escucha de una pieza poderosa es tan intensa: cada giro es una sorpresa. Por eso una pieza que solo cumpliera expectativas (un loop totalmente predecible) acabaría siendo aburrida en treinta segundos.

Una pequeña advertencia operativa antes de seguir. Vamos a usar bastante los números romanos que los músicos emplean para nombrar acordes dentro de una tonalidad: I, IV, V, vi y similares. La traducción rápida para Do mayor es: I = Do, IV = Fa, V = Sol, vi = La menor. Las mayúsculas designan acordes mayores y las minúsculas designan acordes menores.

Los recursos compositivos clásicos para «emocionar» son siempre, sin excepción, formas elegantes de jugar con las expectativas. Vamos a ver tres de los más potentes:

01 **La cadencia engañosa**

La cadencia es el final de una frase armónica. V-I (dominante-tónica, Sol-Do en Do mayor) es la cadencia más estándar y satisfactoria. La **cadencia engañosa** sustituye el último acorde por uno inesperado: en lugar de V-I, pones V-vi (Sol → La menor). El oído estaba preparado para Do, llega La menor. «Esperaba descanso y todavía hay tensión», o más exactamente: «no esperaba esto pero lo entiendo, y me ha conmovido un poco».

02 **La apoyatura**

Una **apoyatura** es una nota disonante que aparece sobre un acorde estable y se resuelve a una nota consonante un instante después. Es disonancia microscópica y resolución inmediata, en cuestión de fracciones de segundo. Repetido a lo largo de una pieza, este pequeño juego micro-emocional se acumula y produce lo que el psicólogo John Sloboda llamó «escalofríos» musicales. Sloboda recopiló los pasajes que más generaban escalofríos en oyentes habituales: uno de los recursos más fiables es la apoyatura. La canción «Bird On a Wire» de Leonard Cohen está plagada de apoyaturas melódicas.

03 **Nota común con función transformada**

Una nota concreta se mantiene fija mientras el acorde de debajo cambia, de manera que la función armónica de esa nota se transforma. La nota suena igual antes y después, pero ha cambiado de papel en la pieza. El ejemplo canónico está en «**Walk On By**» de Burt Bacharach (1963): la melodía sostiene una nota La. Debajo, el acorde es La menor, donde el La es la tónica. Bacharach cambia el acorde a Si bemol mayor. La nota La sigue sonando arriba, pero ahora es la séptima mayor del Si bemol, una de las notas más tensas. **La misma nota ha pasado de «estar en casa» a «estar al borde del precipicio»**, sin que la nota misma haga nada.



Bach y la cadencia engañosa. Philip Ball, el divulgador científico de quien hemos hablado en temas anteriores, confiesa en «El instinto musical» una debilidad muy concreta por una cadencia engañosa del Preludio en Mi menor del primer libro del «Clave bien temperado». La cadencia es técnicamente simple, los acordes son los habituales, no hay nada extraordinario. Pero Ball escribe: «Personalmente, soy incapaz de tocar esa secuencia tan simple sin emocionarme». **Conocer el mecanismo no te exime de vivirlo.** Tu cerebro sigue prediciendo, sigue equivocándose, sigue procesando pequeñas tensiones y resoluciones, porque eso es lo que hacen los cerebros ante la música.

Pero atención: honestidad intelectual. La teoría de Meyer es potente, pero tiene problemas. El más serio: ¿por qué seguimos disfrutando una canción que hemos oído cien veces, si ya no debería sorprendernos? El musicólogo Ray Jackendoff ha propuesto una respuesta parcial: el procesamiento musical es en parte subconsciente. Aunque tú «sepas» qué viene a continuación porque has oído la canción cien veces, hay procesos cognitivos elementales que siguen apostando, prediciendo, procesando. **La parte consciente sabe el truco; la parte inconsciente sigue trabajando con él.**

§ 5.12

¿Por qué el menor suena triste?

