

# El Monocordio como Instrumento Científico

Sobre rupturas y continuidades en la “Revolución Científica”:

Ramos de Pareja, Zarlino y Mersenne

Carlos E. Calderón Urreiztieta

TESI DOCTORAL UPF / 2013

DIRECTORS DE LA TESI

Dr. Antoni Malet

Dr. Antonio Ezquerro, (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC)

DEPARTAMENT D'HUMANITATS



## Agradecimientos

Agradezco a mis directores de Tesis su respaldo y apoyo por encontrar y evidenciar espacios comunes entre la historia de la ciencia y la musicología.



# Dedicatoria

A Josef Knecht, *Magister Ludi*, en prospectiva

A M<sup>a</sup> Antonia, Alfonso y Amalia, en perspectiva



## Resumen

Se han analizado los monocordios de Ramos de Pareja, Zarlino y Mersenne, a partir de los textos e imágenes que los describen; se han reconstruido como objetos para la experimentación y se han contextualizado en la historiografía de los instrumentos científicos de la llamada “Revolución Científica”. Asociados al concepto “consonancia”, cada monocordio salvaguardaba una “verdad” físico-matemática (armónicos naturales, umbrales psicoacústicos, red de variables físicas) y, a la vez, poseía funciones prácticas como herramienta para la pedagogía, construcción y afinación de instrumentos musicales. Esta doble función (científica y estética), era indisoluble, y por ello, las clasificaciones historiográficas que insisten en ordenar los instrumentos científicos según su naturaleza filosófica o práctica, no pueden aplicarse al monocordio, dejándolo de lado. Si durante los siglos XV, XVI y XVII la “música” fue una “ciencia”, el monocordio es un instrumento científico, y como tal, sorprende su ausencia y se reclama y reivindica su presencia en las colecciones y museos de instrumentos musicales y científicos. Las reconstrucciones aquí presentadas –reales y virtuales– ayudan a aprehender un saber en el que confluían sensibilidad y razón pero que, finalmente, derivó hacia un exclusivo interés formal y cuantitativo –la naciente ciencia moderna– que podía prescindir de toda estética *a priori*, como fundamento de su investigación.

## Abstract

The monochords described by Ramos de Pareja, Zarlino and Mersenne, have been analysed in their writings, reconstructed as experimental objects and contextualized in the historiography of the scientific instruments of the so-called "Scientific Revolution." Related to concept of “consonance”, each monochord preserved a physico-mathematical "truth" (natural harmonics, psychoacoustic thresholds, physical network variables) and, in turn, had practical functions as pedagogic tool, construction and tuning of musical instruments. This double function (scientific and aesthetic) was indissoluble, and therefore the historiographical classification that insists in ordering scientific instruments according to their philosophical or practical nature can not be applied to the monochord, leaving it aside. If "music" was a "science" itself in the 15<sup>th</sup>, 16<sup>th</sup> and 17<sup>th</sup> centuries, the monochord is a scientific instrument, and as such, its absence surprises and its presence is protested and vindicated of the collections and museums of musical and scientific instruments. The reconstructions presented –real and virtual– help to understand a knowledge where sense and reason blend, but which finally acquired an exclusive quantitative and formal interest –early modern science– that could dispensed an aesthetic *a priori*, as the basis of its research.



## Prefacio

El presente trabajo de investigación tiene como propósito analizar, caracterizar y contextualizar desde perspectivas afines a la historia de la ciencia y la musicología, el instrumento denominado *monocordio*, tal y como fuera utilizado por los filósofos naturales de los siglos XV, XVI y XVII y en especial según lo descrito por Bartolomé Ramos de Pareja, Gioseffo Zarlino y Marin Mersenne. El término ‘filosofía natural’ se utiliza aquí en el contexto habitual de la historia de la ciencia y la cultura, es decir, como el conjunto de actividades que, antes del nacimiento de la ciencia moderna, se consideran hoy como investigación científica, es decir, que involucran la observación, la descripción cualitativa, la experimentación física y sus intentos de formalización cuantitativa y matemática; todo esto mezclado con la reflexión filosófica que indaga las causas del mundo natural. Entre estas actividades se encontraban las propias de los músicos teóricos o especulativos, y en ese sentido, personajes como Ramos de Pareja y Zarlino se referían a la música como parte de la filosofía, mientras que Mersenne se refería a la armonía como una actividad casi toda física y también filosófica.

Al seleccionar este período histórico y estos autores se pretende también revisar y matizar aspectos de la llamada “Revolución Científica” desde la perspectiva de la música, y la armonía, tal como éstas fueran entendidas hasta el siglo XVII, es decir, disciplinas de talante matemático cuyo objeto de estudio era el sonido y el fenómeno de la consonancia.<sup>1</sup>

Ambos propósitos presuponen evidenciar los encuentros y trasvases históricos de dos campos que, si bien hoy lucen generalmente diferenciados –la actividad musical y las leyes físico-matemáticas, por ende, arte y ciencia– para el siglo XVII aún se encontraban fundidos en torno a la llamada “filosofía natural”.

---

<sup>1</sup> En cuanto a los términos: ‘la Revolución Científica’, ‘música’ y ‘armonía’, véase la “Nota Terminológica” al final de este Prefacio. Igualmente, el término ‘consonancia’ será explicitado en la Introducción de esta investigación.

Desde su aparición en la antigua Grecia, el monocordio fue utilizado principalmente para explicar racional y sensiblemente las causas de la belleza de los intervalos musicales y el porqué algunos sonidos suenan agradables al oído al escucharse en forma melódica o al mezclarse conjuntamente, es decir en *symphonia* o *consonantia*. Fue igualmente utilizado durante la Edad Media como herramienta pedagógica para la enseñanza del canto y por los filósofos naturales de los siglos XV, XVI y XVII para investigar no sólo el fenómeno de la consonancia, sino la naturaleza física del sonido y su posible formulación matemática. Por ello, puede decirse que el interés de esta investigación no radica en estudiar al monocordio, exclusivamente, en la historia de los instrumentos musicales o en las teorías estético-musicales de la época, sino en averiguar qué papel desempeñaban las herramientas teórico-prácticas de la música en el tipo de actividad que realizaba la filosofía natural en el momento de la aparición de la llamada “Revolución Científica”. Complemento de este interés es el propósito de investigar el impacto que tuvo la naciente ciencia moderna en la pérdida de estatus filosófico-científico que poseía tanto la música como el monocordio hasta entrado el siglo XVII. En este sentido, la pregunta: ¿puede considerarse el monocordio como un instrumento científico? será válida siempre y cuando pueda dársele respuesta desde la perspectiva de la ciencia, su historia y sus categorías historiográficas. Igualmente, la pregunta ¿era la belleza musical cualificable y cuantificable físico-matemáticamente?, interesa no tanto como pregunta estética, sino para evidenciar cómo la experiencia de lo bello podía ser punto de partida para la formulación científica. Por último, una pregunta como: ¿qué condicionamientos había entre el juicio sensible estético –cualitativo– y el juicio científico –cuantitativo– para el momento de nacimiento de la ciencia moderna?, encuentra en el monocordio y la música un espacio de encuentro y dilucidación, dada la misma naturaleza dual –estética y científica– del fenómeno de la consonancia.

Para lograr los propósitos expuestos, los monocordios descritos por Bartolomé Ramos de Pareja, Gioseffo Zarlino y Marin Mersenne han sido analizados en detalle, reconstruidos tanto material como virtualmente y sometidos a escrutinio teórico y práctico con miras a contextualizarlos históricamente y dar cuenta de su posible naturaleza como instrumento científico. Dicho escrutinio obliga a confrontar estos objetos con la historicidad del término ‘instrumento científico’, así como con su

definición operativa y las clasificaciones que presenta la historiografía, es decir, a preguntar qué hay de científico en un objeto que fue usado intensamente por los filósofos naturales y por los músicos especulativos en una época en la que estos términos no existían como tales.

Esta investigación se suma al proceso de expansión de intereses que la historia de la ciencia viene desarrollando desde mediados de la década de 1980 y que ha incluido a la música y la musicología en su campo de intereses. Partiendo del trabajo de musicólogos como Claude Palisca y Daniel Pickering Walker, algunos historiadores de la ciencia como Stillman Drake, Hendryck Floris Cohen, Paolo Gozza, Penelope Gouk y Jamie Kassler lograron llamar la atención sobre la importancia de la música en el marco de la naciente ciencia del siglo XVII y el aspecto “musical” de la filosofía natural. Así, esta investigación se apoya en los conocimientos asentados por aquéllos y asume la música, las matemáticas y la experimentación mecánica que se desenvuelve en los siglos XV, XVI y XVII como un saber cuyas fronteras no son tan diferenciadas como actualmente se perciben y, que a su vez, incorpora de manera estructural la estética, la retórica, la teología, y otras disciplinas.

Particularmente, en el año 1963, el monocordio fue inventariado –desde su aparición en la Antigua Grecia hasta el siglo XX– de manera enciclopédica por el musicólogo Cecil Adkins y, en 1996, por el también musicólogo Christian Meyer, quien compiló los textos de la mayoría de tratados sobre el monocordio desde los siglos IX al XV. Más recientemente, en diciembre de 2008, el matemático e historiador de la ciencia Benjamin Wardhaugh investigó las experimentaciones realizadas con monocordios en Inglaterra de 1653 a 1705 y, en enero de 2010, el historiador de la cultura clásica David Creese ha publicado sus estudios sobre el monocordio desde su aparición hasta la obra de Ptolomeo en el siglo II. Como puede deducirse, la presente investigación se suma a esos recientes trabajos pero se centra en un período –los siglos XV al XVII– que no ha sido revisado pormenorizadamente por aquéllos. Si bien las investigaciones pioneras de Drake, Cohen y los ya mencionados, daban cuenta del papel de la música en el marco de la llamada “Revolución Científica”, éstas no ahondaban en el monocordio como instrumento científico ni había allí análisis detallados. Las menciones a los monocordios

y la obra de personajes claves en el desarrollo de la ciencia musical como Ramos de Pareja, Zarlino y Marin Mersenne merecen ampliarse en detalle.

A pesar del protagonismo histórico que las proporciones armónicas obtenidas a partir del monocordio hayan tenido desde su propia concepción por parte de los pitagóricos, es sabido que su importancia en el desarrollo de las ciencias físico-matemáticas quedó relegada hacia finales del siglo XVII. Para ese momento, la música, entendida como disciplina heredera del *quadrivium* medieval y renacentista, y cuyo cuerpo principal lo consistía la *armonía*, finalmente, se escindió en dos disciplinas claramente diferenciadas: a) la música como actividad artística y creadora, ejemplificada por Jean-Philippe Rameau: teórico, compositor y clavecinista; y b) la música como acústica físico-matemática, ejemplificada en la obra de Joseph Sauveur: físico, matemático, experimentalista y hombre con dificultades de habla y oído.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Jean Philippe Rameau (\*Dijon, 1683; †París, 1764), conocido compositor, clavecinista y teórico musical, fue uno de los músicos franceses más influyentes de la primera mitad del siglo XVIII. Su obra principal *Traité de l'harmonie réduite à ses principes naturels* (París, Ballard, 1722), tomaba inspiración, tanto de los logros de filósofos naturales como Kepler, Descartes y Newton, como de las investigaciones de Zarlino y Mersenne, para intentar formalizar los principios compositivos que gobernaban la melodía y la sucesión de acordes que la acompañaban. Posteriormente, en su *Nouveau système* de 1726, Rameau incorporó las investigaciones acústicas realizadas por Sauveur, convirtiendo a la serie de armónicos naturales en el principio fundamental de su teoría de acordes. Por su parte, Joseph Sauveur (\*La Flèche, 1653; †París, 1716) fue profesor de física y matemáticas y miembro de la *Académie Royale des Sciences*. Introdujo el término *acoustique*, así como el concepto de *son harmonique* y un estudio sistemático de los nodos en una cuerda vibrante. Según el *Éloge de Monsieur Sauveur*, escrito en 1716 por el Secretario de la Academia, Bernard le Bouyer Fontanelle, Sauveur tenía dificultades de habla y oído, quedando “reducido a pedir prestada la voz y la oreja de otros y, a cambio, devolver demostraciones desconocidas para los músicos”. Sin embargo, lo anterior no le impidió llevar a cabo, hacia 1701, la completa redefinición de los intervalos musicales en términos del moderno concepto físico de frecuencia. En resumen, ambos personajes, Rameau y Sauveur representan, tanto en la historia de la música como de la ciencia y la cultura, el nacimiento de dos áreas de conocimiento y dos prácticas culturales que seguirían metodologías independientes, y que alcanzarían resultados, igualmente, diferenciados.

A pesar que ambos autores habían partido de principios naturales como la consonancia y su cálculo en forma de proporciones matemáticas, habrían perseguido objetos de estudio diferentes, a saber: el sonido como expresión artística o el sonido como hecho físico. Durante este proceso, el monocordio sería sustituido por herramientas de mejor calibre y precisión –las horquillas de afinación o *tuning forks*, pequeños silbatos de afinación o *pitch pipes*, los tonómetros y otros instrumentos resonadores acústicos–, tanto en la naciente acústica como en la tradicional práctica musical. Así, en parte, esta investigación ha sido motivada por la minimización histórica e historiográfica de un objeto que llegara a ser –como en los casos de Kepler y Fludd, Mersenne y Kircher– modelo explicativo o metáfora simbólica del universo y cuya ausencia tanto en catálogos de instrumentos científicos como museos de historia de la ciencia o de la música, es del todo palpable.

La presente investigación inicia con una revisión bibliográfica e historiográfica de los instrumentos científicos en la historia de la ciencia, en estricta relación con el período histórico seleccionado. Igualmente, se presenta un estado de la cuestión de la música y el monocordio, respecto de la llamada “Revolución Científica” y el nacimiento de la ciencia moderna. Ambos panoramas permitirán ubicar histórica e historiográficamente la investigación y las hipótesis planteadas.

La primera, segunda, y tercera parte, corresponden a los análisis pormenorizados de cada monocordio seleccionado. Estos análisis incluyen, además de la revisión de las fuentes primarias, las reconstrucciones tanto reales como virtuales, los resultados de las experimentaciones realizadas y las conclusiones particulares a las que se ha llegado con cada uno de los monocordios.

Por último, en la cuarta parte, se remarcarán las conclusiones particulares alcanzadas en las partes precedentes, poniéndolas en perspectiva desde un marco general para después, exponer las conclusiones generales.

En resumen, se ha realizado un análisis exhaustivo de cada monocordio y se ha investigado la evolución del objeto en un sentido material, metodológico y en relación con el tipo de actividad filosófica que sobre él se realizaba en los siglos que suponen la

llegada de la llamada “Revolución Científica”; finalmente, se ha intentado contextualizar estos monocordios en el debate de los instrumentos científicos y se ha revisado cómo contribuyen a validar o matizar el término, y cómo, a su vez, pudieran ser clasificados. Al hacerlo, se ha intentado contribuir en la profundización del papel desempeñado por la música, la armonía y el monocordio en el nacimiento y desarrollo de la ciencia moderna, entendida ésta como un aspecto fundamental de la historia de la cultura.

\* \* \*

**NOTA TERMINOLÓGICA:** A lo largo de esta investigación se utilizarán –y de hecho ya han sido utilizados– algunos términos que merecen una precisión de significado. El primero alude al concepto *armonía* y su relación con el concepto *música*; el segundo se refiere al concepto denominado *Revolución Científica*.

Respecto a los términos ‘música’ y ‘armonía’, durante la Antigüedad y hasta el siglo XVII, si bien no pueden ser totalmente intercambiables, muchas veces operan como sinónimos. El concepto *armonía*, así como las llamadas *proporciones armónicas* se refieren, en un sentido histórico general, a aquellos sonidos musicales (en secuencia o en simultaneidad) que el oído humano reconocía como agradables y que eran expresables a partir de experimentaciones en el monocordio. Las primeras investigaciones se atribuyen a la escuela pitagórica, para quienes ‘armonía’ devino en una metafísica del orden y la belleza fundamentada en el número. Posteriormente, para la música de la antigua Grecia, el término aludía a la sucesión de tonos en una octava – lo que actualmente se denomina *escala*–, consistiendo los tratados armónicos en el correcto cálculo y utilización de los sonidos de la escala como base para la composición de piezas musicales. Así, el término ‘armonía’ aparecía en los tratados musicales antiguos para indicar que la música consistía, tanto en la correcta selección de las escalas y sus tonos, como en la discusión de los valores morales o éticos que de ellos se derivaba. En ese sentido y aunque el *quadrivium* medieval y renacentista nos hablara de ‘música’, se sabe que el estudio teórico de la misma estaba dedicado a la consecución de respuestas a problemas propios de la ‘armonía’; en especial, a la conformación de

aquellas escalas y la inconmensurabilidad de los intervalos armónicos entre sí. Al ser estos intervalos la materia prima de la música, la armonía suele intercambiarse y operar como metonimia de la música. Pero, a la vez, al ser la fundamentación más íntima y racional de la obra musical, podía verse como una reflexión de índole superior. Hoy día los términos ‘música’ y ‘armonía’ se refieren a conceptos diferentes, aunque íntimamente relacionados. Por un lado, la música es entendida, actualmente, como un arte –o si se quiere, un lenguaje– y la armonía es, en rasgos generales, el subconjunto de reglas de la música que se ocupa de la simultaneidad de los sonidos y, en particular, del encadenamiento de los acordes sonoros.

El otro concepto a precisar es el denominado *Revolución Científica*. Este término ha sido, desde la última cuarta parte del siglo XX, objeto de variadas revisiones, y lo que, en un momento –iniciado por el reconocido historiador de la ciencia, Alexander Koyré, hacia 1940 con su *Études Galiléennes*– se convirtió en un tópico de modernidad, cambio intelectual radical, o de ruptura entre lo viejo y lo nuevo, ha sido puesto en tela de juicio a raíz de lo que hoy se sabe de la vida cultural del siglo XVII.<sup>3</sup> En general, actualmente, se ve con recelo la idea misma de “la Revolución Científica” e incluso, la legitimidad de cada una de las palabras que conforman la frase obligan a entrecomillarla.<sup>4</sup> Muchos historiadores de hoy día ya no están satisfechos con la idea de

---

<sup>3</sup> KOYRÉ, Alexander: *Études Galiléennes*. París, Hermann, 1940. (Trad. cast.: *Estudios Galileanos*. Mariano González, (trad.). Madrid, S.XXI de España, 1980). Junto a Koyré destacan las obras pioneras siguientes: BUTTERFIELD, Herbert: *The origins of Modern Science, 1300-1800*. Londres, G. Bell, 1949. (Trad. cast.: *Los orígenes de la ciencia moderna*. Madrid, Taurus, 1992); HALL, Alfred Rupert: *The Scientific Revolution, 1500-1800: The formation of the modern attitude*. Londres, Longmans Green, 1954. (Trad. cast.: *La Revolución Científica 1500-1750*. Jordi Beltrán, (trad.). Barcelona, Crítica, 1985).

<sup>4</sup> Véase SHAPIN, Steven: *The scientific revolution*. Chicago, University of Chicago Press, 1996. (Trad. cast.: *La Revolución Científica: una interpretación alternativa*. José Romo, (trad.). Barcelona, Paidós, 2000). La literatura sobre “La Revolución Científica” es muy vasta. Esta pequeña obra de Shapin posee un “Ensayo Bibliográfico” (pp. 209-272 de la edición en castellano) a manera de guía orientativa de gran parte de los estudios relevantes sobre el tema. Para una revisión igualmente amplia y detallada, donde la música desempeña un papel con mayor relieve, véase COHEN, Hendrik Floris: *The Scientific Revolution. A historiographical inquiry*. Chicago, The University of Chicago Press, 1994; ID.: *How modern science*

poder considerar un acontecimiento singular y discreto como “la” Revolución Científica y lo que historiadores como Herbert Butterfield, Rupert Hall o el mismo Koyré acuñaran y utilizaran como “el sello de la civilización occidental”, es aún objeto de debate. Igualmente, hoy día es cuestionable la idea de si realmente hubo una “Revolución”, entendido ésto como un cambio absoluto de paradigma o de prácticas culturales. Finalmente, la propia definición de lo que es una actividad “Científica” siempre es debatida intensamente tanto por lo que presupone hoy día, como por lo que pudo suponer en los siglos XV, XVI y XVII. En resumen, la historiografía actual de la ciencia matiza, cuestiona o incluso rechaza, la noción de que existiera en el siglo XVII una única entidad cultural coherente que pudiera experimentar un cambio revolucionario. Lo que sí es cierto es que el término aún posee su capacidad comunicativa para ubicar lo que supone un espacio temporal –de la obra pionera copernicana a la síntesis newtoniana– en el cual unos saberes y unas prácticas cambiaron cuantitativa y cualitativamente la manera de describir y comprender la realidad natural. Este período de tiempo también se alude como *early modern science*, término éste menos comprometedor interpretativa e historiográficamente.

En especial –y como se comentará más adelante– la música como disciplina ha sido incómoda tanto para las historiografías tradicionales como para otras más recientes. Sin embargo, ha sido esta revisión de cada una de las palabras del término ‘la Revolución Científica’ la que ha permitido que la música y la musicología hayan recibido una mayor atención por parte de los historiadores de la ciencia. La revisión del término ha otorgado nuevos puntos de vista tanto de los personajes en ella involucrados como de las disciplinas particulares que en ella confluyen, *v.g.* música y armonía, así como también de la propia historia de la ciencia. En resumen, el término se utilizará aquí tomando en cuenta esta nueva noción y prudente perspectiva que se tiene de él.

---

*came to the world: Four Civilizations, One 17th-Century Breakthrough.* Amsterdam, Amsterdam University Press, 2010. Este libro presenta una perspectiva más reciente que en sus párrafos finales utiliza a la música como una “imagen” que, basada en su doble-legado de emotividad y racionalidad, permiten comprender con más claridad la significación histórica del siglo XVII.

\* \* \*

A MANERA DE ADVERTENCIA: El autor de esta investigación manifiesta con ella, su interés por encontrar y evidenciar espacios comunes entre la historia de la ciencia y la musicología. En este sentido, se escribe tanto para musicólogos como para historiadores de la ciencia, razón por la cual se han añadido cuestiones aquí (datos biográficos, junto a aclaratorias de algunos conceptos básicos de ambas disciplinas), que quizás, no serían necesarias para unos especialistas concretos. Por tanto, se ruega al lector que tenga presente el ánimo con que han sido añadidos, pues sólo intentan precisar para unos, lo que puede ser hartamente sabido para otros.



# ÍNDICE

PREFACIO .....	VII
INTRODUCCIÓN: EL PANORAMA HISTORIOGRÁFICO .....	1
DE LOS INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS EN RELACIÓN CON LA MÚSICA Y EL MONOCORDIO.....	16
a) El término ‘instrumento científico’: legitimidad, definición y clasificaciones. ....	16
b) A manera de balance e hipótesis. ....	32
DE LA MÚSICA Y EL MONOCORDIO EN RELACIÓN CON LA HISTORIA DE LA CIENCIA.....	33
a) Consultas bibliográficas.....	37
b) Aproximaciones musicológicas.....	40
c) Aproximaciones desde la perspectiva de la historia de la ciencia .....	44
PRIMERA PARTE .....	49
1 EL MONOCORDIO DEL SIGLO XV, SEGÚN BARTOLOMÉ RAMOS DE PAREJA .....	49
1.1 ESBOZO BIOGRÁFICO E HISTORIOGRÁFICO .....	50
1.2 DIMENSIONES Y MATERIALIDAD DEL MONOCORDIO .....	58
1.3 MÉTODO DE UTILIZACIÓN DEL MONOCORDIO.....	63
a) El monocordio elemental. ....	64
b) El monocordio detallado. ....	76
1.4 LOS ARMÓNICOS NATURALES, LA “AFINACIÓN JUSTA” Y EL ARTE DE LA MEMORIA. ....	82
1.5 CONCLUSIONES PARTICULARES.....	92
1.6 APOSTILLAS: LA RETÓRICA DEL INCUNABLE. ....	98

SEGUNDA PARTE.....	101
2 EL MONOCORDIO DEL SIGLO XVI, SEGÚN GIOSEFFO ZARLINO.....	101
2.1 ESBOZO BIOGRÁFICO E HISTORIOGRÁFICO .....	101
2.2 DIMENSIONES Y MATERIALIDAD DEL MONOCORDIO.....	108
2.3 MÉTODO DE UTILIZACIÓN DEL MONOCORDIO.....	112
a) Introducción.....	112
b) El Monocordio “perfecto”. Método de subdivisión de la cuerda .....	120
2.4 DISOLUCIÓN DE LA COMA.....	131
a) Planteamiento del problema.....	131
b) Resolución del problema: el <i>mesolabium</i> según Zarlino.....	139
• Experimentación .....	150
• Conclusiones particulares en torno al mesolabio según Zarlino.....	154
• Consideraciones finales y evaluación del experimento en su contexto histórico.....	158
c) El Monocordio “imperfecto”. La distribución de la coma sintónica.....	169
2.5 CONCLUSIONES PARTICULARES EN TORNO AL MONOCORDIO DE ZARLINO ....	175
2.6 APOSTILLAS: EL MONOCORDIO COMO PRUEBA DE DIOS .....	181
TERCERA PARTE.....	183
3 EL MONOCORDIO DEL SIGLO XVII, SEGÚN MARIN MERSENNE.....	183
3.1 ESBOZO BIOGRÁFICO E HISTORIOGRÁFICO .....	183
3.2 INTRODUCCIÓN AL MONOCORDIO: ENTRE LA ABSTRACCIÓN TEÓRICA Y LA PRÁCTICA EXPERIMENTAL .....	191
3.3 MONOCORDIOS DE ABSTRACCIÓN TEÓRICA: MÉTODOS DE SUBDIVISIÓN DE LA CUERDA.....	195
a) El monocordio “absoluto”.....	195
b) Los monocordios “económicos” .....	209
c) Los monocordios “exhaustivos”.....	215

3.4 EL MONOCORDIO PRÁCTICO EXPERIMENTAL: FIGURA Y OBJETO EN LA PROPOSICIÓN XII DE LA <i>HARMONIE UNIVERSELLE</i> .....	223
a) Introducción .....	223
b) Materialidad .....	227
c) Método de utilización.....	229
d) Reconstrucción virtual y aplicación multimedia .....	232
e) Reconstrucción material.....	237
• Otras observaciones sobre la experimentación en la reconstrucción material .....	241
3.5 EL “OTRO” MONOCORDIO DE MERSENNE .....	243
3.6 MONOCORDIO Y <i>AN-AESTHESIS</i> .....	250
3.7 CONCLUSIONES PARTICULARES.....	263
4 CONCLUSIONES GENERALES .....	267
4.1 RESPECTO AL PANORAMA HISTORIOGRÁFICO PLANTEADO .....	268
4.2 RESPECTO A LAS CONCLUSIONES PARTICULARES .....	273
4.3 RESPECTO A LA HIPÓTESIS PLANTEADA.....	281
4.4 APOSTILLA FINAL.....	286
5 APÉNDICES.....	289
5.1 SOBRE LA TEORÍA DE LAS <i>RAZONES</i> O <i>PROPORCIONES</i> Y SU TERMINOLOGÍA ...	289
5.2 BREVE REFLEXIÓN SOBRE LOS ARCOS GRÁFICOS DE ZARLINO .....	296
5.3 EL MESOLABIO Y SU FUNDAMENTACIÓN HISTÓRICA Y GEOMÉTRICA .....	298
6 BIBLIOGRAFÍA.....	305
6.1 FUENTES PRIMARIAS INVESTIGADAS .....	305
a) El monocordio según Bartolomé Ramos de Pareja .....	305
b) El monocordio según Gioseffo Zarlino .....	307
c) El monocordio según Marin Mersenne .....	310
6.2 BIBLIOGRAFÍA GENERAL .....	313



## INTRODUCCIÓN: EL PANORAMA HISTORIOGRÁFICO

H. F. Cohen, en uno de los libros más celebrados sobre las relaciones entre música y ciencia para los siglos XVI y XVII, reconocía en el monocordio un instrumento al servicio de la ciencia musical cuando escribió que:

Kepler insisted on repeating the Pythagorean experiment with the help of an instrument that, in the course of the Middle Ages, had become the usual one for demonstrating music-scientific law: the monochord.<sup>5</sup>

A pesar que la cita evidencia un amplio rango histórico –de los pitagóricos a la Edad Media, y de ahí a Kepler– en eso consiste toda su mención al monocordio y su caracterización como instrumento científico. En este tenor discurren la mayoría de las disertaciones de historia de la ciencia en las cuales se menciona el monocordio y es por ello que para caracterizarlo como aparato para la experimentación científica, se debe rastrear en una variada bibliografía, la mayoría de ella musicológica y no asociada con las investigaciones en historia de la ciencia. Igualmente, una consulta en los catálogos reconocidos de colecciones de instrumentos de experimentación científicos hacia el siglo XVII, confirman la inexistencia, no sólo ya del monocordio, sino de instrumento sonoro alguno.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> “Kepler insistió en repetir el experimento de Pitágoras con la ayuda de un instrumento que, en el transcurso de la Edad Media, se había convertido en usual para demostrar la ley músico-científica: el monocordio”. COHEN, Hendrik Floris: *Quantifying music. The science of music at the first stage of the scientific revolution, 1580-1650*. Dohdrecht, Kluwer Academic Publishers, 1986, p. 16. [Todas las traducciones que se suministren en adelante, en notas al pie, son del autor de la presente investigación, salvo que se indique lo contrario, para lo cual se colocará la cita correspondiente].

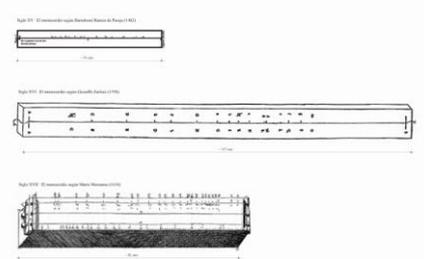
<sup>6</sup> Véase EPACT *Electronic catalogue of medieval and renaissance scientific instruments from four European museums: the Museum of the History of Science, Oxford, the Istituto e Museo di Storia della Scienza, Florence, the British Museum, London, and the Museum Boerhaave, Leiden*. En conjunto, estos museos hospedan la más amplia y prestigiosa colección de tempranos instrumentos científicos del mundo. <http://www.mhs.ox.ac.uk/epact/>. (Acceso: marzo, 2013). [El acceso a este enlace, al igual que el resto de los enlaces en esta investigación, han sido corroborados en diversas ocasiones desde el inicio de esta

En una primera aproximación, puede describirse al monocordio como una tabla plana o una caja de madera alargada y resonante sobre la cual una cuerda tensa puede ser acortada –sea con el dedo, un plectro o mediante un puente movable– para definir una determinada relación o proporción, acústica y sonora que, a su vez, es representable tanto geométrica como aritméticamente. Una vez escuchado y representado el sonido – como magnitud o número– podía operarse matemáticamente con él para obtener nuevos cálculos y ponerlos a prueba en el mismo monocordio, bajo el criterio de la experiencia sensible auditiva. En la siguiente hoja desplegable se presentan, como primera referencia visual, las ilustraciones de los tres monocordios seleccionados para el análisis según tamaños proporcionales entre sí, junto a un elemento –CD– que nos proporciona un sentido de escala:

---

investigación y, como último acceso, durante marzo de 2013. De ahora en adelante, se prescindirá de la colocación de esta acotación bibliográfica, salvo que se indique lo contrario, para lo cual se colocará la fecha exacta de dicho acceso].

## Hoja desplegable. 1



Si bien la utilización del monocordio se remonta a las tradicionales historias referidas a Pitágoras, su invención exacta no está del todo determinada, aunque se sabe que la primera referencia escrita se encuentra en el *Sectio Canonis*, atribuido a Euclides, hacia el 300 a.C.<sup>7</sup> No obstante, su influencia en la cultura antigua se expande desde el siglo V a.C. hasta finales del siglo II, cuando fuera objeto de estudio por autores como Platón, Aristóteles, Aristóxenos y el propio Euclides, y posteriormente por, Plutarco, Arístides Quintiliano, Nicómaco de Gerasa y Ptolomeo, entre otros.<sup>8</sup> Los escritos de estos autores sentaron, a partir de las experiencias con el monocordio, los fundamentos teóricos de

---

<sup>7</sup> El tratado *Κατατομή κανόνας* –*La División del Canon*–, más bien conocido por su nombre en latín, *Sectio Canonis*, es atribuido a Euclides (\*Alejandría?, c. 325 a.C.; †*Ibid.*?, c. 265 a.C) aunque como indica André Barbera, existen hasta tres tradiciones sobre la transmisión de dicha obra: 1) una versión en griego que se atribuye a Euclides o Cleonides (\*II?; †?) autor del *Eisagōgē harmonikē* –*Introducción a la armonía*–; 2) otra versión en griego transmitida por el filósofo neoplatónico y comentarista de la obra aristotélica, Porfirio (\*Tiro, c. 232; †Roma, 304); y 3) una versión latina transmitida por Boecio (\*Roma, c. 480; †Pavía, c. 524). Las traducciones al inglés más reconocidas son: BARBERA, André: *The Euclidean Division of the Canon. Greek and Latin Sources*. Lincoln, The University of Nebraska Press, 1991; y BARKER, Andrew: *Greek Musical Writings. Vol. II: Harmonic and Acoustic Theory*. Cambridge, Cambridge University Press, 1989, pp. 190-208.

<sup>8</sup> Como es sabido, tanto Platón como Aristóteles se refieren a la música y la armonía en sus obras filosóficas. Aunque no poseen tratados dedicados, exclusivamente al monocordio, las proporciones armónicas que se investigaban en dicho instrumento, sirvieron de reflexión tanto para un modelo “armónico” del cosmos, como para la ética y la vida en sociedad (v.g. el *Timeo* y *República* de Platón y *Política* y *Metafísica* de Aristóteles) y también, para dar cuenta del fenómeno acústico (v.g. las obras de Aristóteles *Del Alma* y el tratado atribuido, *De las cosas de la audición*). Ante esta tradición de talante simbólico-matemática, Aristóxeno (\*Tarento?, c. 300; †?, c. 360), en sus *Elementos armónicos*, propuso un sistema basado en la práctica y la audición como juez final, aunque sin abandonar la especulación teórica. A partir de aquí, se crearon las dos tradiciones filosóficas en torno a la ciencia musical, a saber: la “pitagórica-teórico-numérica” y la “aristoxénica-práctica-sensible”. El resto de autores tienden a reflejar, según la historiografía de ciencia musical, estas teorías opuestas, siendo “pitagóricos”: Nicómaco de Gerasa (siglo I: *Harmonicum enchiridium*); Arístides Quintiliano (siglos I o II: *De musica*); y Ptolomeo (siglo II: *Harmoniké*). Por otro lado, la tradición “aristoxénica” se refleja en Cleonides (siglo II?: *Isagoge harmonica*) y posiciones intermedias, que tomaban de ambas tradiciones: Plutarco (c. 50-100: *De musica*) y el mismo Arístides Quintiliano. [Véase en el Apartado 6.2 dedicado a la Bibliografía general, las referencias bibliográficas a estos tratados].

una música que era compuesta esencialmente de melodías de una sola voz –monodia diatónica– y fueron revisados y comentados –con mínimas variaciones– por autores como Teón de Esmirna, Censorino, Jámblico, Macrobio y Gaudencio durante el siglo II, y hasta finales del siglo V.<sup>9</sup> Finalmente, hacia el año 500 Boecio escribió su *De Institutioni Musica*: un sumario de las investigaciones anteriores que se convertiría en el modelo de la ciencia armónica medieval y renacentista fijando la *auctoritas* hasta entrado el siglo XVII.<sup>10</sup> Tanto Ramos de Pareja, como Zarlino y Mersenne, tomaron

---

<sup>9</sup> Puede obtenerse una visión general de estos autores y una revisión de sus respectivas obras en MATHIESEN, Thomas: *Apollo's Lyre: Greek Music and Music Theory in Antiquity and the Middle Ages*. Lincoln, University of Nebraska Press, 1999. También pueden verse las traducciones parciales de algunas de estas obras en STRUNK, Oliver y TREITLER, Leo: *Source readings in music history*. New York, W. W. Norton, 1950, ed. rev. 1998. Algunas obras como las de Censorino y Macrobio, y otros autores de la era cristiana, de los siglos III al V, pueden leerse transcritas en el enlace [http://www.chmtl.indiana.edu/tml/3rd-5th/3RD-5TH\\_INDEX.html](http://www.chmtl.indiana.edu/tml/3rd-5th/3RD-5TH_INDEX.html) perteneciente al índice de autores en el *Thesaurus Musicarum Latinarum*. Bloomington, Universidad de Indiana.

<sup>10</sup> Anicius Manlius Severinus Boethius, conocido como Boecio (\*Roma, c. 480; †Pavía, c. 524), representa, en las ciencias de la música, la culminación de las tradiciones helenísticas y el comienzo de las medievales, al compilar lo ya realizado y ser punto de partida para lo por venir. Su obra *De institutione musica*, era el cuarto libro perteneciente a sus “cuatro vías” –*quadrivium*– para el completo conocimiento, junto a la aritmética, la geometría y la astronomía. En el Libro I de su tratado, la música era considerada en su aspecto ético y estético y, después de presentar la naturaleza material del sonido y el concepto de consonancia, culminaba con la dicotomía entre “cantor” y “músico”, siendo este último, alguien que privilegiaba la razón sobre la práctica natural. En los Libros II, III y IV expuso los temas de las proporciones, junto a tres tipos de divisiones del monocordio. Finalmente, en el Libro V expuso y comentó la obra de otros autores como Aristóxeno, Arquitas y Ptolomeo. La obra de Boecio pudo conservarse hasta en más de 150 códices y representó una de las tradiciones escritas más sólidas de la Edad Media, que terminó por convertirlo en la *auctoritas*, incluso hasta el temprano siglo XVII, cuando la teoría se orientó, definitivamente, hacia una conciliación con los aspectos prácticos de la música. La edición de referencia que ha servido para la mayoría de los estudios es: BOECIO, Anicius Manlius Severinus: *De institutione musica libri quinque*. Godofredus Friedlein (ed.), Leipzig, B. G. Teubner, 1867. En el enlace de la “Petrucci Music Library”, (IMSLP) International Music Score Library Project, [http://imslp.org/wiki/De\\_Institutione\\_musica\\_\(Bo%C3%ABthius,\\_Anicius\\_Manlius\\_Severinus\)](http://imslp.org/wiki/De_Institutione_musica_(Bo%C3%ABthius,_Anicius_Manlius_Severinus)) puede descargarse una versión digitalizada de esta edición y también, puede leerse una transcripción en el enlace [http://www.chmtl.indiana.edu/tml/6th-8th/6TH-8TH\\_INDEX.html](http://www.chmtl.indiana.edu/tml/6th-8th/6TH-8TH_INDEX.html), perteneciente al índice de

como referencia y punto de partida la obra de Boecio para, posteriormente, proponer sus sistemas musicales propios e intentar dar cuenta de las nuevas prácticas musicales que se basaban, tanto en sus teorías experimentadas en el monocordio, como en el desarrollo de la polifonía, el auge de los instrumentos musicales y las nuevas tendencias estético-musicales del momento.

A pesar de lo significativo que puede considerarse lo anterior, el monocordio sigue siendo un ausente en lo que se refiere a una historia sobre la experimentación científica y el desarrollo de los instrumentos científicos de la época moderna. A este respecto, el ya célebre libro de Maurice Daumas, o algunos ensayos más recientes –Bennet–, se concentran en los instrumentos ópticos emergentes del siglo XVII (telescopio y microscopio), y así, el monocordio, presente en la obra de filósofos naturales como Kepler, Mersenne, Descartes, Huygens, Newton y otros, o se da por supuesto, o se ha ignorado, o simplemente, no ha merecido la atención de los historiadores de la ciencia.<sup>11</sup>

Como se verá más adelante, el debate sobre los instrumentos científicos se ha caracterizado por la insistente diferenciación entre: *a)* herramientas para el conocimiento de la realidad natural; y *b)* herramientas prácticas para la solución de problemas. Esto ha dificultado la posible incorporación del monocordio a la discusión, puesto que su consideración como herramienta de conocimiento ha quedado ensombrecida ante su caracterización como herramienta práctica para la afinación de otros instrumentos o como ancestro de instrumentos de cuerda como el clavicémbalo y el clavicordio. Por último, su frágil materialidad y la evidente simpleza formal carente

---

autores en el *Thesaurus Musicarum Latinarum*. Bloomington, Universidad de Indiana. La traducción al inglés más referida está en BOWER, Calvin y PALISCA, Claude, (eds.): *Fundamentals of Music*, New Haven, Yale University Press, 1983. Hay traducción al castellano como: *Tratado de Música*. Salvador Villegas, (trad.). Madrid, Ediciones Clásicas, 2005; y como *Sobre el fundamento de la música*. Jesús Moreno, (trad.). Madrid, Gredos, 2009.

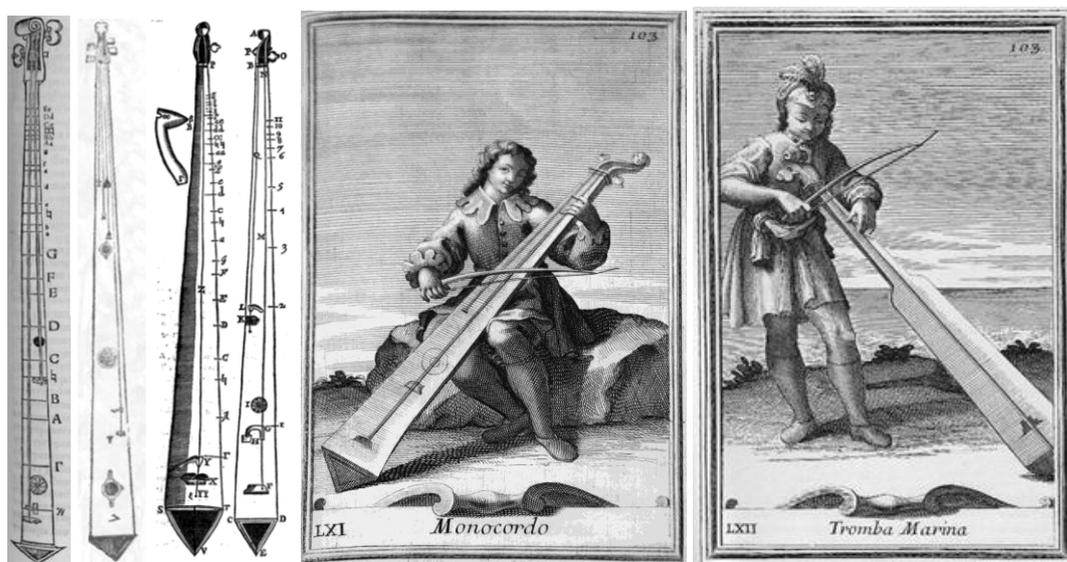
<sup>11</sup> DAUMAS, Maurice: *Les instruments scientifiques aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles*. París, Presses Universitaires de France, 1953. BENNETT, Jim: “Knowing and doing in the sixteenth century: what were instruments for?”, en *The British journal for the History of Science*, 36/2 (2003), pp.129-150.

de ornamentaciones o de belleza atractiva para coleccionistas, anticuarios, conservadores de museos o comisarios de exposiciones, ha terminado por excluirlo tanto de los debates como de los museos de la ciencia y también de la música.<sup>12</sup>

A pesar de lo dicho anteriormente, durante el desarrollo de esta investigación se han publicado dos libros en los cuales el monocordio posee un destacado protagonismo en el marco de los estudios de historia de la ciencia y las matemáticas. El primero, titulado *Music, Experiment and Mathematics in England, 1653-1705* por Benjamin Wardhaugh

---

<sup>12</sup> Queda claro que se habla aquí de monocordios anteriores a la primera mitad del siglo XVII, al igual que se excluye aquí a la llamada “Trompeta marina” o “Tromba marina”, la cual es considerada sólo como un instrumento musical cuyo aspecto y fundamento acústico es similar al del monocordio y, como se muestra abajo, éste podía compartir un espacio común en tratados dedicados a instrumentos musicales.



