

Afinación y entonación en Occidente



Pablo Picasso: *Muchacha con mandolina* (1910) óleo, 100,3 x 73,6 cm

Recorrido histórico

Obviamente, la teorización y el pensamiento acerca de la entonación y la afinación en la música no necesitan justificación histórica: responden a una necesidad estética y a un proceso científico que conviene no poner en un orden incorrecto. La elección de sistemas de entonación es estética y el papel de la ciencia es entender y sistematizar, no es justificar o determinar, y menos excluir o crear prohibiciones artificiales.

El arte no necesita justificación, y de última, tampoco necesita pensamiento sistematizado. Sin embargo, la teorización musical ha sido uno de los deportes intelectuales más antiguos que conocemos, particularmente desarrollado en este aspecto de la teoría que es la entonación y la afinación. Ya en la Mesopotamia antigua, hace 4000 años, en los albores de la escritura, se piensa y se registra por escrito acerca de la lira, sus cuerdas y sus intervalos, y también se construye una notación musical.

Esa larga historia no ayuda a la claridad de la temática, sino que contribuye a la confusión: las atribuciones históricas erróneas, convertidas en etiquetas que califican teorías que no corresponden a la denominación, o lecturas anacrónicas que explican conceptos de una época a través de conocimientos o teorías posteriores no hacen sino enredar un tema que es en sí complejo. Así por ejemplo, se habla de armonía para las técnicas de regulación de la superposición de alturas, pero la armonía, para los griegos y hasta el siglo XVIII, denomina la teoría de la afinación y organización de las alturas; se califica hoy de «pitagórica» una escala construida por ciclo de quintas, concepto muy lejano al concepto de Pitágoras o sus discípulos; se denomina hoy temperamento la división en partes iguales de la octava, cuando el concepto inicial era otro que no incluía una división particular; se habla de enarmonía para dos denominaciones de alturas que coinciden en una misma percepción, diferenciados por un intervalo nulo, cuando el concepto original enarmónico hacía referencia a un género modal incluyendo intervalos pequeños, pero no nulos. La lista podría alargarse mucho.

Grecia: escuela canónica y escuela armónica, Pitágoras y Aristóxeno

El *corpus* antiguo más fornido que conocemos es el conjunto de escritos musicales de los griegos, desarrollado a lo largo de diez siglos como mínimo, de los discípulos de Pitágoras a los últimos teóricos greco-latinos como Boecio o Martianus Capella. Se centra en la explicación, muchas veces polemizada entre varias corrientes, de los modos, sus géneros, sus notas y sus posibles entonaciones, su organización en diferentes estructuras, y sobre su relación al mundo y al universo.

Una corriente, la escuela canónica o pitagórica, llamada así por su uso del monocordio (*kanon* en griego) o por su referencia a Pitágoras, parte de la idea que todo es número y proporción, y que el número no solo representa, sino que es lo que representa. Los intervalos y las alturas se definen entonces a partir de los números que les da su particularidad y su esencia, dando prioridad a las relaciones numéricas las más simples y a las proporciones superparciales $[n/(n+1)]$. Entre sus representantes: Pitágoras (sin escritos), Archytas, Platón, Aristóteles, Eratóstenes, Porfirio, etc.

La otra corriente, la escuela armónica, sostiene la idea de la prioridad del oído (la percepción) sobre las relaciones matemáticas y busca proporciones interválicas adecuadas a la sensación auditiva. Su principal exponente, Aristóxeno, considera los intervalos como cantidades y fracciones de una unidad, el tono, prefigurando la futura división regular de la octava. Diferencia varias configuraciones de los géneros modales griegos a partir del uso de cuartos y tercios de tono.

China: los *lyu*

En la misma época se desarrolla otro cuerpo teórico importante, con similitudes y diferencias, en la China antigua, con un sistema de afinación que llega a definir sesenta alturas por octava (los *lyu*), construidas en forma cíclica (quintas ascendentes en la terminología occidental). Otro, diferente, se elabora en la India, el cual, con evoluciones diversas, queda vigente en distintas versiones al sur y al norte de la India moderna, con 22 alturas por octava utilizadas por selecciones de 5, 6 o 7 notas.

Occidente: Medioevo

El medioevo occidental no queda fuera del baile teórico, aunque se produce ahí una brecha entre la práctica y la teoría, brecha generadora de mucha confusión teórica: la práctica proviene del canto llano, una música oriental anclada en la tradición judía y adaptada a las múltiples culturas en las cuales se desarrolló el cristianismo,

y el posterior desarrollo de otras músicas sobre esta base del canto llano; la teoría repite una teoría griega apenas entendida, como lo muestra el uso latinizado del vocabulario griego, sin traducir, de manera que conceptos claros del griego se vuelven etiquetas vaciadas de contenido en latín. Luego se desarrollan complementos teóricos interesantes, como la solmización guidoniana, y teorías más técnicas sobre cómo componer (tratados de discanto y de contrapunto, etc.), pero sin que se rellene la brecha, que de hecho deja huellas en la teoría hasta avanzado el siglo XVIII, en las cuales los tres géneros griegos siguen incluidos como si fueran parte del mismo sistema musical occidental.

El concepto cíclico tiende a imponerse a partir del trabajo de Arnauld de Zwolle (1400-1466): la afinación es pensada a partir de la repetición cíclica del intervalo de quinta (2/3) y este concepto, atribuido a Pitágoras, es calificado como “pitagórico”.

Próximo Oriente

Paralelamente, en la cultura árabe se difunden los escritos de los filósofos griegos antiguos y se emprende una construcción propia, apoyada en la visión de la afinación de los griegos, con sus matices y diferencias, del sistema musical muy elaborado del *maqam* árabe, del *makam* turco más adelante y del *dastgah* iraní. Autores como Al-Farabi, Ibn-Sina, Al-Mausili o Safiu al-Din indagan más allá de la teoría griega y desarrollan la teoría base de las culturas musicales árabe-persa-turcas. Esa construcción medieval se renueva, luego de un período estático, en los siglos XIX y XX, con, por ejemplo, la adopción en la música árabe de una afinación teórica en cuartos de tono equidistantes (Mikhail Mishaqa, 1800-1889).

Otras culturas, en África, Asia o América, utilizan otros tipos de divisiones o de colecciones de alturas sin necesariamente sentir la necesidad de justificar o explicar teóricamente como llegan a esas prácticas, o conservándolas como parte de una tradición oral que puede desaparecer en cualquier momento.