Una última pregunta antes de cerrar. Casi cualquier persona sin formación musical, si le tocas un acorde mayor y un acorde menor, te dice «el primero es alegre, el segundo es triste». ¿De dónde sale esa asociación tan universal? Hay una pata acústica y otra cultural, y conviene separarlas.

La pata acústica. Un acorde mayor está formado por tres notas en ratios aproximados **4:5:6** (Do-Mi-Sol). Estos ratios coinciden con los armónicos 4, 5 y 6 de una nota fundamental: es decir, un acorde mayor reproduce directamente la estructura natural de los armónicos que tu oído está acostumbrado a procesar desde el Tema 4. Por eso el cerebro lo encuentra «natural», «claro», «abierto»: ya tiene plantillas perceptivas para procesar exactamente esa configuración.

Un acorde menor, en cambio, tiene ratios aproximados **10:12:15**. Esos números no aparecen tan limpiamente en la serie armónica natural. Además, dentro del acorde, la tercera menor (6:5, 316 cents) está más cerca de la fundamental que la tercera mayor (5:4, 386 cents): las dos notas inferiores del acorde menor están perceptivamente más juntas, sus armónicos rozan más entre sí, y eso le da al acorde menor una textura ligeramente más densa, más «interior». La pata acústica del menor «sombrío» es esa pequeña densidad añadida y esa falta de correspondencia directa con los armónicos naturales.

La pata cultural. Pero la asociación menor=triste / mayor=alegre **no es universal**. En la música occidental clásica y popular, sí: tenemos cuatrocientos años de repertorio que asocian sistemáticamente las tonalidades menores con afectos sombríos. Eso es aprendizaje cultural reforzado masivamente. En otras culturas musicales del mundo, modos que para nosotros suenan «menores» se usan para música festiva o ritual sin connotación triste alguna. Y dentro de la música occidental moderna hay numerosos contraejemplos: piezas alegres en menor (mucho flamenco, mucha música balcánica), piezas tristes en mayor (numerosos lieder de Schubert).

La conclusión más honesta: el acorde menor tiene una pequeña diferencia acústica frente al mayor que lo hace ligeramente más denso y menos directamente acoplado a la serie armónica, y la cultura occidental ha amplificado esa diferencia hasta convertirla en una asociación afectiva sólida. **La acústica pone la materia prima; la cultura le da el significado.** Y, como vimos hace un momento con Meyer, también las expectativas condicionan lo que sientes: si esperas tristeza porque la pieza arranca en menor, la encontrarás antes; si llegas sin esa expectativa, puedes oír el mismo modo como festivo.

§ 5.13

El viaje completo

Vamos a echar la vista atrás. Empezamos en el Tema 1 con un sistema general: alguien emite, algo lleva la onda, alguien la recibe. Allí dijimos que la música es un fenómeno pan-cerebral y que tocar un instrumento literalmente reorganiza el cerebro del músico.

En el Tema 2 entramos en la altura. Los tonos puros, el movimiento armónico simple, la octava como duplicación, la percepción logarítmica, los batidos, la banda crítica, los sonidos resultantes y la fundamental ausente.

En el Tema 3 entramos en la sonoridad. Las ondas sonoras como ondas elásticas longitudinales, el decibelio, las curvas de Fletcher-Munson, el enmascaramiento.

En el Tema 4 entramos en el timbre. Cuerdas vibrantes como sumas de modos, columnas de aire, el teorema de Fourier, los espectros, ADSR, formantes, reverberación.

En el Tema 6 entramos en la dimensión temporal: pulso, compás, tactus, ritmo, tempo. La sincronización rítmica como fenómeno físico universal: péndulos, luciérnagas, cacatúas, multitudes aplaudiendo.

Y en este Tema 5 hemos cerrado el círculo: hemos visto que todo lo aprendido se utiliza para explicar la música tal como la usamos. Por qué unos intervalos suenan bien y otros mal, por qué nuestra escala tiene doce notas, por qué afinar es tan difícil, por qué Bach está más cerca de los temperamentos circulares que del piano moderno, y cómo la emoción musical nace del diálogo entre lo que el oyente espera y lo que la música le da.