**Tromba marina según las representaciones de H. Glareano (*Dodecachordon*, 1547), M. Praetorius (*Syntagma Musicum*, 1618) y M. Mersenne (*Harmonie Universelle*, 1636). Estampas LXI (*Monocordo*) y LXII (*Tromba Marina*) del *Gabinetto Armonico* de Filippo Bonanni (1722).**

Véase una de las primeras descripciones de este instrumento en PRAETORIUS, Michael: *Syntagma Musicum*, Vol. II, *De Organographia*. Wittenberg, Johannes Richter, 1619. En el siguiente enlace de The Bayerische Staatsbibliothek, <http://reader.digitale-sammlungen.de/resolve/display/bsb10527678.html>, puede descargarse este segundo volumen en formato pdf. Una revisión organológica moderna se encuentra en: ADKINS, Cecil y DICKINSON, Allis: *A Trumpet by any Other Name: a History of the Trumpet Marine*. Buren, Knuf, 1991.

–historiador de las matemáticas y músico fagotista–, presenta al monocordio en el marco de las experimentaciones que fueran realizadas en la Royal Society durante el siglo XVII, concretamente:

[...] the use of a very long string to determine the absolute frequency of musical vibrations (1664); [and] the use of a monochord (properly, a dichord) to determine relationship of string length and tension with pitch (1664).<sup>13</sup>

Como puede deducirse, el período de dichas experimentaciones es posterior a las realizadas por Mersenne, las cuales fueran recogidas en su obra *Harmonie Universelle* de 1636<sup>14</sup> y, en ese sentido son réplicas experimentales que los ingleses hicieron una vez que las obras de Mersenne y Descartes llegaron a la Inglaterra de la Restauración. Wardhaugh imagina, en su libro, un *living scholar* de aquella época que es conocedor de los textos de Boecio, Ptolomeo, Ramos de Pareja, Zarlino y Mersenne, dando por sentado para el lector actual lo ya publicado por H. F. Cohen en torno al análisis de algunos de esos textos. Como se mencionara en el primer párrafo de esta Introducción, a pesar de lo fundacional de la obra de Cohen, éste tan sólo hizo una breve mención al monocordio cuando se refería al aspecto experimental de la música en la llamada “Revolución Científica”; por lo tanto, esta investigación intentará ahondar en aquello que Wardhaugh da por sabido, pero Cohen, a su vez, no explicitaba en profundidad.

El otro libro, publicado recientemente en enero de 2010, se titula *The Monochord in Ancient Greek Harmonic Science*.<sup>15</sup> Su autor, David Creese –profesor de griego y latín y especialista en ciencia armónica antigua– parte del monocordio como un instrumento científico y lo compara con lo que considera otros instrumentos científicos de la

---

<sup>13</sup> “[...] el uso de una cuerda, muy larga, para determinar la frecuencia absoluta de la vibración musical (1664); [y] el uso de un monocordio [más bien, un dicordio] para determinar la relación entre la longitud de la cuerda y su tensión con su tono (1664).” WARDHAUGH, Benjamin: *Music, Experiment and Mathematics in England, 1653-1705*. Oxford, All Souls College, 2008, p.98.

<sup>14</sup> Véase, *infra*, en el Apartado 3.1 la descripción bibliográfica precisa de esta obra de Mersenne.

<sup>15</sup> CREESE, David: *The Monochord in Ancient Greek Harmonic Science*. Cambridge, Cambridge University Press, 2010.

antigüedad como el ábaco y la esfera armilar, y con las metodologías utilizadas por Ptolomeo y otros filósofos de la antigüedad.<sup>16</sup>

Creese construye un modelo teórico para los instrumentos científicos antiguos que incluye cuatro modalidades: *a)* generar el fenómeno; *b)* representar un concepto; *c)* crear analogías con un fenómeno; y *d)* manipulación física directa. A pesar de que Creese reconoce que estas cuatro modalidades no son un sistema totalmente articulado sino más bien una lista de atributos, el autor concluye que instrumentos antiguos como el ábaco sólo combinaban las modalidades (b) + (c); la esfera armilar combinaba (b) + (c) + (d), pero el monocordio lograba combinar las cuatro modalidades. Así, las notas y los intervalos eran generados –(a)– por medio de la manipulación física directa –(d)– de la cuerda; las distancias marcadas en la cuerda representaban geométrica y numéricamente –(b)–, conceptos como los intervalos y las consonancias y, finalmente, el monocordio funcionaba como una analogía en forma de diagrama –(c)– en el cual podían hacerse pruebas aritméticas a través de distancias físicas. Mucho de lo investigado por Creese es compartido por esta investigación y, en parte, lo que este autor ha realizado en el marco de la Grecia Antigua, es lo mismo que se ha intentado hacer con los monocordios aquí seleccionados; es decir, precisar cómo este instrumento

---

<sup>16</sup> El conocido *ábaco* es considerado uno de los instrumentos matemáticos más antiguos, cuya utilización para realizar operaciones aritméticas simples se vió desplazada cuando, hacia el siglo XV, ganaran terreno las operaciones con las cifras de origen hindú-arábicas. La *esfera armilar* es un instrumento de observación astronómica que se utilizó en la antigüedad griega y que puede interpretarse como un “modelo” para representar las esferas celestes. Se le atribuye su invención a Eratóstenes (\*Cirene, 276 a.C; †Alejandría, 194 a.C) y consistía en una serie de aros o brazaletes (del latín *armilla*) metálicos graduados y entrecruzados en torno a un centro donde estaba un pequeño globo que representaba la Tierra. Los aros permitían representar los polos, el Ecuador, la eclíptica, los meridianos y paralelos y, en general, el movimiento de las estrellas alrededor de la Tierra. Posteriormente, se colocó el Sol en el centro, con los mismos objetivos, hasta que la llegada del telescopio del siglo XVII lo relevó de sus funciones como instrumento para determinar posiciones celestes. Véase, en el siguiente enlace del EPACT (Catálogo electrónico de instrumentos científicos medievales y renacentistas provenientes de los museos europeos), <http://www.mhs.ox.ac.uk/epact/catalogue.php?ENumber=15884&Level=Detail>, una esfera armilar italiana del siglo XVII.

estaba incorporado en los propósitos y métodos de las ciencias, la filosofía natural y las prácticas culturales de los siglos XV, XVI y XVII.

\* \* \*

Según la legendaria invención divulgada inicialmente por Nicómaco de Gerasa en el siglo II y recogida por Boecio en el siglo VI, Pitágoras pudo establecer una ley en el denominado monocordio, después de escuchar por azar los sonidos del golpeteo de yunques de diversos pesos y tamaños e intentar hallar una conexión de índole numérica entre aquél hecho sonoro físico y su complacencia al oído.<sup>17</sup> En otras palabras, este aparato permitía experimentar directamente el fenómeno denominado *consonancia*. Como apuntaba Pedrell en su Diccionario, consonancia es:

Proporción que guardan entre sí los varios sonidos y de la cual resulta el modo grato, delicioso y suave con que hieren el tímpano, sonando simultáneamente.<sup>18</sup>

Por otro lado, como apunta Claude Palisca y Brian Moore en *The New Grove Dictionary*, se distinguen dos aspectos:

Acoustically, the sympathetic vibration of sound waves of different frequencies related as the ratios of small whole numbers [...]; psychologically, a harmonious sounding together of two or more notes, that is with an 'absence of roughness', 'relief of tonal tension' or the like.<sup>19</sup>

---

<sup>17</sup> Nicómaco de Gerasa (\*Gerasa, c. 60; †?, c. 120) escribió en su *Harmonicum enchiridium* la que se considera la primera versión de la tradicional leyenda. Puede leerse en BARKER, Andrew: *Greek Musical Writings*. Vol. II: *Harmonic and Acoustic Theory*. Cambridge, Cambridge University Press, 1989, p. 256. La versión de Boecio estaba expuesta en los Capítulos X y XI del Libro I de su mencionado tratado y puede leerse, la versión al castellano, en BOECIO, Anicius Manlius Severinus: *Tratado de Música*. Salvador Villegas, (trad.). Madrid, Ediciones Clásicas, 2005, pp. 37-39.

<sup>18</sup> PEDRELL, Felipe: *Diccionario técnico de la música*. Barcelona, Isidro Torres Oriol, 1897, p. 109.

García Pérez, en su revisión histórica del término –desde la antigüedad hasta el siglo XVII–, prefiere exponerlo de la siguiente manera:

Detrás de la palabra consonancia (*symphonia* en griego, *consonantia* en latín) está presente la idea intuitiva de “sonar conjuntamente”, “sonar bien” o “mezclarse agradablemente” dos sonidos que son percibidos simultáneamente.<sup>20</sup>

Sin embargo, estas definiciones y los términos históricos –*symphonia* o *consonantia*– no deben entenderse exclusivamente como categorías estéticas sino también como científico-matemáticas. Así, *symphonia* es afín a *symmetria* y ambos términos aludían a una belleza en la proporcionalidad sonora o métrica que no se fundamenta exclusivamente en la sensibilidad o la subjetividad, sino que proviene del cálculo proporcional entre las partes y el todo, es decir, la armonía. Así, el monocordio tanto en su concepción como en su invención y desarrollo, se orientó siempre hacia la investigación de un fenómeno con una doble vertiente: la sensible y la racional, siendo la armonía su disciplina rectora, tal como puede verificarse en la obra de Ramos de Pareja, Zarlino y Mersenne.

La selección de estos tres autores obedece tanto a razones históricas como historiográficas. Desde el punto de vista histórico, tanto la obra de Ramos de Pareja como la de Zarlino y Mersenne contribuyeron a racionalizar y dar fundamento teórico-filosófico a prácticas musicales que no se encontraban del todo justificadas con el instrumental matemático disponible para el momento. Así, cada uno en su siglo

---

<sup>19</sup> “Acústicamente, la vibración simultánea de ondas sonoras de diferentes frecuencias relacionadas por números enteros simples [...]; psicológicamente, el sonido armónico de dos o más notas en conjunto, es decir, en ‘ausencia de aspereza’, ‘liberado de tensión tonal’ o similar”. Según la definición de la voz “consonance” redactada para *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*. Stanley Sadie y John Tyrrell (eds.). Londres, Macmillan, 2001. Vol. 6, pp. 325-328.

<sup>20</sup> GARCÍA PÉREZ, Sara Amaya: *El concepto de consonancia en la Teoría Musical: De la Escuela Pitagórica a la Revolución Científica*. Salamanca; Publicaciones Universidad Pontificia de Salamanca, 2006, p.15. En el Apartado 1.4 y, en especial, *infra*, en la Nota 112, Pág.82, se volverá sobre el tema, en especial sobre el concepto “picos de consonancia” y la disciplina de la “psicoacústica”.

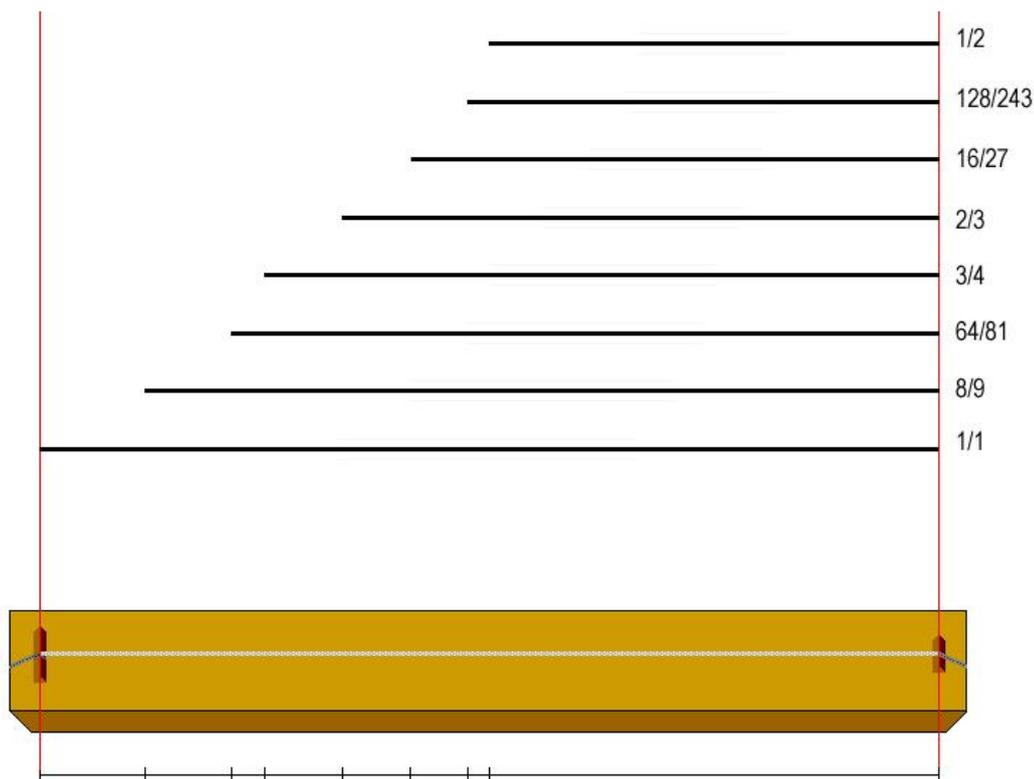
presentó una solución teórica al problema de la consonancia en forma de tres propuestas matemático-musicales que son, respectivamente, la llamada “afinación justa”, el temperamento “mesotónico” y el temperamento “igual”. El estudio sistemático e histórico de estas propuestas y, en general, los sistemas de afinación, ha sido descrito ampliamente por musicólogos y en menor medida por historiadores de la ciencia. Entre la gran bibliografía sobre este tema, destaca el trabajo de referencia realizado por James Murray Barbour en 1951, *Tuning and Temperament* y, en lengua castellana, las recopilaciones de Javier Goldáraz y Sara Amaya García Pérez.<sup>21</sup>

Los tres sistemas de afinación utilizados durante los siglos XV al XVII –justo, mesotónico y temperado– derivaban de la original afinación pitagórica basada en una escala de ocho notas repartidas en la llamada octava con proporción *dupla* 2:1 y cuya quinta nota era de proporción *sesquiáltera* 3:2 y la cuarta de proporción *sesquitercia* 4:3. El resto de las notas –las llamadas segundas, terceras, sextas y séptimas– provenían de proporciones construidas con base en las anteriores, como puede observarse en la siguiente ilustración de un monocordio esquematizado:<sup>22</sup>

---

<sup>21</sup> BARBOUR, James Murray: *Tuning and Temperament*. East Lansing, Michigan State College Press, 1951. [Reimp.: New York, Da Capo Press, 1972]. En castellano: GOLDÁRAZ, Javier: *Afinación y temperamento históricos*. Madrid, Alianza, 2004; GARCÍA PÉREZ, Sara Amaya: *El número sonoro. La matemática en las teorías armónicas de Salinas y Zarlino*. Salamanca, Caja Duero, 2003, y el ya mencionado libro, *El concepto de consonancia en la Teoría Musical, Op. Cit.* en Nota 20.

<sup>22</sup> Respecto de las *razones* o *proporciones*, su nomenclatura y representación, véase el Apéndice 5.1 “Sobre la teoría de las *razones* o *proporciones* y su terminología”



**Fig. 1. Esquema de consonancias pitagóricas en un monocordio esquemático.**<sup>23</sup>

Este sistema, que fuera la base de la música griega y medieval, se hizo más complejo y se enriqueció progresivamente entre los siglos XIII al XV, al incorporar nuevas notas provenientes de elevar o descender las ya existentes hasta conformar un total de doce notas dentro de la octava. Hacia mediados del siglo XV, los cantores e instrumentistas incorporaron terceras y sextas con nuevas proporciones simples del tipo 5:4, 6:5, 3:5 y 8:5 y, con ello, la llamada “afinación justa” se instauró de manera práctica, siendo Ramos de Pareja quien después la sistematizara teóricamente hacia 1482.<sup>24</sup>

<sup>23</sup> Se ruega al lector que verifique en el CD anexo, o en el sitio web <http://www.calderon-online.com/tesis-doctoral/>, el proceso mediante el cual los pitagóricos obtenían esta secuencia de sonidos y sus proporciones numéricas respectivas. Allí se encuentra una aplicación multimedia que sigue en detalle el método de subdivisión de la cuerda según los pitagóricos, permitiendo así un completo discernimiento visual y sonoro de lo realizado en estos monocordios.

<sup>24</sup> El término ‘afinación justa’ –o también, ‘entonación justa’–, como muchos de los términos del léxico musical de siglos pasados, posee significados e implicaciones que dependen del contexto. En especial, el término ‘justa’ llega a alcanzar pleno uso hacia el siglo XVII, cuando puede leerse –en la obra de

La imposibilidad de conciliar estas nuevas proporciones “justas” con la reverenciada tradición pitagórica-boeciana llevó a los teóricos a proponer afinaciones llamadas “irregulares”, que modificaban la escala al repartir las pequeñas incompatibilidades entre las doce notas de la escala y “desafinar” unas notas en provecho de otras. Estos ligeros desajustes en forma de pequeñas fracciones (séptimos de la proporción 81:80, como se verá más adelante), fueron considerados estéticamente aceptables y hacia el siglo XVI se denominaron *mesotónicos*, destacando, en especial, el de Gioseffo Zarlino, por privilegiar, en su reajuste, las terceras justas de proporción 5:4 y 6:5. Hacia mediados del siglo XVII, el auge de los instrumentos de traste como el laúd, y la necesidad de modular libremente de una tonalidad a otra, llevaron a prácticos y teóricos a dividir la octava en doce partes proporcionalmente iguales –proporción  $^{12}\sqrt{2}=1,059463\dots$ –, lo que produjo el llamado *temperamento igual*. Su introducción en la ciencia musical es aún objeto de debate y cada nación se adjudica su paternidad, considerándose sus autores: Giovanni M. Lanfranco (1533), Francisco Salinas (1577), Vincenzo Galilei (1581), Gioseffo Zarlino (1588), Simon Stevin (1596) y Marin Mersenne (1636).

En general, como se ha dicho, las nuevas prácticas musicales derivaban del declive del canto monódico, la consolidación de los instrumentos musicales y la aparición de técnicas polifónicas –tanto vocales como instrumentales– que incorporaban nuevos intervalos sonoros, acordes y su efecto simultáneo, junto a la consecuente revisión de lo

---

Mersenne– la referencia a *interualles iustes* de proporción 2:1, 3:2, 4:3, 5:4, 6:5, 3:5 y 8:5. Si bien Ramos de Pareja fuera quien sistematizara dichas proporciones en el siglo XV, nunca se refirió a ellas como “justas” sino, –como se verá más adelante–, llamándolas fracciones simples, fáciles y “vulgares”. Una primera utilización del término puede rastrearse en la obra de Pietro Aron (\*Florenca, 1490; †Venecia, 1545) quien utiliza la frase *sonora & giusta* para referirse a la tercera mayor de proporción 5:4 (véase el Libro II “Cap. XLI” en AARON, Pietro: *Il toscanello in musica*. Venecia, Marchio Sessanelli, 1523). Zarlino se refiere, siempre, a cualquiera de estos intervalos como *consonanza perfetta* o, en todo caso como intervalos “sintónicos”. La utilización del término *just (pure) intonation* se encuentra a menudo en la bibliografía inglesa, y así, la entrada en el diccionario *The New Grove Dictionary* (2001, Vol.13, pp.290-295) para este término –redactada por el musicólogo Mark Lindley–, no hace ninguna referencia a su historicidad y da por sentada su aparición y existencia en el léxico.

que debía considerarse como consonante. Estas revisiones terminarían minando la hegemonía del sistema pitagórico, lo que ha hecho que la historiografía musicológica, en parte, haya dejado de lado al monocordio de estas épocas. Éste es el punto de partida de Christian Meyer para el estudio de los monocordios de los siglos IX al XV en su libro *Mensura Monochordi*, cuando dice:

Toutefois la rationalisation des pratiques polyphoniques à l'aube du XVI<sup>e</sup> siècle et le développement du jeu polyphonique sur des instruments à clavier devait progressivement ébranler cet édifice acoustique que le monocorde avait contribué à forger.<sup>25</sup>

Sin embargo, y en contra de lo dicho por Meyer, puede afirmarse que la necesidad de justificar estas nuevas prácticas fue la que obligó y estimuló a teóricos y filósofos naturales a ampliar el espectro del conocimiento que había producido dicho instrumento y que hibernaba en el breve cuerpo de verdades físico-matemáticas de los pitagóricos. Es posible afirmar que sólo a partir del siglo XV, el monocordio derivó de nuevo en un objeto de especulación científica, después del “letargo pitagórico” al que estuvo sometido. Así pues, la selección de estos tres siglos consecutivos permite poner en perspectiva las nuevas miradas que sobre este aparato se dirigieran y los nuevos problemas científicos que se revelaron, además de que la revisión de su morfología, los métodos de utilización descritos y sus diagramas impresos, permiten precisar algún tipo de evolución o desarrollo histórico, tanto en el instrumento como en los contextos históricos a él asociados.

A continuación se presentará el panorama bibliográfico e historiográfico de los temas que se intentan relacionar: el monocordio y los instrumentos científicos en el marco de los siglos que conforman la llamada “Revolución Científica”. Se presenta, primero, el debate en torno a los instrumentos científicos, para dejar claro el alcance de la investigación en el marco de la historia de la ciencia; después, se presenta una revisión

---

<sup>25</sup> “Sin embargo, la racionalización de las prácticas polifónicas en los albores del siglo XVI y el desarrollo del juego polifónico en los instrumentos de teclado, fueron poco a poco minando el edificio acústico que el monocordio había contribuido a dar forma”. Véase “Avant-propos”, en MEYER, Christian: *Mensura Monochordi: la division du monocorde*. París, Société Française de Musicologie, 1996, p. XII.

del papel que la música ha desempeñado en la moderna historiografía y, junto a ello, las investigaciones que han tomado en cuenta la música y el monocordio como elementos dinamizadores en la conformación de la temprana ciencia moderna.

## **De los instrumentos científicos en relación con la música y el monocordio**

### a) El término ‘instrumento científico’: legitimidad, definición y clasificaciones

La historiografía respecto a lo que se considera un instrumento científico no es tan amplia como podría suponerse. El debate sobre el término ‘instrumento científico’, su definición y la posibilidad de clasificarlos y catalogarlos, es relativamente reciente y alcanzó intensidad a mediados de la década de los ochenta. Después, a comienzos de los noventa, tras una abierta crítica a la que se consideraba la tradicional actitud de “entusiastas” coleccionistas, historiadores “liberales” y “eccléticos” directores de museos, el debate culminaba clamando por contextualizar social e históricamente el término. A pesar de la clarividencia de los ensayos publicados se reconocía la dificultad de definir el término, la variedad de sus significados y su naturaleza cambiante en el tiempo. A continuación, se presenta una revisión de este debate atendiendo a la legitimidad del término, sus definiciones y los criterios de clasificación de estos objetos. Estos tres apartados permitirán ubicar al monocordio en el seno de esta discusión.

*La legitimidad del término.* Una revisión historiográfica y bibliográfica sobre los instrumentos científicos asoma la característica principal del debate: cómo calificar aquello que en los siglos XV, XVI y XVII no podía ser catalogado como tal. Es decir, el concepto y el término ‘instrumento científico’ es a todas luces una construcción teórica *a posteriori*, que si bien puede aportar algún tipo de conocimiento histórico, igualmente puede ensombrecer la verdadera naturaleza histórica de esos objetos y esas prácticas. Según lo expuesto por historiadores de la ciencia como Van Helden, Turner y Warner,

debería concluirse que dicho término sería anacrónico para analizar objetos como los monocordios de los siglos XV, XVI y XVII.<sup>26</sup> Según estos autores el modo moderno en que se entienden los instrumentos científicos, es decir, con mayor alcance que los sentidos, basados en principios científicos y en constante progreso y mejora, no habría estado presente a finales del siglo XVII. Sin embargo, para Turner la utilidad del término lo ha hecho irremplazable, aunque Warner advierta de no usarlo muy a menudo –si es que se quiere aprehender el pasado en sus propios términos–. Warner remarcaba la necesidad de distinguir claramente instrumentos científicos de instrumentos musicales, médicos o matemáticos, teniendo aquéllos un espacio histórico –por lo menos en la Inglaterra de mediados del siglo XVII– bajo el término *philosophical apparatus* o instrumentos relacionados con la Filosofía Natural.<sup>27</sup> Concretamente, Warner apuntaba a la carta de Samuel Hartlib dirigida a Boyle en mayo de 1649 donde se refería a modelos y *philosophical apparatus*, consolidándose el significado del término hacia 1681.<sup>28</sup> En esa fecha, Nehemiah Grew catalogó la colección de ciertas “asuntos artificiales” –*artifitials matters*– de la *Royal Society*, bajo la categoría: *Of Things relating to Natural Philosophy*.<sup>29</sup> El uso del moderno término

---

<sup>26</sup> VAN HELDEN, Albert: “The Birth of the Modern Scientific Instrument, 1550-1700”, en *The Uses of Science in the Age of Newton*. California, University of California Press, J. G. Burke ed., 1983, pp. 49-84; TURNER, Anthony John: “Interpreting the history of scientific instruments”, en *Making instruments count*. Aldershot, Variorum, 1993. pp. 17-26; WARNER, Deborah Jean: “What is a scientific instrument, when did it become one, and why?”, en *The British Journal for the History of Science*. Cambridge, Cambridge University Press, 23 (1990), pp. 83-93.

<sup>27</sup> Véase WARNER, Deborah Jean: *Ibid.*, p.87.

<sup>28</sup> Una consulta a la herramienta *Google Books: Ngram viewer*, muestra la aparición, auge y decadencia del término *philosophical apparatus* a lo largo de los siglos XVI al XXI. La consulta es la siguiente: [http://books.google.com/ngrams/graph?content=philosophical+apparatus&year\\_start=1600&year\\_end=2000&corpus=15&smoothing=3&share=](http://books.google.com/ngrams/graph?content=philosophical+apparatus&year_start=1600&year_end=2000&corpus=15&smoothing=3&share=).

<sup>29</sup> Véase, en GREW, Nehemiah: *Musaeum Regalis Societatis: Or a catalogue and description of the natural and artificial rarities belonging to the Royal Society and preserved at Gresham Colledge*. Londres, W. Rawlins, 1681, pp. 357-360. [Esta edición puede descargarse en Google Books [http://books.google.es/books?id=kgI5-LVolpMC&dq=Nehemiah+Grew&source=gbs\\_navlinks\\_s](http://books.google.es/books?id=kgI5-LVolpMC&dq=Nehemiah+Grew&source=gbs_navlinks_s)]. Samuel Hartlib (\*Elbing, c. 1600; †Londres, 1662), erudito nacido en la antigua Prusia y radicado en

‘instrumento científico’ correspondería –según el ensayo de Warner–, primeramente, a Francia en 1787, al referirse a los instrumentos de óptica, matemáticas, física, geodesia y navegación como *instruments à l’usage des sciences*. Posteriormente, en 1830, científicos alemanes utilizaron términos como *Wissenschaftliche Instrumente* y finalmente, una vez que el término *scientist* fuera acuñado hacia 1833 por William Whewell, el término *Scientific Instruments* se instauró en Inglaterra a mediados del siglo XIX y en el marco de la Exposición Internacional de 1862.<sup>30</sup>

---

Inglaterra, poseía amplios intereses en las ciencias y la medicina. Formó un círculo de contactos y correspondencia que incluía a su contemporáneo, el celebrado filósofo natural (físico y químico) Robert Boyle (\*Waterford, 1627; †Londres, 1691). Nehemiah Grew (Warwickshire, 1641; †Londres, 1712) fue un médico y botánico inglés que se desempeñó como secretario de la *Royal Society* durante 1677-1679. Desde 1670 se intentaba hacer un catálogo que se diferenciara de los “gabinetes de curiosidades” de los nobles renacentistas –llenos de exotismo y especímenes monstruosos– y para ello Grew compiló la información que fue finalmente publicada en 1681. Esta edición se centraba tanto en la descripción de principios filosóficos como en la idea de recrear, de manera impresa, la colección para aquellos que no podían verla en persona.

<sup>30</sup> William Whewell (\*Lancaster, 1794; †Cambridge, 1866), sacerdote anglicano, teólogo y filósofo, con amplios intereses en mecánica, mineralogía, geología, astronomía, economía y arquitectura. La naturaleza de estas disciplinas lo llevó a profundizar en lo que hoy se conoce como historia y filosofía de la ciencia, publicando: *History of the Inductive Sciences* (1837) y *The Philosophy of the Inductive Sciences* (1840). Fue creador de términos científicos como *ion*, *cathode*, *Eocene*, *Miocene*, *physicist*, y *scientist*. Este último habría sido creado en 1833 (de manera “informal” en una reunión de la recién fundada *British Association for the Advancement of Science*) y posteriormente quedó publicado así: “We need very much a name to describe a cultivator of science in general. I should incline to call him a Scientist. Thus we might say that as an Artist is a Musician, Painter, or Poet, a Scientist is a Mathematician, Physicist, or Naturalist.” [“Necesitamos mucho un nombre para describir al que cultiva la ciencia, en general. Me inclino a llamarlo Científico. Así puede decirse que un Artista es un Músico, un Pintor o un Poeta; un Científico es un Matemático, un Físico o un Naturalista.”] WHEWELL, William: *The Philosophy of the Inductive Sciences*. Londres, John Parker, 1840, p. cxiii. [Puede leerse o descargarse de Google Books en [http://books.google.es/books/download/The\\_Philosophy\\_of\\_the\\_Inductive\\_Sciences.pdf?id=Fe8TAAAAQAAJ&output=pdf&sig=ACfU3U3IrGq3kcWtQQtSieqPt71azihAcA](http://books.google.es/books/download/The_Philosophy_of_the_Inductive_Sciences.pdf?id=Fe8TAAAAQAAJ&output=pdf&sig=ACfU3U3IrGq3kcWtQQtSieqPt71azihAcA). Respecto a W. Whewell y su relación con la invención del término *scientist*, véase “Prologue” en SNYDER Laura J: *The Philosophical Breakfast Club: Four Remarkable Friends who Transformed Science and Changed the World*. New York, Broadway Books, 2011].

La función principal de aquellos *philosophical apparatus* sería teórico-experimental y orientada, según Warner, a la búsqueda de la verdad –un tipo de verdad filosófica propia del siglo XVII– a diferencia de los otros, que serían instrumentos de mera índole práctica y denominados instrumentos relacionados con las matemáticas. Posteriormente, en el siglo XVIII, tanto *apparatus* como instrumentos matemáticos serían utilizados, además, como un recurso pedagógico.

De manera que esta triple función –teórico-experimental, utilidad-práctica y demostrativa-pedagógica– resulta pertinente para calificar al monocordio en el seno sobre el cual gira el debate. Esta investigación intenta ofrecer, desde el campo de la ciencia musical, puntos de vista que permitan incluir el monocordio en este debate del cual ha estado excluido, pues la legitimidad del término se ha fraguado –hasta el momento– ajena a disciplinas como la música, donde la práctica, la ejecución y el fenómeno estético parecen ensombrecer las fundamentaciones científicas.

*La definición del término.* El debate anterior demostró que el término ‘instrumento científico’ debía ser contextualizado históricamente y que su validez y legitimidad no se daba por hecha. En este sentido, la definición del término no alcanza un consenso y en general todas son susceptibles de matizarse y cuestionarse. Así, la definición de Van Helden como dispositivo para investigar la naturaleza “quantitatively and qualitatively” y la de Turner, como cualquier dispositivo que represente, muestre o que se adapte con algún propósito específico para un “established body of learning of any given society [scientia]” pueden parecer extensas, abstractas y, en cierto sentido, recursivas al utilizar el propio término ‘ciencia’ en su definición.<sup>31</sup> Por un lado, Van Helden, con la idea de ‘cuantificar’ y ‘cualificar’, no se aleja de la naturaleza de los instrumentos científicos, pero su definición demanda saber igualmente el cuánto y el cómo han de ser el alcance y la precisión para que un dispositivo pueda considerarse como tal (amén de obligar a suscribir la ciencia como una actividad que consiste meramente en cuantificar y cualificar). En el caso de Turner, al trasladar el problema al término *scientia* coloca la definición de aquél a depender de ésta, obligando a determinar ahora una supra-

---

<sup>31</sup> Véase VAN HELDEN, Albert: *Op. Cit.* en Nota 26.

categoría que es cambiante en el tiempo, pues lo que fue considerado como *scientia* –y lo que se considera historiográficamente como “científico”– también varía en el tiempo. Es decir, según estas posiciones, considerar al monocordio en el marco de la historia de la ciencia merecería atravesar los debates, no sólo de la definición del término ‘instrumento científico’ y el de ‘ciencia’, sino revisar los cambios de perspectiva historiográfica que permitieron considerar a la música como una ciencia, por lo menos tal como se presentaba hasta el siglo XVII. Lo que, sin duda, debe hacerse.

Otro tipo de definición es aquella que caracteriza al instrumento científico en el marco de un “dipolo” conceptual, del tipo *embodied theory* o tecnología *disembodied*. Podría traducirse *embodied* como *corporeizada*, pero es preferible dejar el anglicismo por pragmatismos del lenguaje. De todas maneras, esta idea se refiere a la concreción de algo inmaterial (una idea, un concepto, un anhelo) en un cuerpo, en un ente físico o en un objeto real y material: v.g., un instrumento. De igual manera, lo *disembodied* significaría lo inmaterial, lo incorpóreo, lo desencarnado. Así, para la primera posición, el instrumento científico es una *corporeización* pasiva de lo teórico y no un mediador transparente de la naturaleza. La posición extrema a este respecto la representan: a) Pierre Duhem, para quien la significación de la lectura instrumental descansaba en el cuerpo teórico que subyace a su operación y no en sus características materiales, y b) Alexander Koyré, para quien un instrumento científico servía sólo para ilustrar materialmente una conclusión que ya había sido alcanzada por razonamiento lógico.<sup>32</sup>

Una última definición abstracta y extensa de un instrumento científico es aquella que lo muestra como guía en la dirección de la investigación, siendo su *uso* y *productividad* lo que lo terminaría por definir. Así, el Instituto Max Planck para la Historia de la Ciencia y su *Research Network on the History of Scientific Objects* presenta cuatro focos principales de investigación: a) estudiar la aparición de nuevos objetos para la

---

<sup>32</sup> Véase DUHEM, Pierre: *The aim and structure of physical theory*. Princeton, Princeton University Press, 1954; KOYRÉ, Alexander: *Études d'histoire de la pensée scientifique*. París, Gallimard, 1973 (Trad. cast.: *Estudios de historia del pensamiento científico*. Madrid, Siglo XXI Editores de España, 1977).

investigación científica; *b*) estudiar la relación entre los artefactos científicos (v.g. instrumentos) y los sistemas tecnológicos; *c*) hacer énfasis en los objetos científicos como evidencia histórica; y *d*) lograr una interacción triangular entre objetos, imágenes, y textos científicos. Para ello, ofrece un concepto aún más abstracto y extenso: el *scientific object*.<sup>33</sup> Estos objetos se calificarían como tal por su productividad, es decir, los resultados que generan, las implicaciones, sorpresas, conexiones, manipulaciones, explicaciones, usos y en fin todo aquello que pueda dirigir la investigación –*to drive the research*–. Se incluyen entre estos “objetos científicos” –según el proyecto del Instituto Max Planck– “from bacteria to galaxies”, y dentro de todo ello, los instrumentos que los estudian:

[...] from the microscope to the cyclotron [...] from the laboratory to the field station [...] and especially scientific instruments and models [that] have been kept and investigated largely in the context of museum collections rather than mainstream academic programs in the history of science.<sup>34</sup>

A pesar de que dichas investigaciones son harto interesantes y fértiles, conceptos como “objetos” o el que utilizaran posteriormente: “cosas” –*scientific things*–, son términos que, sin duda, disminuyen su capacidad explicativa dada su extensión y, sobretodo, cuando el criterio para su selección es la productividad en un sentido igual de extenso. Se entiende que hay aquí una sutil crítica al inmovilismo que ha habido en este campo de estudios y que pareciera homologar a los museos de historia de la ciencia con los avanzados programas académicos, pero lo que se quiere decir es que si los objetivos a estudiar son *dreams, atoms, monsters, culture, mortality, the self...* y se espera de ellos *results, implications, surprises, connections, manipulations, explanations, applications,*

---

<sup>33</sup> La información sobre este proyecto puede encontrarse en el sitio web web “History of Scientific Objects”, en <http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/en/research/projects/HSO> y el *funding paper* se encuentra aquí <http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/PDF/network.pdf>.

<sup>34</sup> [...] desde el microscopio al ciclotrón [...] desde el laboratorio a la estación de campo [...] y especialmente, los instrumentos científicos y modelos [que] han sido guardados e investigados ampliamente, en el contexto de las colecciones de museos, mejor que en los principales programas en historia de la ciencia.” Véase *Ibid*.

no cabe duda que cualquier cosa que llame la atención a la mente humana –v.g. el monocordio– podría catalogarse de científica.

No resulta extraño que hacia esto hayan derivado algunas fecundas investigaciones del *Research Network on the History of Scientific Objects* del Instituto Max Planck, pues se animan a hacer aún más extensa la categoría, proponiendo anteceder al término *scientific object* el de *epistemic object*, entendido éste como todo aquello que atrae nuestra curiosidad epistémica; considerando así que en las ciencias, los objetos epistémicos son el objeto fundamental de la investigación.

\*

Un tipo de definición más precisa se mostraba en el trabajo de Deborah Warner, cuando respecto al uso anacrónico del término, recordaba que

[...] the observations, measurements and experiments of natural philosophers were made in a search for truth, and thus differed from the observations, measurements and experiments which mathematician and mechanics made for merely practical purposes.<sup>35</sup>

Había allí, en la cita, una definición tácita de instrumento científico basada en unos aparentes universales, es decir, objetos que realizan *observaciones, medidas y experimentos*. Dentro del debate búsqueda-de-verdad *versus* uso-práctico, la clave estaría en la orientación y el uso que se le diera a este tipo de actividades en épocas y sociedades determinadas. Si se orientaban a la dicha “búsqueda de la verdad” en áreas como la mecánica, la neumática y la óptica del siglo XVII se tendría un *philosophical apparatus*; si se utilizaban como herramientas de una disciplina en proceso de profesionalización –*the scientist*– y que como tal intentaba separarse de la ingeniería y otras nacientes tecnologías del siglo XIX, se tenía el *scientific instrument*. Si se orientaban a intereses prácticos, comerciales, industriales o tecnológicos se tenía tan

---

<sup>35</sup> “[...] las observaciones, medidas y experimentos de los filósofos naturales fueron hechas en la búsqueda de la verdad, y así, difieren de las observaciones, medidas y experimentos los cuales los matemáticos y mecánicos hacían por meros propósitos prácticos.” Véase WARNER, Deborah Jean: *Op. Cit.* en Nota 26.

sólo eso, una herramienta práctica de observación, medida y experimentación –con algún retorno de capital–, pero no un *philosophical apparatus* o instrumento científico. Por último, si se orienta tan sólo por su antigüedad o belleza como objeto artesanal, se tendría una pieza de colección, tal como nos sugiere Warner respecto a la ecléctica posición de algunos conservadores y directores de museos. Estas caracterizaciones de la definición son, sin duda, de corto alcance y así lo reconoce Warner, pero lo que no se somete a escrutinio son los universales allí expuestos en los términos ‘búsqueda de verdad’ y ‘observación, medida y experimento’. Si son éstas las condiciones fundamentales para ser un *philosophical apparatus* o un instrumento científico, ¿cuáles serían las condiciones que determinan a esos conceptos precedentes? ¿De qué verdad se habla? ¿Qué es experimentar?

Con respecto a esto último, el debate sobre la experimentación es complejo y en constante discusión. Para aceptar los resultados experimentales hay argumentos basados, por un lado, en consideraciones epistemológicas sobre la observación, la naturaleza del aparato a utilizar y las teorías a confrontar. Por otro lado, se encuentran argumentos que consideran la validez como producto de compromisos en el seno de la comunidad científica.<sup>36</sup> A pesar de las diversas posiciones, ambas vertientes coinciden

---

<sup>36</sup> La vertiente epistemológica la comprenden los ensayos pioneros de Ian Hacking en la década de 1980: “Do we see through a microscope” y “Representing and Intervening”, que planteaban los interrogantes básicos sobre la credibilidad en los resultados obtenidos por medio de los *apparatus* experimentales. Esto fue posteriormente ampliado por Peter Galison en su ensayo “How Experiments End” de 1987, al hacer hincapié en que los datos de un instrumento pueden ser siempre los mismos pero variar de significado conforme se modifican las teorías, de manera que los cambios en la teoría y la experimentación pueden no ocurrir de manera simultánea. Véase HACKING, Ian: “Do We See Through a Microscope?”, en *Pacific Philosophical Quarterly*, 63 (1981), pp 305-322. [Reimp.: CHURCHLAND, Paul y HOOKER, Clifford: *Images of Science*. Chicago, University of Chicago Press, 1985, pp. 132-152]; ID.: *Representing and Intervening*. Cambridge, Cambridge University Press, 1983; GALISON, Peter: *How Experiments End*. Chicago, University of Chicago Press, 1987. La otra vertiente constructivista insiste en la validez de la experimentación como, justamente, una *construcción social* que se soporta sobre lo que la propia comunidad científica considere como verdadero, sea por interés social o por la futura utilidad de los descubrimientos. Véase PICKERING, Andrew: “The Hunting of the Quark”, en *Isis*, 72 (1981), pp. 216-236. LATOUR, Bruno y WOOLGAR, Steve: *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific*

en que, dados unos resultados experimentales, alguna forma de consenso se logra –por las razones que sean–.<sup>37</sup>

Aunque profundizar en nociones como ‘verdad científica’ o ‘experimentación’ haría derivar esta investigación hacia el campo de la filosofía y epistemología de la ciencia, lo que importa es que el término ‘instrumento científico’ efectivamente ha dado una identidad a un colectivo de objetos, pero su definición se presenta elusiva y a menudo desplaza sus notas características hacia otros conceptos de complejidad creciente.