Hacia el temperamento

La uniformidad «pitagórica» occidental se quiebra cuando la polifonía empieza a incorporar el intervalo de tercera en su práctica. Ese final del medioevo «pitagórico» abre un campo de teorización y de investigación práctica durante el Renacimiento y buena parte del Barroco, con la elaboración del concepto de temperamento, la búsqueda de diferentes caminos de afinación y el desarrollo de instrumentos experimentales para aplicar el resultado.

Esta etapa es importante porque marca un cambio profundo en el motivo de la teorización: hasta entonces, la teoría trata de explicar la práctica, de enmarcarla y normalizarla. A partir de ahí, la teoría construida a partir de investigación intenta abrir nuevos caminos para responder a problemáticas estéticas todavía no aplicadas, o que presentan obstáculos para su realización concreta. Si bien se siguen planteando los temas en términos de «leyes» que habría que aplicar o de «buenas prácticas» inherentes a la música, de hecho, la teorización se construye sobre necesidades nuevas y a futuro: la voluntad de modulación y de transposición, que los sistemas de afinación irregulares no permiten (en la estética de la época), o la búsqueda de ciertos intervalos y su disponibilidad desde cualquier altura en uso, son en ese momento necesidades prospectivas y no prácticas que se tratan de explicar.

Esta efervescencia teórica, característica del Renacimiento, permite la elaboración de una teoría que va a poder separarse de la teoría medieval y generar conceptos nuevos y fértiles. Al enfrentamiento tradicional entre pitagorismo y escuela armónica, se agrega el concepto de temperamento, de manera que entra una tercera vía en el debate y en la práctica: la variedad de temperamentos mesotónicos, en los cuales esa coma que sobra de la diferencia entre doce quintas y siete octavas (la coma pitagórica) o esa otra, calificada de sintónica, diferencia entre el tono menor y el tono mayor, se reparte entre varias notas para que las quintas estén razonablemente iguales. A lo largo del Barroco, se elaboran y se prueban más de cien variantes, muchas de las cuales están hoy olvidadas, de temperamentos desiguales contruidos sobre espacios pitagóricos, armónicos y mesotónicos, hasta llegar, al final del siglo XVII a la conceptualización del «temperamento igual», ya esbozado a fines del siglo XV y también elaborado independientemente en la China imperial entonces contemporánea, como división de la octava en doce partes iguales, luego usurpando para su uso exclusivo el nombre de «temperamento».

Del temperamento igual a su contestación

Dentro de esta fiebre investigadora aparecen divisiones equidistantes destinadas a permitir las modulaciones deseadas: Marin Mersenne (división en cuartos de tono, 1636); Christiaan Huyghens (división de la octava en 31, 1691); Joseph Sauveur (división de la octava en 43, partes llamadas «mérídes», 1696); Nicholas Kauffmann (Mercator) (división de la octava en 53, 1686); William Holder (53 por octava, 1694); Paul von Janko (41 por octava, ~1880), Shohé Tanaka, 53 por octava, 1890). Si bien estas divisiones equidistantes están pensadas para suplir las quintas y terceras correctas a las escalas estándares, de hecho abren una nueva forma de pensar el espacio sonoro, independientemente de las escalas.

La puesta en práctica del temperamento igual desde la segunda mitad del siglo XVIII no se hace sin resistencias. La teoría musical enseñada sigue presentando la afinación teórica según el modelo armónico; la notación y el resto de la teoría musical no aplica las consecuencias lógicas del temperamento igual, en particular sigue diferenciando todo lo que el temperamento reduce a identidades. El desarrollo de la acústica también aporta sus críticas oponiendo el modelo armónico al modelo logarítmico del temperamento igual. El enfrentamiento se hace visible con la publicación de *Theory and Practice of Just Intonation*, de Thomas Perronet Thompson, en Londres, en 1851, donde aparece por primera vez, aparentemente, el término de «entonación justa». Un físico como Hermann von Helmholtz, en *Die Lehre von den Tonempfindungen* (1862), opone la «entonación justa» construida sobre el modelo armónico y el temperamento. Define el sonido musical como armónico (sonido periódico) y el sonido no periódico como ruido. Lo siguen en este camino otros teóricos (Alexander Ellis, Robert Bosanquet, etc.). Todo este debate, que incluye investigaciones sobre soluciones técnicas para realizar una u otra propuesta alternativa, no sale del dominio teórico en este siglo XIX, aunque con algunas realizaciones instrumentales.

Redefinir el *melos*

Hasta ahí, disputas para saber como afinar lo que se entona, sin cambio profundo en torno a qué se entona. Los primeros ensayos de cambiar ese «qué» se producen con un intento de expandir el sistema tonal dominante con un espacio sonoro más denso, más tonalidades y más modulaciones posibles.

La primera fase de ese redefinir el «qué se entona» ocurre en el s. XVI, con el desarrollo del cromatismo en el madrigalismo, con compositores como Luzzasco Luzzaschi, Luca Marenzio, Orlande de Lassus o Carlo Gesualdo. El primero de esta lista es conocido por haber sido virtuoso del *archicembalo* de Nicola Vicentino, un clave con hasta 31 notas por octava (con 36 teclas). En esa dirección también, la publicación de una canción polifónica en tercios de tono por Guillaume Costeley en 1560. Pero esta línea cromática se extingue frente al tonalismo que desarrolla el Barroco, hasta el romanticismo tardío que vuelve a explorar la fuerza de una música que supera la barrera heptatónica (Wagner, Bruckner, Mahler, R. Strauss, Scriabin, etc.).

Pioneros aislados como Richard Stein (1882-1942) o Mordecai Sandberg (1897-1973) exploran una expansión del sistema musical tradicional tonal y tonal cromático hacia una tonalidad ultracromática. Algunos compositores usan microintervalos como forma de representar correctamente músicas folklóricas que integran a su proceso compositivo: Béla Bartók (1882-1945), Ernest Bloch (1880-1959), Karol Szymanowski (1882-1937), Georges Enesco (1881-1955) y otros.