— CIERRE DEL LIBRO

Lo que hace temblar a un oyente cuando el coro pill a justo la quinta, o cuando un acorde menor se resuelve al fin a su mayor, o cuando una cadencia engañosa retiene un instante el descanso que el oído esperaba, no es ningún misterio: es física, fisiología, expectativa y cultura conspirando. Pero entender la conspiración no le quita ni un gramo de su poder. Al contrario.

— Sonido Propio

Si llegaste a la música por la guitarra y has terminado este libro, te animo a volver al instrumento con los oídos un poco más despiertos. Ahora sabes por qué tu sexta cuerda suena más grave aunque sea la misma longitud que la primera. Ahora sabes que cuando tocas cerca del puente despiertas armónicos altos y cuando tocas cerca del traste 12 los apagas. Ahora sabes por qué las terceras de tu acorde de Do mayor están un poquito desafinadas respecto de lo natural, y por qué eso es el precio que paga la guitarra para que puedas tocar libremente en cualquier tono. Sabes también que cada hora que pasas con el instrumento está literalmente reorganizando tu córtex motor. Y sabes que cuando una progresión te emociona no es magia: es tu cerebro prediciendo, esperando y siendo desafiado en el momento justo. **Cada vez que pulses una cuerda, todo este libro te va a estar acompañando.**

Gracias por haber llegado hasta aquí. Que la música, ahora que la entiendes un poco más por dentro, te siga emocionando exactamente igual.

Recap

Lo que has visto en este tema

Si tuvieras que quedarte con ocho ideas de este tema, serían estas:

01 La consonancia y la disonancia tienen una raíz fisiológica en la **banda crítica**: dos componentes que caen dentro de la misma producen rugosidad. La curva de **Plomp-Levelt** cuantifica este fenómeno con su pico de máxima disonancia alrededor del 25% de la banda crítica. Los **cantos ganga** de Bosnia consideran «agradables» intervalos que para nosotros son disonantes: la frontera se redefine culturalmente sobre una base fisiológica común.

02 La banda crítica **se ensancha en el registro grave**, lo que hace que los intervalos pequeños suenen mucho más turbios en graves que en agudos. El estudio de David Huron muestra que Haydn y Bach separaban las dos notas más graves de sus acordes en proporción exacta a la banda crítica del oído, **sin tener idea de que existía tal cosa**.

03 Cuando suenan dos notas reales (con sus armónicos), la consonancia total depende de cuántos pares de armónicos coinciden y cuántos chocan. La **octava** (2:1) tiene fusión tonal; la **quinta justa** (3:2) es muy consonante porque casi todos sus armónicos coinciden con los de la tónica; la segunda menor es muy disonante porque muchos pares chocan. Y todo este análisis depende del timbre: con espectros no armónicos las relaciones cambian.

04 Una escala construida con quintas justas puras no se cierra: doce quintas exceden a siete octavas en unos **23 cents (coma pitagórica)**. Las terceras pitagóricas están unos 22 cents más altas que las naturales (**coma sintónica**), produciendo el chirrido característico en armonía vertical.

05 El **temperamento igual** divide la octava en doce semitonos exactamente iguales (100 cents). Sacrifica las terceras (14 cents) pero deja las quintas casi intactas (2 cents). Permite tocar libremente en cualquier tonalidad. **Bach, en su «Clave bien temperado», usaba probablemente buenos temperamentos circulares, no el temperamento igual moderno**; cada tonalidad tenía un carácter propio.

06 La **tonalidad** funciona como una «fundamental ausente» a gran escala (con cuidado: como puente conceptual). El estudio de Petr Janata mostró que el córtex prefrontal cartografía neuronalmente el espacio de las doce tonalidades, pero **el mapa es aprendido, no biológicamente fijo**: cada cerebro lo redibuja en una orientación distinta.