En esta investigación y bajo los criterios de uso y productividad –en un sentido más restrictivo–, se someterán a escrutinio los monocordios seleccionados para demostrar qué hay de “científico” en ellos.

\*

Otra definición de los instrumentos científicos es aquella que los considera como una *extensión* de lo humano. Así, algunos historiadores consideran contextualizar históricamente esta idea a partir de los nuevos instrumentos científicos del siglo XVII.<sup>38</sup> Para Shapin y Shaffer la característica primordial del telescopio, el microscopio y en

---

*Facts*. Beverly Hills, Sage Publications, 1979. (Trad. cast.: *La vida en el laboratorio: la construcción de los hechos científicos*. Madrid, Alianza, 1995).

<sup>37</sup> Para entender los roles que el experimento juega en la actividad científica puede también verse FRANKLIN, Allan: *The neglect of experiment*. Cambridge, Cambridge University Press, 1986 y *Experiments, Right or Wrong*, Cambridge, Cambridge University Press, 1990. Muchas de estas discusiones giran en torno a experimentos de la ciencia del siglo XX; así pues, para contextualizar el debate en los siglos XV, XVI y XVII, puede verse DEAR, Peter: “The meanings of experience” y SMITH, Pamela: “Laboratories,” ambos en *The Cambridge History of Science, Vol. 3: Early Modern Science*. Cambridge, Cambridge University Press, 2006, pp. 106-131 y pp. 290-305. Para una contextualización en la Inglaterra de los siglos XVI y XVII véase SHAPIN, Steven; y SHAFFER, Simon: *Leviathan and the air-pump. Hobbes, Boyle and the experimental life*. Princeton, Princeton University Press, 1985 y SHAPIN, Steven: *A Social History of Truth*. Chicago, University of Chicago Press, 1994.

<sup>38</sup> Véase SHAPIN, Steven y SHAFFER, Simon: *Ibid.* y MALET, Antoni: “Early Conceptualizations of the Telescope as an Optical Instrument”, en *Early Science and Medicine*, 10/2 (2005), pp. 237-262.

especial, la bomba de vacío, residió en la capacidad de ampliar la percepción humana y constituir nuevos objetos perceptivos. Por otra parte, Malet agrega que, en particular, el telescopio fue interpretado como una *prosthesis* que perfeccionaba la visión humana, y que en sus primeros momentos sería considerado como una prolongación inseparable del ojo humano. Ambas posiciones asumen que el cuerpo humano es susceptible de ser ampliado y que un instrumento científico puede definirse, de hecho, como una herramienta sensorial *embodied* a las prácticas de observación.<sup>39</sup> A este respecto no será posible presentar el monocordio como una ampliación o extensión, sino como un híbrido sensorial que permite desplazar cualidades sensoriales entre la vista y el oído a la manera *hearing numbers... seeing sounds*, que son dos de los roles que David Creese asignaba al monocordio y los diagramas de la antigua ciencia armónica griega.<sup>40</sup> Sin embargo, no hay en esta aproximación de Creese –ni en la presente investigación– una idea, ni de extensión ni de prótesis del órgano del oído hacia la vista, o viceversa. En este sentido, cuando Mersenne construyera monocordios lo suficientemente grandes, que le permitieron contar, con el ojo desnudo, las vibraciones de la cuerda y enunciar así su ley de la frecuencia, no estaba “ampliando” su vista –que ya el oído había quedado reducido del todo, dadas las lentas e inaudibles vibraciones–, sino que estaba recreando el fenómeno en unas condiciones en las que los sentidos naturales podían operar. Es decir, el fenómeno se recrea “extendido”, para adecuarse a los sentidos naturales.

A diferencia del instrumento musical propiamente dicho –que sí puede verse como una extensión de la voz y de la propia sensibilidad artística o estética–, el monocordio se presentaba obstinadamente, desde su concepción, como un instrumento racional con un sentido experimental cuya función era recrear y hacer evidente –con una gran precisión– un fenómeno físico a través de una racionalización matemática. No se hacía música con

---

<sup>39</sup> Véase también IHDE, Don: *Instrumental realism: the interface between the philosophy of science and the philosophy of technology*. Bloomington, Indiana University Press, 1991. Para el término *embodied*, véase, *supra*, el párrafo referente a la Nota 32.

<sup>40</sup> Véase, CREESE, David: *The Monochord in Ancient Greek Harmonic Science*. Cambridge, Cambridge University Press, 2010, pp. 22-80.

los monocordios de la Antigüedad ni con el de Ramos de Pareja, Zarlino o Mersenne, sino que se investigaban los fundamentos racionales y sensibles de ésta. Allí donde Creese habla de los monocordios de Euclides o Ptolomeo como *audible diagrams*, los filósofos naturales insistieron en hablar de un *número sonoro*, y en esta investigación se insiste en llamar la atención sobre un tipo de operaciones matemáticas con sonidos o, también, operaciones sonoras con números. En este sentido, sumar, restar, multiplicar y dividir proporciones matemáticas, podía realizarse con exactitud a través de la experiencia sonora y un teorema pitagórico como: 4ta. + 5ta. = 8va., puede considerarse igual de célebre y fundamental que el ya conocido Teorema de Pitágoras  $a^2 + b^2 = c^2$ . Incluso, otros casos más complejos como el de la irracionalidad numérica se hicieron evidentes en la ciencia musical no sólo por razones exclusivamente aritméticas o de inconmensurabilidad matemática, sino por la evidente ofensa estética –*números sordos*– que ofrecían a los oídos de filósofos naturales.<sup>41</sup> Es decir, la sensibilidad estética y el juicio matemático podían encontrarse ligados en torno al uso y productividad de un aparato como el monocordio, en el cual no se hacía música como arte, sino música como ciencia o fundamento racional de aquélla.

\*

Así como la definición anterior ha quedado ligada al cuerpo humano y sus sentidos, otros autores han intentado definir el instrumento científico como algo asociado a un “cuerpo”, más bien social e históricamente determinado. Así, los ya mencionados, Latour y Woolgar<sup>42</sup>, han insistido en que los fenómenos científicos son construidos en el laboratorio como resultado de una actividad instrumental que produce *literary outputs* mediados siempre por el lenguaje y el comportamiento personal y social del “cuerpo” del laboratorio. Si bien lo anterior puede ser cierto, los autores parecen dejar de lado el conocimiento real y efectivo que los instrumentos científicos construyen, quedando la actividad científica inmersa en una “sospecha” y una “trama” en la que parecen

---

<sup>41</sup> Véase el ensayo de PESIC, Peter: “Hearing the Irrational: Music and the Development of the Modern Concept of Number”, en *Isis*, 101 (2010), pp. 501-530.

<sup>42</sup> LATOUR, Bruno; y WOOLGAR, Steve: *Laboratory Life* (1979).

interesar más los personajes que lo que finalmente hemos añadido al conocimiento de la realidad. En este sentido, más precisos se muestran Shapin y Shaffer al reconocer que los nuevos instrumentos científicos del siglo XVII producen un *matter-of-fact* y que el experimentador toma esta “cuestión-de-hecho” como los fundamentos del propio conocimiento.<sup>43</sup> La construcción social aparece cuando las soluciones a esos problemas del conocimiento coinciden con las soluciones prácticas de los problemas de orden social y cuando estos métodos científicos cristalizan como formas de organización social y medios de regulación dentro de la propia comunidad científica. En este sentido puede decirse que, retrospectivamente, desde la teoría zarliniana del siglo XVI hasta las discusiones de Boecio de la naciente era cristiana y de allí a Euclides y Aristóxenos – siglo IV a.C.–, ha habido una línea continua de “construcción social” en forma de discusiones teóricas, experimentales y pedagógicas –sin hablar de las compositivas y estéticas– que son influenciadas y a la vez influyen las prácticas culturales, sociales y artísticas de las épocas. En otras palabras, es notorio que la música –tanto como teoría, práctica o pedagogía– siempre estuvo relacionada con dos aspectos importantes del desarrollo de la filosofía natural como disciplina socio-cultural y que pueden llamarse *institucionalismo* y *responsabilidad moral*. Los músicos –tanto teóricos como prácticos– hallaron siempre un lugar preciso en la sociedad del recién instaurado cristianismo, especialmente a través de los monasterios y los servicios religiosos –cantando y enseñando– y después también en la corte medieval, renacentista y barroca con sus celebraciones y conciertos. La música, junto a su ciencia y su práctica, se construyó en el seno de un *institucionalismo* social sin quedar relegada –ni su conocimiento ni su aplicación práctica y experimental– al silencio que los textos de muchos filósofos griegos quedaron abocados durante la Edad Media. Asimismo, la música siempre mantuvo una meta-finalidad que puede entenderse como *responsabilidad moral* y estuvo siempre presente en las instituciones ya mencionadas.

---

<sup>43</sup> La traducción de *matter-of-fact* como “cuestión-de-hecho”, sugiere que el instrumento científico produce situaciones, realidades, es decir, hechos, fenómenos o situaciones en sí, con la misma textura de realidad que lo real. Véase en SHAPIN, Steven; y SHAFFER, Simon: *Leviathan and the air-pump. Hobbes, Boyle and the experimental life*. Princeton, Princeton University Press, 1985, p. 3.

Este cometido moral se expandió desde el bien entrenado ciudadano griego –gimnasia y música como disciplinas fundamentales– hasta el alma bien preparada para recibir las palabras musicales de un Dios que arrojaba –como dijera Lutero– a Satanás del espíritu. La música hacía del feligrés una “buena persona” y se erigía como mecanismo para la forja del espíritu cristiano y como vía de acceso a los misterios de la fe. Por ello, tanto conocer en profundidad la música como crearla, ejecutarla o escucharla, no fueron meras prácticas exclusivamente estéticas –tipo *finalidad sin fin*– sino que poseían una gran carga social y moral convirtiéndolas así en “construcciones sociales” modeladoras de la conducta social. Debido a estos dos aspectos –institucionalismo y responsabilidad moral–, la música nunca estuvo aislada de la sociedad, lo que le permitió alcanzar y mantener su legitimación social.

Las piezas de música creadas en el marco institucional de la Iglesia o la corte –sea un canto monódico o un motete polifónico– pueden siempre verse como un *matter-of-fact* que intentaba regular la vida social –religiosa y moral–, siendo los monocordios seleccionados una muestra de cómo la sociedad enfrentaba los problemas musicales de índole matemático y artístico para comprender y controlar las fuerzas que gobernaban dicha práctica. En el caso de Ramos de Pareja y Zarlino se ha intentado mostrar en esta investigación cómo las innovaciones constantes de cantores y músicos meramente instrumentistas, carentes de una instrucción matemática sólida, dinamizaban el avance de sus teorías matemáticas musicales. Así, Ramos de Pareja atenuaría la revolucionaria incorporación de las nuevas proporciones armónicas de tipo 5:4, 6:5, 5:3 y 8:5 bajo sutiles argucias didácticas e invectivas retóricas contra las tradiciones pitagórico-medievales. Por su parte, Zarlino, en el seno del llamado humanismo renacentista y con el rescate de antiguos instrumentos matemáticos –v.g. el mesolabio–, intentaría racionalizar y conciliar las tradiciones monódicas de raíz pitagórica con la actualidad musical del siglo XVII, plena de polifonía. Finalmente, Mersenne lograría concebir un monocordio como un instrumento científico que sólo es comprensible a la luz de los avances matemáticos asociados al uso de los decimales, la aceptación de los irracionales y la concepción de la cuerda sonora como un *continuum* de posiciones infinitas. Todos estos conceptos son afines al desarrollo de otras disciplinas como la geometría, la mecánica y la física de mediados del siglo XVII y por ello, no están exentos de las

problemáticas que los historiadores de la ciencia han detectado en el período que se ha denominado la “Revolución Científica”.

\* \* \*

Como se observa, la definición del término ‘instrumento científico’ muestra posiciones muy variadas y, en cierto sentido, se constituyen auténticos dipolos de significado: el caso *embodied* vs. *disembodied*; construcción social vs. *matter-of-fact*; portadores de conocimiento vs. prótesis; receptor pasivo vs. productor activo de conocimiento; universales trascendentes abstractos vs. particulares concretos históricamente determinados.

Al hacer un inventario, se observa que la mayoría coincide en aplicar a dichos objetos una capacidad expresada en los verbos: investigar, representar, mostrar, reificar, materializar, ilustrar, exhibir, buscar la verdad, portar conocimiento, dirigir la investigación, producir hechos, ampliar la sensibilidad humana. Ninguna de éstas excluye a la otra y pueden verse estos verbos como *modos de ejercer acción* de estos objetos. En algunos casos, los hechos producidos son “mostrados” o “exhibidos” o “ilustrados”; las verdades halladas son, tanto “representadas” o “materializadas” por el instrumento, como por los sentidos que “amplían” o “reifican” la realidad. A pesar de las trampas de esta red semántica, los instrumentos científicos son “científicos” en la medida en que permiten que estos modos de acción coexistan, se complementen y solapen, para intentar describir y conocer la realidad natural de una manera más profunda. Sobre la base de estas variadas actividades o modos de acción se verá, en el apartado siguiente, cómo la historia de la ciencia ha clasificado los llamados instrumentos científicos con miras a intentar ubicar allí, tanto conceptual como históricamente, los monocordios estudiados en esta investigación.

*Clasificaciones de los instrumentos científicos.* Las categorías clasificatorias permiten mirar, desde otra perspectiva, la definición de este término y su relación con el monocordio. Cada clasificación presupone un criterio y así, tanto las diversas periodizaciones históricas, como la materialidad, el funcionamiento, el uso, o el conocimiento producido, matizan las definiciones ya presentadas.

El debate puede resumirse como un desplazamiento historiográfico que va de *a)* clasificaciones basadas en períodos históricos, hacia *b)* clasificaciones basadas en conceptos de amplio alcance –tal como se verá enseguida en la bibliografía referida–. Ambos modos de clasificar hacen énfasis en el siglo XVII como frontera histórica, pero, mientras los primeros acompañan los debates en torno a la llamada “Revolución Científica”, los segundos han intentado facilitar la discusión dada la gran diversidad de objetos y dispositivos que pueden considerarse hoy como instrumentos científicos. El monocordio no escapa de esta discusión y es fácil ver que una clasificación “historicista”, obligaría a colocarlo en todos los períodos: desde la Antigüedad, hasta, incluso, más allá del siglo XVII. Posteriormente, según A. J. Turner, el impacto de la Revolución Industrial –que ha significado para los historiadores de la ciencia un punto de inflexión lo suficiente como para dividir los instrumentos científicos en Preindustriales e Industriales– tampoco permite hallarle al monocordio un sitio claro, pues la Revolución Industrial no significó para él un punto de inflexión. Por un lado, en el siglo XVIII, objetos aún más simples y artesanales como las mencionadas horquillas de afinación o *tuning forks*, ya habían sido capaces de relevarlo en algunas funciones y, por otro lado, los avances en el conocimiento eléctrico y electrónico acabarían sustituyéndolo por los llamados sonómetros del siglo XIX y los modernos afinadores electrónicos y digitales de la actualidad. No obstante, su labor como herramienta explicativa del fenómeno físico de los armónicos naturales y los nodos en una cuerda vibrante, se mantuvo, y halla aún, actualmente, su espacio en las escuelas medias y superiores de física.

Ahora, una vez centrados en el siglo XVII, algunos autores como Silvio Bedini se han hecho eco de lo que los propios constructores británicos de la época clasificaban como: instrumentos matemáticos, ópticos y filosóficos.<sup>44</sup> Así, los instrumentos matemáticos serían considerados herramientas prácticas para la medida del tiempo, el espacio y la masa; los ópticos serían todos aquellos que incorporan espejos, cristales y lentes y,

---

<sup>44</sup> Véase BEDINI, Silvio: “Science and Instruments in Seventeenth-Century Italy”, en *Collected Studies Series*, Cs 448. Aldershot, Variorum, 1994.

finalmente, los *philosophical apparatus* serían los destinados a la experimentación, observación, inducción, enseñanza y demostración de fenómenos naturales.

Sin embargo y como se dijo, estas clasificaciones basadas en períodos históricos han dado paso hacia otras cuyo principio organizativo son conceptos asociados a su modo de operar. Así, historiadores como los ya mencionados (Van Helden, Turner y, ahora, Judith Field), dado el empuje que ganaron los instrumentos en el siglo XVII, han considerado para sus clasificaciones conceptos generales como la observación, la medida, el cálculo, la investigación, experimentación y recreación de fenómenos.<sup>45</sup> Estas clasificaciones permiten colocar a los sentidos naturales y las extensiones que amplían la capacidad humana, bajo un mismo criterio, y así, la clasificación del instrumento proviene ahora del grado de precisión en la medida observada o de la capacidad para descubrir, generar o recrear fenómenos susceptibles de réplica y verificación. A su vez, Benjamin Wardhaugh ha mostrado, recientemente, que los experimentos con monocordios realizados en la Royal Society durante los años 1653 al 1705, formaban parte de un programa de estudios matemáticos y experimentales en el que se buscó, afanosamente, una precisión en la observación y medida de los fenómenos de la cuerda vibrante.<sup>46</sup> Para ello fue necesario, incluso, el concurso de reconocidos músicos y la ejecución de piezas musicales en el seno de la propia *Royal Society*. Sin embargo, el trabajo de Wardhaugh deja al lector la tarea de rastrear en la bibliografía las experiencias previas y similares en el continente. Así, detalles que pueden considerarse relevantes como el uso del mesolabio por parte de Zarlino y las experimentaciones de Mersenne, apenas se mencionan y la bibliografía sugerida, tampoco dedica a los monocordios el detalle que como objetos pueden merecer.

Otros historiadores han utilizado categorías aún más abstractas para la clasificación de instrumentos científicos, y a ese respecto, Willem Hackmann habla de los instrumentos científicos del siglo XVII como *passive observers* (telescopios, microscopios) o *actives*

---

<sup>45</sup> FIELD, Judith: "What is Scientific about a Scientific Instrument?", en *Nuncius*, 3/2 (1988), pp. 3-26.

<sup>46</sup> WARDHAUGH, Benjamin: *Music, Experiment and Mathematics in England, 1653-1705*. Oxford, All Souls College, 2008.

*explorers* (dispositivos de laboratorio, máquinas eléctricas, bombas neumáticas) mientras que Jim Bennet sugiere dos categorías claves para la comprensión de estos dispositivos: *knowing or doing*, entendiendo con esto, la diferencia entre *discover things* y *solving problems*.<sup>47</sup> Se muestra aquí, claramente, la separación entre el conocimiento que persigue el filósofo natural (conocimiento de causas formales, materiales y estructurales de la naturaleza) y el conocimiento del geómetra orientado de manera práctica. Estos últimos no descubrirían cosas ni incrementarían el conocimiento de la filosofía natural y tan solo ofrecerían, según Bennett, sus servicios a los profesionales prácticos que “hacen” cosas, es decir topógrafos, navegantes, astrólogos, ingenieros militares, *and so on...*, tal como culmina el autor. De esta coletilla es fácil deducir que Bennet no incluiría a los músicos, puesto que este autor basa sus categorías en el análisis de la mayoría de instrumentos catalogados por la EPACT, donde, de hecho, no se encuentra instrumento musical ni monocordio alguno.<sup>48</sup>

## b) A manera de balance e hipótesis

Por más cuidado historiográfico que se haya tenido en el término –sea *philosophical apparatus*, dispositivo tecnológico *embodied* o *disembodied*, prótesis o construcción social–, las características generales que definen a los instrumentos científicos y que son comunes a las clasificaciones son, básicamente, su capacidad de observar, medir y experimentar.

La revisión del estado de la cuestión permite concluir que se está ante objetos que al cualificar y cuantificar la realidad, dirigen la actividad teórico-práctica y producen un conocimiento acorde con el momento histórico y social. Asimismo, toda esta actividad

---

<sup>47</sup> HACKMAN, Willem: “Scientific instruments: models of brass and aids to discovery”, en *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*. Cambridge, Cambridge University Press, 1989; BENNETT, Jim: “Knowing and doing in the sixteenth century: what were instruments for?”, en *The British Journal for the History of Science*, 36/2 (2003), pp. 129-150.

<sup>48</sup> Se recuerda al lector que EPACT es el Catálogo electrónico de instrumentos científicos medievales y renacentistas provenientes de los principales museos europeos de historia de la ciencia.

pudo realizarse desinteresadamente, en una “búsqueda de la verdad” o devenir en la consecución de objetivos prácticos. Si bien el término ‘instrumento científico’ no constituya una categoría trascendente y ahistórica, llamarlos simplemente “objetos” diluye el concepto y, finalmente, como decía Turner, el término pareciera haberse hecho irremplazable.

Lo anterior será posible investigarlo a partir de los monocordios seleccionados y, en ese sentido, una hipótesis de trabajo puede perfilarse de la siguiente manera: si el término ‘instrumento científico’ es contextualizado históricamente, es posible caracterizar al monocordio como un objeto afín a los *philosophical apparatus*, sin menoscabo de sus funciones prácticas como instrumento matemático para la afinación de instrumentos musicales, la enseñanza del canto y las demostraciones didácticas. Las categorías historiográficas que insisten en separar instrumentos de conocimiento de aquellos que resuelven problemas prácticos, no deben aplicarse al monocordio, pues su actividad filosófica iba tras una doble-verdad, afincada tanto en el fenómeno meramente práctico como en el teórico-experimental. Así, las verdades de los músicos prácticos, evidenciadas y aceptadas en sus ejecuciones musicales, no deben verse separadas de las verdades que razonaban los teóricos especulativos, pues las unas estimulaban a las otras y una vez racionalizadas y formuladas con la ayuda del instrumental físico y matemático disponible, podían replantear la propia práctica. Es por ello que comprender la música como una filosofía natural propia de los siglos XV, XVI y XVII y como un saber con una doble condición de ciencia-arte, es fundamental para poder adjudicar algún tipo de científicidad a este instrumento y hacerlo pertenecer, con pleno derecho, a las clasificaciones ya establecidas en la historia de la ciencia.

## **De la música y el monocordio en relación con la historia de la ciencia**

Visto desde la perspectiva historiográfica actual, las relaciones entre música y ciencia se iniciarían con el nacimiento de la propia reflexión filosófica y como parte de la metafísica de raíz pitagórica recogida y expuesta en el *Timeo* por Platón. Como es sabido, hay allí una descripción de la creación del cosmos por parte del Demiurgo, que

está basada en las proporciones armónicas descubiertas en el monocordio y atribuidas a la escuela pitagórica de siglos anteriores.<sup>49</sup> En este sentido, hay consenso entre los historiadores de la ciencia en considerar el descubrimiento de esas proporciones armónicas sonoras y su demostración en el monocordio como la primera ley físico-matemática. Como ya se ha dicho *grosso modo* al principio de esta Introducción, hay suficientes evidencias de que la música como disciplina teórico-especulativa y práctica pertenecía a los intereses de personajes que se asocian con la historia de la ciencia, tanto en la Antigüedad como en siglos posteriores, pero, a pesar que los historiadores de la ciencia no eran ajenos a ello, la música sólo llegaría a ser un tema de interés en la historia de la ciencia a comienzos de la década de los sesenta del siglo XX. El musicólogo Claude Palisca, al interesarse por los escritos de Girolamo Fracastoro, Galileo Galilei y Giovanni Battista Benedetti, pudo descubrir una anticipación y una conexión entre la obra de este último y los experimentos con cuerpos sonoros realizados por su padre, Vincenzo Galilei.<sup>50</sup> El influyente ensayo de Palisca “Scientific Empiricism

---

<sup>49</sup> Concretamente, en *Timeo*, 34b-36d, están expuestas las proporciones, en forma de dos series geométricas: [1, 2, 4, 8] y [1, 3, 9, 27] que permitieron al Demiurgo crear el universo y que terminaban por conformar una escala de tres octavas que puede considerarse como una descripción metafísica del cosmos con una raíz musical. Véase una descripción general del *Timeo* y su relación con la teoría de la consonancia, en GARCÍA PÉREZ, Sara Amaya: *El concepto de consonancia en la Teoría Musical: De la Escuela Pitagórica a la Revolución Científica*. Salamanca, Publicaciones Universidad Pontificia de Salamanca, 2006, pp. 66-79.

<sup>50</sup> Girolamo Fracastoro (\*Verona, c. 1478; † Incaffi, Verona, 1553) fue médico, poeta, matemático y astrónomo cuya obra *De sympathia et antipathia rerum* (Venecia, 1546) insistía en el efecto de resonancia que podía tener el sonido de una cuerda sobre otra al concebirse el sonido como una serie de condensaciones y rarefacciones del aire. Vincenzo Galilei (\*Santa María a Monte, 1520; † Florencia, 1591) además de alumno de Gioseffo Zarlino y padre del célebre físico Galileo Galilei, fue compositor y ejecutante de laúd. Fue el líder del movimiento florentino que revivió (a través de la vuelta a la monodía antigua) los ideales poéticos y musicales de la Antigua Grecia. Se enzarzó en polémica con su maestro Zarlino en torno a la naturaleza de los intervalos y el importante papel que la práctica podía tener en la música, por encima de toda numerología o mera especulación teórica. Esta actitud experimental le llevó a descubrir las verdaderas proporciones de los pesos que tensan una cuerda y su relación con la producción de consonancias, rechazando la numerología pitagórica en aras de privilegiar el sentido del oído sobre las fundamentaciones matemáticas. Véase PALISCA, Claude: “Scientific Empiricism in Musical Thought”,

in Musical Thought” mostraba un hecho histórico que no había sido mencionado y consideraba su autor que había, de manera obvia,

[...] a knowledge-gap between historians of science and historians of music in our time.<sup>51</sup>

Lo que no aclaraba Palisca era la causa de este *gap* y los responsables por rellenarlo, aunque su condición de musicólogo interesado por la historia de la ciencia pudiera dar a entender una supuesta iniciativa para hacerlo. Para esas fechas, era reconocido que personajes como Kepler, Descartes, Huygens, Newton, y otros, además de Galileo, manifestaron gran interés por la música pero, a partir de aquella conexión, Palisca concluyó que los experimentos musicales de Vincenzo Galilei y Giovanni Battista Benedetti fueron los primeros experimentos conscientes que pretendían confirmar una teoría físico-matemática y que Marin Mersenne, hacia 1636, culminaría resumiendo en la llamada *ley de la frecuencia*. Dicha ley se expresa así: *la frecuencia de vibración de una cuerda sonora es inversamente proporcional a la longitud de la cuerda y directamente proporcional a la raíz cuadrada de la sección de la misma*. Esta ley se considera aún como la primera ley físico-matemática de la ciencia moderna, y al igual que para la época de Pitágoras, la música volvía a ser partícipe en ella.

El otro pionero de estos estudios fue el también musicólogo Daniel Pickering Walker, quien se trenzaría en debate con Palisca, al considerar a Galilei –padre e hijo– como “experimentadores mentales” y asegurar que era evidente que Vincenzo Galilei no habría hecho experimento alguno, puesto que los argumentos matemáticos habían sido

---

en *Studies in the history of Italian music and music theory*. Oxford, Clarendon Press, 1994. Giovanni Battista Benedetti (\*Venecia, 1530; †Turín, 1590) desarrolló investigaciones en variados campos: geometría, matemática, astronomía y problemas mecánicos como la caída de los graves. Era también músico aficionado y en su obra *Diversarum speculationum mathematicarum & physicorum liber* (Venecia, 1585), planteó, por primera vez en la historia, la relación entre la altura del sonido, el fenómeno de la consonancia y la frecuencia de vibración.

<sup>51</sup> “[...] una brecha de conocimiento entre los historiadores de la ciencia y los historiadores de la música en nuestro tiempo.” *Ibid.*, p. 201.

elaborados sin la más mínima revisión empírica.<sup>52</sup> Palisca continuaría el debate insistiendo en su tesis, para lo cual realizaría él mismo la reconstrucción de los experimentos, llegando a la conclusión de que, de hecho, Vincenzo realizó los experimentos y con un evidente interés científico. Pero, independiente del tono y el derrotero al cual devino este debate, lo que se quiere destacar aquí es cómo fueron musicólogos quienes entraron de lleno en el campo de la historia de la ciencia.<sup>53</sup>

Finalmente, bajo el influjo de estos pioneros, el historiador de la ciencia y reconocido estudioso de la obra de Galileo, Stillman Drake, publicó en 1970 su ensayo “Renaissance Music and Experimental Science”, donde reconoció los aspectos musicales de la obra de Galilei –padre e hijo–, y Benedetti como los auténticos comienzos de la física experimental.<sup>54</sup> Drake partía del convencimiento de que los orígenes del aspecto experimental de la ciencia moderna debían buscarse en la música del siglo XVI, concluyendo que

The fountainhead of Renaissance music was thus at least *partly responsible* for the emergence not of experimental science alone, but of a whole new approach to theoretical science that we now know as mathematical physics.<sup>55</sup> [énfasis añadido]

Esta “parte de responsabilidad” mencionada por Drake, sin duda hibernaba en los textos de los filósofos naturales que, finalmente, recibieron atención por parte de historiadores de la ciencia. Éstos han intentado expandir los problemas estableciendo conexiones con

---

<sup>52</sup> WALKER, Daniel Pickering: *Studies in musical science in the late Renaissance*. Londres, The Warburg Institute, 1978, p. 24.

<sup>53</sup> Para revisar estos debates, véase: COELHO, Victor, (ed.): *Music and Science in the age of Galileo*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1992.

<sup>54</sup> DRAKE, Stillman: “Renaissance Music and Experimental Science”, en *Journal of the History of Ideas*, 31 (1970), pp.483-500. [Reimp.: DRAKE, Stillman: *Essays on Galileo and the History and Philosophy of Science*. Toronto, University of Toronto, 1999].

<sup>55</sup> “El manantial de música del Renacimiento fue así, al menos, *en parte responsable* de la emergencia, no sólo de la ciencia experimental, sino de toda una nueva aproximación a la ciencia teórica que ahora conocemos como física matemática.” *Ibid.*

el resto de la actividad del propio científico y sus contemporáneos y, hasta el momento y en menor medida, con el contexto y las prácticas culturales en el cual éste operaba. Historiadores de la ciencia como Allistair Crombie, y los ya mencionados Cohen y Dear, entre otros, son ejemplo del deseo de integrar estructuralmente la música en el campo de la historia de la ciencia, mostrando que en el siglo XVII se produjo una confluencia de saberes y una conciliación de intereses científicos que así la incluyen.<sup>56</sup> La moderna bibliografía sobre historia de la ciencia entre los siglos XV, XVI y XVII ha llevado la discusión a debates que ya no giran en torno a la legitimidad de estas reflexiones, sino a la capacidad de ofrecer un cuadro más vívido de la ciencia y la cultura de estos períodos. A continuación se presenta un breve panorama de estos debates y la relevancia que puedan tener para esta investigación.

#### a) Consultas bibliográficas

En una primera aproximación bibliográfica, la consulta a partir del término ‘music’ a la base de datos *HSTM History of Science, Technology and Medicine* asociada a la revista *Isis* –desde 1905 hasta 2013–, arroja 4028 registros de muy variada índole e intereses –médicos, sociológicos, estéticos, psicológicos, etc., además de los musicales propiamente dichos–, de los cuales muchos son ajenos a la presente investigación.<sup>57</sup> El

---

<sup>56</sup> Véase CROMBIE, Allistair: “Science of Music”, en *Styles of scientific thinking in the European tradition*. Vol. 2, Londres, Duckworth, 1994, p.783-894; COHEN, Hendrik Floris: *Quantifying music. The science of music at the first stage of the scientific revolution, 1580-1650*. Dohrdrecht, Kluwer Academic Publishers, 1986; DEAR, Peter: “Marin Mersenne: Mechanics, Music and Harmony”, en GOZZA, Paolo (ed.): *Number to Sound: The Musical Way to the Scientific Revolution*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2000, pp. 267-288.

<sup>57</sup> La base de datos *HSTM History of Science, Technology and Medicine* está patrocinada por la *History of Science Society HSS* (<http://www.hssonline.org/>) que edita la reconocida revista de historia de la ciencia *Isis* (<http://www.press.uchicago.edu/ucp/journals/journal/isis.html>). Se ha consultado esta base de datos en diversas ocasiones (como miembro de la HSS) y en un último acceso durante la redacción final de esta investigación, en 17/05/2013.

término más correcto para este tipo de investigación es ‘harmony’<sup>58</sup> el cual arroja unos 196 registros, que una vez eliminados aquellos que se asocian a disciplinas ajenas a la música, pueden clasificarse según las siguientes categorías y de mayor a menor aparición:

- Estudios de un personaje y su obra: Bacon, Kepler, Hobbes, Descartes, Holder, Beeckmann, Mersenne, Huygens, Hooke, Newton, North.<sup>59</sup>
- Música como ciencia astronómica y cosmología: trabajos relacionados con J. Kepler.
- Música como modelo filosófico y epistemológico.
- Música como ciencia física.
- Música: escala, afinación y temperamento.
- Música en el Renacimiento y en relación al Humanismo italiano.
- Música y alquimia.
- Música como ciencia matemática.
- Música y la génesis del modelo experimental.
- Música en Inglaterra y la *Royal Society*.
- Música y Revolución Científica.
- Música y medicina.
- Música y magia natural.
- Música y retórica.
- Música y educación.
- Tecnología e instrumentos musicales.

---

<sup>58</sup> Se recuerda *supra*, al final de la “Introducción”, la Nota Terminológica respecto al término ‘armonía’.

<sup>59</sup> Entre este grupo de personajes, los menos divulgados son: William Holder y Roger North. Holder (\*Southwell, 1616; †Hertford, 1698) fue un teórico inglés cuya obra más celebre es: *A Treatise on the Natural Grounds and Principles of Harmony* (Londres, Pearson, 1694) donde se hizo eco de la división de la octava según una medida común de 53 partes, también llamada “coma Holder”. Véase BARBOUR, James Murray: *Tuning and Temperament*. East Lansing, Michigan State College Press, 1951. [Reimp.: New York, Da Capo Press, 1972, p. 125]. North (\*Tostock, 1651; †Londres, 1734) fue un escritor inglés y músico aficionado con variados intereses, en especial, la ejecución musical y los sistemas de afinación. Su obra ha sido estudiada en detalle por KASSLER, Jamie: *The Honourable Roger North, 1651–1734*. Aldershot, Ashgate Publishing, 2009.

Una revisión general cuantitativa, permite concluir que la mayoría de estos estudios han estado dirigidos a analizar la obra musical de un filósofo natural y sólo cobran valor al contextualizarlos con el resto de la obra más conocida de cada uno de ellos. Así, la llamada “música de las esferas” y en especial el *Harmonices Mundi* de Kepler, se mantiene como el paradigma del encuentro entre música y ciencia. Igualmente, la música como modelo filosófico y epistemológico se hace presente, cuando ofrece paralelismos con filosofías o esquemas científicos ya establecidos; por lo tanto, la obra mayoritariamente musical de Ramos de Pareja, Zarlino y en cierto sentido Mersenne, no son objeto de consideración. Además de la temática específica de los modelos de afinación y su resolución matemática, aparecen allí las investigaciones más generales de los ya mencionados Cohen, Kassler y, especialmente, Penelope Gouk, que hacen énfasis en los contextos y prácticas culturales del siglo XVII –medicina, magia natural y alquimia– en relación con la llamada “Revolución Científica”.<sup>60</sup> Finalmente, tanto los instrumentos musicales como su relación con los fundamentos científicos que los gobiernan y las tecnologías para su fabricación, merecieron escasa atención hasta 2008. En este año se editó un amplio compendio titulado: *Instruments in Art and Science*, donde se encuentra un ensayo organológico dedicado a los instrumentos del siglo XVII a cargo de Conny Restle.<sup>61</sup> A pesar de ser un sugerente panorama sobre los puntos de contacto entre arte y ciencia, el monocordio como instrumento científico, si bien es reconocido su uso e influencia, no recibe una plena caracterización.

\*

---

<sup>60</sup> GOUK, Penelope: *Music, Science and Natural Magic in Seventeenth-Century England*. New Haven, Yale University Press, 1999.

<sup>61</sup> Véase RESTLE, Conny: “Organology: The Study of Musical Instruments in the 17th Century”, en SCHRAMM, Helmar; SCHWARTE, Ludger y LAZARDZIG, Jan, (eds.): *Instruments in Art and Science: On the Architectonics of Cultural Boundaries in the 17th Century*. Berlín, Walter de Gruyter, 2008, pp. 257-268. [Como es sabido, se entiende aquí por *organología*, la disciplina que estudia la historia y desarrollo de los instrumentos musicales desde una perspectiva organizada y sistematizada científicamente. Para ello, son fundamentales los aspectos técnicos de los modos de producción del sonido, que han permitido establecer una clasificación musical sólida y consistente, independiente de los estilos musicales o la utilización de los instrumentos musicales en la moderna orquesta sinfónica].

Si se precisa la consulta anterior con los términos ‘music’ + ‘17<sup>th</sup> century’ se obtienen 152 resultados, en su gran mayoría contenidos en la consulta bajo el término ‘harmony’; si se refina con ‘music’ + ‘16<sup>th</sup> century’ se obtienen unos 56 registros entre los que destacan los trabajos de los musicólogos Palisca y Walker, centrados en la obra de Vincenzo Galilei; con ‘music’ + ‘15<sup>th</sup> century’ se obtienen 38 registros, donde cabe mencionarse al arquitecto León Battista Alberti y el uso de las proporciones armónicas en el diseño de edificaciones. Tanto libros como artículos de revistas académicas debaten aquí los temas propios de la "música" y la "armonía" durante los siglos XV, XVI y XVII, no obstante, si bien es sabido que la mayoría de las reflexiones teóricas en torno a esos temas provienen de la actividad empírica realizada con el monocordio, es necesario concluir que esta aproximación bibliográfica desde la historia de la ciencia, lo reduce a mínimas menciones o le deja de lado.

## b) Aproximaciones musicológicas

Como refrenda Jan Herlinger, la mayoría de los estudios sobre el monocordio han sido realizados por musicólogos.<sup>62</sup> El primero fue realizado por Sigfrid Wantzloeben en 1911 y se considera un breve resumen desde sus orígenes hasta 1500.<sup>63</sup> A pesar de las críticas

---

<sup>62</sup> HERLINGER, Jan: “Medieval canonic”, en *The Cambridge History of Western Music Theory*. Chicago, University of Chicago Press, 2002, p.170.

<sup>63</sup> WANTZLOEBEN, Sigfrid: *Das Monochord als Instrument und als System*. Halle, Ehrhardt Karras, 1911. Para algunos musicólogos, este ensayo contribuyó a malinterpretar algunas fuentes históricas. A ese respecto en el ensayo: NEF, Walter: “The Polychord”, en *The Galpin Society Journal*. 4(1951), pp. 20-24, su autor demostraba que las interpretaciones que hacía Wantzloeben sobre monocordios de la Edad Media que poseían varias cuerdas, eran erróneas. En resumen, aclaraba Nef que un monocordio de “octo chordae” como el monocordio de Theogerus de Metz (\*?, c. 1050; †Cluny, 1120) no quería decir que tuviese ocho cuerdas sino ocho notas. Igualmente, según Nef, la mala interpretación de Wantzloeben hacía ver en el pasaje del *Musica Especulativa* (1323) de Juan de Muris (\*Lisieux, c. 1290–95; †?, c. 1344), un monocordio de diecinueve cuerdas, estando claro en el diagrama que lo que había era una división de diecinueve segmentos. Es cierto que más tarde, hacia el siglo XIV, aparecerían monocordios con múltiples cuerdas, pero para la Edad Media, el término ‘monocordio’ se refería justamente a eso: una cuerda.

recibidas, el trabajo de Wantzloeben sentó la clave historiográfica al considerar al monocordio como un *instrumento* y como un *sistema*; en resumen, como testigo instrumental de la evolución del sistema acústico occidental tanto en su concepción como en su ejecución. El estudio de Wantzloeben continúa siendo citado, aunque – como se verá– investigaciones posteriores lo hayan superado.

Se reconoce que el estudio más completo, musicológicamente hablando, es la tesis doctoral de 1963 realizada por Cecil Adkins, donde se encuentra una amplia reflexión musicológica sobre diversos monocordios, desde la Antigüedad hasta el siglo XIX.<sup>64</sup> La investigación nació de una simple motivación, tal como Adkins explica en su prefacio:

The relation of the monochord to musical theory and practice is often referred to by writers on music, but seldom explained [...] it was discovered that little information about the monochord was available outside the original sources.<sup>65</sup>

A pesar del ingente esfuerzo de Adkins por catalogar todo monocordio conocido desde la Antigüedad hasta la magna obra de H. Hemholtz, la motivación sigue siendo válida.<sup>66</sup> Se encuentran expuestos allí, a través de una sintaxis propia, una serie de diagramas de diferentes monocordios, convirtiendo la obra en una auténtica enciclopedia de las diversas técnicas de subdivisión de la cuerda. Este enciclopedismo es tal vez el que no

---

<sup>64</sup> ADKINS, Cecil: *The theory and practice of the monochord*. Tesis Doctoral. Des Moines, University of Iowa, 1963.

<sup>65</sup> “La relación del monocordio con la teoría musical y la práctica es, a menudo, referida por los escritores sobre música, pero rara vez explicada [...] se ha descubierto muy poca información disponible sobre el monocordio, más allá de las fuentes originales.” *Ibid.*, p. III.

<sup>66</sup> Se considera la obra acústica de Hermann von Helmholtz (\*Potsdam, 1821; † Charlottenburg, 1894) el lugar y la culminación donde se funden la mayoría de las teorías previas que habían intentado dar cuenta del fenómeno del tono y la consonancia, tanto desde el punto de vista matemático, mecánico, acústico y musical, como psicológico y anatómico. Véase HELMHOLTZ, Hermann von: *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*. Braunschweig, Vieweg, 1863. La traducción más reconocida es HELMHOLTZ, Herrmann von: *On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music*. Alexander John Ellis, (trad.). Londres, Longmans Green and Co., 1895.

le permite profundizar en aquellos tratados que poseen una importancia histórica mayor y que evidencian interrelaciones con el desarrollo de la ciencia y las prácticas culturales del momento. En este sentido, el monocordio es visto por Adkins como un instrumento de índole absolutamente musical, y lo privilegia diciendo:

[...] the oldest of man's musical instruments still surviving in unaltered form.<sup>67</sup>

Al realizar esta aproximación musicológica y organológica –discutible, sin duda–, y si bien la disertación está plena de datos e información, Adkins no se dedicaba a las implicaciones que podía tener el uso de este instrumento en el contexto del desarrollo de la ciencia moderna. Cuando Adkins enfrentaba el trabajo de Mersenne en torno al monocordio, reconocía cierto “respect for the monochord as a useful practical and scientific device [...]”, pero no desarrollaba esta idea.<sup>68</sup> Igualmente, las menciones a Kepler, Descartes, Newton y otros filósofos naturales, están exentas de toda vinculación con las categorías de la historia de la ciencia, y sus desarrollos son realmente muy breves. Una vez que se ha llegado en la lectura al siglo XVII, Adkins separa en cuatro grupos los tratados referentes al monocordio, dejando el cuarto grupo a aquellos usos *non-musicals*, es decir, científicos y acústicos, exclusivamente. Es claro ver que Adkins asumía una historiografía donde arte y ciencia eran concebidas como disciplinas totalmente separadas, lo cual era de esperar, pues para 1963 el propio debate historiográfico de la ciencia excluía –como se ha dicho– a la música de los tópicos a discutir y no había ampliado sus horizontes tal como se entiende ahora.