Con el pianista y compositor Ferruccio Busoni (1866-1924), se plantea, en *Entwurf einer neuen Ästhetik der Tonkunst* (1907) [*Esbozo de una nueva estética del arte musical*], la expansión del espacio sonoro con la inclusión de tercios de tono aplicables a los tonos diatónicos y a sus complementos cromáticos, resultando en un sistema de sextos de tono. No llega a integrar este planteo a su práctica compositiva, pero su texto tiene repercusiones y genera debates importantes.

Dentro de los futurismos (italiano y ruso), se plantea y pone en práctica una expansión hacia los cuartos y octavos de tono (Luigi Russolo y sus *Intonarrumori*), y hasta los doceavos de tono (Arsenyi Avraamov, Gueorgui Rimsky Korsakov, Mikhail Matiushin en Rusia, futuristas y discípulos de Scriabin).

Paralelamente, y sin conexión con esos planteos teóricos y compositivos, experimentaciones y desarrollos teóricos surgen en América, al margen de las corrientes dominantes. Entre 1904 y 1914, Charles Ives compone esbozos en cuartos de tono que resultan, en 1924, en las *Tres piezas en cuartos de tono* para 2 pianos, estrenadas en 1925. En 1916, Julián Carrillo escribe *El sonido 13*, y entre 1920 y 1925 se desarrolla una polémica fuerte en México sobre la expansión preconizada por Carrillo hasta el dieciseisavo de tono. En 1925, se estrena su obra *Preludio a Colón*, que utiliza cuartos, octavos y dieciseisavos de tono. Carrillo sigue su camino alternando entre obras más tradicionales y obras microinterválicas, pero pocos lo siguen en este camino.

En Praga se desarrolla, alrededor de Alois Hába (1893-1973), una escuela importante trabajando en el plano teórico y compositivo en torno a divisiones equidistantes del tono, haciendo construir instrumentos tales como clarinete y piano en cuartos de tono, armonio en cuartos y sextos de tono, y desarrollando músicas que se quieren a la vez atonales y atemáticas. Algunos de sus compositores terminan en los campos de concentración nazis. En 1931, Hába presenta su ópera en cuartos de tono *Matka* [*La madre*] op. 35; en 1942 termina otra ópera, en sextos de tono, *Prijd Království Tvé* (*Nezaměstnaní*) [*Venga tu reino (el desempleado)*] op.50, que nunca se estrenó. Si bien esta escuela ocupa después de la segunda guerra mundial lugares importantes en los conservatorios, su música es marginada y no tiene buena difusión fuera de Chequia, en particular debido a la guerra fría del período pos 1945.

Otro foco muy importante, también iniciado luego de la primera guerra mundial y originalmente en contacto con los futuristas y Scriabin, es Ivan Wyschnegradsky (1893-1979), teórico y compositor, que se instala en Francia en 1920 y recibe cierto apoyo de Maurice Ravel, Olivier Messiaen y Pierre Boulez, sucesivamente. Preconiza, a partir del concepto de *pansonoridad*, el uso de doceavos de tono y de microintervalos compatibles con el doceavo de tono (tercios, cuartos y sextos de tono), sin excluir otras divisiones. Publica textos teóricos y logra, cada tanto, armar un concierto de sus obras, teniendo influencia en sus últimos años y después.

También marginal a lo largo de su vida, Harry Partch (1901-1974) se rebela contra la música y la teoría musical difundidas ya en los años 1920, y se introduce a otras escalas y afinaciones a partir del trabajo vocal sobre textos del pasado o propios. Dedicó su arte a una corriente microinterválica que denomina «Just intonation», retomando la terminología de Perronnet Thompson y de Helmholtz. Adapta instrumentos clásicos (básicamente una guitarra y una viola), y desarrolla sus propios instrumentos hasta constituir un ensamble de tamaño importante dedicado a sus obras, con escasa participación de universidades o encargos públicos. Desarrolla también su propia teoría que plasma en el libro *Genesis of a music* (publicado en 1947, 2ª edición ampliada de 1974) y tiene mucha influencia en una parte de los compositores norteamericanos, en particular Ben Johnston, Ezra Sims y James Tenney. Su obra empieza a ser conocida a finales de los 70, luego de su muerte, a través de grabaciones, mientras su ensamble se mantiene por un tiempo, dirigido por su discípulo Danley Mitchell. Hace aproximadamente diez años, un ensamble alemán, Musik Fabrik, lanza un proyecto de construcción de un segundo ensamble de instrumentos de Partch, que se realiza, y monta, luego (en 2013), la obra de teatro musical *The Delusion of the Fury, a ritual of dream and delusion* (1965-66) del compositor, así como otras obras. Los compositores influenciados por Partch, en su mayoría, utilizan instrumentos convencionales, a veces reafinados, y por lo tanto no dependen del ensamble partchiano. Sin embargo, hasta los años 90 quedan bastante marginalizados.

Una opción elegida por muchos compositores es la de usar una división equidistante fina para construir aproximaciones a espacios de «entonación justa». Volvemos ahí a debates que ya ocurrieron en los siglos anteriores para saber qué división representa mejor los intervalos derivados de la serie armónica: divisiones en 17, 19, 21, 22, 23, 31, 41, 43, 53, 72, etc. alturas equidistantes por octava, que para algunos tienen también la ventaja de no compartir nada con el estándar equidistante de 12 alturas (salvo el último). Compositores como Ezra Sims o James Tenney van en esa dirección, favoreciendo una división muy fina (72 por octava, o doceavo de tono) para simular una entonación armónica. También en esa dirección se desarrollan alrededor de Adriaan Fokker (1887-1972) en los Países Bajos (años 50 a 80, 31 alturas/octava) o de Franz Richter Herf (1920-1989) en Austria (*ekmelische Musik*, 72 alturas por octava). En ambos casos con el desarrollo de instrumentos específicos: órgano de tubo trigésimoprimo en Haarlem (Países Bajos) y en doceavos de tono (electrónico) en Salzburg, así como instrumentos electrónicos hoy en desuso.

Mainstream

En las corrientes dominantes también aparece la problemática, a partir del serialismo integral. Boulez, a principios de los años 50, hace una incursión en el tema en su obra *Le visage nuptial*, cuyo 2º movimiento está construido con una serie en cuartos de tono, y también con una obra muy analizada, pero luego descartada por el compositor: *Polyphonie X*, también construida con serie en cuartos de tono. Eso lo lleva a un desarrollo teórico planteado en su libro *Penser la musique* (1962). Stockhausen también le entra, en su período serial, por ejemplo en su *Studie II*, electrónico. Entre los compositores defendiendo la entonación armónica, también se encuentran serialistas, como Ben Johnston, que usa series con la particularidad de generar nuevas alturas a cada transposición e inversión.