07 La **emoción musical**, según la tesis de Leonard Meyer (1956), nace de la infracción de las expectativas del oyente. Tres recursos clásicos lo ilustran: la **cadencia engañosa**, la **apoyatura** y la **nota común con función transformada** («Walk On By» de Bacharach). Saber cómo funciona el truco no apaga el truco.

08 La asociación cultural mayor-alegre / menor-triste tiene una pequeña **base acústica** (los mayores reproducen mejor la serie armónica natural; los menores tienen más roce interno y menos correspondencia) pero está principalmente sostenida por aprendizaje cultural occidental, y modulada en cada escucha por las expectativas. **La acústica pone la materia prima; la cultura y la expectativa le dan el significado.**

Para probar en casa

Cuatro experimentos para cerrar el libro:

01

Oír el temperamento de tu propia guitarra

Asegúrate de que la guitarra está bien afinada con un afinador electrónico estándar. Apoya muy suavemente el dedo sobre el traste 5 de la 6.^a cuerda y púlsala: oirás un Mi agudo (su 4.^o armónico). Apoya muy suavemente sobre el traste 7 de la 5.^a cuerda y púlsala: oirás también un Mi agudo (su 3.er armónico). Ahora tócalos a la vez, manteniendo ambos sonando. Como tu guitarra está afinada en cuartas temperadas (500 cents en lugar de los 498 justos), **oirás batidos lentos**: una pulsación de volumen que sube y baja despacio. Esos batidos son la prueba auditiva, en directo y en tu propia guitarra, del temperamento igual: la cantidad mínima que tu guitarra «miente» para poder tocar en cualquier tonalidad. Repite entre las cuerdas 4-3 y 2-1 y oirás batidos similares, con velocidad creciente hacia el registro agudo.

02

Curva de Plomp-Levelt con una app

Descarga cualquier app generadora de tonos puros (o usa online-tone-generator.com). Genera dos tonos puros simultáneos: pon el primero a 440 Hz fijo y mueve el segundo. Empieza en 440 Hz (unísono): consonante. Sube poco a poco a 445, 450, 455, 460 Hz: notarás la rugosidad creciente y la sensación más desagradable alrededor de 455 (unos 60 cents = aproximadamente un cuarto de banda crítica). A 480 Hz ya hay menos roce, a 500 mucho menos. A 660 Hz, que sí es la quinta de 440 Hz, deberías sentir la sensación pura, casi tan integrada como el unísono. **Estás trazando con tus oídos la curva de Plomp-Levelt en directo.**

03

La fundamental ausente como tonalidad

Pon una pieza en Do mayor que conozcas bien. Con un editor como Audacity, acorta el final unos segundos antes de que termine, justo cuando estás esperando la nota final del Do. Escucha varias veces ese final cortado. Deberías sentir una especie de «incomodidad», una sensación de que «falta algo»: **tu cerebro está esperando la tónica que ya no llega**. Compara con la versión completa: el contraste te muestra la fuerza de la fundamental ausente cuando opera a gran escala como tónica imaginada.

04

La cadencia engañosa en tu propia guitarra

Coge tu guitarra y toca la progresión más estándar del pop occidental: **C - F - G - C** en Do mayor. Toca cuatro tiempos en cada acorde. Cuando llegues al cuarto compás (el último Do), cámbialo por **Am**: en lugar de C - F - G - C, toca **C - F - G - Am**. Hazlo varias veces. Observa la diferencia: el primero resuelve y cierra el ciclo. El segundo se queda «abierto», «suspendido», emocionalmente cargado. **Has hecho una cadencia engañosa**. Aunque tu oyente no tenga ni idea de teoría, va a sentir la diferencia. Es Meyer en directo en tu salón.

Glosario

Glosario rápido del tema

Términos técnicos introducidos en este tema, en una línea cada uno:

TÉRMINO	DEFINICIÓN
 Consonancia	Sensación de pureza y reposo de la combinación de sonidos. Raíz sensorial en la separación de componentes; lectura musical contextual.
 Disonancia	Sensación de aspereza o tensión. Pata sensorial (fisiológica) y pata musical (cultural).