Los capítulos dedicados al uso didáctico y las aplicaciones instrumentales del monocordio –Capítulos VI y VII– son excelentes compendios de información musicológica. Sin embargo, es en su capítulo final “The symbolic and religious uses of the monochord”, donde pueden conseguirse relaciones del instrumento con lo que significaba la cultura y la sociedad de su momento.

---

<sup>67</sup> “[...] el más viejo de los instrumentos musicales del hombre que sobrevive de forma inalterada” *Ibid.*, p.1.

<sup>68</sup> “respeto por el monocordio como dispositivo práctico y científico [...]” *Ibid.*, p.283.

A pesar de tratarse de una historiografía donde pueden encontrarse calificativos como *pseudo-scientifics* o *philosophical mistakes*, el aliento enciclopédico de Adkins fluye para finalmente reconocer que

The use of music.... appealed to the senses of sight and hearing as well as providing stimulus to the mind.<sup>69</sup>

Es en este encuentro entre sentidos y mente –estética y ciencia– donde la historiografía de la ciencia puede y debe afincar sus intereses para continuar ampliando la importancia de la música y el monocordio en el panorama del desarrollo de la temprana ciencia moderna.

Otro texto enciclopédico, aunque restringido a los siglos IX a XV es el ya mencionado compendio *Mensura monochordi* realizado por Christian Meyer.<sup>70</sup> Es presentado por su autor como un gran catálogo de todas las divisiones conocidas de los monocordios hasta la Edad Media. En su introducción, el autor aclara que su obra es un compendio eminentemente técnico, cuya frontera superior de investigación es el siglo XV, por ser allí donde comienzan con intensidad las prácticas polifónicas que terminarían minando la hegemonía del sistema pitagórico. En esta cota superior, Meyer menciona especialmente los monocordios de Ramos de Pareja y Zarlino, por considerarlos los más tempranos intentos de construir un sistema acústico no pitagórico. En resumen, el acotado espectro histórico que aborda Meyer es justificado con base en una supuesta pérdida de la naturaleza originaria del monocordio por deslindarse de las prácticas pitagóricas e intentar justificar las nuevas. Entre estas prácticas estaban la “afinación justa” con sus terceras armónicas de proporción 5:4 y 6:5, los teclados, laúdes y la música creada para instrumentos polifónicos. En este sentido, la recopilación de Meyer se emparenta con el ensayo ya mencionado de Herlinger, el cual otorgaba al

---

<sup>69</sup> “El uso de la música [...] apelaba a los sentidos de la vista y el oído al igual que proveía estímulo para la mente.” *Ibíd.*, p.426.

<sup>70</sup> MEYER, Christian: *Mensura Monochordi: la division du monocorde*. París, Société Française de Musicologie, Cambridge University Library, 1996.

monocordio un decidido carácter tradicionalmente medieval, justificando así que, a la larga éste haya caído en desuso al intentar dar cuenta de las expresiones irracionales y otras exigencias del cálculo de nuevos temperamentos.<sup>71</sup>

Pero allí, en la frontera del siglo XV, donde algunos musicólogos ven un instrumento en decadencia puede hallarse material para la investigación. Pues, a pesar de que es correcto que para el comienzo del siglo XV la polifonía instrumental emergió con intensidad y que se amplió el espectro de proporciones numéricas –racionales e irracionales–, puede afirmarse que el monocordio como instrumento no perdió en ningún momento su vigencia, sino que más bien resultó intensamente renovado en lo que se refiere a la propia musicología y la historia de la ciencia. La necesidad de justificar las nuevas prácticas obligó y estimuló a los teóricos y filósofos naturales a ampliar el espectro de conocimiento de dicho instrumento y, muy en especial, su capacidad descriptiva, sus mecanismos de cálculo y su potencia experimental y predictiva. Así, a mediados del siglo XV, el monocordio inició un tránsito que desbordaría tanto los límites de la pedagogía musical como el simple apoyo a los fabricantes de instrumentos musicales para, finalmente, contribuir al desarrollo de la filosofía natural del siglo XVII y el nacimiento de la temprana ciencia moderna.

### c) Aproximaciones desde la perspectiva de la historia de la ciencia

Cuando se consulta la ya mencionada base de datos *HSTM History of Science, Technology and Medicine* asociada a la revista *Isis* con el término ‘monochord’ se obtiene un escuálido resultado que se resume en un libro, tres artículos y dos reseñas. El libro es un compendio de textos sobre enseñanza de las ciencias en el bachillerato alemán, donde se encuentra un breve ensayo sobre el monocordio como herramienta experimental histórica en la enseñanza de la física; un primer artículo, de cuatro páginas, se refiere a aspectos clínicos audiológicos asociados al monocordio; un segundo artículo, es una traducción del tratado *Sectio Canonis* de Euclides; y un tercer

---

<sup>71</sup> HERLINGER, Jan: “Medieval canonicism”, en *The Cambridge History of Western Music Theory*. Chicago, University of Chicago Press, 2002.

artículo se refiere a la publicación –en 2010– de algunos aspectos de la presente investigación en el número dedicado a Marin Mersenne en la revista *Perspective on Science*.<sup>72</sup> Igualmente, aparecen dos reseñas al ya mencionado libro de David Creese.<sup>73</sup> Como se observa, las disertaciones de índole musicológica no son recogidas por la base de datos *Isis* y los resultados obtenidos –salvo estas contibuciones últimas de 2010– no ofrecen un panorama bibliográfico fidedigno del papel del monocordio en la historia de la ciencia.

Una aproximación a este instrumento, hecha desde la perspectiva de la historia de la ciencia, es la breve mención ya referida al libro *Quantifying Music* de H. F. Cohen, en especial, su capítulo “The experimental approach”.<sup>74</sup> Otras frases aisladas, o breves menciones relevantes se hallan en libros referidos a la ciencia del siglo XVII, donde se reconoce la tradición e importancia del aparato y el papel que pudo tener en la obra de filósofos naturales. Pero, en resumen, para hacerse una idea de la historia del monocordio como genuino y auténtico aparato para la experimentación científica, se

---

<sup>72</sup> El libro mencionado es: HOHENZOLLERN, Johann Georg; PRINZ VON LIEDTKE, Max, *et alii: Naturwissenschaftlicher Unterricht und Wissenskumulation: Geschichtliche Entwicklung und gesellschaftliche Auswirkungen*. Bad Heilbrunn, Klinkhardt, 1988. [La enseñanza de la ciencia y la acumulación de conocimiento: Desarrollo histórico e impacto en la sociedad]; Los artículos en particular son los siguientes: FELDMANN, Harald: “Das Monochord, sein Weg von der Pythagoräischen Musikwissenschaft zur Prüfung der oberen Hörgrenze”, en *Laryngorhinootologie*, 74/8 (1995), pp. 519-523 [El Monocordio. Su camino desde la ciencia musical pitagórica hasta el examen de los umbrales de la audición]; MATHIESEN, Thomas J. “An annotated translation of Euclid’s division of a monochord”, en *Journal of Music Theory*, 19 (1975), pp. 236-259; MALET, Antoni y COZZOLI, Daniele: “Mersenne and the Mixed Mathematics” y CALDERÓN, Carlos: “The Monochord according to Marin Mersenne: Bits, Atoms, and Some Surprises”, ambos artículos en la edición de *Perspectives on Science*, 18/I (2010), pp. 1-8 y pp. 77-97. [Consulta realizada el 17/05/2013]

<sup>73</sup> CREESE, David: *The Monochord in Ancient Greek Harmonic Science*. Cambridge, Cambridge University Press, 2010.

<sup>74</sup> COHEN, Hendrik Floris: *Quantifying music. The science of music at the first stage of the scientific revolution, 1580-1650*. Dohrdrecht, Kluwer Academic Publishers, 1986, pp. 75-114.

debe rastrear una variada bibliografía, que, como se ha dicho, es en su mayoría musicológica y no referida a la historia de la ciencia. El libro ya mencionado, *Instruments in Art and Science*, de 2008, presentaba una breve introducción al concepto de organología desde una perspectiva de la historia de la ciencia, donde concluía que los instrumentos musicales presentados en la *Harmonie Universelle* de Mersenne no eran tan sólo meras herramientas para hacer música sino,

[...] an autonomous technical *object of art*, which can be represented by mathematical and physical formulas.<sup>75</sup> [énfasis añadido]

Como se lee, el instrumento musical es representable físico-matemáticamente, pero siempre visto como *objeto artístico*. Sin embargo, el monocordio, que sería el punto de partida de todas estas representaciones matemáticas y físicas –como puede verse en el esquema general de la *Harmonie Universelle* de Mersenne– es mencionado tan sólo como el lugar donde se realizan proporciones e intervalos. Justamente es ese “lugar” el que interesa como banco de pruebas –material y metodológico– en el que se explayaría la investigación científica. Las dos recientes publicaciones ya mencionadas – Wardhaugh y Creese<sup>76</sup>– son los únicos estudios que se han podido conocer en el marco de la presente investigación, en los que el tratamiento del monocordio se expone –por primera vez– decididamente orientado hacia las categorías de la historia de la ciencia y no exclusivamente musicológicas.

\* \* \*

---

<sup>75</sup> “[...] un *objeto de arte* técnico y autónomo, el cual podía ser representado por fórmulas físicas y matemáticas.” RESTLE, Conny: “Organology: The Study of Musical Instruments in the 17th Century”, en SCHRAMM, Helmar; SCHWARTE, Ludger y LAZARDZIG, Jan, (eds.): *Instruments in Art and Science: On the Architectonics of Cultural Boundaries in the 17th Century*. Berlín, Walter de Gruyter, 2008, pp. 263.

<sup>76</sup> WARDHAUGH, Benjamin: *Music, Experiment and Mathematics in England, 1653-1705* (2008) y CREESE, David: *The Monochord in Ancient Greek Harmonic Science* (2010).

Está claro que, tal como se sugiriera al principio de esta Introducción, nuestra cultura actual considera la música y la ciencia como disciplinas claramente diferenciadas. Sin embargo, cualquier amplia revisión histórica e historiográfica puede mostrar fácilmente, que la música ha estado aunada desde su mismo nacimiento a la reflexión filosófica, además de haber sido privilegiado modelo explicativo del universo. Asimismo, es sabido que las proporciones pitagóricas y el monocordio fueron utilizados con intensidad hasta el siglo XVII en explicaciones astronómicas, en la astrología, los principios alquímicos, la pintura, la medicina, la arquitectura y la propia música. Esta última, siendo una de las ramas del *quadrivium* –junto a la astronomía, la geometría y la aritmética– y dado el interés demostrado en obras de filósofos naturales como Bacon, Galileo, Kepler, Descartes, Mersenne, Huygens, y Newton, entre otros, permite afirmar que hacer historia de la música, por lo menos de los hechos musicales que abarcan hasta el siglo XVII, es también hacer historia de la ciencia.

El monocordio es a todas luces un aparato que además de su inherente dualidad *arte-ciencia*, estuvo constantemente presente, tanto en la Antigüedad como en la Edad Media y la Edad Moderna, generando tanto experiencias sensibles como racionales y, en suma, –para sus tratadistas– filosóficas. La ausencia de una detallada historia científica o cultural es cada vez más, subsanada por los historiadores, aunque su tardía aparición parezca incomprensible. Tanto como elemento simbólico (Platón, Fludd, Kircher, etc.) como físico-matemático (Euclides, Galileo, Kepler, Mersenne, Newton, etc.) el monocordio se presenta como un *hilo conductor* que, finalmente permite reconstruir un modo histórico de comprender el mundo que la naciente ciencia moderna abandonó progresivamente: un modo que era tanto lógico como simbólico; matemático pero a la vez poético; físico y metafísico; en resumen, una visión del mundo que poseía una estética, *a priori*, de la realidad.



## PRIMERA PARTE

### 1 EL MONOCORDIO DEL SIGLO XV, SEGÚN BARTOLOMÉ RAMOS DE PAREJA

En esta Primera Parte, se presentan los aspectos biográficos e historiográficos de Bartolomé Ramos de Pareja para después proceder a analizar en detalle su monocordio, tanto su versión elemental como la detallada y tal como fuera expuesto en su tratado *Musica Practica*.<sup>77</sup> Este análisis consta de tres partes: la materialidad, la metodología de utilización y los problemas filosófico-musicales a los cuales se enfrentó Ramos de Pareja. Este último aspecto será el que permita caracterizar la naturaleza de este monocordio en el marco de las prácticas culturales de la época y en relación con los debates historiográficos en torno a la definición y clasificación de los instrumentos científicos en el lapso histórico de los siglos XV, XVI y XVII.

---

<sup>77</sup> Del tratado de Ramos de Pareja se conocen dos ediciones –consideradas como pruebas de imprenta–, una primera de mayo de 1482: RAMOS DE PAREJA, Bartolomé: *De musica tractatus*. Bolonia, Johann Schriber e Enrico da Colonia?, mayo 1482; y una segunda de junio de ese mismo año: RAMOS DE PAREJA, Bartolomé: *De musica tractatus*. Bolonia, Baltasar de Hiriberia, junio 1482. Véase en el Apartado 6.1 de la Bibliografía, titulado “Fuentes primarias investigadas”, la información referente, tanto a facsimiles y transcripciones (impresos y digitales) como a traducciones (íntegras o parciales) al castellano y otros idiomas. Durante mucho tiempo, la edición de referencia fue la transcripción que hiciera en 1901 el musicólogo Johannes Wolf, conocida como *Musica practica Bartolomei Rami de Pareia, Bononiae impressa*. Leipzig, Breikopf & Härtel, 1901. Existen dos traducciones al castellano: una primera edición de 1977, titulada: *Música Práctica*. José Luis Moralejo, (trad.); Rodrigo Zayas, rev. y, Enrique Sánchez Pedrote, int. Madrid, Alpuerto, (1977) 1990; y otra, con motivo del V centenario del nacimiento de Ramos de Pareja, titulada también: *Música Práctica*. Gaetano Chiappini, (trad.); y Clemente Terni, (int. y notas). Madrid, Joyas Bibliográficas, 1983. [Para efectos de esta investigación, se utilizará la traducción de J. L. Moralejo y, a partir de esta cita, cuando se haga mención a esta obra, se colocará la referencia bibliográfica como sigue: RAMOS [1482] 1990 y el correspondiente número de página].

## 1.1 Esbozo biográfico e historiográfico

El dato biográfico considerado más fidedigno de Bartolomé Ramos de Pareja, está escrito al final de su tratado *Musica Practica*, donde, a manera de colofón, dice:

Explicit musica practica Bartolomei Rami de Pareia Hispani ex Betica provincia et civitate Baeza Gienna dioecesi vel suffragana oriundi, [...]<sup>78</sup>

Aunque no especifica la fecha de nacimiento, los musicólogos la han estimado entre 1435 y 1450, siendo Baeza, para mediados del siglo XV, cuna de los valores del renacimiento español y frontera donde constantes luchas marcaron los límites de la dominación árabe en la península ibérica. El conjunto de aquellos valores puede verificarse en la llamada *Crónica del Condestable*, que ha sido tomada como un claro testimonio del ambiente cultural y cortesano que hacia 1470 el condestable Lucas de Iranzo intentó establecer allí, haciendo venir profesores de gramática, retórica y lógica, amén de patrocinando festejos y celebraciones musicales.<sup>79</sup>

Se sabe, por el propio Ramos de Pareja, que tuvo un primer maestro –Johannes de Monte– y que, seguramente, una vez formado en aquél ambiente cultural, llegó a Salamanca y ocupó, hacia 1460, la cátedra de música.<sup>80</sup> Luego marchó a Florencia y

---

<sup>78</sup> “Termina la música práctica de Bartolome Ramos de Pareja, español oriundo de la provincia Bética, de la ciudad de Baeza, de la diócesis de Jaén o sufragánea, [...] RAMOS [1482] 1990, p. 128. Para obtener un perfil biográfico amplio de Ramos de Pareja véase el Capítulo I “Pareja y su ambiente” en RAMOS DE PAREJA, Bartolomé: *Música Práctica*. Gaetano Chiappini, (trad.); y Clemente Terni, (int. y notas). Madrid, Joyas Bibliográficas, 1983, pp. 19-28. También consúltese el artículo redactado por Jesús Martín Galán en el *Diccionario de la Música Española e Hispanoamericana*. Vol. 9. Madrid, SGAE, 2002, pp. 40-42.

<sup>79</sup> DE MATA CARRIAZO, Juan, (ed.): *Colección de crónicas españolas III. Hechos del Condestable Don Miguel Lucas de Iranzo. Crónica del siglo XV*. Madrid, Espasa-Calpe, 1940.

<sup>80</sup> Aunque no se tiene noticia de la formación de Ramos de Pareja, ni en qué momento tuvo contacto con Johannes de Monte, Clemente Terni, en sus notas a la edición centenaria, informa que de Monte fue respetado como músico, más práctico que teórico, y se sabe que sirvió como cantor en la capilla pontificia del papa Nicolás V, entre 1447 y 1457.

otras ciudades italianas hasta que, finalmente, pudo asentarse en Bolonia, hacia el año de 1473.<sup>81</sup> Hay suficientes documentos que atestiguan su importancia y huella en dicha ciudad y se sabe de su autoridad, su vivacidad, sus ironías y su disposición beligerante, propicia al debate y la polémica. Así, su posición antitradicionalista fue siempre provocadora y en su tratado se recoge el ambiente intelectual en el que la teoría y la *auctoritas* precedía a toda práctica. Sin embargo, fue justo lo contrario lo que predicaría, y de allí sus enconadas disputas: la teoría sería para él consecuencia de la práctica y por ello debe ser sencilla y fácil de comunicar a todos.<sup>82</sup>

Hacia 1484, abandonó Bolonia y, sin que se conozcan con certeza los motivos para dejar dicha ciudad, se dirigió a Roma. De su estancia en Roma se sabe muy poco y hay que conformarse con las cartas que su discípulo Giovanni Spataro, enviara a su colega Pietro Aron, en la que cuenta que, allá en Bolonia, a pesar que ganara reputación, le fue prohibido –“per certe cause”– la lectura pública de su tratado; finalmente, en Roma,

---

<sup>81</sup> Recuérdese que en Bolonia se instaló, en 1639, por testamento Don Gil de Albornoz, Arzobispo de Toledo y Cardenal Primado de España, un Colegio de estudiantes (*scholarum*), con la aprobación del papa Urbano V. Nombrado Colegio Real de España en 1530, por Carlos I de España y V de Alemania es el único de los colegios universitarios medievales que subsiste en la Europa continental, tal como indica el sitio oficial de dicha institución (<http://www.bolonios.it/elcolegio.htm>). Considerado como la más antigua institución española era punto de albergue y encuentro de numerosos estudiosos españoles.

<sup>82</sup> El propio Ramos de Pareja se encarga, a lo largo de su tratado, de citar los personajes con quien sostuviera diversas polémicas en vida: Tristan de Silva, poeta y músico español que fue maestro de capilla de la corte del rey portugués Don Alfonso V; Pedro de Osma (\*?; †Alba de Tormes, 1480. Teólogo y filósofo en Salamanca); John Hothby (\*?, 1410; †?, c. 1487. Músico carmelita inglés en Salamanca); Johannes Tinctoris (\*Braine-l'Alleud, c.1435; †Nivelles, 1511. Célebre teórico y compositor francoflamenco, en Nápoles, hacia 1470); Nicolaus Burtius (\*Parma, c. 1453; †*Ibid.*, 1528. Teórico, músico y cronista activo en Bolonia hacia 1480); Franchino Gaffurio (\*Lodi, 1451; †Milán, 1522. Teórico, compositor y maestro de coro, uno de los primeros músicos en poseer un número sustancial de obras publicadas). Tanto Burtius como Gaffurio lo acusan de *illiteratus*, de antitradicionalista y, en suma, de “moderno”.

escribe Spataro que su maestro no pudo culminarlo debido al “suo modo di vivere lascivo”, el cual fuera la causa de su muerte.<sup>83</sup>

La obra completa de Ramos de Pareja comprendía tres libros y para 1472, ya debía haber sido culminada bajo el título *Musica*. Las cartas del discípulo Spataro permiten deducirlo y el propio autor menciona, en su *prologus*, que la obra seguiría el siguiente esquema:

In primo libro subtilem practicam ponemus, in secundo theoreticam accurate discutiemus, in tertio musicam semimathematicam, semiphysicam congrua ratione probabimus.<sup>84</sup>

Se tiene noticia que pudo haber leído parte de su obra hacia 1465 en Salamanca –o una versión manuscrita en castellano titulada *Introductorium seu Isagogicon*– y que ya desde 1472 corría por Bolonia. Sin embargo, actualmente sólo se dispone del primer libro que fuera impreso bajo el título *Musica Practica*. Existen dos ejemplares, auténticos incunables, que reposan en el *Museo Internazionale e Biblioteca della Musica de Bologna* (A.80 y A.81).<sup>85</sup> Como ya fue citado en la Nota 77, Pág.49, el musicólogo J. Wolf realizó una transcripción moderna basada en estos dos ejemplares y

---

<sup>83</sup> Véase la edición de dichas cartas en BLACKBURN, Bonnie; LOWINSKY, Edward y MILLER, Clement, (eds.): *A Correspondence of Renaissance Musicians*. Oxford, Oxford University Press, 1991, p. 463. Giovanni Spataro (\*Bolonia, 1458?; †*Ibid.*, 1541) Teórico musical, compositor y maestro de canto. Alumno de Ramos de Pareja, fue muy activo en la polémica de su maestro contra Burtius y Gaffurio, publicando *Honesta defensio in N.Burti Parmensis opusculum*. (Bolonia, 1491) y *Errori di Franchino Gaffurio* (Bolonia, 1521). Pietro Aron (\*Florenca, 1490; †Venecia, 1545) fue compositor, teórico musical y colega de Spataro, cuya posición a favor de Ramos y la música práctica lo llevó, también, a polemizar con Gaffurio.

<sup>84</sup> “En el primer libro expondremos minuciosamente la práctica; en el segundo discutiremos adecuadamente la teoría; en el tercero haremos exposición razonada de la música semimatemática y semifísica.” RAMOS [1482] 1990, p.17.

<sup>85</sup> Tratado A.80: <http://badigit.comune.bologna.it/cmbm/scripts/gaspari/scheda.asp?id=2136>. Esta edición contiene hojas integradas y cuarenta y cuatro apostillas autógrafas realizadas por Franchino Gaffurio. Tratado A.81: <http://badigit.comune.bologna.it/cmbm/scripts/gaspari/scheda.asp?id=2137>. Este segundo tratado también presenta anotaciones marginales pero son escasas y consideradas de poca importancia.

redibujó las ilustraciones originales. No existe un frontispicio del *Musica Practica* como tal (tan sólo una página con el manuscrito que dice BARTHOLOMÆI RAMI DE PAREIA hisp. DE MUSICA TRACTATUS.), no obstante, se presenta a continuación la página del *Prologus* según el ejemplar A-80 que reposa en el *Museo Internazionale e Biblioteca della Musica de Bologna*.

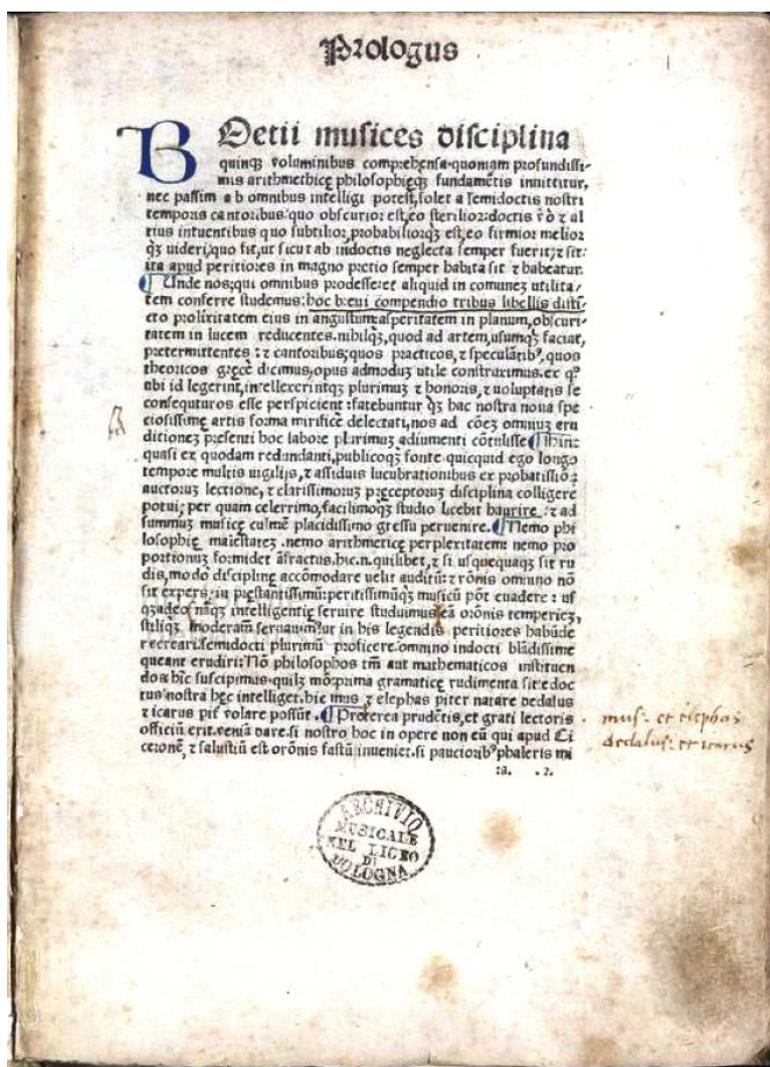


Fig. 2. Primera página del *Prologus* del *Musica Practica* de Ramos de Pareja. Ejemplar A-80 del *Museo Internazionale e Biblioteca della Musica de Bologna*.

Mientras que la historiografía musicológica ha hecho de Ramos de Pareja un punto de inflexión en el desarrollo de la música occidental, la historia de la ciencia le ha dedicado mínima atención. Ambas reconocen en su obra la primera exposición sistemática de la

llamada “afinación justa”, es decir un sistema de notas que expandió el sistema pitagórico al incorporar las proporciones 5:4, 6:5, 5:3 y 8:5 para los intervalos de terceras y sextas, ambas mayores y menores, respectivamente. La musicología considera estas expansiones de comienzos del siglo XV como la frontera final del pitagorismo y por ende de un supuesto monocordio auténtico. La autenticidad sería entendida, en este caso, como una propiedad ligada a la capacidad para deducir todo el sistema musical basándose en tradiciones pitagóricas antiguas y medievales junto a la utilización del marco teórico-práctico –hexacordos y sílabas– que creara Guido d’Arezzo.<sup>86</sup>

<sup>86</sup> Guido d’Arezzo (\*Arezzo, 991?; †Avellano, 1033) fue el teórico musical más importante de la Edad Media siendo su tratado *Micrologus* (1026), el que obtuvo mayor difusión e influencia hasta entrado el siglo XV. Su teoría musical y su división del monocordio es similar a la de Boecio y sus aportes prácticos y didácticos han trascendido en la historia de la música. Una mirada general al complejo sistema hexacordal, puede hacerse de manera introductoria en GROUT, Douglas y PALISCA, Claude: *Historia de la música occidental*, Madrid, Alianza, 2005, pp.89-93. Como es conocido por los musicólogos, este sistema puede resumirse como un mecanismo de estructuración del antiguo sistema perfecto griego, en forma de secuencias de seis notas ascendentes cuyos intervalos son del tipo T-T-S-T-T (siendo T, tono y S, semitono). Para efectos de la enseñanza y aprendizaje de estas notas particulares y del canto en general, Guido sustituyó las letras que los griegos habían asignado a sus veinte notas, por siete secuencias de seis notas ascendentes –hexacordo– que se cantaban siempre *ut-re-mi-fa-sol-la*. Estas sílabas derivaban de las primeras sílabas del primer verso del *Himno a San Juan Bautista*, utilizado por la Iglesia desde el siglo VIII. Guido utilizó dicho himno como recurso mnemotécnico aplicado a una monodia cuyas notas y sílabas se elevaban conforme la escala natural, de la siguiente manera:

Hymn.  
2.  
**U**  
T qué-ant laxis re-soná-re ffbriis Mí- ra gestó-  
rum fámu-li tu-ó-rum, Sól-ve pollú-ti lábi-i re-á-tum,  
Sáncte Jo-ánnes. 2. Núnti- us célso véni- ens Olýmpo,

*Ut queant laxis* [Para que puedan libremente]  
*Resonare fibris* [cantar con voz resonante]  
*Mira gestorum* [tus maravillosos actos]  
*Famuli tuorum* [estos tus siervos,]  
*Solve polluti* [elimina las manchas]  
*Labii reatum* [de nuestros culpables labios,]  
*Sancte Joannes* [San Juan]  
[Trad. del autor.]

[Ilustración extraída del *Liber Usualis Missae et Offici*. Tournai, Desclee, 1961]

Una vez fijadas las sílabas, el patrón podía trasladarse e iniciarse sobre la nota *ut*, sobre la nota *fa* o sobre la nota *sol*, solapándose así unos hexacordos con otros.

El sistema guidoniano con su método de aprendizaje del canto –solmisación–, su sistema de seis notas en forma de hexacordos y sus variadas mnemotecnias, resultaba, para Ramos de Pareja, inoperante y su objetivo fue presentar una alternativa a partir de un monocordio, absolutamente práctico y con renovados recursos mnemotécnicos.

A pesar que la historia de la ciencia no haya encontrado en su monocordio material para reflexión, puede considerarse que, justamente, se inicia allí a mediados del siglo XV – con la llamada “afinación justa” y la sustitución de los esquemas hexacordales de Guido por la estructura fija de octava– un desarrollo intenso de las potencialidades de este dispositivo tanto en su capacidad de descripción como de cálculo y experimentación predictiva. Así, historiadores de la ciencia como el ya mencionado H. F. Cohen, presentan directamente el trabajo de Zarlino sin mencionar siquiera la obra pionera de Ramos de Pareja, mientras que otros, como Ann Moyer, lo ven como una simple expansión de las tradiciones medievales, cuyo único efecto fue crear un conflicto



[Ilustración extraída de GROUT, Donald y PALISCA, Claude: *Historia de la música occidental*. Madrid, Alianza Música, 2005, p. 91]

Como puede deducirse de la ilustración, a un mismo sonido podían convenir hasta tres nombres –como por ejemplo, el Do central, que podía ser *Sol-Fa-Ut*– desfasándose así el discurso del lenguaje con el discurso sonoro. En caso de que la melodía excediera el rango en alturas de algún hexacordio, se hacía necesario *mutar* –esta era la designación que se utilizaba– al otro hexacordio que incluyera la nota excedente y junto a ello de nuevo cambiaban los nombres de las notas. En resumen, una misma nota, podía iniciarse con una sílaba y un sonido, para más tarde, debido a las mutaciones, volver a entonarse pero con otra sílaba. Todo esto conllevaba un riguroso entrenamiento en la práctica de la llamada "solmisación" junto a variados inconvenientes y confusiones que Ramos de Pareja intentó resolver.

directo con Boecio y el pitagorismo musical. Para Moyer, su “falta de rigor”, sólo lo deja como un precedente histórico, disminuyendo sensiblemente su importancia histórica y cultural.<sup>87</sup>

Lo que sí debe tomarse por cierto es que al mermar, progresivamente, la hegemonía de la monodia y los modos medievales en favor de una práctica consensuada que incluía la incorporación de instrumentos, la polifonía y los nacientes acordes, las proporciones 5:4, 6:5 y 5:3, 8:5 se fueron consolidando, empujando a los teóricos a hallar una justificación razonada. Al buscarla, se toparon con problemas matemáticos que las tradiciones pitagóricas ya habían enunciado, como era el caso de la coma pitagórica y la imposibilidad de cerrar el círculo de octavas o quintas. Sin embargo, al sumar a ello la proliferación de nuevas notas alteradas se desbordó el marco de las seis notas de Guido y se estimuló a los matemáticos a ofrecer un razonamiento preciso de todas ellas, convirtiendo este panorama en el cuerpo de problemas científico-musicales del llamado Renacimiento musical. Ramos de Pareja lo habría enunciado claramente en su prólogo a manera de *status quaestionis*:

Habet igitur procul dubio maximam musica energiam et ingentem in humanos animos, [...] Quodsi hac nostra tempestate tot miracula per musicam minime fiant, non arti, quae supra naturam perfectissima est, sed arte male utentibus imputandum est.<sup>88</sup>

Este estado de la cuestión podía entenderse –según los cánones de la retórica clásica– como un *status qualitatis* o conflicto de adecuación a la norma en donde no se cuestionarían las leyes, hechos y verdades –los llamados “milagros” de la música– sino la adecuación a las normas de utilización y la incompetencia de los imputados y responsables de la causa. Así entonces, Ramos como juez y parte acusaría a sus contemporáneos de mala praxis, pero también a sus antecesores: “Boecio... es

---

<sup>87</sup> Véase MOYER, Ann: *Musica Scientia. Musical scholarship in the Italian Renaissance*. New York, Cornell University Press, 1992, pp. 51-63.

<sup>88</sup> “Sin duda alguna tiene la música una enorme energía y gran influencia sobre los espíritus humanos [...] si en nuestros tiempos apenas se hacen tales milagros por obra de la música, ha de imputarse no al arte en sí, que tiene una perfección sobrenatural, sino a los que usan mal del arte.” RAMOS [1482] 1990, p. 17.

difícil”, “Boecio es oscuro y estéril para los cantores”, “Guido... a quien tú sigues... es trabajoso y tedioso”, “Guido, mejor monje que músico” y muchas más y a diversos filósofos; estando dichas acusaciones –y otras pocas alabanzas– cargadas de todo tipo de figuras retóricas.<sup>89</sup>

En este contexto retórico, el tratado *Musica Practica* era –en palabras del propio Ramos de Pareja– un compendio en el cual se había llevado,

[...] hoc brevi compendio tribus libellis distincto prolixitatem eius in angustum, asperitatem in planum, obscuritatem in lucem.<sup>90</sup>

La importancia de la cita anterior, además de dar pistas en torno a su personalidad autoinflamada y los debates académicos en los que se hallaba inmerso, radica en que existía una conciencia clara de la doble naturaleza de la ciencia musical, a saber, una teoría filosófico-matemática que podía resultar áspera y oscura, pero cuya necesaria experimentación práctica no debía dejarse de lado. A este respecto, Ramos de Pareja insistió en el carácter práctico y pedagógico que había impreso en su obra con miras a lograr la comprensión, tanto de “semidocti [como] indocti”.<sup>91</sup> Cuando se lee en su

---

<sup>89</sup> Esta serie de imputaciones están diseminadas a todo lo largo del Tratado RAMOS [1482] 1990: Boecio –“obscurior est eo sterilior”, p. 15; Boecio –“laboriosum intellectuque difficile.”– , p. 20. Guido –“laboriosum et taediosum”–, p. 123; Guido –“monachus fortasse melior quam musicus”–, p. 28. El *prologus* y, en general, el tratado *Musica Practica* es un ejemplo del uso de la retórica en una temprana obra impresa, dirigida a un lector individual. Ramos construyó su *prologus* como un *exordio* que busca la benevolencia de los oyentes. Estaba compuesto según los esquemas clásicos que expuso Quintiliano y recogió claramente el coterráneo y contemporáneo de Ramos, Antonio de Nebrija (\*Lebrija, 1441; †Alcalá de Henares, 1522), humanista español que redactó la primera *gramática* de 1492, un diccionario de latín-español de 1494 y la retórica de 1513. El *prologus* muestra claramente la seguidilla que incluía: *contradicción*, *comparación*, *proverbio*, *digresión*, *figuras del pasado bíblico*, *conjetura difamatoria*, *repudio* y *exordio final*, la cual puede el lector, fácilmente, detectar. Respecto a la relación Ramos-Nebrija se volverá a ello en las conclusiones particulares de esta Primera Parte.

<sup>90</sup> “[...] su prolijidad a quintaesencia, su aspereza a camino llano, su oscuridad a luz, y sin dejar de lado nada que se refiera a este arte y a su práctica.” RAMOS [1482] 1990, p.15.

<sup>91</sup> “[...] semidoctos [como] carentes de instrucción [...]”. RAMOS [1482] 1990, p.15.

retórico *prologus* que él no se ha propuesto instruir sólo a filósofos o matemáticos sino a cualquiera que sepa los rudimentos de aritmética y que “[...] hic mus et elephas pariter natere, Daedalus et Icarus pariter volare possunt”<sup>92</sup>, lo que hacía era mostrar el panorama del público de la ciencia musical del siglo XV, el cual, como se ve, era tan amplio como animales pueda haber entre los ya mencionados; pero que a su vez, con la metáfora Ícaro-Dédalo diferenciaba claramente al músico *práctico-usuario-imprudente* (Ícaro) del músico *teórico-inventor-conservador* (Dédalo).

Este quehacer, que iba de la práctica hacia la teoría, es fundamental para comprender la filosofía musical de Ramos de Pareja, pues al hacer del monocordio el mecanismo para educar la voz humana, se refrendaba la actitud práctica experimental como condición primera para otorgar certeza a toda teoría musical.

## **1.2 Dimensiones y materialidad del monocordio**

Ramos de Pareja presentó su monocordio, en el Capítulo 2 del Tratado Primero de la Primera Parte del *Musica Practica*, de una manera muy escueta y sin aportar datos precisos sobre su materialidad y sus dimensiones. Hizo la salvedad que Boecio ya lo había descrito detalladamente y que por eso no se explayaría en él. Tanto la ilustración original –realizada manualmente *a posteriori* de la impresión– como el redibujo de Wolf de 1901 ofrecen escasos datos en torno a morfología y materialidad:

---

<sup>92</sup> “[...] aquí pueden nadar a un tiempo el ratón y el elefante, volar juntos Dédalo e Ícaro.” RAMOS [1482] 1990, p.16.

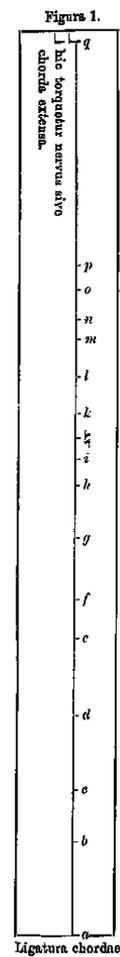
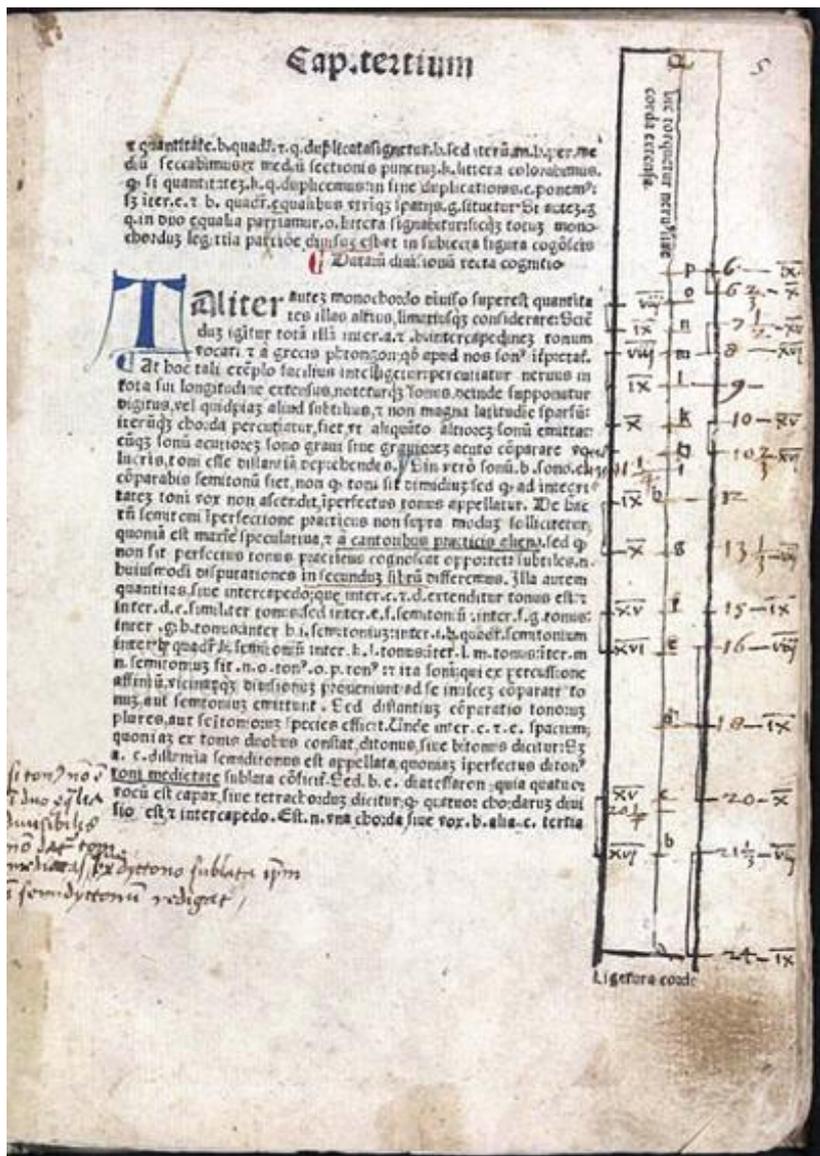


Fig. 3. A la izquierda, página del Tratado A.80 donde se observa el monocordio según Ramos de Pareja, junto a las anotaciones marginales de F. Gaffurio. A la derecha el redibujo extraído de WOLF, Johannes: *Musica practica Bartolomei Rami de Pareia, Bononiae impressa, Leipzig, Breitkopf & Härtel, 1901, p. 5.*

Como se observa a partir de esta sencilla representación gráfica, no es posible deducir profundidad alguna o grosores, y tampoco se muestra al monocordio como una caja sonora. Se observan las marcas ya colocadas según una línea recta —a manera de cuerda— pero *no hay referencia a puentes o caballetes que levanten o dividan dicha cuerda*. Ramos de Pareja tan sólo pedía:

Sumatur itaque cuiusvis longitudinis nervus sive chorda, quae super lignum aliquid habens concavitatis extendatur; [...].<sup>93</sup>

No obstante estos mínimos datos, es posible rastrear a lo largo del tratado, párrafos que permiten construir una imagen más precisa de este “aparato”. A ese respecto, Ramos de Pareja haría referencia a la presión del dedo en la cuerda contra la superficie como mecanismo para acortarla y por ello no es difícil inferir que la mencionada concavidad de la tabla es la que separa la cuerda de la madera y le permite vibrar. Esta concavidad deja dos posibilidades:

*Concavidad natural.* La madera presenta, normalmente, defectos y alabeos en su superficie que producen concavidades en el sentido longitudinal de la fibra; éstos podrían aprovecharse para la colocación de la cuerda, siempre y cuando uno de sus lados pueda mantenerse plano.