Saliendo del serialismo, muchos de esos compositores integran la microinterválica a sus recursos, con más o menos peso en su técnica compositiva. Luigi Nono le da mucho lugar, en particular en las obras de su último período, como en *A Carlo Scarpa architetto, ai suoi infiniti possibili*, para orquesta en microintervalos, que trabaja en dieciseisavos de tono.

Derivando del serialismo integral, la llamada «nueva complejidad», alrededor de Brian Ferneyhough, también integra microintervalos estructurales en su música, cuartos u octavos de tono, y a veces otras divisiones.

Iannis Xenakis en su exploración del continuo sonoro también los reivindica, esencialmente cuartos y tercios de tono, a veces octavos de tono, además del *glissando* y del racimo sonoro. En esta misma dirección la escuela polaca (Lutosławski, Penderecki, etc.) integran el cuarto de tono como paso hacia la continuidad y para un uso más textural de la masa sonora que con fines melódico.

Otra corriente que lo integra, a partir del ejemplo del precursor que van a promover, Giacinto Scelsi (1905-1988), es el espectralismo de Gérard Grisey y Tristan Murail, y sus sucesores. El concepto mismo lo implica: la inspiración en el espectro del sonido no permite limitarse a una entonación en semitonos. Entre divisiones equidistantes (tercios, cuartos, sextos, octavos de tono) y uso de armónicos, *scordatura* e intervención electrónica o informática, el espectralismo integra plenamente la microinterválica.

Microintervalos y tecnología

La irrupción de la tecnología en la música también ayudó a la difusión y a la variedad de las posibilidades. Ya mencioné a Stockhausen y su *Studie II*, con su particular espacio sonoro generado por la división de 5 en 25 partes iguales (2 octavas y una tercera mayor). Toshiro Mayuzumi produce una obra a partir de un espacio basado en la división de 7 en 49 partes, y John Chowning construye *Stria* sobre una división en base a ϕ . Otros casos similares exploran espacios arbitrarios o imaginarios.

Es también la generación de instrumentos electrónicos, desde el Theremin, la Onda Martenot, el Trautonium, antes de la 2ª guerra mundial, los sintetizadores analógicos, el sistema MIDI, los sintetizadores digitales y la informática. Numerosos instrumentos electrónicos específicos fueron inventados, como el Archifoon o el Scalatron, que terminaron con la obsolescencia característica de la electrónica.

Otra línea tecnológica busca crear instrumentos acústicos con capacidades microinterválicas ampliadas para expandir las posibilidades instrumentales: después de los pianos morfoseadores de Julián Carrillo (y algunos predecesores), son trompetas, flautas y clarinetes en cuartos de tono, o más recientemente, guitarra eléctrica, vibráfono, marimba o acordeón en cuartos de tono. El cuarteto de guitarras microinterválicas se inscribe en esa línea, con sus características propias...

Serie armónica

La serie armónica, teorizada a partir de la comprensión del sonido como fenómeno oscilatorio, y explicada como espectro del sonido complejo periódico por Joseph Fourier (1768-1830), es considerada, a partir de Hermann von Helmholtz (1821-1894) y por muchos teóricos, como el fundamento del sonido musical y por lo tanto de la construcción de escalas y sistemas de afinación.

Un sonido periódico complejo se puede descomponer (y eventualmente componer artificialmente) en una serie de componente simples (sinusoidales) cuyas frecuencias son todas múltiplos enteros de una frecuencia única, llamada fundamental, que genera la percepción de la altura.

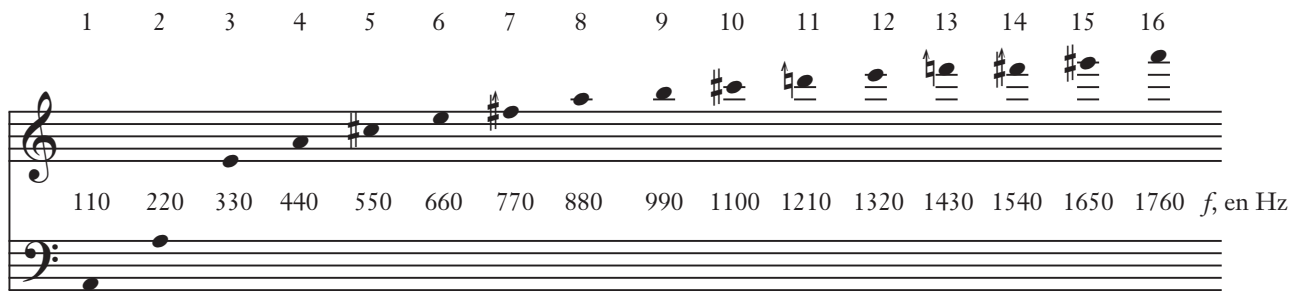


Fig. 1: serie de 16 armónicos del La3

Los intervalos entre estos armónicos, considerados fuera del espectro como alturas independientes, se expresan sencillamente como el cociente de las frecuencias que constituyen el intervalo, o sea la proporción entre las frecuencias, en la Fig. 1: $2/1$ - $3/2$ - $4/3$ - $5/4$ - $6/5$ - etc.

Los antiguos griegos expresaban los intervalos de manera parecida, no a partir del concepto de frecuencia que ignoraban, sino en proporción de cuerda, expresada gracias a su instrumento de medición, el monocordio. Los mismos intervalos se presentan entonces invertidos: $1/2$ - $2/3$ - $3/4$ - $4/5$ - $5/6$ - etc. También pensaban los intervalos en proporciones numéricas abstractas, por las cualidades propias a los números. Esa forma de ver las cosas de los griegos antiguos es heredada por los pensadores occidentales hasta los avances de la acústica en los siglos XVIII-XIX.