● Disonancia sensorial	Disonancia explicable por mecanismos fisiológicos del oído (banda crítica), no por cultura.
● Disonancia musical	Disonancia entendida en su contexto estilístico y cultural; depende del estilo y del repertorio aprendido.
● Rugosidad	Nombre técnico de la propiedad acústica que produce disonancia sensorial.
● Fusión tonal	Fenómeno por el que dos notas en octava se integran en una sola percepción musical.
● Curva de Plomp-Levelt	Representación gráfica de la consonancia/disonancia con dos tonos puros según la distancia entre frecuencias.
● Cantos ganga	Tradición vocal bosnia que considera estéticamente agradable la disonancia sensorial fuerte.
● Cent	Unidad logarítmica de intervalos. Una octava = 1.200 cents; un semitono temperado = 100 cents.
● Ratio	Relación entre las frecuencias de dos notas. Octava = 2:1; quinta justa = 3:2; tercera mayor justa = 5:4.
● Quinta justa	Ratio 3:2, aproximadamente 702 cents. Temperada: 700 cents.
● Tercera mayor justa	Ratio 5:4, aproximadamente 386 cents. Temperada: 400 cents.

• Tercera menor justa	Ratio 6:5, aproximadamente 316 cents. Temperada: 300 cents.
• Afinación pitagórica	Sistema construido a partir de quintas justas sucesivas. Quintas perfectas pero terceras desafinadas (408 cents).
• Coma pitagórica	Diferencia (~23 cents) entre doce quintas justas apiladas y siete octavas. Impide cerrar el ciclo de quintas.
• Coma sintónica	Diferencia (~22 cents) entre la tercera mayor pitagórica (81:64) y la tercera mayor natural (5:4).
• Quinta del lobo	Quinta gravemente desafinada que aparece al cerrar un ciclo de quintas justas. Áspera e inutilizable.
• Afinación justa	Ajusta los intervalos a sus ratios naturales. Funciona en una sola tonalidad pero falla al modular.
• Temperamento mesotónico	Sistema histórico que afina terceras justas a costa de bajar ligeramente las quintas. Tonalidades cercanas sí, alejadas no.
• Temperamentos circulares	Sistemas históricos (Werckmeister, Vallotti, Kirnberger) que permiten tocar en cualquier tonalidad conservando carácter distinto.
• Temperamento igual	División de la octava en doce semitonos iguales (100 cents). Sacrifica terceras, deja quintas casi intactas.

• Tonalidad	Organización de las notas de una pieza alrededor de una nota central llamada tónica.
• Tónica	Nota central de una tonalidad. Punto estable de «casa».
• Dominante	La quinta de la tónica. Lugar de máxima tensión hacia ella.
• Subdominante	La cuarta de la tónica. Función estable secundaria.
• Sensible	Nota a un semitono por debajo de la tónica. Fuerte fuerza de resolución hacia ella.
• Mapa del espacio armónico (Janata)	Patrón neuronal aprendido en el córtex prefrontal que cartografía las doce tonalidades del círculo de quintas.
• Expectativas musicales (Meyer)	Predicciones inconscientes del cerebro sobre la nota o acorde que va a venir. La emoción nace de su infracción.
• Cadencia engañosa	Cadencia que sustituye el acorde de tónica esperado (V-I) por uno inesperado (V-vi).
• Apoyatura	Nota disonante sobre acorde estable que resuelve a consonante un instante después. Recurso de microtensión-resolución.
• Nota común	Recurso en que una nota fija mantiene su altura mientras el acorde cambia, transformando su función armónica.

• Acorde mayor	Tres notas en ratios aproximados 4:5:6. Reproduce la serie armónica natural y suena claro y abierto.
• Acorde menor	Tres notas en ratios aproximados 10:12:15. Más roce interno; asociación cultural con tristeza en música occidental.
• Armonía vertical	La simultaneidad de varias notas (acordes), por contraposición a la línea melódica horizontal.