*Concavidad excavada.* La concavidad puede crearse excavando a lo largo del trozo de madera para que al colocar la cuerda ésta vibre libremente. Esta segunda opción es de todo lo más probable y se corresponde con las técnicas básicas para crear concavidades en las tablas de la mayoría de instrumentos de cuerda de la época.<sup>94</sup>

Consecuencia de esta morfología que no incluye caja de resonancia, sería la producción de un sonido seco, de poca potencia y reverberación, pues dicha concavidad no busca ningún efecto acústico resonador.

---

<sup>93</sup> “Tómese, pues, un nervio o cuerda de la longitud que se quiera; extiéndase sobre un trozo de madera que tenga una concavidad [...].” RAMOS [1482] 1990, p.21.

<sup>94</sup> Algunos aspectos referentes a la construcción de instrumentos de cuerda antiguos han sido consultados con Ramon Elias Gavernet, *Luthier* (graduado como Técnico y Especialista en *Liutaio*, 2003, por el I.P.I.A.L.L. Istituto Professionale Internazionale per l'Artigianato Liutario e del Legno "Antonio Stradivari" en Cremona, Italia).

A continuación, se indicaba que se atara el nervio en un extremo –*a*– y en otro punto: “locus e regione procul positus, quo nervus trahitur et torquetur, puncto *q* signetur.”<sup>95</sup> La imagen permite inferir un clavo en forma de “L” que, al girarse, aplicaría la tensión longitudinal necesaria. Aunque de la ilustración no pueda deducirse el método de anclaje –tan sólo dice *ligatura chordae*– se observa que la cuerda discurre a todo lo largo de la tabla y pareciera fijarse, al borde o canto de la tabla, mediante una grapa (alcayata o escarpia) o, tal vez, un clavo pequeño y según las técnicas propias de la época.

Aunque Ramos de Pareja dejara al libre arbitrio las dimensiones del monocordio, ya muy avanzado en su tratado ofrecía un dato dimensional:

Est enim chorda in tota sui longitudine exempli gratia quatuor cum viginti digitorum, quae *q a* punctis terminatur.<sup>96</sup>

Tomando como medida equivalente para esta unidad un rango entre 17 mm y 24 mm (entre las diversas aproximaciones históricas que se han hecho)<sup>97</sup>, se tendría un monocordio de longitud entre 40 cm y 57 cm.

---

<sup>95</sup> “lugar distante, donde se sujeta el nervio retorciéndolo, señálese con el punto *q*.” RAMOS [1482] 1990, p.21. La ilustración en la edición al castellano traducida por Moralejo no muestra el mencionado punto *q*, en un claro gazapo editorial.

<sup>96</sup> “Es, pues, una cuerda que tiene como longitud total, valga como ejemplo, veinticuatro dedos, limitada por los puntos *q* y *a*.” RAMOS [1482] 1990, p. 121.

<sup>97</sup> El *digitus* romano se estima, actualmente, en unos 18,5 mm; el *dito veneziano* en unos 21,73 mm; el *dedo*, en el antiguo reino de Castilla hacia 1496, se estima en unos 17,4 mm. En Bolonia, hacia el siglo XV, se utilizaba el *piede bolognese* –medida agraria– que se estima en 38,0098 cm, y para unidades más pequeñas se utilizaba la *uncia* que constituía la división del *piede* en 12 partes. Si se sabe que el *digitus* romano era la 1/16va parte del pie, se tendría un supuesto *dito bolognese* de 23,7 mm, aunque esta medida pareciera no haberse utilizado en dicha época. Véase MARTINI, Angelo: *Manuale di metrologia, ossia, Misure, pesi e monete in uso attualmente e anticamente presso tutti i popoli*. Roma, E.R.A., 1976. Puede leerse o descargarse, en formato jpg, en el enlace de la Biblioteca Nazionale Braidense <http://www.braidense.it/dire/martini/modweb/>.

Con estos datos y apegado a las sencillas instrucciones de Ramos de Pareja, se ha realizado una reconstrucción material con una longitud de cuerda – $q$  a– de 45,0 cm. El monocordio está hecho en madera de abeto, cuerda de tripa, fijada a una grapa y un clavo de hierro. Sobre su superficie se ha colocado una lámina adhesiva con la impresión de las marcas correspondientes a las proporciones expuestas por Ramos de Pareja. En el punto  $a$  se ha colocado una pequeña cejilla para garantizar la separación de la cuerda a la tabla. El monocordio presentaría el siguiente aspecto:



**Fig. 4. Reconstrucción material del monocordio según Ramos de Pareja.**

La simpleza y primitivismo del aparato –comparado con el volumen y complejidad de los tratados a él dedicados hasta mediados del siglo XV– se hace evidente. Al tensar la cuerda en un  $Do^3$  –261,62 Hz y nota musical común a tenores, bajos y niños cantores– y ejecutarse sin contacto con otras superficies, su sonoridad es baja y difícil de percibir a distancias mayores de un metro. Al tensar la cuerda hasta un  $La^3$  –440 Hz– se alcanza mayor sonoridad, pero se dificulta la percepción de los diversos acortamientos que se harían a continuación en la cuerda. Al ejecutarlo sobre una mesa cuya superficie permita

la resonancia, el monocordio aumenta sensiblemente su volumen sonoro y podría escucharse claramente a una distancia no mayor de unos tres metros.

### 1.3 Método de utilización del monocordio

En el Capítulo Tercero del Tratado Primero de la Primera Parte del *Musica Practica*, Ramos de Pareja ofreció un método para la ejecución del monocordio que consistía en pulsar la cuerda colocando el dedo, o algún objeto más ligero y no muy ancho. La sugerencia de un elemento de poca anchura –un plectro o un pequeño listón de madera– demostraba la conciencia sobre las mínimas desviaciones que en un instrumento de esa dimensión podían provenir de cualquier mínimo movimiento de los dedos. Pero es en el Capítulo Séptimo, dedicado a la voz humana, donde se encontraba una descripción más detallada de la técnica de ejecución y utilización del monocordio:

Unde viso sub mediocri cognitione, quod arte factum est, instrumento volumus naturale per istud elevatione ordinata et depositione limatius erudire. Idcirco monemus, ut teneat discens a nobis factum ante se monochordum percutiensque chordam vocem emittat illi unisonam. Deinde digito superposito in secunda littera scilicet b comprimens chordam cum ligno percutiensque desuper chordam soni qualitatem notet; deinde ipse vocem emittat chordae sono unisonam et aequalem. Et sic seriatim per alias litteras ascendens usque ad mesen vocem emittat ac eodem modo remittat.<sup>98</sup>

Esta cita es una evidencia explícita de la utilización del instrumento, y puede notarse que, aunque el maestro podía perfectamente ejecutar el monocordio para sí, escuchar la nota y después transmitirla de viva voz a los cantantes, Ramos de Pareja habría

---

<sup>98</sup> “Así pues, tras haber explicado medianamente el instrumento construido por arteificio, queremos ahora hablar en detalle del natural, ordenando la elevación y deposición [de la voz] de acuerdo con el primero. Por ello aconsejamos que el estudiante tenga ante sí el monocordio que nosotros hemos hecho, y que pulsando la cuerda emita una voz unísona e igual a la de ella. Luego, poniendo el dedo en la segunda letra, es decir b, de manera que comprima la cuerda contra la madera y pulsando por encima la cuerda, note la cualidad del sonido: después emita una voz unísona e igual al sonido de la cuerda. Y ascendiendo así escalonadamente por las otras letras hasta la *mesen* vaya emitiendo voces, y de igual modo vuelva a descender.” RAMOS [1482] 1990, p. 35.

preferido una ejecución directa del alumno y cantores a manera de estudio personal supervisado. En otras palabras, la subdivisión de la cuerda no se presenta como un asunto eminentemente teórico sino como una *práctica experimental supervisada que observa en detalle la naturaleza del sonido*. A pesar que dicho monocordio ya estaba previamente “preparado” por el maestro, la técnica de subdivisión de la cuerda y la correspondiente colocación de las marcas, iba orientada a cualquiera e, incluso, “etiam mediocriter eruditus facile intelligere poterit.”<sup>99</sup>

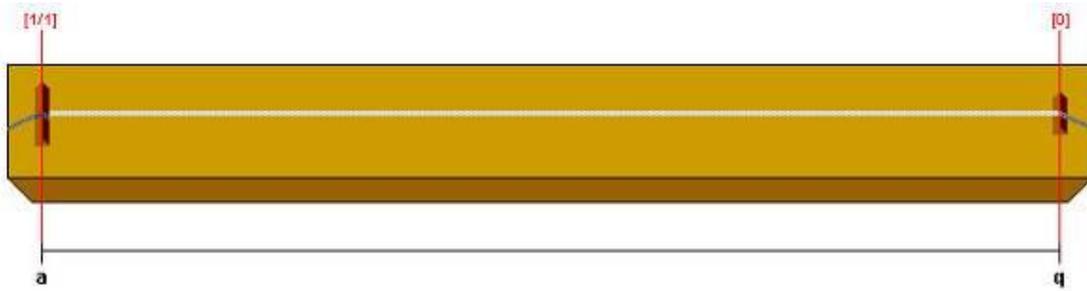
#### a) El monocordio elemental.

La subdivisión del monocordio según Ramos de Pareja se encuentra expuesta en un sólo y extenso párrafo del Capítulo Segundo del Tratado Primero de la Primera Parte del *Musica Practica*, titulado “División y composición del monocordio elemental”. Este párrafo puede interpretarse y representarse visualmente como una secuencia de pasos claramente separables, que puede ser verificada, visual y acústicamente, en el CD anexo o en el sitio web ya mencionado <http://www.calderon-online.com/tesis-doctoral/>. Allí se encuentra una aplicación multimedia que sigue en detalle el método de subdivisión de la cuerda y contribuye así al completo discernimiento sonoro de lo realizado, además que permite evidenciar la complejidad que encierra la hábil y persuasiva metodología de Ramos de Pareja. Esta secuencia será expuesta a partir de una serie de ilustraciones debidamente comentadas tal como sigue:<sup>100</sup>

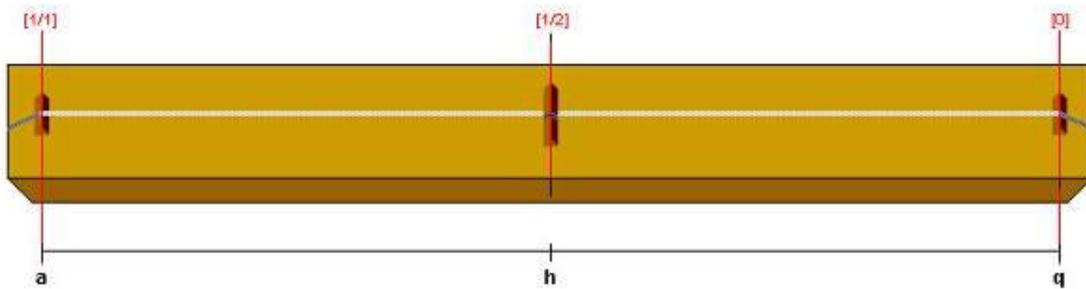
---

<sup>99</sup> “podrá entenderla, el menos que medianamente instruido.” RAMOS [1482] 1990, p. 21.

<sup>100</sup> Se colocará la traducción al castellano con cada ilustración y según los pasos en que se ha seccionado el extenso párrafo. El texto completo original en latín es el siguiente: “[Paso 1] [...] locus autem extremus, cui nervus alligatur, puncto *a* signetur. Alius locus e regione procul positus, quo nervus trahitur et torquetur, puncto *q* signetur. [Paso 2] Quantitas autem *q a*, idest totius chordae longitudo, in duas partes dividatur aequales et aequae distantiae punctus *h* littera notetur. [Paso 3] Dividemus iterum per medium quantitatem chordae *h a* et in medio divisionis *d* constituemus. [Paso 4] Quantitas *h d* iterato secabitur et in sectionis medio *f* collocabitur. [Paso 5] Idem quoque de alia chordae medietate faciendum intellige scilicet *h q*, quoniam in prima divisione loco medio *p* figurabitur; [Paso 6] et in divisione *h p* aequaliter *a b* utraque distans ponatur littera *l* [Paso 7] et inter *l* et *p* servata eadem intervallorum regula *n* immittatur.



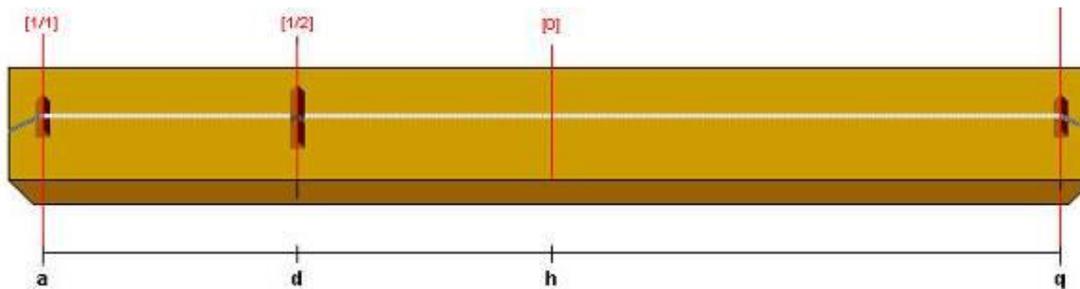
*Paso 1.* [...] su extremo, en donde se ata el nervio, señálese con el signo *a*. Otro punto en un lugar distante, donde se sujeta el nervio retorciéndolo, señálese el con signo *q*.



*Paso 2.* La extensión *q a*, es decir, la longitud total de la cuerda, divídase en dos partes iguales y en el punto medio nótese con la letra *h*.

---

[Paso 8] Quodsi *f n* per medium diviserimus, litteram *i* signabimus. Per hanc autem mediam divisionem ulterius *a d* partes minutiores, quousque alias divisiones fecerimus, non deveniemus. [Paso 9] Sed totum *a q* per tria dividemus et a littera *q* mensurantes in fine trientis ponetur *m* [Paso 10] et in besse *e*. [Paso 11] Deinde *e q* per tria iterum dividatur et a littera *q* versus *e* venientes in besse signum <sup>h</sup>quadrum configetur [Paso 12] et quantitate <sup>h</sup>quadri et *q* duplicata signetur *b*. [Paso 13] Sed iterum *m h* per medium secabimus et medium sectionis punctum *k* littera colorabimus. [Paso 14] Quodsi quantitatem *k q* duplicemus, in fine duplicationis *c* ponemus; [Paso 15] sed inter *e* et <sup>h</sup>quadrum aequalibus utrimque spatiis *g* situetur. [Paso 16] Si autem *g q* in duo aequalia partiamur, *o* littera signabitur sicque totum monochordum legitima partitione divisum est, ut in subiecta figura cognoscis”. RAMOS [1482] 1990, p.21.



*Paso 3.* Volveremos a dividir por su mitad el tramo de cuerda *h a* y en el punto medio de la división colocaremos la letra *d*.

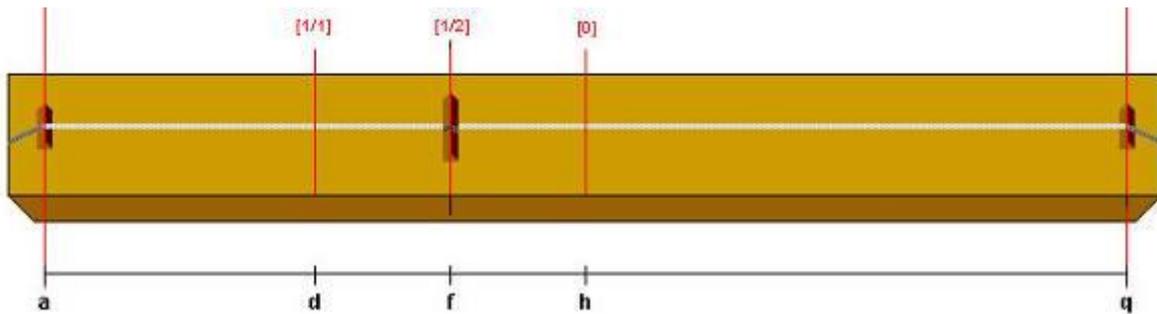
*Comentarios al Paso 1, 2 y 3.* Durante estos primeros pasos Ramos de Pareja ha concentrado todo su método en divisiones por mitades, lo cual sólo le permitía obtener proporciones del tipo 2:1, 4:1 y 4:3, es decir octavas en sucesión ascendente, cuartas y sus duplicaciones (cuarta más octava), así como también cuartas de cuartas. Con ese método Ramos obtuvo el siguiente orden, que seguía, estrictamente, la técnica de subdivisión de Boecio:

- *Paso 1.* Unísono de proporción *aequa* 1:1.
- *Paso 2.* Octava de proporción *dupla* 2:1.
- *Paso 3.* Cuarta de proporción *sesquitercia* 4:3.<sup>101</sup>

La división por mitades, como clara estrategia mnemotécnica, la impondría Ramos de Pareja sobre la lógica tradicional en la obtención de las consonancias; por ello, antes de hallar el fundamental intervalo de quinta –que requeriría una simple división en tercios– se obtendría, en una fase muy temprana, el novedoso intervalo de sexta menor de proporción 8:5, como sigue:

---

<sup>101</sup> Respecto a los términos utilizados para las proporciones armónicas y los intervalos musicales, véase el Apéndice 5.1 “Sobre la teoría de las *razones* o *proporciones* y su terminología”

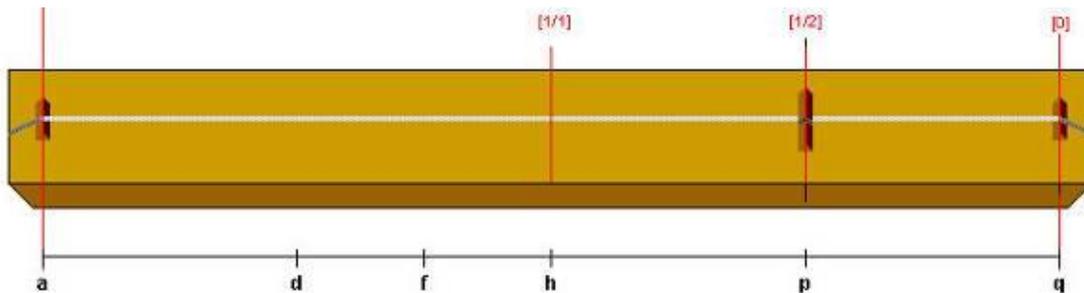


*Paso 4.* El tramo  $h d$  se dividirá a su vez y en su mitad se colocará  $f$ .

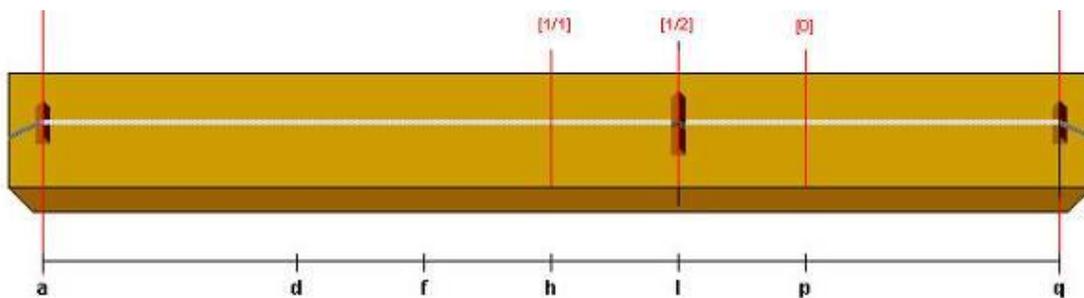
*Comentarios al Paso 4.* Ramos de Pareja ha preferido, por razones prácticas y mnemotécnicas, continuar privilegiando la división por mitades y obtener la sexta menor, un intervalo que perteneciera a la llamada “afinación justa” y que, como se ha dicho, “conspiraba” contra la hegemonía pitagórica. Sin embargo, es fácil deducir que al dividir el tramo  $h d$  a la mitad, el monocordio habría quedado, realmente, dividido en octavos, y que, al tomar la mitad de dicho tramo (en  $f$ ) se estarían tomando, directamente, los  $5/8$ , de la cuerda, es decir, la sexta menor.

Ramos de Pareja ha mostrado lo anterior, "astutamente", como una sucesión de divisiones a mitades, mas sin embargo el método ha consistido en realidad en una compleja sucesión que incluiría: primero, ubicar la cuarta de proporción 4:3 –letra  $d$ –, dividir el resto –tramo  $d q$ – en sextos y tomar la proporción 6:5 –letra  $f$ – de ese resto. Lo anterior equivaldría también a construir el intervalo de tercera menor de proporción 6:5, a partir de la cuarta  $d q$ , dado que  $4:3 \times 6:5 = 8:5$ , según la aritmética de proporciones.

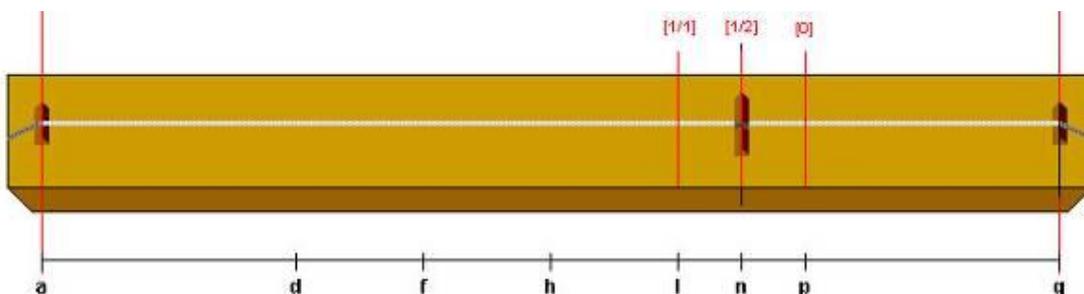
A pesar de las complejidades y novedades armónicas que conllevaba la aparición temprana del intervalo de sexta menor, nada de esto era explicitado. No cabe duda que el pragmatismo de Ramos de Pareja se orientaba hacia un fácil aprendizaje y que el instrumento estaba siendo usado como un recurso para la memorización. Esta sencilla técnica de división por mitades, se continuó explotando, hasta que pareciera no ofrecer ya más.



*Paso 5.* Ya se da uno cuenta que lo mismo hay que hacer con la otra mitad de la cuerda, es decir, el tramo  $h q$ , en cuya mitad se señalará  $p$ ; [...]



*Paso 6.* [...] y en el tramo  $h p$ , igualmente distante de cada extremo, póngase la letra  $l$ , [...]

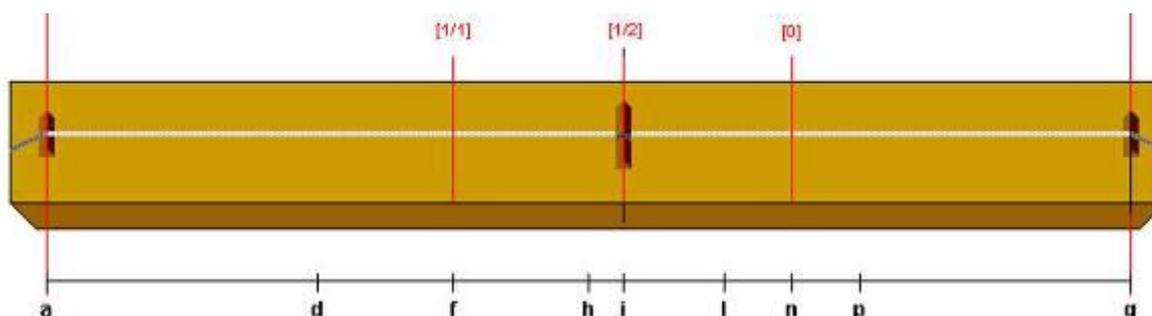


*Paso 7.* [...] y entre la  $l$  y la  $p$ , colóquese la  $n$ , conservando la misma regularidad de intervalos.

*Comentarios al Paso 5, 6 y 7.* Como se observa, se ha reproducido la misma secuencia de divisiones por mitades de la octava inferior, pero ahora, en la octava superior, para así haber obtenido:

- *Paso 5.* La doble octava ( $2:1 \times 2:1 = 4:1$ ), la letra  $p$ .
- *Paso 6.* La cuarta sobre la octava superior, ( $2:1 \times 4:3 = 8:3$ ), la letra  $l$ .
- *Paso 7.* La tercera menor sobre la cuarta de la octava superior, ( $8:3 \times 6:5 = 16:5$ ), la letra  $n$ .

Estos intervalos podían haber sido obtenidos por división simple en cuartos, octavos y dieciseisavos, pero Ramos de Pareja ha preferido hacer toda esta estrategia simétrico-visual con respecto al *Paso 4*, es decir, que todo el proceso realizado en la mitad izquierda del monocordio es realizado igualmente en la mitad derecha. Como resultado de esto ha obtenido un intervalo con la novedosa proporción 16:5, la tercera menor de la octava superior, llamado décima menor o, también, decena menor, según la tradición organística española.<sup>102</sup> A continuación, se produciría el primer semitono –letra *i*– al tomar el tramo *nf* y, de nuevo, ubicar en él su punto medio.

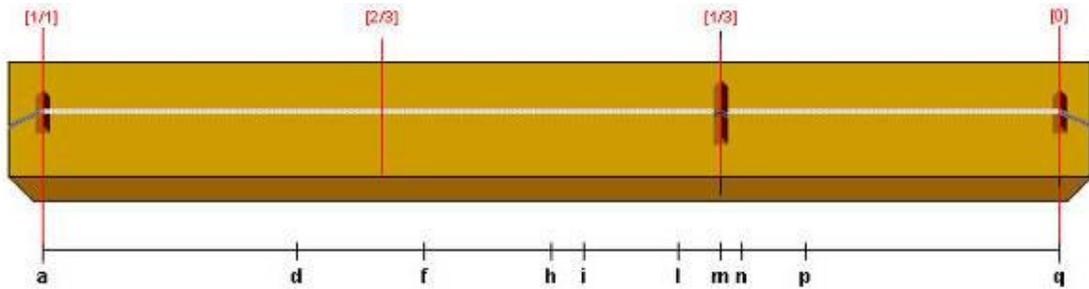


*Paso 8.* Y dividiendo por su mitad el tramo *fn*, la señalaremos con la letra *i*.

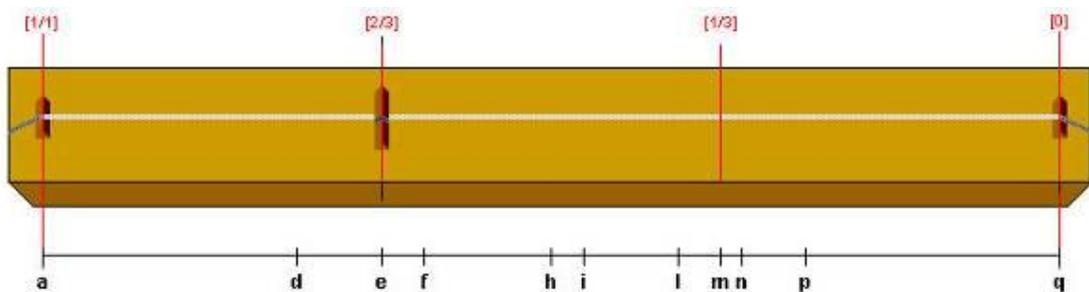
*Comentarios al Paso 8.* Al tomar la mitad del tramo *nf* en realidad lo que se ha hecho es construir una cuarta sobre la anterior sexta menor –letra *f*– ( $8:5 \times 4:3 = 32:15$ ). La proporción que se crea entre *h* (2:1) e *i* (32:15) es  $32:15 \div 2:1 = 32:30 = 16:15$ , el conocido “semitono mayor” de la llamada “afinación justa”. Por el momento la división

<sup>102</sup> La terminología de estos intervalos, tanto en castellano como en catalán, posee abundantes sinónimos. Así, a manera de ejemplo, la proporción triple 3:1 –denominada *diapasondiapente*, por poseer una octava más una quinta– podía ser denominada: *docena*, *dotzena*, *dosena*, *dozava*, *doce*, *decimosegunda*, *duodécima* y otros. Una relación de dichas nomenclaturas y sus sinónimos, puede verse en, SAURA BUI, Joaquín: *Diccionario técnico-histórico del órgano en España*. Barcelona, CSIC, 2001. Como se afirma en su prólogo, la terminología histórica propia del órgano en España es de una considerable riqueza, proveniente de “ámbitos de un rico y variado lenguaje en constante evolución y bajo todas las formas filológicas imaginables”, acorde al patrimonio organístico español, considerado “único en el mundo, en lo que se refiere a cantidad y a peculiaridad de los elementos conservados.” Véase “Prólogo” y “Prólogo del autor” en *Ibid.*, pp. 9-23.

por mitades parecería haber agotado sus posibilidades y Ramos de Pareja comenzó a dividir la totalidad  $a q$  en tercios:



*Paso 9.* Tras esta división no pasaremos a otras menores hasta hacer antes otras. Antes bien, dividiremos en tres la totalidad del tramo  $a q$ , y midiendo desde  $q$  un tercio, se pondrá la  $m$  [...]

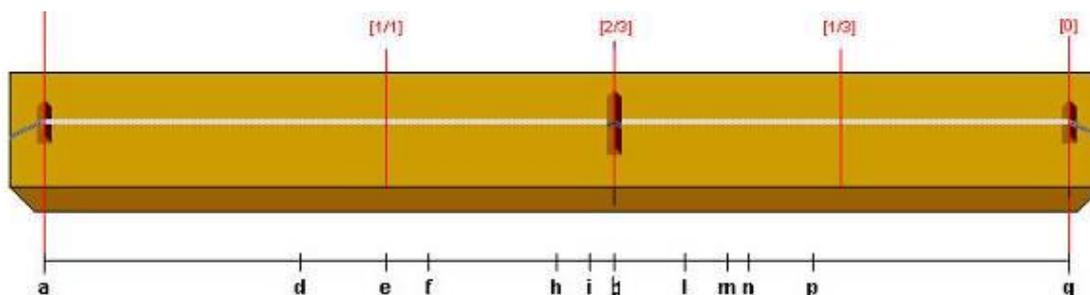


*Paso 10.* [...] y a los dos tercios la  $e$ .

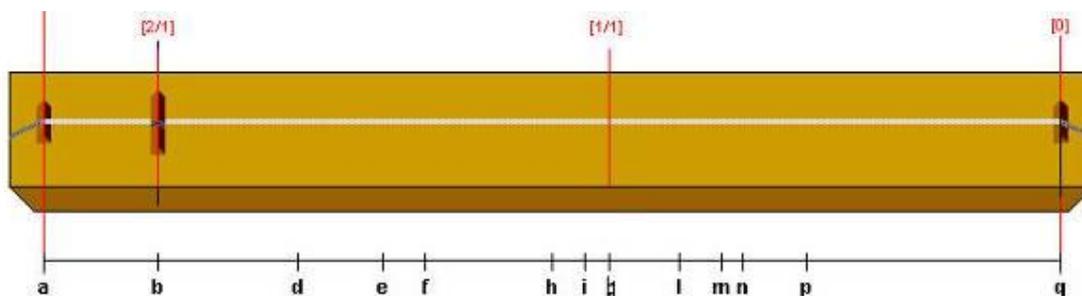
*Comentarios al paso 9 y 10.* Ya avanzado el proceso, se ha producido la quinta de proporción 3:2 –letra  $e$ – y su duplicación 3:1 –letra  $m$ –. De nuevo, se ha privilegiado una mnemotecnia visual, pues la tradición que imponía obtener en orden la octava, la quinta y después la cuarta ha cedido en aras de la facilidad práctica y pedagógica. Se ha producido también el primer intervalo de tono entre la letra  $l$  y  $m$  pues la proporción entre  $l$  (8:3) y  $m$  (3:1) es  $3:1 \div 8:3 = 9:8$ , es decir, el conocido “tono mayor” de la llamada “afinación justa”. Así, Ramos de Pareja ha obtenido indirectamente este tono mayor *como consecuencia de lo práctico de su método* y nunca como una división directa en novenos. Esto sería motivo de orgullo para él, pues el carácter práctico de su método quedaba fundamentado en fracciones “quia vulgares et non difficiles” a

diferencia de Guido, quien enseñaba de manera “trabajosa, tediosa y difícil”, al utilizar fracciones de novenos en vez de las simples mitades o tercios.<sup>103</sup>

Una vez hecha la subdivisión del *Paso 10*, Ramos de Pareja había obtenido, de nuevo, entre *e* y *f* el semitono mayor de la “afinación justa” ( $8:5 \div 3:2 = 16:15$ ) y entre *d* y *e* se repetía el tono mayor ( $3:2 \div 4:3 = 9:8$ ). El proceso continuaría usando una última subdivisión en tercios a partir de la reciente letra *e*, para después, una primera duplicación, de la siguiente manera:



*Paso 11.* Divídase después *e* y *q* en tres y contando desde la *q* hacia la *e* señálese a los dos tercios el signo ♮cuadro [...]

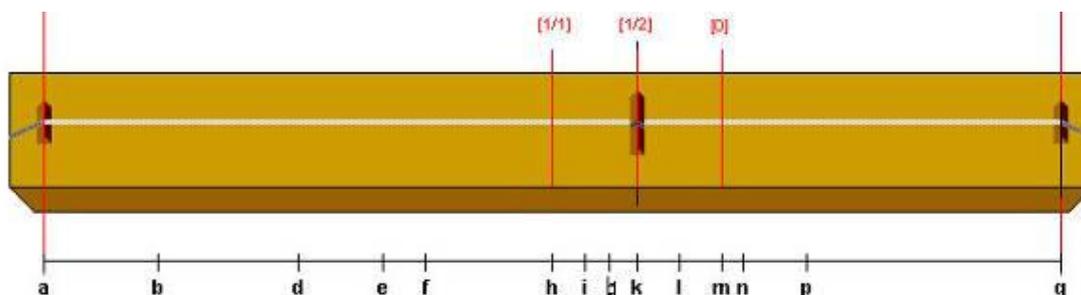


*Paso 12.* [...] y duplicando la distancia entre ♮cuadro y *q* señálese *b*.

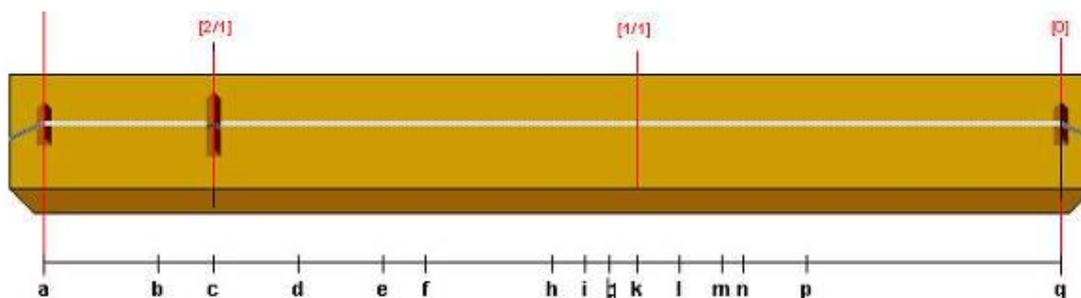
<sup>103</sup> La cita completa dice “Sic igitur omnes nostras, quia vulgares et non difficiles sunt fractiones, facillimas fecimus divisiones. Guido vero per novem passus monochordum docet dividere suum, quod laboriosum et taediosum esse intuentibus liquido patet hoc ideo, quia, ut diximus, tonus in sesquioctava consistit proportione. Difficilius enim est alicuius integri octavam quam medietatem aut tertiam sumere partem.” Lo cual traduce Moralejo así: “De este modo, pues, hemos hecho muy fáciles todas nuestras divisiones, porque las fracciones son de tipo corriente y no difíciles. Mas Guido enseña a dividir su monocordio por nueve pasos; que esto resulta trabajoso y tedioso les parecerá claro a los que bien miren porque, como ya dijimos, el tono reside en la proporción sesquioctava. Y es más difícil tomar de algún entero la octava parte que la mitad o la tercera.” RAMOS [1482] 1990, p.123.

*Comentarios al Paso 11 y 12.* En el *Paso 11*, se obtenía, finalmente, el tono mayor 9:8 – letra *h* *cuadro*– según la tradición pitagórica de dos quintas consecutivas ( $3:2 \times 3:2 = 9:4$ ) que después, duplicada, permitía obtener el tono mayor 9:8 entre *a* y *b*. Cuando se evalúa el tramo *i* - *h* *cuadro* se observa el semitono inusual  $9:4 \div 32:15 = 135:128$ . Ramos de Pareja lo consideró “malum” –a diferencia aquellos “bonum”–, y equivale a restar del tono mayor pitagórico el semitono mayor:  $9:8 \div 16:15 = 135:128$ .<sup>104</sup> Este semitono era “malo” pues, nunca se presentaba en consonancia ni con la quinta, la cuarta o la octava y, por lo tanto, ni cantores ni tañedores debían ejecutarlo.

Al agotarse la división por tercios Ramos de Pareja retomó la división por mitades y la duplicación para obtener lo siguiente:



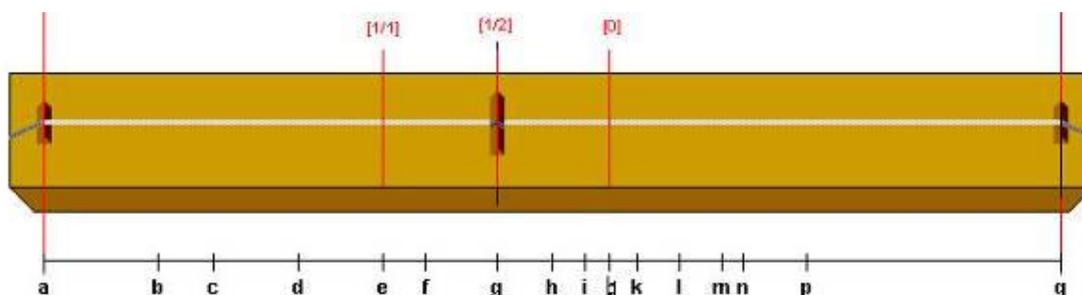
*Paso 13.* Pero también hemos de dividir por su mitad *m h* y distinguiremos el punto medio con la letra *k*.



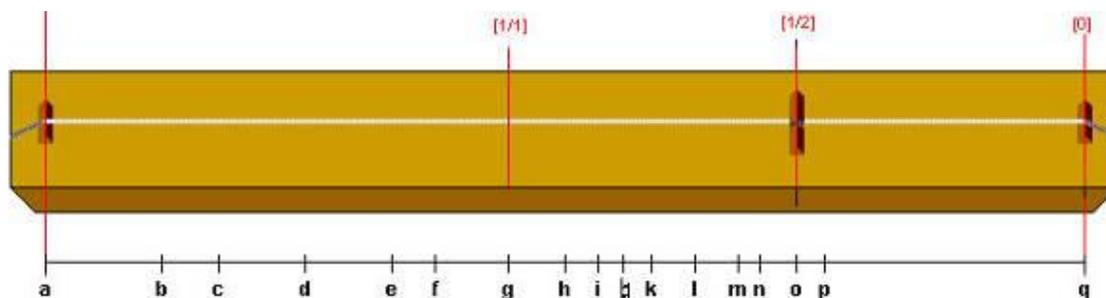
*Paso 14.* Y si duplicamos la distancia *k q*, pondremos, en el extremo de la duplicación la letra *c*; [...]

<sup>104</sup> La enumeración de semitonos “malos” y “buenos” la realizó Ramos de Pareja una vez construyera el resto de notas llamadas “conjuntas”. Ahí puede leerse el uso de los adjetivos “bonum” y “malum” para referirse a cada uno de estos pasos melódicos. Véase, *infra*, el Apartado: “El monocordio detallado.”

*Comentarios al Paso 13 y 14.* El punto *h* era la mitad del monocordio y al dividir el tramo *h m* a la mitad, para obtener la letra *k*, se obtenía la tercera menor sobre la octava ( $6:5 \times 2:1 = 12:5$ ). De nuevo, se ha utilizado la división por mitades, aunque en realidad lo que se habría hecho es tomar los cinco doceavos de la totalidad. Después, al duplicar esta proporción, se producía el intervalo de tercera menor de proporción 6:5 –letra *c*–. Cabe señalar que al producir este intervalo, también se ha construido el primer “tono menor” de proporción 10:9, pues la distancia entre la letra *c* y *d* es  $4:3 \div 6:5 = 20:18 = 10:9$ . El procedimiento de división por mitades continuaría de la siguiente manera:



*Paso 15.* [...] sitúese entre *e* y *h* cuadro, a distancias iguales, la letra *g*.



*Paso 16.* Dividiendo *g q* en dos partes iguales, señálese la mitad con *o*, y así queda todo el Monocordio dividido correctamente.

*Comentarios al Paso 15 y 16.* La letra *e* dividía al monocordio en novenos y al tomar la letra *g* se produjo el intervalo, poco usual, de proporción 9:5, que desempeñaba el papel de séptima menor. Este intervalo equivaldría a la suma de una sexta mayor pitagórica de proporción 27:16 más el semitono mayor de proporción 16:15, pues, como puede verse,  $27:16 \times 16:15 = 432:240 = 9:5$ . Después, al dividir el tramo *g q*, se produjo la octava de este intervalo, es decir la proporción 18:5.

El resultado final sería el siguiente:

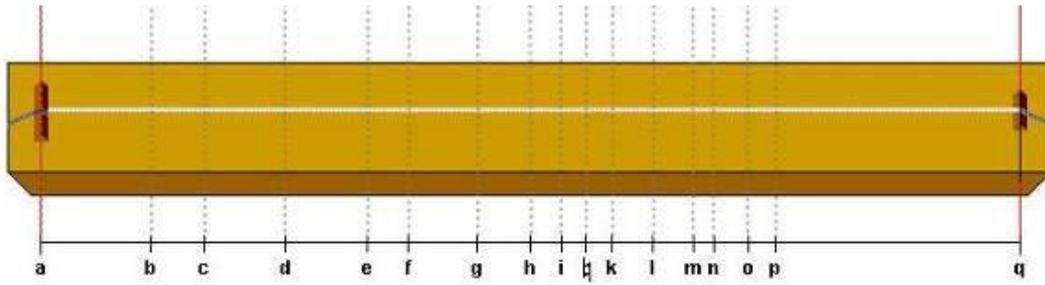


Fig. 5. División completa del monocordio según la metodología de Ramos de Pareja.