Mirada — y oído — crítica

En realidad, es importante pensar que la serie armónica es un atributo del timbre, no de la altura. Tomarlo como modelo de la altura es posible, pero no se puede valer de una realidad científica como autoridad; la selección y organización de las alturas es una elección estética, no el sometimiento a una realidad física o natural cuya característica es justamente lo contrario de una escala afinada predeterminada: la continuidad del fenómeno sonoro y la capacidad de calibración cultural del oído. La coincidencia de algunos intervalos extraídos de la serie armónica con intervalos anteriormente utilizados no debe esconder el hecho que también muchos intervalos conceptualizados escapan a la serie armónica (fracciones de tono, afinación mesotónica, temperamento igual, etc.) y que intervalos deducibles de la serie armónica han sido descartados históricamente (los derivados de los armónicos 7, 11 y 13, en particular). El error es simplemente buscar una ley física donde se trata de una decisión estética y una responsabilidad cultural.

Ciclo de quintas

Conceptualizado por Arnauld de Zwolle (1400-1466), y luego denominado como «pitagórico». el ciclo de quintas consiste en una sucesión de quintas (intervalo $3/2$) a partir de una nota de referencia. El ciclo se puede construir en forma ascendente, descendente o una mezcla de los dos sentidos.

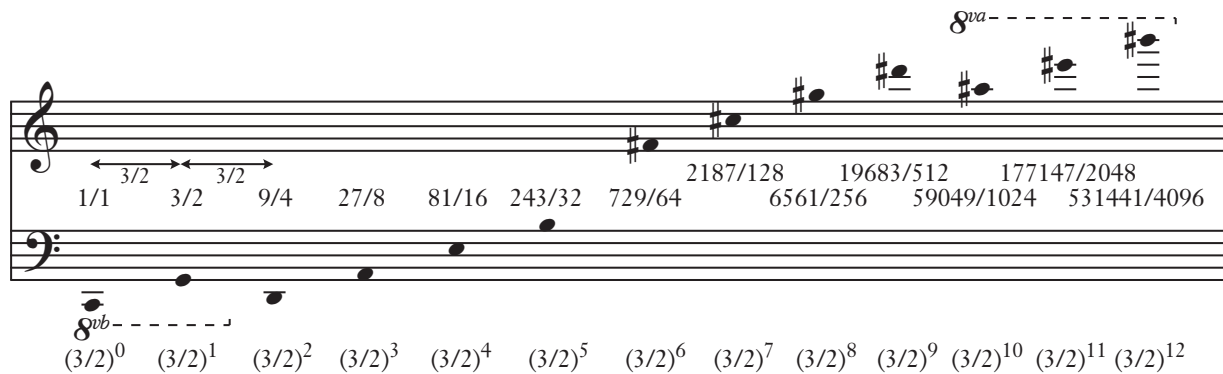


Fig. 2: ciclo de quintas ascendente, desde do

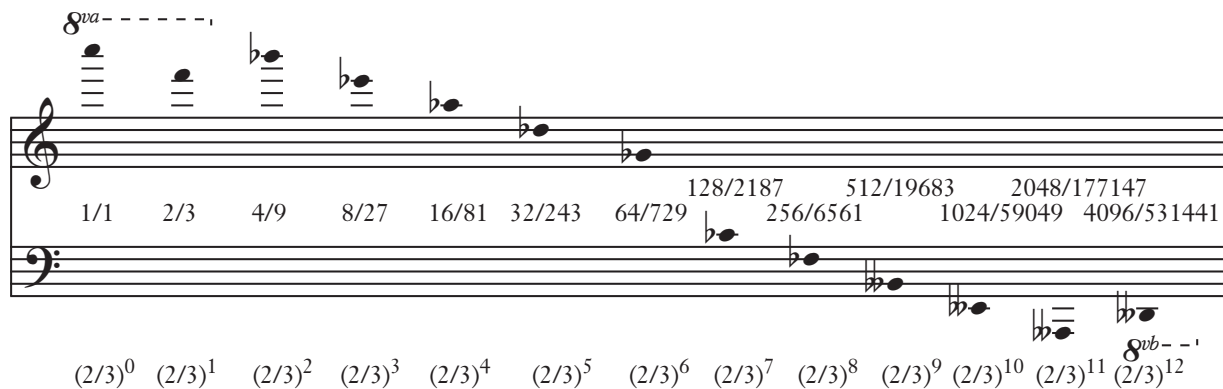


Fig. 3: ciclo descendente

Combinando parte de los dos ciclos y reduciendo por transposición en una misma octava:



Fig. 4: una versión posible de escala «pitagórica»

El problema mayor del ciclo de quinta es que nunca cierra: no existen números que permitan generar la igualdad $2^n = 3^m$ (donde 2 representa la octava y 3 la quinta). Si se generan 12 alturas a partir del ciclo, el cierre genera que una de las quintas queda más corta que las otras: la diferencia entre 12 quintas y 7 octavas, intervalo que se denomina la *coma pitagórica* (Cp), valiendo 23,5 ¢.

Zarlino y el concepto armónico

En el debate ya bien avanzado en el s. XVI sobre cómo afinar, Gioseffo Zarlino (1517-1590) aporta una nueva manera de considerar la afinación. Su sistema parte de la división de la cuerda hasta en 6 partes iguales, que genera los intervalos de base:

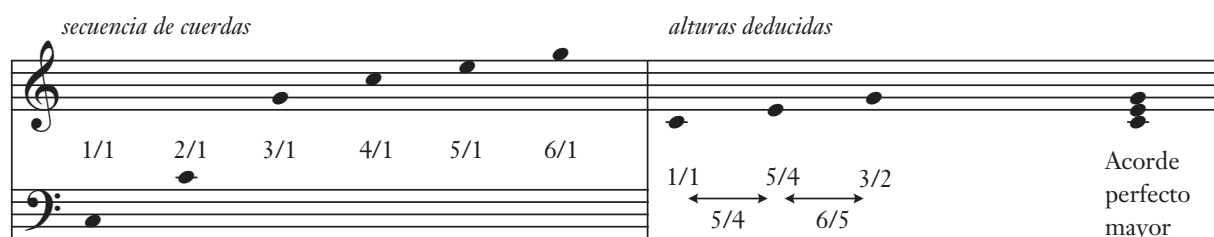


Fig. 5: intervalos básicos de Zarlino

A partir de estos intervalos de base, la tercera «pitagórica» ($81/64$) es sustituida por la tercera mayor armónica ($5/4$), y, por primera vez, se le da un papel directo al concepto de acorde, a través del acorde perfecto mayor. Agregando un acorde arriba y otro abajo, se completa la escala diatónica:

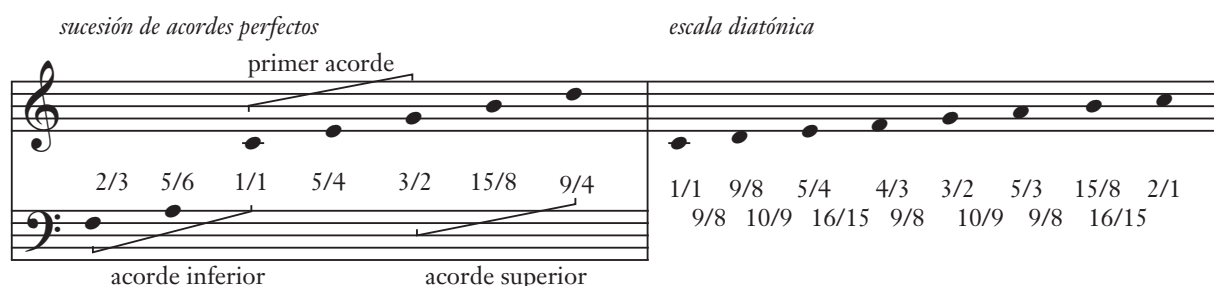


Fig. 6: escala diatónica completa de Zarlino

Para la escala cromática, se completa la escala diatónica generando los semitonos ascendentes y descendentes sumando o restando el semitono cromático ($25/24$) a las notas diatónicas.

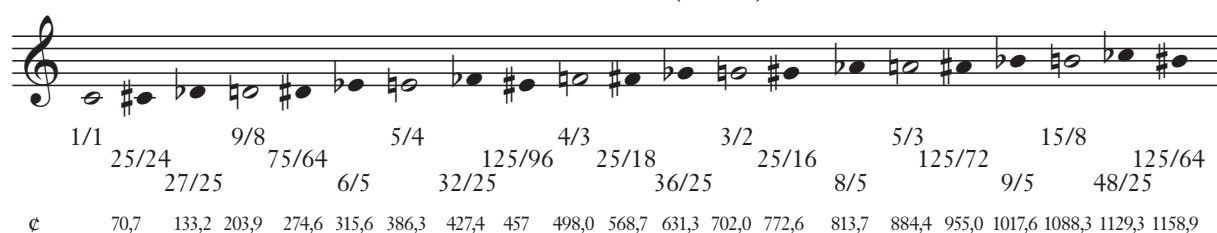


Fig. 7: escala cromática completa de Zarlino (blancas = notas diatónicas)

Pero esta escala cromática es complicada de implementar por la cantidad de alturas. Zarlino propone una versión simplificada: un temperamento desigual.

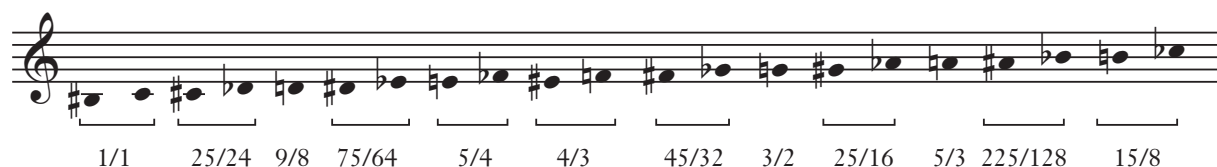


Fig. 8: escala cromática temperada desigual

Temperamentos

El concepto de temperamento aparece en el s. XV, a partir de una doble necesidad: la primera es el desarrollo de la polifonía triádica, que encuentra que la tercera mayor pitagórica (81/64) resulta dura para los acordes que la incluyen, y la segunda es la introducción cada vez mayor de la modulación en la música que implica poder tocar una variedad de modos y de transposiciones de éstos sin tener que reafinar el instrumento, particularmente los de alturas fijas como los teclados (órgano, clave).

Jean-Jacques Rousseau, en su *Dictionnaire de Musique*, 1768, p. 499, da una definición clara del temperamento: «*Temperamento: Operación por la cual, por el medio de una ligera alteración en los intervalos, haciendo desvanecerse la diferencia entre dos Sonidos vecinos, se confunden en uno que, sin chocar el oído, forma los intervalos respectivos de uno y otro. Por esta operación, se simplifica la escala disminuyendo el número de sonidos necesarios. Sin el temperamento, en lugar de doce sonidos solamente que contiene la octava, se necesitarían más de sesenta para modular en todos los tonos.*»

Este concepto va a generar mucho debate y muchas propuestas de como afinar de manera satisfactoria para cumplir con el objetivo, poder modular sin límite en unas escalas acorde a las necesidades polifónicas de esa época. Si es posible pensar un sistema cíclico infinito, el límite es la mecánica instrumental que debería permitir ejecutarlo. La necesidad de limitar la cantidad de alturas es ligada al instrumento.

Tres grandes líneas se desarrollan: temperamentos desiguales, temperamentos mesotónicos y temperamento igual.

Los temperamentos desiguales se proponen a partir de afinaciones armónicas, o como mezcla de afinación del ciclo de quintas y de proporciones elegidas entre las numerosas propuestas existentes. El caso de Zarlino es un ejemplo de esto, dando luego lugar a la calificación de «escala natural» o de «escala de los físicos», en ambos casos un apodo que no define nada de su contenido.

La selección de valores para generar una escala de doce notas pasa primero por criterios de selección que tienen que ver con la pureza de ciertos intervalos (básicamente quinta y tercera mayor o menor) o con la repartición de la imposibilidad de pureza generalizada entre varios o todos los intervalos de la escala. En muchos casos, se privilegia la exactitud de algunos intervalos contra otros, favoreciendo ciertas modulaciones y descartando otras. En otros casos se trata de mantener la cantidad máxima de intervalos exactos (por ej., quintas) en detrimento de otros (por ej., terceras).

La búsqueda de exactitud lleva necesariamente o bien a la limitación de la modulación y la transposición, o bien a la generación de una infinidad de alturas, opción imposible para la casi totalidad de los instrumentos.

Temperamento mesotónico

La idea del temperamento mesotónico aparece al final del medioevo, con el desarrollo de los instrumentos de teclados, su afinación fija y su límite de cantidad de notas.