Culminada la descripción detallada de la subdivisión, nótese que no ha habido mención alguna a las novedosas fracciones características de la llamada “afinación justa” sino tan sólo a divisiones por mitades, tercios y duplicaciones. El proceso ha producido el siguiente perfil:

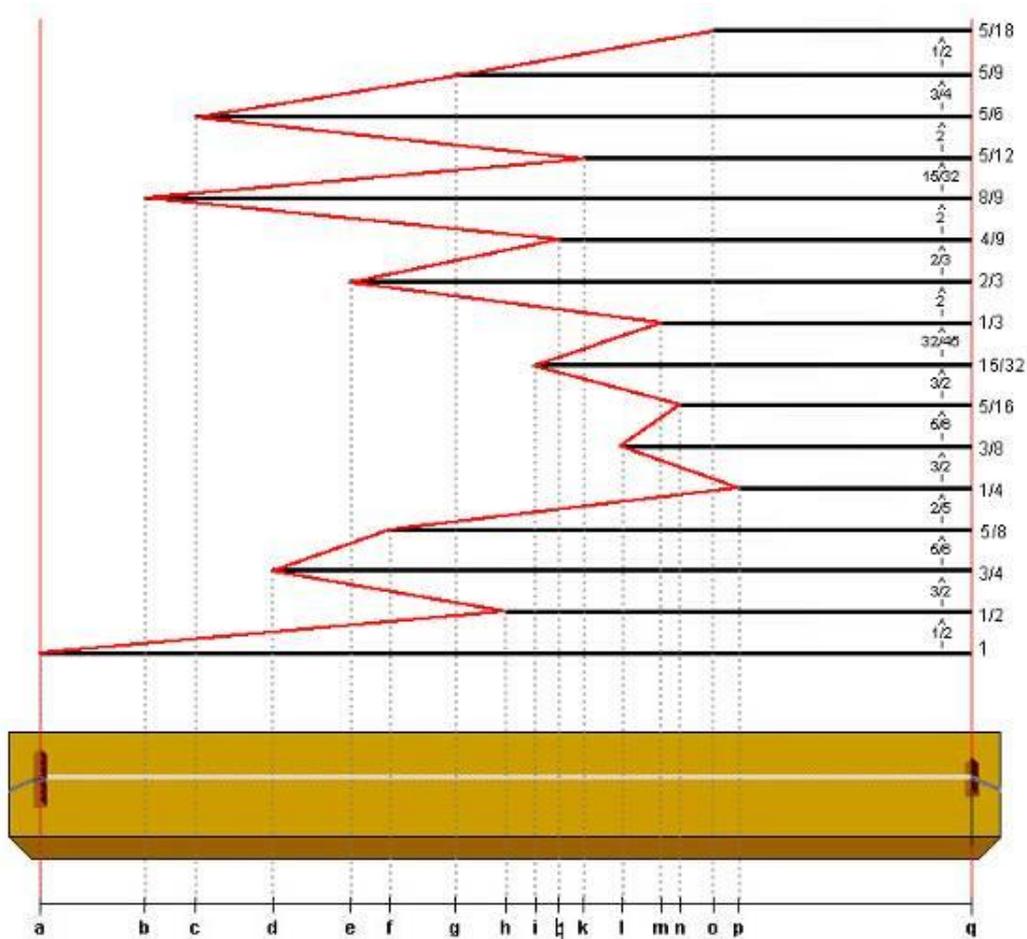


Fig. 6. Silueta del proceso de obtención de los intervalos en el monocordio según Ramos de Pareja. Se han colocado las proporciones –en forma de fracciones– entre la cuerda y la totalidad (concebida como unidad) y entre cada par de cuerdas adyacentes.

Es un perfil sin regularidades deducibles, salvo zonas de alternancia entre sonido grave y agudo. Al ordenar de mayor a menor e indicar las proporciones de los semitonos producidos se presenta el siguiente esquema:

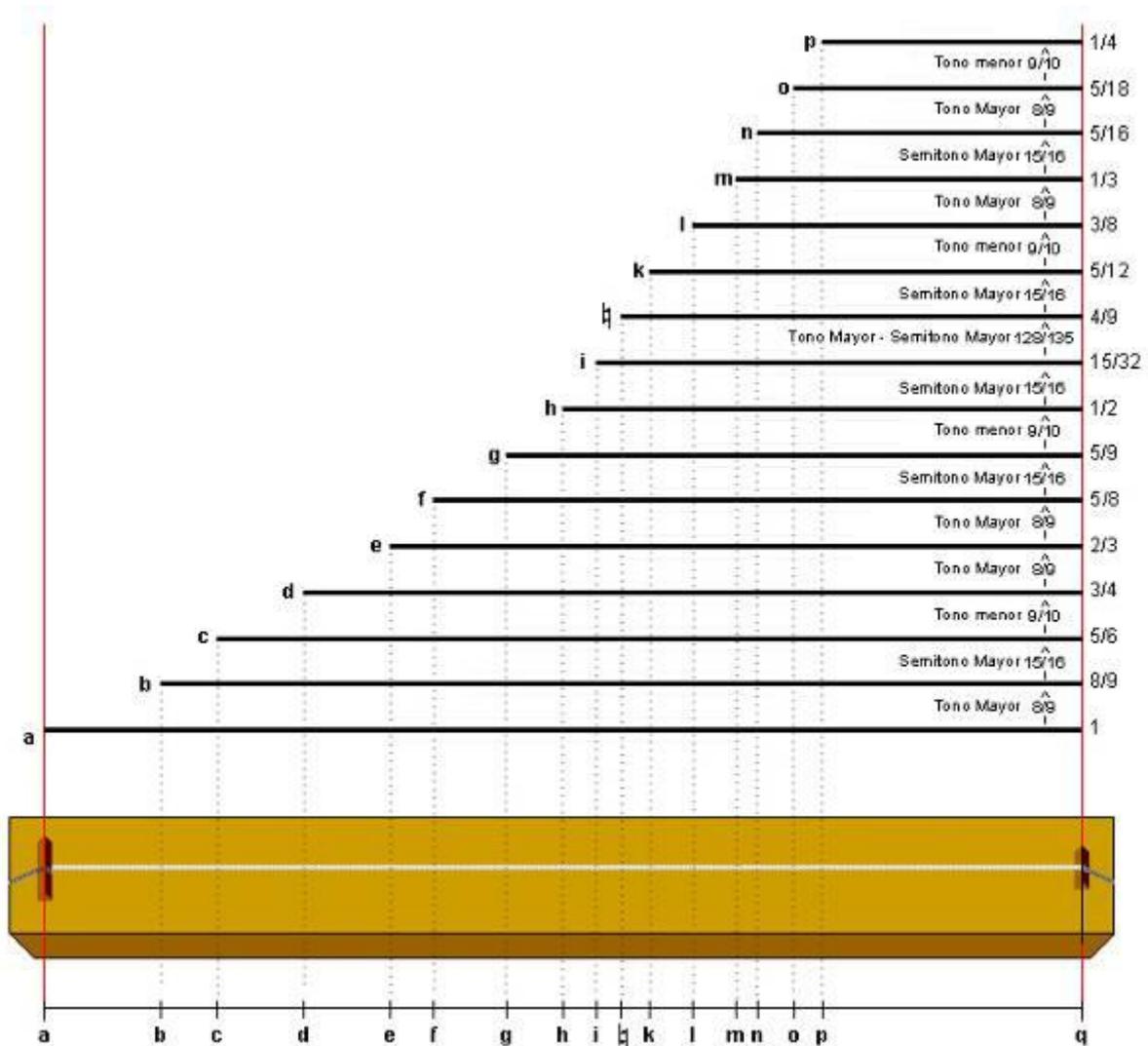


Fig. 7. Disposición, en orden ascendente, de los intervalos producidos según la metodología del monocordio Ramos de Pareja. Nótese el semitono “malo” entre la letra *i* y *j* cuadro.

Un inventario del procedimiento lo reduce a diez divisiones por mitades, dos divisiones por tercios y dos duplicaciones, en el cual las consideraciones teóricas musicales han quedado de lado en aras de poder persuadir a sus lectores de que no son necesarias las complejidades de Boecio o Guido para adquirir una ciencia musical. Si bien esto podría ser cierto, es sabido que subyace allí una nueva propuesta armónica –v.g. la llamada

“afinación justa”– que a pesar de ser ya aceptada por los instrumentistas y músicos prácticos, ha quedado encubierta bajo la retórica memorística de Ramos.

Hasta el momento, la “ciencia musical” de Ramos habría consistido tan sólo en un método para obtener y exponer este *catálogo* de sonidos de una manera más expedita y menos engorrosa, aunque para ello se haya requerido modificar el tradicional y reverenciado esquema de las consonancias pitagóricas.

Esta modificación de la tradición se muestra, entonces, como una consecuencia del afán persuasivo y simplificador, pues durante todo el proceso no ha habido –ni lo habrá– mención a la naturaleza novedosa de estas nuevas consonancias. Si bien, al final del tratado se expondrían numéricamente las fracciones armónicas de la llamada “afinación justa”, siempre quedaron subsumidas, como se verá, en la selva de la retórica y la memorística.

## b) El monocordio detallado.

Una vez definido este monocordio elemental cuya estructura posee solo una nota alterada (el signo  $\sharp$  *cuadro* o *becuadro*), Ramos de Pareja procedió a dar cuenta del resto de signos o alteraciones en una investigación más detallada del tema. Para ello, se propuso deducir –de un modo matemático y no a discreción como el autor dijera de los prácticos– las llamadas *conjuntas* o método que permite alterar en un semitono cualquiera de las notas del monocordio elemental. Se expuso de la siguiente manera:

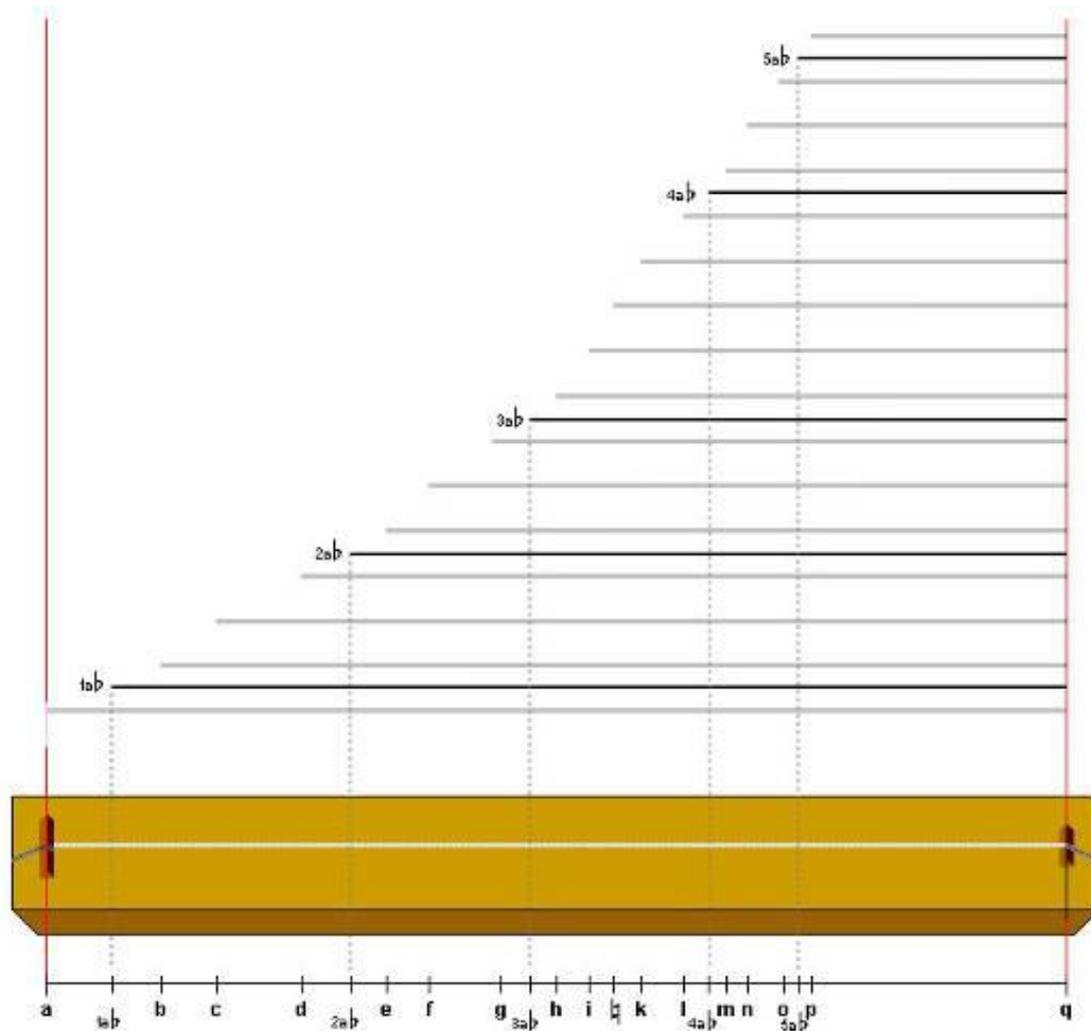
[...] Coniuncta est facere de semitonio tonum et de tono semitonium, sic et de semiditono ditonum et de ditono semiditonus et de aliis speciebus similiter.<sup>105</sup>

Este método permitía construir la totalidad de doce semitonos en el monocordio; y para ello, Ramos de Pareja involucraba de nuevo, exclusivamente, divisiones por mitades.<sup>106</sup>

---

<sup>105</sup> “[...] Conjunta es hacer de un semitono un tono, y de un tonoun semitono, así como de un semiditono u ditono y de un ditono un semiditono, y lo mismo con otras especies.” RAMOS [1482] 1990, pp. 45-46.

El resultado final, tras cuatro divisiones a la mitad y una duplicación, es el siguiente:

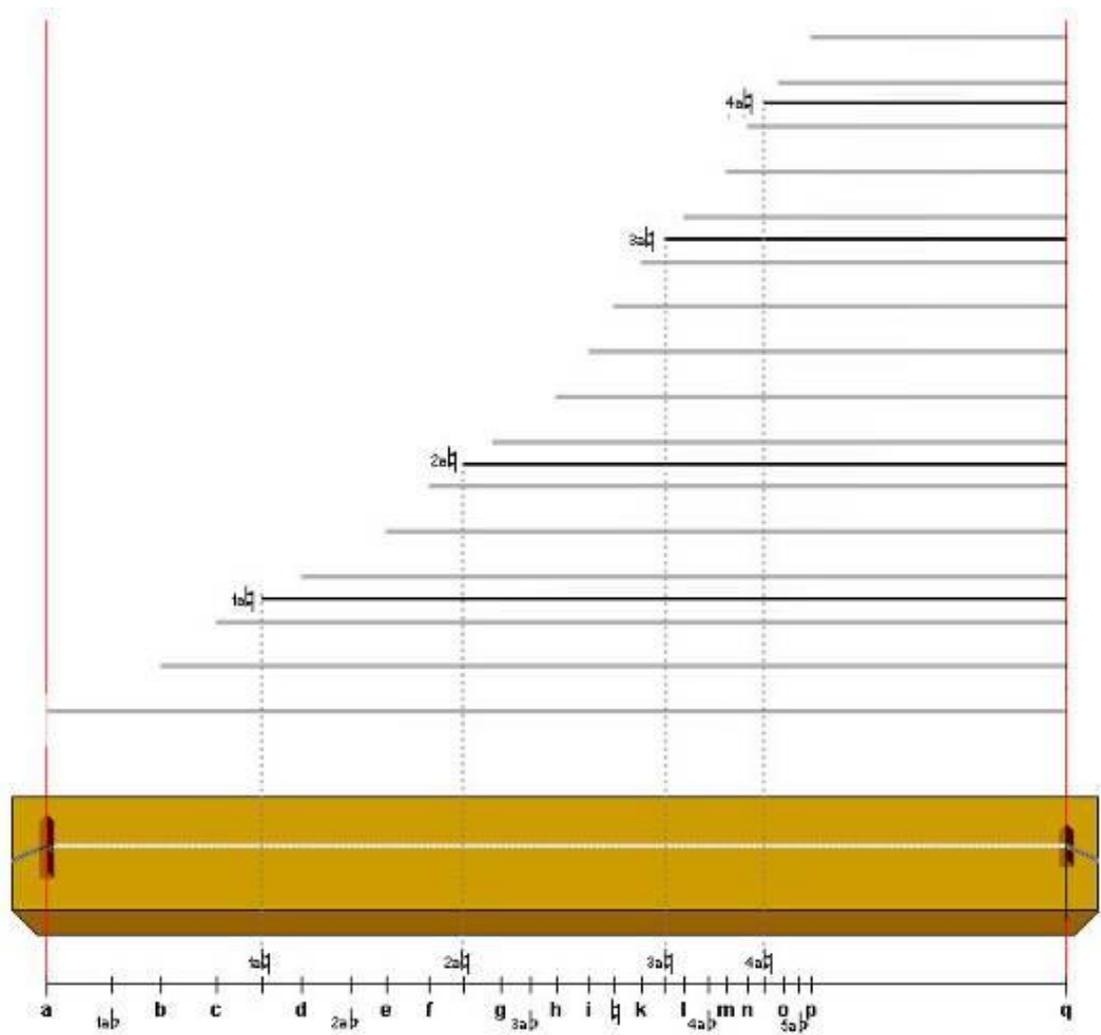


**Fig. 8. Conjuntas de bemol, en el monocordio detallado de Ramos de Pareja.**

Las conjuntas de *becuadro* se hallaban mediante dos divisiones por tercios y una duplicación quedando de la siguiente manera:

---

<sup>106</sup> Este procedimiento puede verse y escucharse, paso a paso en las herramientas multimedia ya mencionadas: CD y sitio web.



**Fig. 9. Conjuntas de becuadro en el monocordio detallado de Ramos de Pareja.**

Al incorporar estas conjuntas al monocordio elemental se obtenía una visión detallada de todas las notas de la escala, siendo las proporciones con respecto a la unidad y entre los intervalos adyacentes, como sigue:

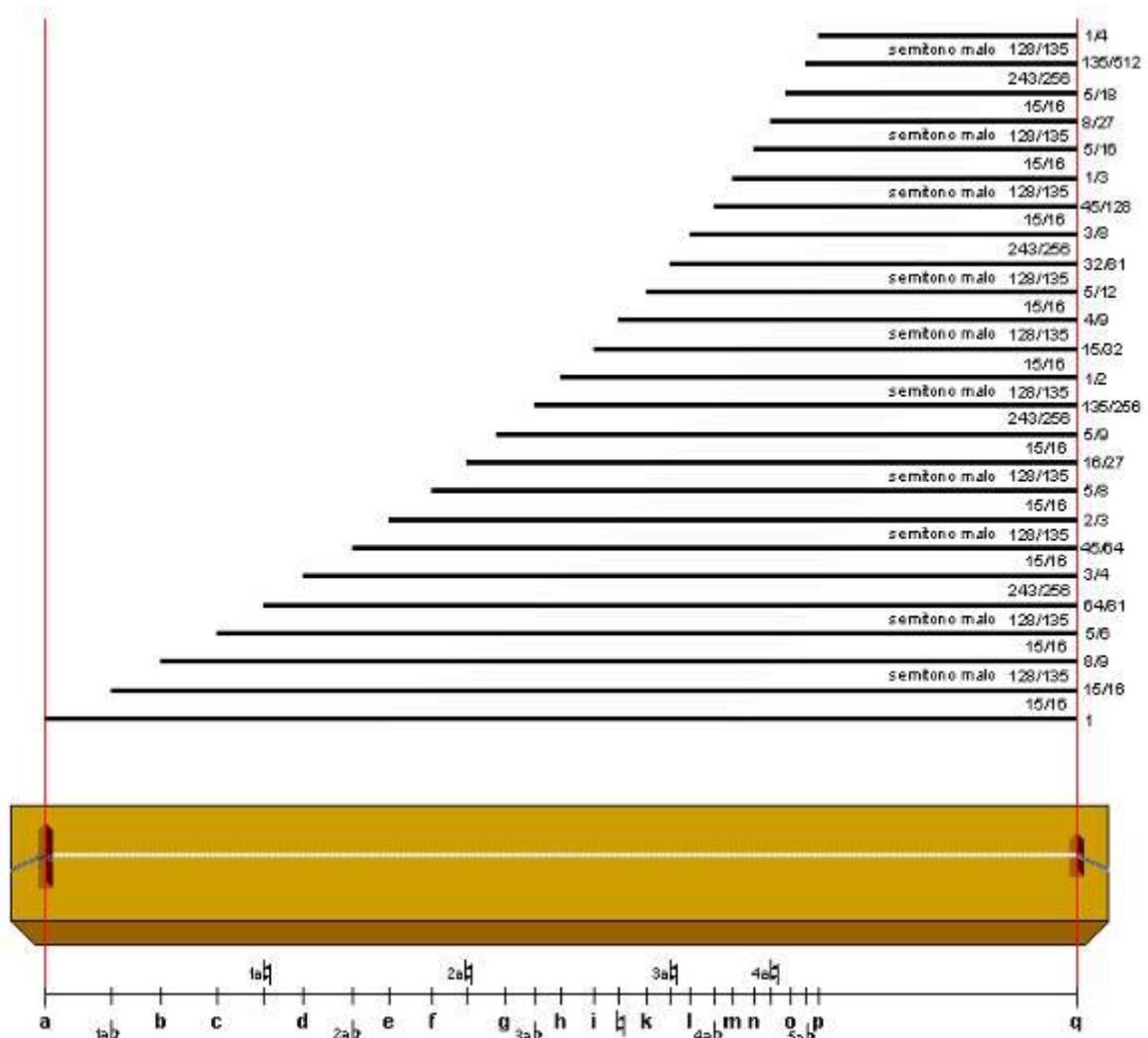


Fig. 10. Monocordio detallado de Ramos de Pareja con las conjuntas de *bemol* y *becuadro*.

En la figura se ha destacado el llamado “semitono malo”. Como se observa, ahora ha proliferado y, de hecho, Ramos de Pareja aceptaba que había “[...] in monochordo vero perfecto multa loca sunt, in quibus transitus in cantu evitandus est.”<sup>107</sup> Este tipo de

<sup>107</sup> *Ibid.*, p.124. “[...] en el monocordio perfecto hay muchos lugares en los que al cantar hay que evitar el paso.” La enumeración de semitonos “malos” y “buenos” es como sigue: “A qua *b* in *c* bonum semitonium est, sed a *c* in prima ♯ malum; ab ista in *d* bonum, a qua in secunda *b* similiter bonum; a qua in *e* malum, sed ab *e* in *f* bonum. Ab *f* vero in secunda ♯ malum, sed ab ista in *g* bonum, a qua in tertia *b*

perfección con puntos “que-hay-que-evitar” era un escollo que Ramos de Pareja prometía resolver en su siguiente volumen con –según él– firmísimas razones matemáticas; sin embargo dicho volumen no ha llegado a encontrarse o, tal vez, nunca fue publicado. La posibilidad de incorporar nuevas notas que resolvieran la imperfección de dicho semitono fue rechazada por Ramos de Pareja puesto que no se colocarían “secundum naturalem neque secundum aliquem accidentalem ordinem [...]”<sup>108</sup> Por lo tanto, era necesario aceptar que en este orden –elemental o detallado–, había imperfección, siendo el monocordio un aparato que mostraba tanto lo razonable como lo “malo” y “prohibido”.

\* \* \*

Como se dijera previamente, el proceso de Ramos de Pareja no habría hecho mención a lo que hoy se considera su gran aporte filosófico y musical: la instauración y construcción razonada de la “afinación justa”. A lo largo del tratado, no había habido referencia alguna a fracciones o proporciones numéricas sino exclusivamente a la técnica geométrica de subdivisión por mitades o tercios y a los recursos mnemotécnico-visuales para aprenderla. Tan sólo, en el penúltimo capítulo, Ramos de Pareja va a presentarlas cuando discutiera en detalle los géneros de proporcionalidad –aritmética, geométrica y armónica– y clamara por trasladar estas argumentaciones al monocordio. Sin embargo, su objetivo parece ser siempre el hacer hincapié en que, para alcanzar la ciencia musical,

---

similiter bonum. A tertia *b* in *h* malum, ab *h* in *i* sive in *b* bonum, ab *b* in *♯* malum et deinceps. Ad hunc modum in suis octavis mala malis, bona vero bonis correspondent”. Lo cual traduce Moralejo así: “De *b* a *c* hay buen semitono, pero de *c* al primer *♯* malo; de ese a *d* bueno, y de éste al segundo *b*; de él a *e* malo, pero de *e* a *f* bueno. De *f* al segundo *♯* malo, pero de él a *g* bueno ; de éste al tercer *b* también bueno. Del tercer *b* a *h* malo, de *h* a *i* o a *b* bueno, de *b* a *♯* malo; y así sucesivamente. De este modo en sus octavas corresponden malos a los malos, buenos a los buenos.” RAMOS [1482] 1990, p.124.

<sup>108</sup> “según el orden natural ni según accidental alguno [...]” RAMOS [1482] 1990, p.126.

Nos vero propter novos per continuam quantitatem vulgaribus fractionibus nostrum divisimus, ne et arithmetica et geometriam addiscentem prius cognovisse esset necessarium; [...] <sup>109</sup>

Así, Ramos de Pareja expone que partiendo de una cuerda dividida en “veinticuatro dedos” sería fácil hallar las proporciones de octava 2:1, quinta 3:2 y cuarta 4:3, para después enunciar que, según su esquema final, puede verse que:

*f* con *d* ...existe la relación de uno y un quinto [...]

*f* con *h* ...está en relación de uno y un cuarto [...]

*f* con *a*... se hallará en relación de uno y tres quintos [...]

*f* con *l*... encontraremos entre ellos proporción de uno y dos tercios [...] <sup>110</sup>

Dichas fracciones corresponden, respectivamente, como sigue:

6:5 tercera menor

5:4 tercera mayor

8:5 sexta menor

5:3 sexta mayor

que son precisamente las novedosas fracciones de la llamada “afinación justa”. Ramos de Pareja se jactaba, una vez más, de haberlas hallado –a diferencia de Guido– con fracciones muy fáciles del tipo corriente y no difíciles, asegurando no haber querido entrar en profundidades y, más bien, en consideración a los músicos principiantes. Tan sólo hizo referencia a una proporción del tipo 8:3 (octava más cuarta) que, según Boecio, solamente Ptolomeo habría admitido entre las consonancias. Prometiéndolo hacer

---

<sup>109</sup> “Nosotros, en cambio, hemos dividido el nuestro [monocordio] en consideración a los músicos principiantes, según cantidad continua con fracciones vulgares, para que no se hiciera necesario al principiante conocer previamente la aritmética y la geometría; [...]” RAMOS [1482] 1990, p. 121.

<sup>110</sup> Véase esta descripción en RAMOS [1482] 1990, pp. 122-123.

de esto último demostraciones prácticas y hablar mucho de ello, de inmediato sobreviene el último capítulo y el retórico epílogo de la obra.

Ulteriores razones o reflexiones filosóficas de Ramos de Pareja se desconocen; tan sólo quedan testimonios de sus polémicas a través de las mencionadas cartas de su discípulo G. Spataro donde se trasluce el empeño de su maestro por imponer este esquema, en el cual la práctica experimental basada en la utilización del monocordio precedía y sancionaba toda especulación teórica.

#### **1.4 Los armónicos naturales, la “afinación justa” y el arte de la memoria.**

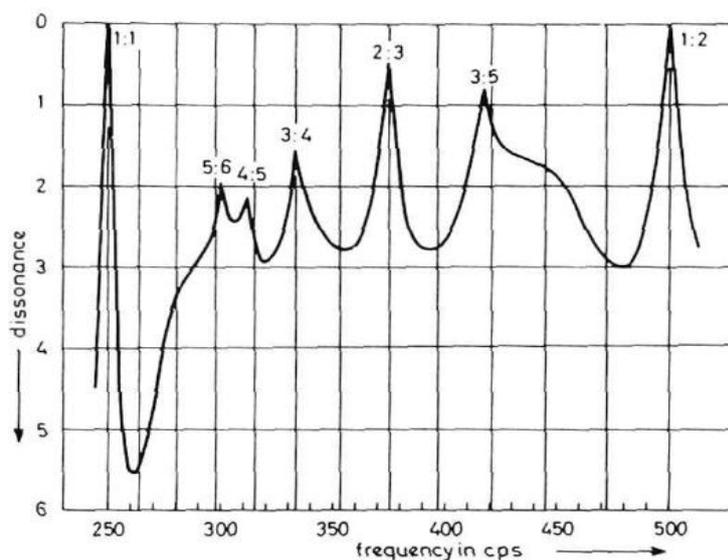
El monocordio de Ramos de Pareja poseía la mayor cantidad de proporciones de tipo  $n+1:n$  (junto a sus derivadas  $n+2:n$  y  $n+3:n$ ) que, para la época, se hubieran racionalizado matemáticamente. En el compendio de proporciones armónicas del tipo llamado *justo*: 2:1, 3:2, 4:3, 5:4, 6:5 y las derivadas 5:3, 8:5, puede decirse que Ramos de Pareja atisbó uno de los problemas fundamentales de la consonancia y la acústica moderna: la conocida serie de sonidos armónicos naturales en una cuerda vibrante. Cuando se menciona ‘atisbar’ se hace referencia a la capacidad y sensibilidad que tuvo Ramos de Pareja para aceptar un esquema de consonancias que si bien ya venían realizando los músicos prácticos, su monocordio lo justificaba matemáticamente a través de fracciones simples o “vulgares”.<sup>111</sup> Sin duda, la música práctica, dada su conexión directa con el sonido como fenómeno físico y alejado de la construcción racional especulativa, empujaba constantemente a los cantores e instrumentistas hacia la búsqueda de una sonoridad que poseía sus “picos de consonancia” justamente allí, donde aparecían las proporciones ya referidas y tal como demostrarían los experimentos de la física, la acústica y la psicoacústica posteriores.<sup>112</sup>

---

<sup>111</sup> Véase Nota 109.

<sup>112</sup> Los términos “psicoacústica” y “picos de consonancia” son, sin duda, anacronismos en el marco del trabajo de un filósofo natural como Ramos de Pareja. Sin embargo, sirven aquí para referirse a la

sensación “placentera” y “no ofensiva al oído” –lo “bonum” en contraste con lo “malum”– de ciertos intervalos melódicos o armónicos. Como es fácil notar, toda discusión que incluye el término “consonancia” supone una compleja mezcla de objetividad, subjetividad e intersubjetividad en el marco de un contexto histórico y social determinado. A ese respecto se volverá, *infra* en el Apartado 2.4 y, en especial, en la Nota 201, Pág.155, cuando se traten los aspectos psicoacústicos en la obra de Zarlino. Lo que sí se ha demostrado, estadísticamente, es que la mayoría de las culturas perciben como “consonantes” aquellos sonidos que coinciden con la llamada serie de armónicos naturales. Como es sabido, un sonido natural es una mezcla compleja de diversas frecuencias armónicas del tipo  $f, 2f, 3f, 4f, 5f...nf$ , que se solapan con diversos grados de intensidad. Ahora, cuando dos sonidos –cada uno con sus solapes de frecuencias– se escuchan simultáneamente, se crea una interacción aún más compleja creando un “solape de solapes”. Así, tanto los estudios físicos de Hemholtz como los de Plomp y Levelt, así como los de Kameoka y Kuriyagawa, han demostrado que los llamados “picos de consonancia” de dos sonidos naturales que suenan simultáneamente se encuentran allí, justamente, en las proporciones armónicas, que fueran expuestas, por primera vez, por Ramos de Pareja. En el siguiente gráfico de Plomp y Levelt se observan los “picos” que se producen al comparar toda la gama sonora entre el unísono 1:1 (250 Hz) y su octava 1:2 (500 Hz) y establecer una relación entre la mínima y máxima disonancia –grado 0 a 6– respecto de la frecuencia en cps (ciclos por segundo).



PLOMP, Reinier; y LEVELT, Willem: “Tonal consonance and critical bandwidth”, en *Journal of the Acoustic Society of America*, 38 (1965), pp. 548-560; KAMEOKA, Akio y KURIYAGAWA, Mamora: “Consonance theory”. Part I y II, en *Journal of the Acoustical Society of America*, 45/6 (1969), pp.1451-1469. También, para efectos de esta investigación, y orientado en el marco de la historia de la consonancia, puede verse una revisión general de las obras anteriores en la “Introducción” de GARCÍA

En otras palabras, el canto y la ejecución instrumental permitían a los prácticos acercarse progresivamente a lo que el propio fenómeno físico y psicofísico ofrecía de manera natural, es decir, la vibración simultánea, en una cuerda sonora u onda estacionaria, de diversas frecuencias armónicas de la forma  $n+1:n$  y sus derivadas. No obstante esta intuición práctica de la realidad natural, Ramos de Pareja estaría lejos de elaborar alguna teoría al respecto y habría que esperar hasta la aparición de las investigaciones de John Wallis en Inglaterra y de Joseph Sauveur en Francia para asistir a una primera exposición detallada de los nodos de la cuerda vibrante.<sup>113</sup>

Pero a pesar de lo lejos o cerca que pudiera haber estado Ramos de Pareja de este tipo de problemas físicos y acústicos, no fueron éstos los que su monocordio intentó resolver. La capacidad explicativa que el monocordio habría tenido aquí, respecto al fenómeno de la consonancia, se presentó como fundamento de una propuesta alternativa al hegemónico sistema hexacordal de Guido d'Arezzo y sus también artificios

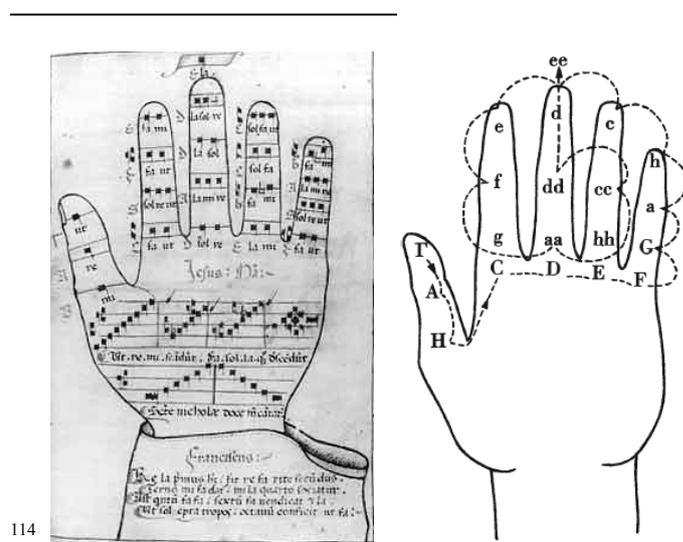
---

PÉREZ, Sara Amaya: *El concepto de consonancia en la Teoría Musical: De la Escuela Pitagórica a la Revolución Científica*. Salamanca, Publicaciones Universidad Pontificia de Salamanca, 2006.

<sup>113</sup> Hacia 1700, casi simultáneamente, el célebre matemático John Wallis (\*Ashford, 1616; †Oxford, 1703) en Inglaterra y, el ya mencionado físico y matemático, Joseph Sauveur en Francia (véase la breve referencia biográfica en Nota 2, Pág. x), realizaron experimentaciones y observaciones en una cuerda vibrante para concluir que ciertos puntos llamados *nodos* se mantenían inmóviles, a pesar que pudieran desplazarse con la totalidad de la onda y contribuyeran a la formación de los llamados *vientres*. Se demostró que estos puntos correspondían a frecuencias más altas que se superponían a la vibración de la cuerda entera en forma de múltiplos enteros de su frecuencia simple denominada *fundamental*. Estas frecuencias fueron denominadas por Sauveur como *tonos armónicos* y corresponden a lo que hoy se conoce como los *armónicos naturales*.

mnemotécnicos: la escala *ut-re-mi-fa-sol-la* y la mano guidoniana.<sup>114</sup> En este sentido, puede decirse que los problemas científicos o filosóficos en los cuales estuvo involucrado el monocordio de Ramos de Pareja, quedaron subsumidos y camuflados bajo una índole práctica, pedagógica y retórica, que requería el *ars memorativa* como conjunto de mecanismos capaz de retener en la memoria las sonoridades permitidas para el canto y la ejecución instrumental, tal y como se explicará enseguida.

El primero de los problemas al que se enfrentó Ramos de Pareja consistió en eliminar las complejidades estructurales y discursivas que conllevaba el sistema de Guido y que obligaban al alumno a enfrentar el farragoso proceso de memorización de nomenclaturas de hexacordos. Ramos de Pareja prefirió concentrarse en la secuencia de tonos y semitonos que se producían en el llamado orden natural de su monocordio y



La “mano guidoniana” es uno de los artificios mnemotécnicos que Guido d’Arezzo inventó para intentar salvar los escollos de su método de hexacordos y sílabas (véase Nota 86, Pág.54). La mano izquierda servía de dispositivo memorístico para ubicar en las articulaciones o falanges –veinte en total– las veinte notas del sistema musical, tal como se observa en la ilustración. El maestro –con el índice de su mano derecha– señalaba a sus alumnos el lugar en la mano izquierda de los intervalos a cantar y su pertenencia a alguno de los sistemas hexacordales. En la figura se muestra, a la izquierda, una ilustración de la mano guidoniana según el MS Canon. Liturg. 216. f.168r conservado en la Bodleian Library de la Universidad de Oxford. A la derecha, un esquema de lectura de la mano guidoniana según lo expuesto en BUSSE, Anne: *Medieval Music and the Art of Memory*. Los Angeles, University of California Press, 1996, pp. 85-94.

unificarlo todo bajo el concepto de la *octava*: proporción dupla y principal consonancia. La octava es aún hoy día el sistema de referencia básico de la música occidental y corresponde a Ramos de Pareja el haber sistematizado su utilización como sustituto del paradigmático patrón hexacordal de Guido d'Arezzo. Para ello, ofreció variadas razones a lo largo de su tratado, que son, tanto teóricas y prácticas, como basadas en la *auctoritas* de los Padres de la Iglesia y en reflexiones numerológicas en torno al número 8. Respecto a estas últimas razones, puede verse el Capítulo Octavo del Tratado Primero de la Primera Parte del *Musica Practica*, donde se hacía la digresión comparativa del número 8 con el 7 y el 6, y se ofrecían sus argumentaciones en el estilo numerológico propio de la época:

Dicendum numerum octonarium magnam in musica perfectionem et dignitatem obtinere et non frustra esse sed necessario positum. Primo probatur eius perfectio per comparationem. Sicut enim quidam septenarii perfectionem propterea, quod septem sunt planetae, nos eadem ratione octonarii probamus perfectionem, quod septem planetis addito firmamento octonarius numerus resultat.<sup>115</sup>

Como se nota, Ramos de Pareja parecía restar importancia a estas elucubraciones numerológicas y más bien prefirió presentar la octava como estructura fundamental, dado que en la música, después de arribar a ella “vuelve a renacer la voz”, simplificando con ello todo el sistema. Sus argumentos, mucho más apegados a la fenomenología musical, podrían catalogarse en dos grupos, como sigue:

- a) *Lógico-musicales*. Este grupo de argumentos se fundamentaban en los mecanismos internos y lógicos de la ciencia musical. Así la octava o *diapason* era la estructura fundamental de la música porque,

---

<sup>115</sup> “Pues bien, hay que decir que el número ocho tiene en música gran perfección y dignidad, y que no se lo ha puesto sin más, sino por necesidad. Se prueba su perfección, en primer lugar, por comparación. Pues al igual que algunos prueban la del siete con el argumento de que siete son los planetas, con el mismo argumento probamos nosotros la perfección del ocho diciendo que añadido el firmamento a los siete planetas resulta el número ocho.” RAMOS [1482] 1990, p. 38.

[...] sed diapente iuncta cum diatessaron componit speciem, quae diapason dicitur, quod est per totum vel de toto latine, quoniam omnis concentus, quam symphoniam Graeci dicunt, et omnes harmoniae differentiae intra ipsam continentur [...] <sup>116</sup>

Quoniam inter primam et octavam maxima conformitatis affinitas similitudoque reperitur, adeo ut differre non sentiantur nisi penes acuminis gravitatisque diversitatem, [...] <sup>117</sup>

[...] post diapason renascitur vox; et quotiens ultra diapason transcendimus vel descendimus, totiens vocem renovamus.” [...] De his igitur octo tantum doctrina est recta. <sup>118</sup>

b) *Músico-prácticas*. Este grupo de argumentos aluden a la facilidad que la octava otorgaba al aprendizaje del canto. Así la octava o *diapason* era la estructura fundamental de la música porque,

[...] nos igitur, qui circa huius artis veritatem inquirendam lucubrando atque vigilando diu laboravimus, dictiones singulis chordis imponimus novas et effectus totius denotantes concentus ita, ...quoniam octo vocibus fit totus concentus. <sup>119</sup>

[...] locamus autem eas a littera c gravi in litteram c acutam, quoniam perfecte canere docent. <sup>120</sup>

---

<sup>116</sup> “[...] un *diapente* [5ª] unido con un *diatessaron* [4ª] forma una especie que se llama *diapason* [8ª], que traducido quiere decir ‘por todo’, o ‘de todo’ porque todo el conjunto de los sonidos que los griegos llaman sinfonía, y todas las diferencias de la armonía se contiene en él.” RAMOS [1482] 1990, p. 25.

<sup>117</sup> “Puesto que entre la primera [unísono] y la octava se encuentra una gran afinidad de concordancia y similitud, hasta el punto que no se nota entre ellas diferencias, si no en diversidad de agudeza y gravedad [...]” RAMOS [1482] 1990, p. 25.

<sup>118</sup> “[...] tras el *diapason* vuelve a renacer la voz; y cuantas veces pasamos del *diapason* hacia arriba o hacia abajo, otras tantas renovamos la voz [...] Por ello sólo debe haber recta ciencia acerca de estas ocho notas.” RAMOS [1482] 1990, p. 36.

<sup>119</sup> “[...] nosotros, que hemos trabajado largo tiempo en lucubraciones y vigiliias por averiguar la verdad de este arte, imponemos designaciones nuevas a las distintas cuerdas, indicando el efecto de todo el conjunto de voces [...], pues con ocho notas se hace todo el conjunto.” RAMOS [1482] 1990, p. 36.

<sup>120</sup> “[...] las colocamos [las ocho notas] desde la letra *c* grave hasta la *c* aguda, porque enseñan a cantar perfectamente.” RAMOS [1482] 1990, p. 36.