Partiendo de la constatación que el ciclo de quintas no cierra sobre el ciclo de octavas, sino que, teniendo doce notas, queda una diferencia de una coma «pitagórica» ($3^{12}/2^{19}$), el principio mesotónico es de repartir esa diferencia entre varias quintas para permitir tener cierta cantidad de terceras aceptables. En esta repartición está excluida una quinta, llamada quinta del lobo, que se supone poco usada (en general sol # - mi b), queda deformada (de ahí su nombre), o bien más chica o bien más grande que una quinta, según como se repartió la coma entre las quintas temperadas.

El principio general es de disminuir cada quinta de una fracción de coma sintónica (intervalo que es la diferencia entre una tercera «pitagórica» ($81/64$) y una tercera mayor armónica ($5/4$), $81/80$ o $21,5 \text{ ¢}$).

Los principales mesotónicos propuestos fueron:

- $1/4 \text{ Cs}$, Pietro Aaron, 1523
- $1/10 \text{ Cs}$, Giovanni Lanfranco, 1533
- $2/7 \text{ Cs}$, Gioseffo Zarlino, 1558
- $1/3 \text{ Cs}$, Francisco Salinas, 1577
- $2/9 \text{ Cs}$, Luigi Rossi, 1666
- $1/5 \text{ Cs}$, Joseph Sauveur, 1710
- $1/6 \text{ Cs}$, Gottfried Silbermann, 1748

Para construir el primero, se apilan 12 quintas armónicas ($3/2$) y se resta $1/4$ de Cs ($81/80$) a cada una, salvo a la quinta del lobo. De esa manera se obtienen 8 terceras exactas (cada 4 quintas del ciclo):

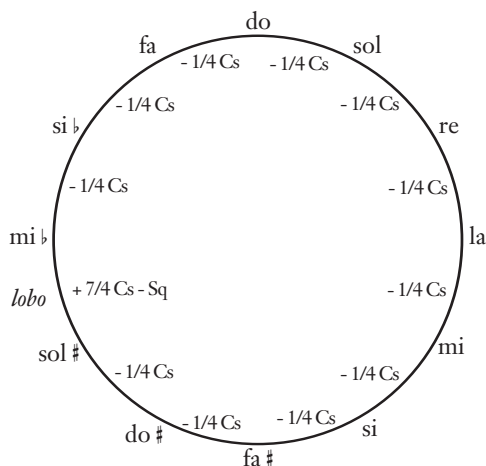


Fig. 9: construcción del mesotónico a $1/4$ de coma sintónica



Fig. 10: escala mesotónica a $1/4$ de coma sintónica (Pietro Aaron)

Temperamento igual

El concepto del temperamento igual está planteado muy tempranamente en el debate renacentista: lo defiende Giovanni Lanfranco en su *Scintille di musica* (1533). Lo instaaura un emperador chino, en China, en 1596 a partir del trabajo teórico de Chu-Tai Yu. Pero llevará aún 200 años para que se generalice.

El concepto es simple: se divide la octava en n partes iguales, y de esa manera, se reparte la dificultad entre todas las notas. Cada semitono valdrá:

$$\sqrt[12]{2}, \text{ o } 100 \text{ ¢}$$

Fig. 11: temperamento igual

De esa manera, se podía modular y transponer a voluntad, el resultado sonoro guardaba los intervalos y producía la misma sensación.

Varios propusieron temperamentos iguales con más divisiones, de manera a poder encontrar intervalos más cercanos a los de la afinación armónica:

- William Holder, 1694: 53 alturas equitemperadas por octava
- Joseph Sauveur, 1701: 43 alturas equitemperadas por octava
- Christian Huyghens (1724): 31 alturas equitemperadas por octava

La dificultad de producir instrumentos para estos temperamentos, más allá de prototipos o instrumentos únicos, hace que no prosperaron fuera del ámbito teórico.