[...] cum ergo ad octavam sic graduatim cantans pervenerit chordam, eisdem gradibus syllabisque conversis pedetentim vocem remittat et tam diu hoc faciat, donec absque monochordi percussione idem facere perdidicerit [...]<sup>121</sup>

- c) *Autoridades*. Este grupo de razones se fundamentaban en el prestigio de las Escrituras, en la obra de los titanes del cristianismo primitivo y los músicos antiguos que fundamentaron la práctica del canto cristiano. Para Ramos de Pareja esto podía ser suficiente razón para justificar su sistema de la octava. Así, la octava o *diapason* era la estructura fundamental de la música porque,

[...] Octava vero similis est primae; ideo Gregorius differentes litteras septem et non amplius posuit, sed easdem repetit ac iterum ponit.<sup>122</sup>

Nostra autem [musica] catholica sive universalis erit sicut lex gratiae, quae legem scripturae in se continet atque naturae. Sic etiam nostra totum, quod isti ecclesiastici viri et sapientissimi musici antiqui [Gregorii, Ambrosii, Augustini, Bernardi, Isidori, Oddonis enchiridion, Guidonis,] dixerunt et invenerunt, continebit.<sup>123</sup>

Finalmente, como quien quisiera zanjar este tema que pareciera incomodarlo, concluía que la octava o *diapason* era la estructura fundamental de la música porque,

[...] quod qui octo voces truncat aut minuit a musica nostra, perfectionem atque plenitudinem aufert ab ea. Non ergo numerus octavus imperfectus est, sed in musica plenus atque perfectus,

---

<sup>121</sup> “[...] cuando cantando así llegue gradualmente a la octava cuerda, retrocediendo por los mismos grados y sílabas vaya bajando la voz y repita el ejercicio hasta que aprenda a hacerlo sin usar el monocordio.” RAMOS [1482] 1990, p. 36.

<sup>122</sup> “[...] es igual a la primera; por eso Gregorio estableció siete letras distintas y no más, sino que repite las mismas y las vuelve a poner.” RAMOS [1482] 1990, p. 25.

<sup>123</sup> “Así también la nuestra [música] será católica o universal como la Ley de la Gracia, que contiene en sí la Ley de la Escritura y la de la Naturaleza. Así también la nuestra contendrá todo lo que los varones eclesiásticos y los sapientísimos músicos antiguos [Gregorio, Ambrosio, Agustín, Bernardo, Isidoro, el *Enquiridión* de Odón, el de Guido] dijeron y descubrieron.” RAMOS [1482] 1990, p. 25.

quoniam totum continens est et totus concentus, ut saepe dictum est, octo vocibus includitur. Non ergo frustra, immo necessario utimur octonario; et de his hactenus.<sup>124</sup>

Estas argumentaciones y razones son, como se ha visto, el resultado de la constante experimentación con el monocordio y sus aplicaciones al canto, la enseñanza y la composición musical. Por ello, una vez instaurado este marco teórico-práctico de la octava, el monocordio expuso sus divisiones para ser fijadas en la memoria. Pero, la memoria natural –en especial la auditiva– necesitaba más recursos y aquí entraba en juego el segundo problema a resolver: ¿Existían otros recursos fáciles de aprender para fijar en la memoria todo lo que el monocordio había demostrado? Ramos de Pareja, después de haber colocado las marcas en el monocordio, lo escribió de la siguiente manera:

Nunc autem *artem memorativam*, hoc est per digitorum iuncturas litteras canendas cum vocibus hoc modo in palma collocamus [...] [énfasis añadido]<sup>125</sup>

y procedió a crear todo un sistema alternativo al expuesto por Guido. Este sistema estaría basado en: *a)* las nuevas proporciones de la llamada “afinación justa”; *b)* la octava como nueva estructura de la música; *c)* una nueva aplicación de sílabas para las notas; y *d)* una nueva mano mnemotécnica para la solmisación, tal como se explicará enseguida.

Ramos propuso la oración *psallitur per voces istas* –“se canta por estas voces”– como guía para que, mientras el alumno ejecutaba el monocordio, fuera emitiendo las sílabas: *psal-li-tur-per-vo-ces-is-tas* para las letras *c-d-e-f-g-a-b-c*, respectivamente. El ejercicio debía repetirse, hasta que se aprendiera a hacerlo, como se dijo, “donec absque

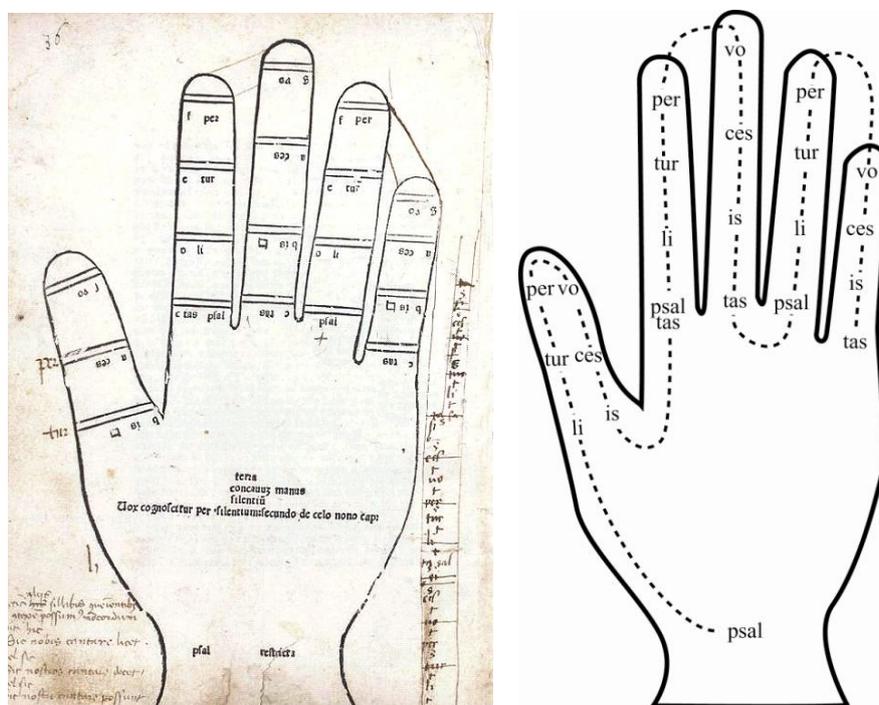
---

<sup>124</sup> “[...] quien quita o mengua las ocho notas de nuestra música, la priva de su perfección y plenitud. Por tanto, el número ocho no es imperfecto, sino pleno y perfecto en música, porque contiene todo, y todo el canto, como hemos dicho repetidamente, se incluye en las ocho notas. Por tanto no usamos del ocho sin más, sino por necesidad; y basta con el tema.” RAMOS [1482] 1990, p. 39.

<sup>125</sup> “Ahora ponemos el *ars memorativa*, es decir, las letras que se han de cantar con sus voces [...]” RAMOS [1482] 1990, p.62. [énfasis añadido]

monochordi percussione idem facere perdidicerit.”<sup>126</sup> Ramos de Pareja habría renunciado a las sílabas guidonianas *ut-re-mi-fa-sol-la* (que no tienen significación alguna como palabra o frase) en favor de esta breve oración autoexplicativa –*psal-li-tur-per-vo-ces-is-tas*– que, como se observa, indica el efecto de todo el conjunto de voces.

Siguiendo la tradición medieval, Ramos de Pareja trasladó sus nuevas sílabas a su propia y nueva mano mnemotécnica, exponiendo sus ventajas anatómicas; haciendo coincidir concavidades de la mano con el silencio en la música; movimientos, base y juntura de los dedos con las notas, grosores de éstos con su altura, y otros detalles que culminaban representados en una mano que no dibuja una espiral como en la mano guidoniana, sino un movimiento sinuoso como sigue:



**Fig. 11. A la izq., mano mnemotécnica según Ramos de Pareja y sus sílabas *psal-li-tur-per-vo-ces-is-tas*. A la derecha redibujo con la indicación del orden de lectura.**

<sup>126</sup> “hasta que aprenda a hacerlo sin pulsar el monocordo.” RAMOS [1482] 1990, p. 36. Nótese que la estrategia de las nuevas sílabas era más sofisticada, en comparación con las sílabas guidonianas, es decir: los semitonos podían recordarse por estar entre las sílabas que terminan en la misma letra “r”: “tur-per” (mi-fa) y la letra “s”: “ces-is” (la-si bemol) e “is-tas” (si-do). Asimismo, la primera nota “psal” termina en “a” al igual que su duplicación a la octava “tas” lo que ayuda al canto y su memorización.

¿Qué papel filosófico-científico desempeñaba el monocordio en todo esto? La respuesta es paradójica. Por un lado, el monocordio juega un papel fundacional, pues sólo allí se construía y demostraba experimentalmente la correlación de un hecho físico con su modelo matemático, pero, por otro lado, una vez que el alumno había ubicado las marcas de esa correlación en el monocordio y memorizado el método de subdivisión de la cuerda, se limitaba a cantar dichas marcas subiendo y bajando la voz, hasta que aprendía a hacerlo “sin pulsar el monocordio.” Como se observa, una vez fijados los sonidos en el instrumento material a manera de *memoria artificial*, pasaban después a la *memoria natural*, quedando liberado éste de sus funciones filosóficas y prácticas. El monocordio terminaba funcionando como una *persuasiva lista o catálogo razonado de los sonidos* que debían memorizarse para proceder al canto o la música instrumental. En resumen, si bien el monocordio proveía una materia sonora racionalizada, una vez fijada ésta en la memoria, podía ya prescindirse de él o, en todo caso, se convertía en un instrumento “de consulta”.

Así pues, el sistema de Ramos de Pareja que constaba de monocordio, canto silábico y mano, conformaría un nuevo *ars memorativa* de la ciencia musical como alternativa a las prácticas instauradas desde el siglo XI según Guido d’Arezzo. La música quedaba concebida, en primera instancia, como materia “mental” para después, proceder a su combinación variada –*ars combinatoria*–, que sería en lo que consistiría la “expresión artística”. Un proceso que partía de una filosofía-ciencia verificable –de manera objetiva– con la técnica del monocordio, para después, recurrir a la variación combinatoria –subjetiva y personal del compositor– y finalmente quedar plasmado en signos musicales capaces de convertirse, finalmente, en canto artístico y piadoso.

La propuesta de Ramos de Pareja, a pesar de su coherencia y consistencia, fue presentada de manera polémica, cuasi a manera de *disputatio* medieval. Su discípulo G. Spataro la defendió frente a sus detractores y finalmente, logró imponerse la racionalidad de la estructura de octava y las proporciones de la llamada “afinación justa”, más cercanas a la naturaleza física de la cuerda vibrante y su serie de armónicos naturales. No obstante, su nuevo sistema memorístico de sílabas y mano alternativas quedarían en el olvido: por un lado perduran las sílabas de Guido –en forma de nuevo

solfeo basado en la escala de siete notas– mientras que la mano mnemotécnica –tanto la de Guido como la de Ramos de Pareja– cedieron su puesto, al igual que la mayoría de los recursos mnemotécnicos de la época, ante el auge del libro y la partitura impresa.

## 1.5 Conclusiones particulares

Se ha mostrado el monocordio de Ramos de Pareja en dos momentos: uno elemental, en el que se definían las proporciones propias de la llamada “afinación justa”, y otro detallado en el que se completaba, con las llamadas *conjuntas*, los doce semitonos de la escala. Todo esto fue expuesto hábilmente por su autor a través de recursos mnemotécnicos, para terminar clamando por el *ars memorativa* para culminar su tarea filosófica.

La utilización de este arte al servicio particular de la música ha sido estudiada por Karol Berger y Anne Busse, y más en general por Mary Carruthers respecto a la época medieval y Paolo Rossi y Frances Yates, en lo que se refiere a los siglos XVI y XVII.<sup>127</sup> Lo que interesa destacar es que el monocordio de Ramos de Pareja y la ciencia musical que podía extraerse de él, pertenecían a una práctica en la cual la memoria era un don natural cultivable artificialmente. Por ello, es en este contexto en el que podría analizarse el papel que como instrumento científico pueda haber tenido este “aparato”.

---

<sup>127</sup> Véase BERGER, Karol: “The Guidonian Hand”, en CARRUTHERS, Mary y ZIOLKOWSKI, Jan, Pennsylvania, (eds.) *The Medieval Craft of Memory: An Anthology of Texts and Pictures*. Philadelphia, University of Pennsylvania Press, 2002, pp. 71–82; BUSSE, Anne: *Medieval Music and the Art of Memory*. Los Angeles, University of California Press, 1996; CARRUTHERS, Mary: *The book of memory: a study of memory in medieval culture*. Cambridge, Cambridge University Press, 1996; ID.: *Rhetoric beyond words: delight and persuasion in the arts of the Middle Ages*. Cambridge, Cambridge University Press, 2010. ROSSI, Paolo: *Logic and the Art of Memory: The Quest for a Universal Language*. Chicago, University of Chicago Press, 2000; YATES, Frances: *The art of memory*. Londres, Routledge & Paul, 1966. (Trad. cast.: *El arte de la memoria*. Madrid, Taurus Ediciones, 1974 y Madrid, Siruela, 2005). Posteriores investigaciones corresponden a COLEMAN, Janet: *Ancient medieval memories: studies in the reconstruction of the past*. Cambridge, Cambridge University Press, 1992.

La *Memoria* era la cuarta de las cinco operaciones principales de la Retórica y era vista como un puente entre las tres primeras operaciones (*Inventio*, *Dispositio* y *Elocutio*) destinadas a conformar el discurso y su posterior ejecución (*Actio*). La retórica antigua, representada por los tratados de Aristóteles, el autor del *Ad Herenium*, Cicerón y Quintiliano, enseñaba que para defender una causa había que “inventar” –*inventio*– los argumentos, buscándolos en un sistema altamente codificado de argumentaciones que recurrían a “lugares” o “tópicos” de probada eficiencia persuasiva. Posteriormente, dichos argumentos se “disponían” –*dispositio*– como discurso en un orden preciso, según fuera la causa y después se le daba forma “elocutiva” –*elocutio*– a través del ornato de figuras, y tropos. Una vez organizado el discurso, se fijaba en la *memoria* con diversos recursos para, finalmente, realizar el *actio* ante juez o público. Como puede deducirse la “memoria”, era la articulación entre pensar y hacer.

Antonio de Nebrija, andaluz y hombre polémico (al igual que su contemporáneo Ramos de Pareja) explicaba en su tratado *Rethorica* que

Consta la memoria de lugares y de imágenes. Llamamos lugares a espacios pequeños, completos, perfectamente acabados por la naturaleza o por la mano del hombre [...] Las imágenes son ciertas formas, signos y representaciones de lo que queremos recordar... que evoquen las palabras.<sup>128</sup>

Estos “lugares” servían como espacios ordenados donde colocar objetos, personas o imágenes, que sustituían a las palabras o asuntos a recordar. Conforme la mente se

---

<sup>128</sup> NEBRIJA, Antonio de: *Artis rhetoricae compendiosa coaptatio, ex Aristotele, Cicerone et Quintiliano*. Alcalá, Arnao Guillén de Brocar, 1515. La cita está extraída de la reciente edición al castellano NEBRIJA, Antonio de: *Rethorica*. Juan Lorenzo, (ed.). Salamanca, Ediciones Universidad Salamanca, 2007, pp. 151-155. En el Renacimiento español, la retórica quedó marcada por la obra de Antonio de Nebrija, catedrático de Gramática y Retórica en la Universidad de Salamanca. Nacido el mismo año que Ramos de Pareja, había cursado sus estudios igualmente en la Universidad de Salamanca y completado su formación en Italia. Estuvo en Bolonia –al igual que Ramos de Pareja– durante diez años, hasta su regreso a Sevilla hacia 1470, año en el que, igualmente, aquél dictaba su cátedra de música en Salamanca y culminaba la redacción de su *Musica Practica*, comenzada diez años antes. Su *Rethorica*, es una compilación sistemática e inteligente de lo expuesto por los tratados clásicos *Ad Herenium* y la obra de Aristóteles, Cicerón y Quintiliano.

guiaba con imágenes por los espacios, pasillos e intercolumnios de aquellas arquitecturas mentales, se podía retener con facilidad en la memoria –según Nebrija y toda la tradición retórica precedente– lo que se quisiera.

Estas imaginerías fueron recomendadas a los legos como ejercicio devoto y terminarían por estimular la creación de obras de arte y literatura, cuya cota máxima serían las obras de Giotto, Dante y Petrarca. Posteriormente, en el Renacimiento, el “arte de la memoria” fue sistematizado en forma de tratados impresos (orientados más bien a prestar ayuda en la vida práctica) y fue definitivamente secularizado y popularizado con obras como las de Pedro de Rávena y Johannes Romberch.<sup>129</sup> Hacia finales del siglo XV el arte de la memoria inició una serie de transformaciones a la luz del auge del libro impreso, las corrientes humanistas y el movimiento neoplatónico. Por un lado, entró en decadencia frente a nuevos métodos de estudio y por otro, derivó hacia simbologías complejas –*imago mundi*– y sistemas capaces de revelar saberes ocultos –*clavis universalis*–. El ejemplo supremo de esto último sería, como afirman Rossi y Yates, las obras sobre el arte de la memoria de Giordano Bruno, inspiradas en la obra combinatoria de Ramón Llull.

Para 1482, año de la impresión del *Musica Practica* de Ramos de Pareja, la tradición escolástica basada en los tratados *Ad Herenium*, y la obra de Cicerón y Quintiliano, seguían siendo los modelos a enseñar, tal como Nebrija lograra sintetizar en su obra ya mencionada. Berger ha demostrado el modo en que la mano guidoniana se relacionaba con el arte de la memoria y en especial en su relación con lo que dice el autor del *Ad*

---

<sup>129</sup> Como apunta Francis Yates en el mencionado *The art of memory* (1966), el *Phoenix* (Venecia, Bernadinus de Choris, 1491) de Pedro de Rávena (\*Rávena, 1448; †Mainz, 1508) se convirtió en el más universal de los libros de textos sobre la memoria, recorriendo países a través de sus numerosas ediciones y traducciones que terminaron por secularizar y acercar la mnemotecnia a los quehaceres prácticos de la gente. Por otro lado el *Congestorium artificiose memorie* (Venecia, Melchiorem Sessam, 1533) de Johannes Romberch (\*Romberg, c. 1480; †?, c. 1532) contribuyó a la popularización de la retórica con sus ilustraciones y “alfabetos visuales”, en donde cada letra es asociada a una imagen cotidiana, sea un objeto o un animal. El mecanismo, tan simple, efectivo y en uso actualmente, permitía aprender, retóricamente, la “G” al asociarla con la imagen de un “Gato”.

*Herennium* y los “lugares” (*loci*) e “imágenes” (*imagines*). Así, la invención y perfeccionamiento de los sistemas de notación musical de los siglos IX a XII surgieron bajo la idea de que la altura de una nota podía ser “visualizada” a través de las herramientas básicas del *ars memorativa*. Los sonidos hallaban sitio en los *loci* – articulaciones y falanges– de la mano izquierda al igual que en las líneas y espacios de la *scala* marcando cada nota con una imagen, fuera escrita –una letra o un punto– o hablada –una sílaba–. Busse y Carruthers aclaran que hay una buena cantidad de términos musicales que, muy seguramente, derivarían del arte de la memoria: *locus*, *notae*, *voces*, *clavis*. Las investigaciones de estos autores hacen énfasis en la importancia del *ars memorativa* y en especial, en su papel en las prácticas musicales del Medioevo y los siglos XV, XVI y XVII. No obstante, no hay en dichos ensayos referencias al monocordio, a las técnicas de subdivisión de la cuerda ni a reflexiones filosóficas en torno a la ciencia musical.

A partir de lo investigado, puede concluirse que un monocordio como el de Ramos de Pareja fue elemento fundamental y punto de partida, no sólo de su ciencia musical, sino de todo este arte de la memoria musical. Filosofía-ciencia y retórica-memorística se solapaban en el monocordio, puesto que éste fue el primer y principal de los *loci* donde, a través de un persuasivo procedimiento de sencillas divisiones a mitades y tercios, se habrían revelado nuevas proporciones sonoras a ubicar como marcas –*imagines* y *notae*– en la materialidad del instrumento. Dichas marcas servirían para emitir el sonido, hasta ser memorizado, y colocado como *imagen*, *sílaba* o *signo*, tanto en la *scala*, en la secuencia de sílabas *psal-li-tur-per-vo-ces-is-tas* como en la *mano*, respectivamente. Si el sistema memorístico fallaba en algún punto se debía recurrir a este lugar memorístico privilegiado y comenzar de nuevo, lo que Ramos de Pareja expresaba así:

Si autem lector non ita facile per notulas potest discurrere cum vocis elevatione seu depressione, ad monochordum recurrat [...] Multi volentes totum igitur, quod dictum fuit, debere fieri cum instrumento, *nunc hoc sine eo facere scient notulis inspectis*. [énfasis añadido]<sup>130</sup>

De la cita puede interpretarse que el monocordio funcionaba entonces, como una máquina interactiva memorística; una suerte de diagrama que producía una “tabla” *matemática-acústica-mnemónica* que garantizaba el funcionamiento de los otros sistemas memorísticos –mano, sílabas y notas escritas–. Las marcas en el monocordio no sólo quedaban en la memoria material del objeto, al decir de Nebrija, “como los sellos de los anillos en la cera”<sup>131</sup>, sino firmemente imbricadas con las nuevas verdades científico-musicales de la “afinación justa”; aunque estas últimas, sin duda más cercanas a la práctica musical del momento y la verdadera naturaleza físico-matemática de la cuerda vibrante, parecían ser lo menos importante, por no decir desconocidas.

Dos citas más al tratado de Ramos de Pareja contribuyen a confirmar este papel. La primera quedó expuesta en el Capítulo Primero del Primer Libro, antes de realizar la subdivisión de la cuerda en el monocordio:

“Primo instrumento per artem composito rectas eius divisiones erudiendis ad sensum monstrabimus et chordarum secundum divisiones percussarum sonitum, ut memoriae mandent, admonebimus.”<sup>132</sup>

La segunda, en el Capítulo Sexto del mismo libro, una vez culminada la subdivisión del monocordio regular:

---

<sup>130</sup> “Y si el lector no logra moverse con facilidad por las notas [colocadas en las cinco líneas] en la elevación y depresión de la voz, recurra al monocordio [...] Muchos que pensaban que todo lo que se ha dicho debería hacerse con un instrumento, *sabrán hacerlo ahora sin él con sólo mirar las notas*.” [énfasis añadido] RAMOS [1482] 1990, p. 44.

<sup>131</sup> NEBRIJA, Antonio de: *Rhetorica*. Juan Lorenzo, (ed.). Salamanca, Ediciones Universidad Salamanca, 2007, p.147.

<sup>132</sup> “En primer lugar, dispuesto según arte el instrumento, mostraremos a los principiantes sus correctas divisiones según el sentido, y les enseñaremos el sonido de las cuerdas pulsadas según las divisiones para que lo guarden en la memoria.” RAMOS [1482] 1990, p.20.

Ideo si a memoria caderet creberrimus musicae usus, [...] sed ad priorem divisionem recurrentes sonos connotaremus. Si quis enim istud concorditer aptare voluerit, ad nostri instrumenti sonum convertatur, et illo perpenso istud cognoscet.<sup>133</sup>

*Enséñese, guárdese en la memoria y vuélvase a él en caso de olvido*: ése es el papel que Ramos de Pareja otorga al monocordio. Su instrumento supo reunir varias orientaciones, pues fue presentado, en primera instancia, como instrumento práctico de aprendizaje; pero después se evidenció como “asiento experimental” de un nuevo paradigma y verdad en la ciencia musical –la llamada “afinación justa”–. Finalmente, ambas orientaciones quedarían subsumidas en una metafunción de índole retórico-memorística.

Puede concluirse entonces, que el monocordio de Ramos de Pareja fue un aparato en el que, de hecho, se experimentó y expandió el conocimiento de la verdadera naturaleza del sonido a partir de nuevas proporciones acústicas, que son, sin duda, más cercanas al comportamiento real de las ondas estacionarias en una cuerda vibrante. Sin embargo, dichas proporciones fueron presentadas bajo el contexto de la retórica y las artes de la memoria del siglo XV, las cuales privilegiaban la eficiencia y utilidad práctica del fácil aprendizaje, convirtiendo así al instrumento científico-musical en un *aparato retórico* dispuesto a privilegiar, primero lo verosímil, y sólo después, lo verdadero.

---

<sup>133</sup> “Por eso, si se fuera de la memoria el uso repetido de la música, [...] recurriendo a la primera división tendríamos que anotar los sonidos recurrentes. Y si alguien quiere ajustar eso de modo concorde, vuélvase al sonido de nuestro instrumento.” RAMOS [1482] 1990, p.32.

## 1.6 Apostillas: la retórica del incunable

El *Musica Practica* de Ramos de Pareja es considerado, después de los tratados de Franchino Gaffurio, como uno de los primeros tratados musicales impresos.<sup>134</sup> Tomando en cuenta que el siguiente siglo XVI vería más de trescientos tratados musicales en más de seiscientas ediciones, el pequeño grupo de tratados musicales que aparecieron en las últimas décadas del siglo XV debe ser considerado como el conjunto de auténticos incunables musicales, dados los obstáculos y limitaciones técnicas que imponía la notación musical a la naciente imprenta.

Musicólogos como M. K. Duggan han clasificado los incunables musicales de acuerdo con cuatro tipos, según el tratamiento de la notación musical: *a)* con espacios para colocar música a mano; *b)* con líneas impresas para colocar claves, notas y silencios; *c)* con música impresa proveniente de xilografías; y *d)* más tardíamente, con música impresa proveniente de tipos móviles.<sup>135</sup> El tratado de Ramos de Pareja fue uno de los primeros que sorteó las dificultades técnicas de la notación musical impresa, dejando el espacio blanco para incorporar líneas, a manera de base, y posteriormente colocar las correspondientes notas manuscritas.<sup>136</sup>

---

<sup>134</sup> La trilogía de tratados de Franchino Gaffurio son: *Theorica musica*. Milán, Filippo Mantegazza para Giovanni Pietro da Lomazzo, 1492. [Reimpreso como facsímil en *Monuments of Music and Music Literature in Facsimile*. New York, Broude Brothers, 1967]; *Practica musicae*. Milán, Guillaume La Siguerre para Giovanni Pietro da Lomazzo, 1496; y *De Harmonia musicorum instrumentorum opus*. Milán, Gottardo Ponzio, 1518. [Reimpreso como facsímil en *Monuments of Music and Music Literature in Facsimile*. New York, Broude Brothers, 1979].

<sup>135</sup> DUGGAN, Mary Kay: *Italian Music Incunabula: Printers and Type*. Berkeley, University of California Press, 1992.

<sup>136</sup> Este método se utilizó también en una versión temprana del *Theorica musica* de F. Gaffurio, que fue, primeramente, impreso y presentado en Nápoles en 1480 con el título *Theoricum opus musicae disciplinae*. Al igual que el *Musica Practica* de Ramos, no incluía aún música impresa, pero dejaba el espacio para colocarla, posteriormente, a mano.

Sin embargo, de todas las estrategias persuasivas presentadas en su tratado, destaca una que escapa de toda virtud narrativa o figura retórica. Como explica Cristle Collins Judd en su libro dedicado a los incunables musicales:

*Musica Practica* was obviously intended as an inexpensive textbook.<sup>137</sup>

A diferencia del bien impreso y generosamente ilustrado *Theoricum opus* de F. Gaffurio, el libro de Ramos de Pareja tiene una pobre calidad de impresión, la tipografía es inelegante y está plagado de errores pero, era poco costoso. Esta suerte de “retórica de lo barato” podría verse como un último esfuerzo persuasivo para asegurar que el tratado –con su monocordio de armónicos naturales camuflados en él– llegara a la mayor cantidad de personas. No obstante, todo indica más bien una impresión atropellada y descuidada. Como apunta M. K. Duggan, el dueño que poseía las dos copias que están resguardadas en Bolonia –el erudito italiano y teórico musical Ercole Bottrigari (\*1531; †1612)– se refería al tratado de Ramos de Pareja como “el peor ejemplo de imprenta que había visto.”<sup>138</sup> A pesar de todo esto, el polémico tratado, junto a sus estrategias filosóficas, musicológicas, geométricas y retóricas, a la larga, persuadió y convenció.

---

<sup>137</sup> JUDD, Cristle Collins: *Reading Renaissance Music Theory: Hearing with the Eyes*. Cambridge, Cambridge University Press, 2000, p.19.

<sup>138</sup> Citado en *Ibíd.*



## SEGUNDA PARTE

### 2 EL MONOCORDIO DEL SIGLO XVI, SEGÚN GIOSEFFO ZARLINO

En esta Segunda Parte, una vez esbozados los aspectos biográficos e historiográficos de Gioseffo Zarlino, se procederá a analizar en detalle su monocordio tal como fuera expuesto en su libro *Le Istitutioni Harmoniche*.<sup>139</sup> Al igual que en el caso del monocordio de Ramos de Pareja, este análisis será presentado en tres partes: materialidad, metodología para su utilización y problemas científico-musicales a resolver. Este último aspecto será el que permita caracterizar la naturaleza del monocordio zarliniano en los propios términos que utilizara su autor y en el marco de los debates historiográficos en torno a la definición y clasificación de los instrumentos científicos en el lapso histórico de los siglos XV, XVI y XVII.

#### 2.1 Esbozo biográfico e historiográfico

La referencia más conocida de Gioseffo Zarlino es la breve biografía que dictara el propio Zarlino a Bernardino Baldi y que éste incluyera en su primera compilación *Le vite de' matematici*.<sup>140</sup> Allí puede leerse que nació en enero de 1519 y murió en 1590,

---

<sup>139</sup> ZARLINO, Gioseffo: *Le Istitutioni Harmoniche*. Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1558. Véase en el Apartado titulado “Fuentes primarias investigadas” de la Bibliografía, la información referente, tanto a facsimiles y transcripciones (impresos y digitales) como a traducciones (íntegras o parciales) en otros idiomas. Véase, *infra*, Apartado 2.1, respecto a otras ediciones de dicha obra durante el siglo XVI y en vida de su autor.

<sup>140</sup> Bernardino Baldi (\*Urbino, 1553; *Ibid.*, 1617) poeta, matemático, estudioso de las lenguas y hombre de múltiples intereses, escribió más de cien obras de diversa temática que quedaron sin publicar. Compiló durante doce años la vida y obra de más de doscientos matemáticos –*Le vite de' matematici*– que finalmente se publicó en Urbino en 1707. BALDI, Bernardino: *Le vite de' matematici*. Urbino, ed. manuscrita, 1588-1596. Puede verse en “ECHO – European Cultural Heritage Online”, Max Planck Institute for the History of Science, Library, Tomo I: <http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/MPIWG:C2AZYD29>, Tomo II: <http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/MPIWG:6YVAZF9Y>.

aunque no haya documentos que den crédito exacto de esta información. Según Baldi, estudió gramática, aritmética, geometría, música y fue diácono a los veintidós años. Posteriormente, en el compendio de biografías –publicado póstumamente en 1707 bajo el título *Cronica de matematici*– Baldi escribió sobre las excelencias de Zarlino tanto en matemáticas como en artes, filosofía y, en especial su ideal de un músico que combinara a la perfección tanto los aspectos teóricos como prácticos, es decir: el *Melopeo* o *Musico perfetto*.<sup>141</sup>

Este ideal puede igualmente verificarse en su obra teórico-musical recogida en tres libros:

- *Le Istitutioni Harmoniche*: (Ed.1558); (Ed.1561); (Ed.1562); (Ed.1572); (Ed.1573); (Ed. 1588-1589).<sup>142 143</sup>

---

[Reimp.: E. Nenci, (ed.), Milán, Franco Angeli, 1998]. ID.: *Cronica de matematici. Overo epitome dell'istoria delle vite loro*. Urbino, ed. manuscrita, p. 177-178. Puede leerse y descargarse dicho manuscrito en formato jpg, en el enlace de la *History of Science Collections*, de la red de Bibliotecas de la Universidad de Oklahoma <http://hos.ou.edu/galleries//16thCentury/Baldi/1596/>. Una primera edición impresa es, BALDI, Bernardino: *Cronica de matematici*. Urbino, Angelo Ant. Monticelli, 1707, pp. 142-143. Esta edición impresa, puede leerse on-line y descargarse en el enlace de la *Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, ETH*: <http://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-3851>.

<sup>141</sup> La idea de un *Melopeo* o *Musico perfetto* fue expuesta por Zarlino al final de sus *Sopplimenti Musicali* donde prometía publicar un tratado de 25 libros, en lengua latina y titulado *De re musica*, donde estarían "quelle cose che appartengono al Melopeo, o Musico perfetto". [Véase ZARLINO, Gioseffo. *Sopplimenti Musicali*, Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1588-1589, p. 330]. Esta idea sería retomada por Pedro Cerone en su célebre y voluminoso tratado: CERONE, Pedro: *El Melopeo y Maestro*. Nápoles, J. B. Gargano y L. Nucci, 1613, donde se recogen muchas referencias a Zarlino y otros músicos. [Véase la edición facsímil con estudio introductorio CERONE, Pedro: *El Melopeo y Maestro*. Antonio Ezquerro (ed.). Barcelona, Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC, 2007].

<sup>142</sup> La primera edición de *Le Istitutioni Harmoniche*, (mencionada, *supra*, en la Nota 139), conoció sucesivas ediciones, siempre en: Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1561, 1562, 1572 y 1573. La edición de 1573 apareció con el título simple: *Istitutioni Harmoniche* y, posteriormente, en el compendio de toda su obra, con el título *L'Istitutioni Harmoniche*, editado en 1588-1589. Para una mirada comparativa de estas ediciones véase "Le insitutione harmoniche: an overview", en JUDD, Cristle

- *Dimostrazioni Harmoniche*: (Ed.1571); (Ed. 1588-1589)<sup>144</sup>
- *Sopplimenti Musicali*: (Ed.1588-1589)<sup>145</sup>
- *De Tutte l'opere del R. M. Gioseffo Zarlino da Chioggia*: (Ed.1588-1589)<sup>146</sup>

Esta última compilación, realizada por Zarlino en sus últimos años de vida, fue revisada por éste y, en especial, le permitió tomar perspectiva y establecer referencias con el resto de sus obras; cuestión obvia que no existía en su primera edición de 1558. Por esta razón, puede considerarse como una obra más acabada y comprensiva en la medida que se retroalimentaba –casi “hipertextualmente”, dadas las citas y referencias que entre

---

Collins: *Reading Renaissance Music Theory: Hearing with the Eyes*. Cambridge, Cambridge University Press, 2000, p. 188-200. Se recuerda al lector que puede verse en el Apartado 6.1 titulado “Fuentes primarias investigadas”, la información referente, tanto a estas ediciones, como a facsímiles y transcripciones (impresos y digitales), así como también a traducciones (íntegras o parciales) en otros idiomas.

<sup>143</sup> Para efectos de este trabajo de investigación y sus referencias bibliográficas, se utilizará la última edición impresa en 1588-1589, teniendo siempre en cuenta los treinta años que median entre ambas ediciones, y las revisiones que el propio autor realizara en vida a sus planteamientos y experimentaciones expuestos en la edición de 1558. A partir de esta cita, cuando se haga mención a esta obra, titulada en su última edición de 1588, como *L'Istitutioni Harmoniche*, se colocará la cita bibliográfica como sigue: ZARLINO [1558-1588] número de página.

<sup>144</sup> ZARLINO, Gioseffo. *Dimostrazioni Harmoniche*. Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1571. Véase, en el Apartado 6.1 titulado “Fuentes primarias investigadas”, la información referente a facsímiles y transcripciones (impresos y digitales).

<sup>145</sup> ZARLINO, Gioseffo. *Sopplimenti Musicali*, Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1588-1589. Véase, en el Apartado 6.1 titulado “Fuentes primarias investigadas”, la información referente a facsímiles y transcripciones (impresos y digitales).

<sup>146</sup> Esta obra era un compendio que reunía las tres obras anteriores (*Institutioni*, *Dimostrazioni* y *Sopplimenti*), junto a un cuarto tratado con diversas obras no musicales que fueron editadas, en conjunto, por el mismo editor veneciano como: ZARLINO, Gioseffo: *De Tutte l'opere del R. M. Gioseffo Zarlino da Chioggia*. 4 vols. Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1588-1589. Véase, en el Apartado 6.1 titulado “Fuentes primarias investigadas”, la información referente a facsímiles y transcripciones (impresos y digitales).

ellas indicaba Zarlino— de su propia trayectoria intelectual. Por estas mismas razones, se ha seleccionado esta última edición para las referencias bibliográficas de la presente investigación, sin por ello dejar claro que las observaciones y experimentaciones datan de 1558, es decir, unos 30 años atrás. A continuación el frontispicio del volumen dedicado a *L'Istitutioni Harmoniche*, según su edición de 1588-1589.

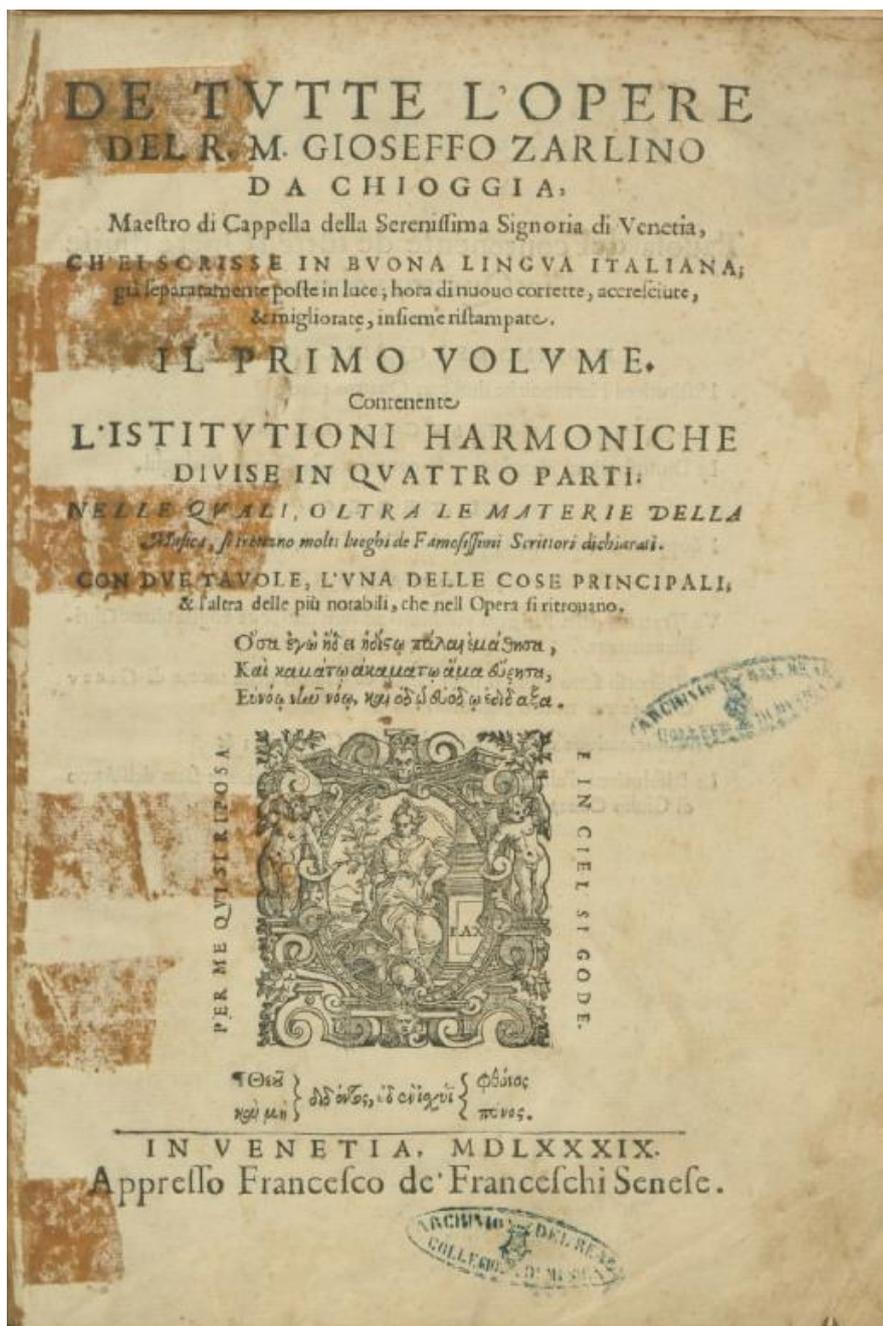


Fig. 12. Frontispicio de *L'Istitutioni Harmoniche*, editado en 1588-1589.

En cada una de las obras de Zarlino había un deseo explícito por otorgar a la música una fundamentación teórica sólida que racionalizara toda práctica. Para Zarlino, la racionalidad y la sensibilidad musical eran aspectos que no vivían de manera autónoma y por ello el creador debía devenir en filósofo, pues no es sólo quien sabe hacer, sino quien sabe el porqué hace lo que hace. En este sentido, los capítulos 18 al 27 de las *Istitutioni Harmoniche* –dedicados al monocordio– actúan como bisagra entre una primera parte dedicada a la *musica theorica*, –aspectos filosóficos, cosmológicos y matemáticos de la música– y el resto de la obra, que establecía las leyes de las prácticas compositivas. En su segunda obra, las *Dimostrazioni Harmoniche*, el monocordio desempeñaba un papel similar al expuesto en las *Istitutioni*, y en especial, Zarlino aseguraba allí que

[...] questo Istrumento [Regola harmonica o Monocordo] mi fece fare il nostro M. Vincenzo Colombi ottimo fabricatore d'Organi, per sua cortesia.<sup>147</sup>

Dicho monocordio, muy probablemente, sea el que quedó recogido en el inventario de bienes realizado a su muerte en 1589.<sup>148</sup> Allí puede leerse la existencia de un *monocordo sordo* que permanecía en el *portego*, es decir a la entrada de su casa, junto a otras tablas de madera y conformando una colección, que incluía: un astrolabio, un reloj de contrapesos, dos mapamundi y una pequeña esfera de latón, entre otros. En su tercera obra, los *Sopplimenti Musicali*, el monocordio se da por sabido y Zarlino se concentra en el uso del instrumento matemático *mesolabium*, para dividir en proporciones iguales la cuerda vibrante, tal como se comentará en el Apartado 2.4. En resumen, de sus tres

---

<sup>147</sup> “[...] este instrumento [la regla armónica o monocordio] me lo hizo hacer nuestro Vincenzo Colombi, ottimo fabricante de órganos, por su cortesia.” ZARLINO, Gioseffo: *Dimostrazioni Harmoniche*. Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1571, p. 219. Vincenzo Colombi (\*Casale Monferrato, c. 1490; †Venecia, 1574), fue fabricante de órganos, célebre por la construcción del órgano de la Catedral de San Marcos de Venecia, en 1549, y del órgano de la catedral de Valvasone (norte de Italia), construido en 1532, único órgano veneciano superviviente del siglo XVI.