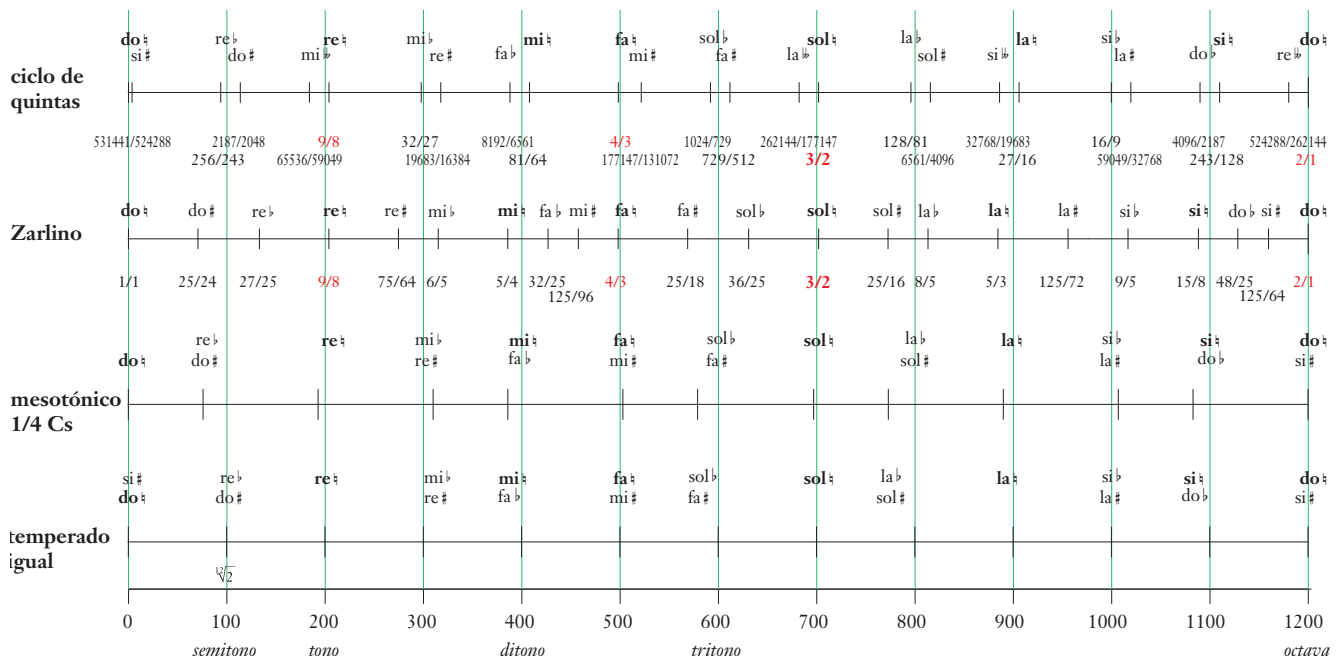


Fig. 11: comparación visual entre algunos sistemas de afinación

Intervalos clásicos

esquisma	$3^8 \times 5 / 2^{15}$	1,95 ¢	diferencia entre coma pitagórica y coma sintónica
coma sintónica	81/80	21,5 ¢	diferencia entre una 3ª mayor armónica y pitagórica
coma pitagórica	$3^{12} / 2^{19}$	23,5 ¢	diferencia entre 12 quintas y 7 octavas
apotome	$2187 / 2048 = 3^7 / 2^{11}$		diferencia entre 7 quintas y 4 octavas
lima (leimma)	$256 / 243 = 2^8 / 3^5$	90,2 ¢	«semitono pitagórico», cuarta - 2 tonos «pitagóricos»
semitono cromático	25/24	70,7 ¢	
semitono diatónico	16/15	111,7 ¢	
semitono temperado	$^{12}\sqrt{2}$	100,0 ¢	
tono mayor	9/8	203,9 ¢	= tono «pitagórico»
tono menor	10/9	182,4 ¢	diferencia entre un tono mayor y una tercera mayor
tono temperado	$^6\sqrt{2}$	200,0 ¢	
tercera menor armónica*	6/5	315,6 ¢	
tercera mayor armónica	5/4	386,3 ¢	
tercera menor «pitagórica»	32/27	294,1 ¢	
tercera mayor «pitagórica»	81/64	407,8 ¢	
cuarta (armónica)	4/3	498,0 ¢	
cuarta temperada	$^{12}\sqrt{2^5}$	500,0 ¢	
trítono armónico	45/32	590,2 ¢	
trítono «pitagórico»	729/512	611,7 ¢	
trítono temperado	$\sqrt{2}$	600,0 ¢	
quinta (armónica)	3/2	702,0 ¢	
quinta temperada	$^{12}\sqrt{2^7}$	700,0 ¢	

* se denomina armónico al intervalo derivado de la serie armónica, a diferencia del intervalo producto de un cálculo irracional (raíz o suma/resta de un valor)

Diapasón

El diapasón, instrumento de referencia de altura, es inventado en 1711 por el inglés John Short.

El uso de una referencia común, destinada a poder afinar los instrumentos para poder tocar juntos, se empieza a difundir en el s. XIX, con el movimiento de los músicos entre las ciudades de Europa y la necesidad de compatibilizar los instrumentos de diferentes lugares cuando se encuentran.

La primera norma legal fue en Francia, en 1859, un decreto ministerial que fijaba la altura de referencia, el la 4 (según la numeración MIDI moderna) en 435 Hz. Una conferencia internacional en Viena, en 1885, refrenda la misma frecuencia, como propuesta de norma. En 1953, otra conferencia internacional, en Londres, fija el diapasón en $440 \pm 0,5$ Hz, adoptada como norma ISO.

En la lista siguiente, se puede ver cómo ha variado la referencia del la 4 en el tiempo y en el espacio (diversas ciudades europeas. Los datos provienen del trabajo¹ de Alexander Ellis (1814-1890) al final del s. XIX, y algunos datos posteriores agregados. En la mayoría de los casos, se trata de órganos o campanas como referencias; en algunos casos, es referencia teórica.

año	frecuencia la 4	lugar
1495	506	catedral de Halberstadt, Alemania
1511	377	Arnolt Schlick, organista en Heidelberg, Alemania
1543	481	Iglesia Santa Catarina, Hamburg, Alemania
1636	504	tono de capilla, Marin Mersenne
1636	563	tono de cámara, Marin Mersenne
1648	403	espineta de Marin Mersenne
1751	423	diapasón de Haendel
1823	428	sala de la ópera cómica, París
1859	435	Decreto ministerial, París, Francia
1863	440	<i>Über die Tonempfindungen</i> , Hermann von Helmholtz
1885	435	Conferencia de Viena, Austria
1926	440	práctica no formalizada de la industria musical norteamericana
1936	440	recomendación de la <i>American National Standards Institute</i>
1953	440	conferencia de Londres, Gran Bretaña
1955	440	norma ISO 16
2010	442	práctica corriente en muchas orquestas (aunque no establecida como norma)
2000	415	diapasón consensual para la música barroca

El diapasón es una elección destinada a afinar los instrumentos para poder tocar juntos: no corresponde a ningún fenómeno natural ni a ninguna ley física. Atribuirle otro valor que esta función es un sinsentido científico. La pretensión, encontrada hoy en internet, que un cierto diapasón sea el «verdadero» o el «natural» (por ej. 432 Hz) es simplemente una falacia. Como lo es la atribución del la 440 al régimen nazi.

¹ Ellis, Alexander: «The history of musical pitch in Europe», en Helmholtz, Hermann von: *On the Sensations of tone*, (trad. A. E.), 3ª ed., Longmans, Green & Co., Londres, 1895, pp. 493-513.

Bibliografía breve

Barbour, James Murray: *Tuning and Temperament*, Michigan State College Press, 1951.

Boulez, Pierre: «Quant à l'espace...», en *Penser la musique aujourd'hui*, Ed. Gonthier, 1963; Ed. Gallimard, coll. Tel, pp. 93-99, 1987.

Carrillo, Julián: '*Sonido 13*': *Fundamento Científico e Histórico*, Ciudad de México, 1948.

Ellis, Alexander: «On the musical scales of various nations» en *Journal of the Society of Arts*, vol. XXXIII, n° 1688, pp. 485-527, 27.iii.1885.

Helmholtz, Hermann von: *Die Lehre von dem Tonempfindungen*, Braunschweig, 1862; *Théorie physiologique de la musique* (tr. M. G. Guérault, 1868); *On the Sensations of Tone* (tr. A. Ellis, 1877).

Novaro, Augusto: *Sistema natural base del natural aproximado*, México, 1927.

Partch, Harry: *Genesis of a Music*, Da Capo Press, New York, 1949, 1974 (2ª ampliada).

Sethares, William: *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*. Springer, 1997.

Wyschnegradsky, Ivan: «Espaces non octavians ou cycliques», en *L'ultrachromatisme et les espaces non octavians*, La Revue Musicale n° 290-291, Ed. Richard-Masse, Paris, 1972, pp. 99-123.