<sup>148</sup> PALUMBO-FOSSATI, Isabella: “La casa veneziana di Gioseffo Zarlino nel testamento e nell’inventario dei beni del grande teorico musicale”, en *Nuova Rivista Musicale Italiana*, 20 (1986), pp. 633-649.

célebres obras teóricas, la primera es la que más datos aporta en torno al instrumento, su materialidad, su método de cálculo y las experimentaciones realizadas. A ella se dedicará esta investigación en detalle.

A lo anterior hay que sumar que Zarlino estudió lógica, filosofía, griego y hebreo, y que entre sus discípulos destacaron músicos como Claudio Merulo, Giovanni Maria Artusi y Vincenzo Galilei.<sup>149</sup> Zarlino fue considerado como la más grande autoridad en música de su tiempo y se granjeó la más alta estima de sus contemporáneos; pero no por ello dejó de ser objeto de debates y controversias, en especial con su alumno Vincenzo Galilei.<sup>150</sup> Tras ser nombrado en julio de 1565 *maestro di cappella* de San Marcos en Venecia, se mantuvo en ese puesto hasta su muerte en 1583. Su obra como compositor ha quedado eclipsada por su labor filosófica y sus composiciones son consideradas correctas y acordes a las reglas del ritmo y la palabra hablada, pero en general han sido poco divulgadas y son consideradas conservadoras. Sin embargo, en su intento por encontrar en un mismo terreno filosófico al antiguo sistema tonal griego con las modernas teorías de la consonancia y la llamada “afinación justa”, Zarlino construyó una vasta síntesis de saberes – matemáticas, filosofía, teología, literatura, historia y música– que lo convierte en una auténtica figura del Renacimiento.

---

<sup>149</sup> Claudio Merulo (\*Correggio, 1533; †Parma, 1604). Compositor y editor, es considerado como el más dotado de los compositores-ejecutantes de su época, responsable de haber transformado los géneros de piezas para teclado en Europa, de piezas simples basadas en modelos vocales, a obras virtuosas e idiomáticas. También fue compositor prolífico de madrigales, misas y motetes. Vincenzo Galilei (véase una mínima semblanza biográfica en la Nota 50, Pág.34). Giovanni Maria Artusi (\*Bologna, c. 1540; †*Ibid.*, 1613). Teórico y compositor, fue uno de los principales teóricos de la música italiana alrededor del siglo XVII y especialmente notable por su crítica a los puntos de vistas tradicionales de la época.

<sup>150</sup> Para una vision general de estos debates véase “Introduction”, en GOZZA, Paolo (ed.): *Number to Sound: The Musical Way to the Scientific Revolution*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2000, Más específicamente véase WALKER, Daniel Pickering: *Studies in musical science in the late Renaissance*. Londres, The Warburg Institute, 1978, pp. 14-27. Otros ensayos que amplían el debate son: SARGOLINI, Federica: “La critica di Vincenzo Galilei al misticismo numerico di Gioseffo Zarlino”, en *Nunciuss. Annali di storia della scienza*, 15/2 (2000), pp.519-550; MORENO, Jairo: *Musical Representations, Subjects, and Objects: The Construction of Musical Thought in Zarlino, Descartes, Rameau, and Weber*. Bloomington, Indiana University Press, 2004.

Musicólogos como Claude Palisca han mantenido gravitando el papel de Zarlino, en torno a la esfera pitagórica, considerando que su obra habría buscado, solamente, mitigar las conocidas imperfecciones que dicha teoría venía arrastrando desde su concepción. Sin embargo los esfuerzos intelectuales de Zarlino deben ser vistos como una búsqueda de “conciliación” y hallazgo de una solución científica formal común para dos paradigmas científico-musicales, de hecho, inconmensurables entre sí –valga la metáfora kuhniana–: el sistema griego y la moderna teoría de la “afinación justa”.<sup>151</sup> Esta inconmensurabilidad no sólo hace referencia a términos o prácticas, sino a la propia ciencia musical griega que con su sistema de veinte notas, su estructura tetracordal y su afinación pitagórica, producía proporciones armónicas de hecho inconmensurables –ahora, matemáticamente hablando–, con aquellas provenientes de la “afinación justa” del siglo XVI y su estructura de doce semitonos en la octava.

Un talante más afín a la historia de la ciencia lo presentó Ann Moyer en el capítulo titulado “The Science of Sound and the Study of Culture” cuando caracterizara a Zarlino más bien como un filósofo natural cuyo esfuerzo es de índole matemático y orientado a la observación y medida.<sup>152</sup> A pesar que Moyer reconocía que ese esfuerzo fue acompañado por un objeto material –el monocordio– y asistido por un instrumento matemático de medida –el mesolabio–, la revisión detallada de los mismos, la confirmación de sus experimentos y la exacta naturaleza de ambos objetos no están explicitadas. Respecto al encuentro entre monocordio y mesolabio algunos historiadores de la ciencia musical han puesto allí especial atención siendo el ensayo más relevante el del musicólogo Patrizio Barbieri, respecto de la posibilidad real de su utilización como

---

<sup>151</sup> Como es sabido, la “inconmensurabilidad” se refiere aquí al término metafórico propio de la filosofía de la ciencia, que supone la ausencia de un “lenguaje común” o algún instrumental teórico e, incluso prácticas experimentales comunes, que sirvan para poder comparar dos teorías científicas en la historia y verificar algún tipo de “progreso” o “cambio acumulativo”. Véase KUHN, Thomas: *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago, University of Chicago Press, 1962 (Trad. cast.: *La estructura de las revoluciones científicas*. México, Fondo de Cultura Económica, 1971).

<sup>152</sup> MOYER, Ann: *Musica Scientia. Musical scholarship in the Italian Renaissance*. New York, Cornell University Press, 1992, p. 225.

instrumento matemático, su resolución, y su capacidad explicativa en el campo de la música.<sup>153</sup>

Zarlino puede considerarse un punto de no-retorno en el desarrollo de la ciencia musical, pues a pesar de fundamentarse en misticismos numéricos propios de la época, supo contraponer, definitivamente, la experiencia sensible como juez final de su filosofía. El reconocimiento de las prácticas musicales del momento se enfrentó a la ausencia de una racionalización teórica de las mismas y como filósofo orientó su esfuerzo a hallar una justificación, a lo que la práctica musical sancionaba como plausible. Así pues, sus instrumentos –monocordio y mesolabio–, fueron espacios donde “investighiamo [...] descrivemo [...] ed impariamo ad essercitar”, las soluciones a los problemas científico-musicales que se planteara en torno a la consonancia.<sup>154</sup> Para ello, debió poner en tela de juicio la supuesta perfección de las tradiciones pitagóricas e insertar en la ciencia musical la coexistencia de la perfección con la imperfección, es decir, la aceptación de intervalos musicales que si bien no eran explicables por aritméticas simples, podían ser aceptados tanto práctica como teóricamente porque había justificación matemática y sensible para ello.

## 2.2 Dimensiones y materialidad del monocordio

En el Cap. XVIII de *L'Istitutioni Harmoniche*, Zarlino solicitaba al lector, como condición primera y necesaria, para conocer cualquier sonido o consonancia, que construyera un monocordio:

Ma prima è dibisogno, che si ritroui un'Asse, o Tauola, che la uogliamo dire, ben piana, lunga due braccia; più, o meno, che non fa caso; la quale sia larga almen quattro ditta, & grossa due, o più; [...] tiraremo nel mezo di essa [Asse] per lungo una Linea dritta, [...] & tal Linea seruirà in

---

<sup>153</sup> BARBIERI, Patrizio: “Il mesolabio e il compasso di proporzione: le applicazioni musicali di due strumenti matematici (1558-1675)”, en *Musica, scienza e idee nella Serenissima durante il Seicento : atti del convegno internazionale de studi, Venezia-Palazzo Giustinian Lolin, 13-15 dicembre 1993*. Venecia, Edizioni Fondazione Levi, 1996, pp. 201-220.

<sup>154</sup> “investigamos [...] describimos [...] y aprendemos a ejercitar [...]” ZARLINO [1558-1588] p. 98.

luogo di Chorda. Dai cap i di quella poi si porrà due Scannelli immobili; sopra i quali, dopo fatta la misura, si potrà tirare una, ò piu chorde secondo'l bisogno.<sup>155</sup>

De estas instrucciones, y otros detalles expuestos en el Cap. XX, se deduce:

- *Materiales.* Madera o tabla sin especificar tipo.
- *Dimensiones.* Longitud: alrededor de 137 cm; ancho: no menos de 8,7 cm; grosor: mínimo 4,35 cm.<sup>156</sup>
- *Caballetes.* 2 caballetes (*scanelli*) inmóviles, y un caballete móvil, que levanten la cuerda, no más de una “costa di coltello”.<sup>157</sup>

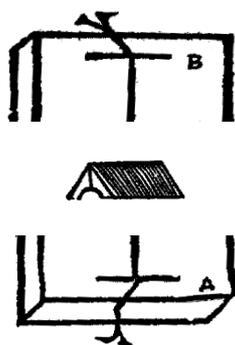


Fig. 13. Detalle de caballetes inmóviles. ZARLINO [1588] p. 145, y caballete móvil, *Ibid.*, p. 110.

- *Cuerdas:* Una o varias cuerdas iguales, sin especificar materiales ni grosor.

---

<sup>155</sup> “Pero primero es necesario, que se encuentre una Madera o Tabla, y queremos decir, bien plana, larga de dos brazos; más o menos, aunque no tiene importancia; la cual sea larga de al menos cuatro dedos, y gruesa de dos, o más, [...] colocaremos al medio de esa [tabla] a lo largo, una línea recta, [...] y tal línea servirá luego de Cuerda. Desde arriba y a partir de aquella, después se colocarán dos caballetes inmóviles, sobre los cuales se podrá colocar una, o más cuerdas, según se necesite.” ZARLINO [1558-1588] p. 107.

<sup>156</sup> Las aproximaciones históricas a las medidas venecianas, anteriores al sistema métrico decimal, son,

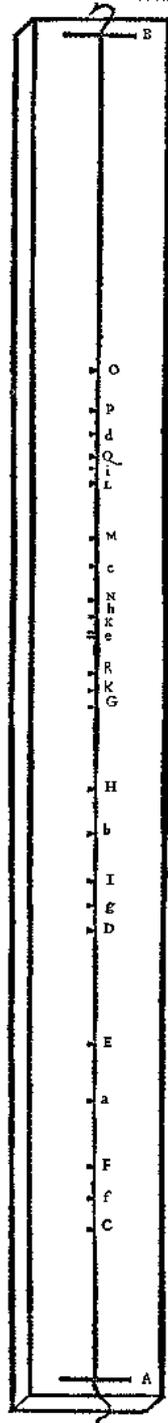
- 1 *braccio veneziano* = 0,683 m

- 1 *ditto* = 2,175 cm (la dieciseisava parte de un *piede veneziano* = 0,348 m)

Véase MARTINI, Angelo: *Manuale di metrologia, ossia, Misure, pesi e monete in uso attualmente e anticamente presso tutti i popoli*. Roma, E.R.A., 1976, p. 817. Puede leerse o descargarse, en formato jpg, en el enlace de la Biblioteca Nazionale Braidense <http://www.braidense.it/dire/martini/modweb/>.

<sup>157</sup> “[...] un costado de cuchillo [...]” ZARLINO [1558-1588] p. 107. Dadas las proporciones de las ilustraciones presentadas por Zarlino, puede asumirse de unos 3 cm de largo y 1,5 de alto.

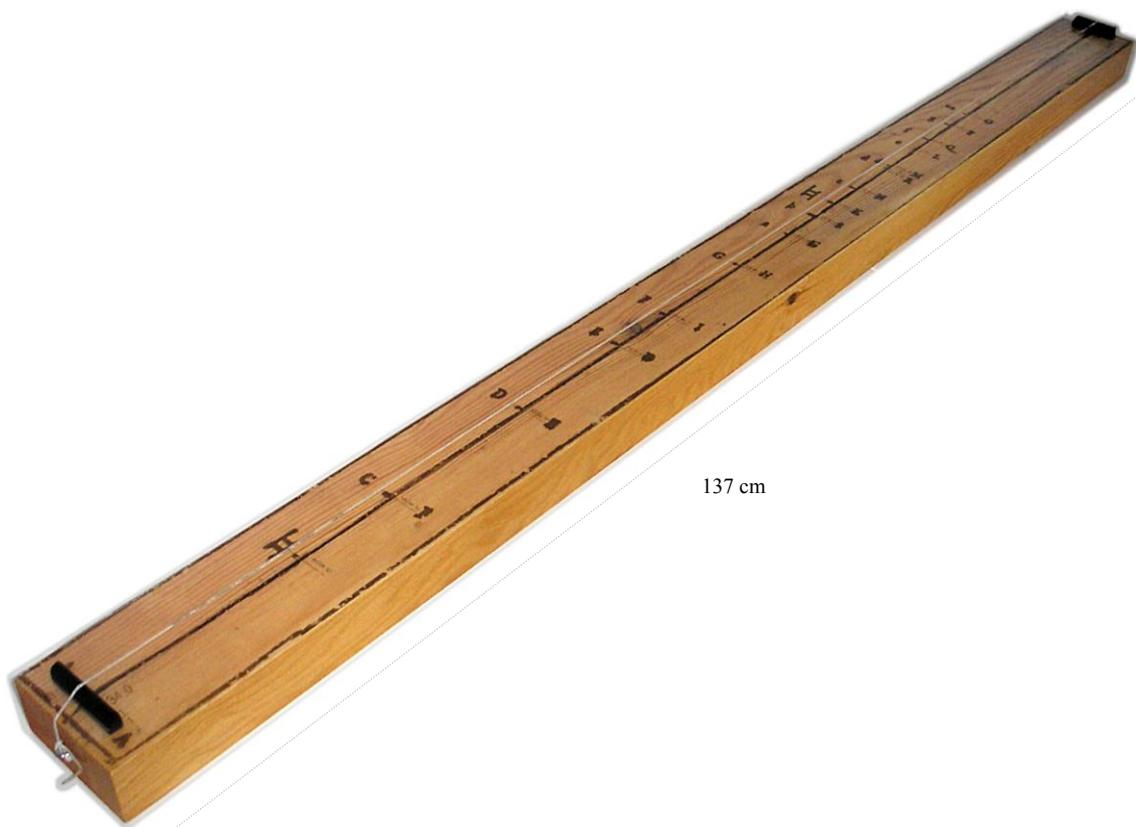
La imagen ofrecida por Zarlino, una vez fueran realizadas las subdivisiones según la tradición pitagórica y fundidos en un solo monocordio los géneros de la música griega, era la siguiente:



**Fig. 14. Monocordio con las subdivisiones de los géneros Diatónico, Cromático y Enarmónico.**

ZARLINO [1588] p. 145.

De estas imágenes, y lo escrito por Zarlino, puede inferirse que dicha tabla es maciza y, por lo tanto, no puede considerarse caja de resonancia alguna. Debe reconocerse que dicha imagen, a pesar de haber ganado en materialidad y detalles al compararla con la de Ramos de Pareja, es, aún, un esquema. No se observa materialidad en los caballetes inmóviles y las cuerdas sólo se atisban por medio de los ligeros retorcimientos en sus extremos. Aunque estos caballetes inmóviles sean representados como dos líneas (ver **Fig. 13**), pueden asumirse de 1 cm de grosor y un poco menos de altura que el caballete móvil, garantizando así, la futura subdivisión de la cuerda y cierta tensión en la misma. No obstante Zarlino no mencionara solución alguna para fijar y tensar las cuerdas, podrían fijarse al canto –en alguno de los extremos A, B o en ambos–, una grapa metálica o un clavo en forma de “L” que controle la tensión de la cuerda. Con los anteriores datos puede reconstruirse su monocordio (utilizando madera de abeto, cuerda de tripa y caballetes de ébano), ofreciendo esta apariencia:



**Fig. 15. Reconstrucción del monocordio “perfecto”, según Gioseffo Zarlino. Sobre la tabla se ha colocado una hoja de acetato que reproduce la ilustración original.**



**Fig. 16. Detalle del monocordio “perfecto”, según Gioseffo Zarlino, mostrando superpuestas, la exacta colocación de las marcas de las proporciones armónicas.**

En comparación con el monocordio de Ramos de Pareja, se ha ganado en dimensiones (aproximadamente tres veces más largo), y con ello, las observaciones pueden refinarse hasta el milímetro, tal como fueran las mínimas subdivisiones a las cuales Zarlino sometería la cuerda vibrante. Sin duda, sigue siendo muy básica su morfología, pero detalles como los caballetes han agregado mayor precisión en la producción exacta de las proporciones sonoras.

## **2.3 Método de utilización del monocordio**

### **a) Introducción**

Para comprender la metodología de utilización del monocordio por Zarlino es menester enmarcarlo en tres aspectos:

a) Un marco teórico matemático propio: el *senario*.

b) Un marco histórico: rechazo de los pitagóricos y émulos de los antiguos (en especial Ptolomeo).

c) Un marco práctico: la llamada “afinación justa” de la música práctica del siglo XVI.

a) **Senario**: Zarlino expandió el antiguo *tetractys* 1:2:3:4 que explicaba las consonancias pitagóricas, al rango de números naturales del 1 al 6 –el *senario*–.<sup>158 159</sup> Zarlino afirmaba que este número era capaz de explicar y producir todas las consonancias musicales a partir de la secuencia aritmética: 1:2, 2:3, 3:4, 4:5, 5:6 y sus variantes 3:5 y 5:8. Las diversas razones estaban expuestas en el Cap. XIV de la *Prima Parte* titulado *Che dal numero Senario si comprendeno molte cose della natura & dell'arte*, donde Zarlino enumeraba, en seis unidades, una variopinta serie de conjuntos que se iniciaba con las cosas “superiores y naturales” –el zodiaco, los planetas, los círculos celestes– hasta, finalmente, arribar a los elementos de la música v.g., las mismas seis consonancias aceptadas en el siglo XVI.<sup>160</sup>

---

<sup>158</sup> El término “senario” (del lat. *senarius*), alude a la cualidad de un conjunto cuyo rango son seis elementos, unidades o guarismos. También puede interpretarse como un adjetivo (al igual que binario, secundario, terciario cuaternario, quinario, senario...) que caracteriza una propiedad y posición.

  
<sup>159</sup> El *tetractys* (lit. el cuarto) es un arreglo triangular de 10 puntos en forma de cuatro filas de uno, dos, tres y cuatro elementos, respectivamente. En la aritmética pitagórica era entendido como el cuarto número triangular después del 1, 3 y 6 y como una representación del número 10. A su vez, se considera que pertenecía al misticismo simbólico de los pitagóricos quienes lo asociaban a los cuatro elementos y al orden en el cosmos. Véase *supra* en la **Fig. 1**, Pág. 13, el esquema de las consonancias basadas en el *tetractys*.

<sup>160</sup> A continuación la singular enumeración expuesta en ZARLINO [1558-1588] p. 30-31:

6, los elementos del Zodiaco: si bien son 12 los signos zodiacales, sólo 6 son visibles en cada hemisferio.

6, los planetas que cruzan la eclíptica: Saturno, Júpiter, Marte, Venus, Mercurio y la Luna.

Estas enumeraciones intentaban dejar al lector harto convencido de la capacidad explicativa necesaria del *senario*, a pesar que Zarlino escribiera que,

- 
- 6, los círculos del cielo: Ártico, Antártico, Trópico de Cáncer y de Capricornio, Equinoccial y Eclíptica.
  - 6, las cualidades de los elementos: liquidez, rarefacción, movimiento y sus contrarios obtusidad [solidez], densidad y quietud.
  - 6, las cualidades de las cosas: grandeza, color, figura, intervalo, estado y movimiento
  - 6, las especies del movimiento: generación, corrupción, crecimiento, disminución, alteración y mutación.
  - 6, según Platón, las posiciones de un objeto: arriba, abajo, delante, detrás, a la derecha y a la izquierda.
  - 6, las aristas de una pirámide triangular.
  - 6, las caras de una figura cuadrada sólida.
  - 6, los triángulos equiláteros, en una figura circular.
  - 6, las veces que puede trazarse una circunferencia en un círculo si se trazan desde el extremo del radio mismo.
  - 6, los grados del hombre: esencia, vida, movimiento, sentido, memoria e intelecto.
  - 6, las edades del hombre: infancia, pubertad, adolescencia, juventud, vejez y decrepitud.
  - 6, las edades del mundo. [Aunque Zarlino no especificaba cuáles eran dichas edades, la tradición otorgaba cinco edades al Antiguo Testamento y una al Nuevo Testamento, como sigue: del Génesis a Adán y Eva y sus descendientes; de allí hasta Noé y el Diluvio; de allí hasta Abraham y sus descendientes; a partir del Rey David; a partir del nacimiento de Jesucristo; y la última: hasta el Apocalipsis].
  - 6, según Lactancio, los miles de años que durará el mundo. (Zarlino lo consideraba un error).
  - 6, los trascendentes de la filosofía: ente, uno, lo cierto, el bien, alguna cosa, cualquier cosa, la cosa.
  - 6, los modos lógicos de una proposición: verdadero, falso, posible, imposible, necesario y contingente.
  - 6, las generaciones de cantores de himnos griegos.
  - 6, los pies de los versos de los poemas heroicos.
  - 6, al multiplicarse por sí mismo produce números siempre terminados en 6.
  - 6, las voces musicales: unísono, equisono [octava], consonancia, disonancias, apreciables [*emmele*] e inapreciables [*ecmele*].
  - 6, las consonancias: *diapason* [octava], *diapente* [quinta], *diatessaron* [cuarta ], *ditono* [tercera mayor], *semiditono* [tercera menor] y unísono.
  - 6, las armonías de los antiguos: dórica, frigia, lidia, mixolidia, locria, eólica y jónica.
  - 6, los modos de los músicos modernos: tanto 6 Auténticos como 6 Plagales.

[...]Lungo sarebbe il uoler raccontare di vna in vna tutte quelle cose, che sono terminate nel numero Senario; ma contentandoci *per hora* di quello, che è stato detto...” [énfasis añadido]<sup>161</sup>

Zarlino utilizaba aquí el recurso aristotélico de conocer por *epagoge* –que puede traducirse como “inducción” y también como “comprobación”–, pues “a partir de [la sensación] de la pluralidad de singulares se hace evidente lo universal”, tal como afirmara Aristóteles en los *Analíticos Posteriores*.<sup>162</sup>

No obstante, puede interpretarse que ese “por ahora” era un reconocimiento a no haber sido exhaustivo o no haber alcanzado una verdad autoevidente. En ninguna otra parte del tratado se ofrecería un razonamiento contundente sobre la universalidad del *senario*, y no por ello, Zarlino afirmaría –como verdades *a priori*– que en el *senario* “sono

---

<sup>161</sup> “Largo sería querer hacer un recuento de una en una, todas las cosas que son determinadas por el número Senario, pero contentándonos *por ahora* con aquello que se ha dicho [...]”[énfasis añadido] ZARLINO [1558-1588] p. 31.

<sup>162</sup> Aristóteles –*el Filósofo*– es un pensador omnipresente tanto en la obra zarliniana como en muchos de los nuevos desarrollos intelectuales de la zona del Véneto en el siglo XVI. Una revisión de *Le Istitutione Harmoniche*, muestra a menudo su nombre acompañado del verbo “demostrar”, y así pueden leerse frases como estas: “come chiaramente lo dimostra Aristotele”; “come proua Aristotele; come dimostra il Filosofo”; “Onde Aristotele volendo mostrar”; “esspressamente conferma Aristotele dicendo” y otras más. Es decir, los mecanismos de razonamiento aristotélico gravitan en la mayoría de la obra zarliniana, y las citas son múltiples y referidas a libros como el *De la naturaleza de los animales*, *Categorías*, *Política*, *Física*, *Metafísica* y los *Analíticos*. El propio Zarlino lo evidenció en su *Istitutione Harmoniche*, cuando decía querer saber sobre todas las cosas y haber querido en esto imitar al “Filósofo.” En este caso, la enumeración no exhaustiva permitía, según Aristóteles, construir la argumentación de que siendo *a, b, c*, particulares que poseen la misma cualidad esencial *e*; a su vez puede enunciarse que *a, b, c* poseen el mismo atributo particular *p*. Aristóteles afirmaba que esto era posible pues el alma es capaz de percibir lo universal y eso permite enunciar que todos los miembros que poseen la cualidad esencial *e* poseen el atributo *p*. Véase Cap. 18 y 31 de “Analíticos Segundos”, en ARISTOTELES: *Tratados de Lógica (Organon)*, Madrid, Gredos, 1988.

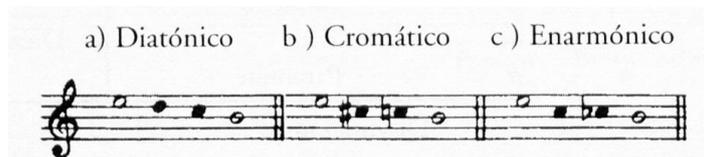
contenute tutte le forme delle semplici consonanze, possibili da ritrouarsi, atte a producir le harmonie & le melodie.”<sup>163</sup>

b) **Rechazo de los pitagóricos y émulos de los antiguos.** Zarlino cuestionó y rechazó de plano la tercera mayor pitagórica de proporción 81:64. A su vez, al utilizar un esquema de proporciones musicales basadas en su *senario*, y por lo tanto diferente al *tetractys* pitagórico, Zarlino rechazaba también, la fundamentación de la antigua teoría. Sin embargo, no rechazó la sistematización de los antiguos, pues mantuvo el esquema de veinte notas basado en el método de superponer tetracordos según la antigua ciencia musical griega.<sup>164</sup> Para estructurar dicho esquema, Zarlino recuperó de la historia una de

---

<sup>163</sup> *Ibid.*, p. 13. “están contenidas todas las formas de las consonancias simples que se pueden encontrar, además de que producen las armonías y las melodías.” ZARLINO [1558-1588] p. 29.

<sup>164</sup> El tetracordo griego era, según las tradiciones pitagóricas y siguiendo la sistematización de Boecio, la estructura básica de organización de los sonidos en el sistema griego. El tetracordo constaba de una secuencia de cuatro notas descendentes cuya estructura interna podía presentarse según tres géneros, atendiendo a las distancias entre las notas del tetracordo. Una manera simplificada de describir cada tetracordo sería la siguiente:



[Ilustración extraída de GROUT, Donald y PALISCA, Claude: *Historia de la música occidental*, Madrid, Alianza, (1980) 2005, p. 27].

Las proporciones exactas de los tonos, semitonos y cuartos de tono son objeto de debate por los teóricos, pero pueden generalizarse así :

- Género diatónico: tono – tono – semitono
- Género cromático: tono y semitono – semitono – semitono
- Género enharmónico: ditono – cuarto de tono – cuarto de tono

Así, dado un género de tetracordo, los griegos construyeron su sistema de sonidos completo superponiendo tetracordos, descendiendo del agudo al grave, hasta alcanzar una última nota grave denominada *Proslambanomenos*. Con este criterio, construyeron dos Sistemas –el Perfecto Mayor y el Perfecto Menor– dándole a cada tetracordo un nombre característico proveniente de la colocación de las cuerdas de la lira. La estructura de cada sistema era la siguiente:

las múltiples subdivisiones del monocordio que Ptolomeo recogió en sus investigaciones armónicas y, en un acto de racionalización retrospectiva, propuso que el tetracordo Diatónico *syntono* de Ptolomeo (también llamado *intensum*), sería el único que permitiría construir el nuevo sistema y usar correctamente la armonía, puesto que ese tetracordo

[...] sia etiandio diviso, et ordinato secundo la natura, et passione dei numeri harmonici, [...]»<sup>165</sup>

Este tetracordo poseía, para Zarlino, las siguientes proporciones:

---

**Sistema Perfecto Grande o Mayor**

- Notas fijas
- Notas movibles según el género

**Sistema Perfecto Pequeño o Menor**

- Notas fijas
- Notas movibles según el género

[Ilustraciones extraida de GROUT, Donald y PALISCA, Claude: *Historia de la música occidental*, Madrid, Alianza, (1980) 2005. p.27.

Cada sistema podía utilizar tetracordos de cada uno de los géneros y, como puede deducirse, al combinar los géneros y los sistemas se obtenían hasta seis sistemas de sonidos: tres Perfectos mayores y tres Perfectos menores –diatónico, cromático y enharmónico respectivamente–. Para una consulta de las principales fuentes primarias de la música griega –traducidas al inglés– y una historia detallada de la teoría de la música griega véase BARKER, Andrew: *Greek Musical Writings. Vol. II: Harmonic and Acoustic Theory*. Cambridge, Cambridge University Press, 1989; ID.: *The science of harmonics in classical Greece*. Cambridge, Cambridge University Press, 2007.

<sup>165</sup> “[...] está dividido y ordenado según la naturaleza y las pasiones de los números armónicos, [...]” ZARLINO [1558-1588] p. 149.

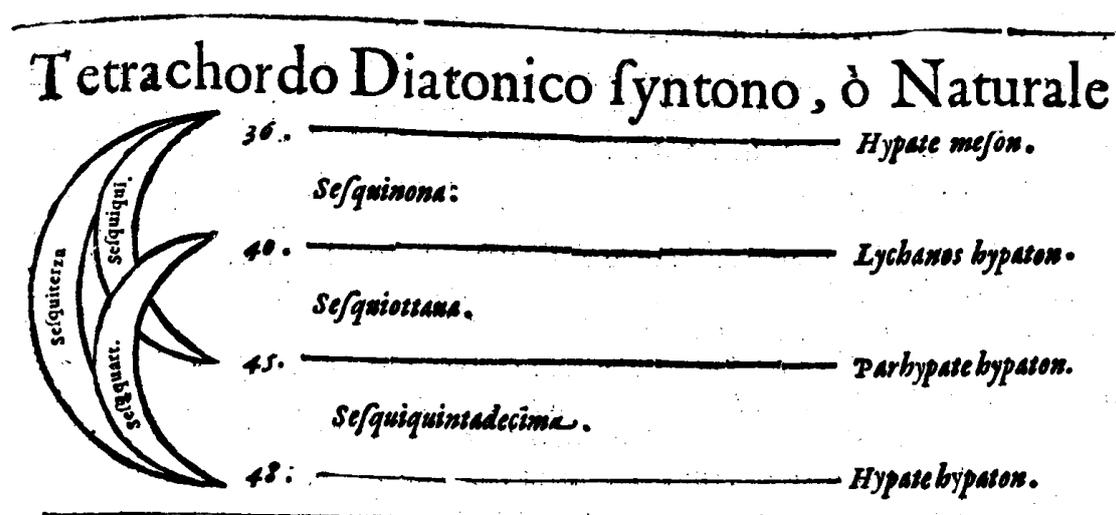


Fig. 17. Tetracordo diatónico *syntono* de Ptolomeo, según lo expuesto por Zarlino.

ZARLINO [1588] p. 103.

Estos números, como se ve en la figura, producían esta secuencia de proporciones:

- $40:36 = 10:9$  tono menor [sesquinona]
- $45:40 = 9:8$  tono mayor [sesquiocava]
- $48:45 = 16:15$  semitono mayor [sesquiquintadécima]

De hecho, los números propuestos por Ptolomeo eran los siguientes: 504 – 560 – 630 – 672, que como es fácil calcular, contenían, entre sí, las mismas proporciones que los números propuestos por Zarlino.<sup>166</sup>

c) **La afinación justa y la música práctica del siglo XVI.** Como puede deducirse del punto b), el tetracordo *syntono* de Ptolomeo poseía la particularidad de presentar las proporciones propias del *senario* y satisfacer la “afinación justa” con la proporción sesquiquinta  $48:40 = 6:5$ , correspondiente a la tercera menor  $-3^a$  m– entre la primera y tercera línea (en la figura, de abajo hacia arriba); y también, la proporción sesquicuarta

<sup>166</sup> Véase la referencia al tetracordo *intensum* de Ptolomeo, en BARKER, Andrew: *Greek Musical Writings*. Vol. II: *Harmonic and Acoustic Theory*. Cambridge, Cambridge University Press, 1989, p. 310.

45:36 = 5:4, correspondiente a la tercera mayor –3ª M– entre la segunda y cuarta línea. Desde la época de Ramos de Pareja se había consolidado en la práctica musical el uso de estas terceras mayores y menores justas no pitagóricas; sin embargo, su justificación filosófica y matemática no había sido realizada. Como se concluyó en la Primera Parte de esta investigación, el proyecto de Ramos de Pareja había consistido en ofrecer tan sólo un mecanismo mnemotécnico para hallar dichas proporciones en el monocordio; por el contrario, el proyecto filosófico de Zarlino, como ya se ha dicho, consistiría en una racionalización teórica y matemática de esta práctica consolidada y aceptada por los músicos prácticos desde mediados del siglo XV.

Así entonces, el *senario*, junto al sistema griego basado en el tetracordo *syntono* de Ptolomeo y la práctica musical del siglo XVI, basada en la “afinación justa”, se convirtieron en el contexto científico-musical que enmarcó los esfuerzos de Zarlino. Si bien esto puede interpretarse, respectivamente, como un punto de partida donde conviven el misticismo numérico, las coartadas históricas del humanismo renacentista y el reconocimiento de la sensibilidad de los prácticos modernos, los problemas científicos a los que se enfrentó Zarlino evidenciaron la imposibilidad de fundirlo todo en una sola entidad.

\* \* \*

En una primera instancia, Zarlino construyó un monocordio donde las consonancias se encontraban –según sus términos– de modo *vere et naturali*.<sup>167</sup> No obstante, enseguida reconoció allí la *imperfettione*, dada la existencia de una proporción que, según Zarlino, causaba molestia y debía evitarse: la llamada *coma sintónica*. Ante este problema científico-musical, Zarlino propuso como solución un segundo monocordio, que se vería asistido en su subdivisión de la cuerda por el instrumento matemático denominado *mesolabio*. Esto permitió a Zarlino asumir y racionalizar la imperfección como parte estructural de la ciencia musical, siempre y cuando, una vez calculados y ejecutados los nuevos sonidos en el monocordio, el juicio sensible del oído no quedara ofendido.

---

<sup>167</sup> “verdaderas y naturales” ZARLINO [1558-1588] p.150.

Como puede interpretarse, la estrategia de Zarlino busca “conciliar” –en el sentido cuasi jurídico del término, es decir, un acuerdo para evitar un “pleito” o desistir del ya iniciado– el sistema griego y la moderna teoría de la “afinación justa”.

Este análisis consta de tres fases: *a)* primer monocordio que puede denominarse como “perfecto”, junto al reconocimiento de la coma sintónica como problema a resolver; *b)* utilización del mesolabio para dividir dicha coma en varias partes iguales que puedan, posteriormente, repartirse entre el resto de cuerdas; y *c)* reestructuración de las proporciones en un segundo monocordio “imperfecto” pero plausible, en la medida en que la coma ha quedado “disuelta” entre todas las cuerdas. Finalmente, una vez expuesto este análisis, podrá evaluarse el papel del monocordio y el mesolabio como instrumentos de investigación y experimentación, tanto en los términos exactos que utilizara Zarlino, como en los debates historiográficos actuales sobre los instrumentos científicos hacia el siglo XVI.

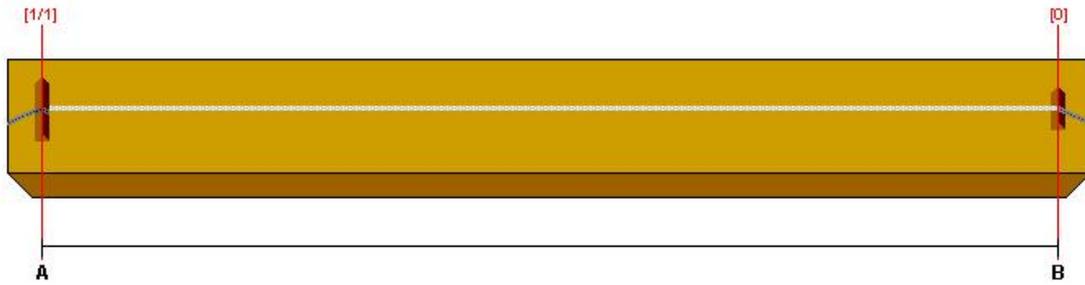
## b) El Monocordio “perfecto”. Método de subdivisión de la cuerda

Como se ha dicho anteriormente, la división del monocordio de Zarlino se fundamentaba en la utilización del tetracordio Diatónico *syntonon* de Ptolomeo. Basándose en éste, Zarlino construiría un sistema de tetracordos yuxtapuestos, según la antigua manera griega, para así obtener las consonancias de modo “verdadero y natural” y acorde con el *senario*.

Este proceso estaba descrito en un solo largo y complejo párrafo, al inicio del Cap. XL, y será mostrado –brevemente resumido– y comentado, paso a paso y en detalle, en un monocordio esquematizado como sigue:<sup>168</sup>

---

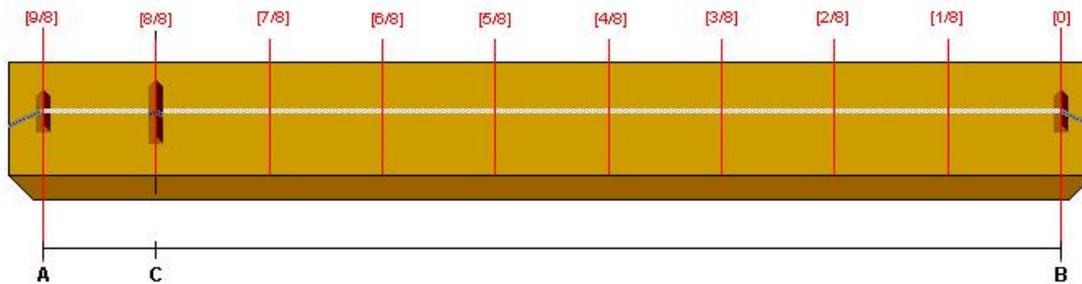
<sup>168</sup> El texto completo del párrafo es el siguiente y se encuentra en ZARLINO [1558-1588] p. 149: “[Paso 1] APPARECCHIATO adunque che noi haueremo in prima, secondo il già mostrato modo, un'Asse, ouer Tauola, nella quale la linea A B. sia la chorda, sopra la quale habbiamo da far tal Diuisione, per disporre & collocar per ordine ogni suo Tetrachordo secondo 'l modo tenuto nell'altre Diuisioni; [Paso 2] collocaremo prima (per la Prima del Terzo delle Dimostrazioni) il Tuono maggiore alla sua proportione,



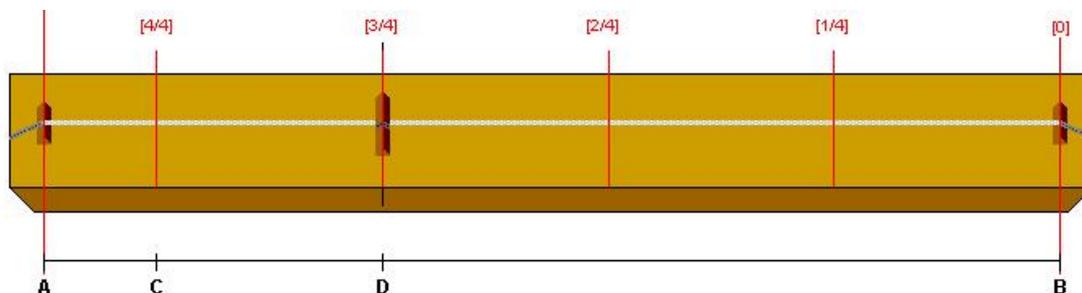
*Paso 1.* Preparado pues [...], con una madera, o tabla, en la cual la línea AB sea la cuerda, sobre la que habremos de hacer tal división [...]

---

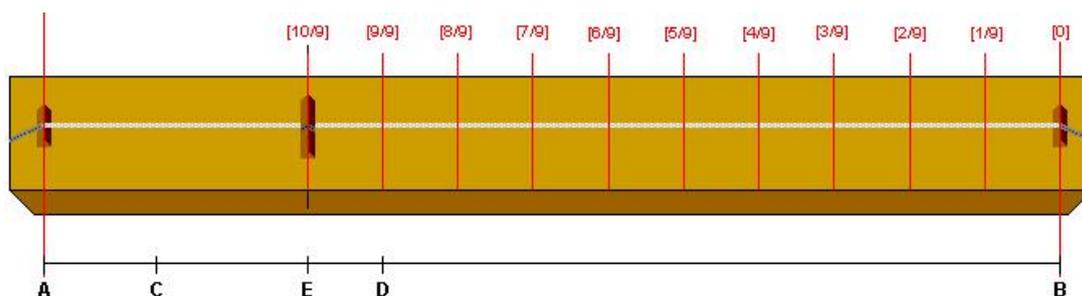
& haueremo la A B. & la C B. delle quali la prima contenerà noue parti, per il maggior termine della sua proportione; & la seconda otto, per il minore; & per tal modo tra loro haueremo accommodato il detto Tuono. [Paso 3] A questo soggiungeremo il primo Tetrachordo, detto Hypaton; diuidendo la C B. in quattro parti equali, per il termine maggiore, che contiene la sua proportione; ilche fatto, prese le tre parti per il minore haueremo collocati gli estremi tra C B. & D B. [Paso 4] Volendolo poi diuidere in due Tuoni & in un Semituono, secondo la ragione de gli Interualli & Proportioni del detto Tetra chordo; accommodaremo prima il Tuono minore alla sua proportione diuidendo (nel modo che si è tenuto nella Seconda del Terzo delle Dimostrazioni) la D B. in noue parti equali, per il minor termine della sua proportione; dopoi aggiungendo uerso il graue un'altra parte; haueremo accommodato il Tuono minore tra la D B. che contiene noue parti; & la E B. che ne contiene dieci. [Paso 5] A questo immediatamente (secondo il modo che si è dimostrato nella 4. di esso 3.) preponeremo il maggiore, diuidendo la E B. in otto parti, aggiungendoui la nona parte; & tra F B. & E B. haueremo ile proposito; percioche il Semituono maggiore verrà ad esser collocato necessariamente tra C B. & F B. come si può prouare; conciosiache se noi aggiungeremo ad una Sesquiquarta, che contiene il Ditono, la proportione Sesquiquintadecima, che contiene tal Semituono; per il Corollario della 20. del Primo delle Dimostrazioni; uerrà necessariamente la proportione Sesquiterza, ch'abbraccia gli estremi del Tetrachordo. Il medesimo haueremo manifestamente da questo; che se noi leuaremo una Sesquiottaua, & una Sesquinona dalla Sesquiterza, ne resterà la Sesquiquintadecima. [Paso 6] Il primo Tetrachordo adunque uerrà ad esser collocato al suo proprio luogo, diuiso in due Tuoni, & in uno Semituono, secondo la natura di tal Tetrachordo. [Paso 7] Soggiungeremo a questo il Secondo detto Meson, & gli altri per ordine, secondo 'l modo tenuto nell'altre Diuisioni; & haueremo il Meson tra D B. I B. H B. & G B. [Paso 8] il Diezeugmenon tra K B. N B. M B. & L B. [Paso 9] lo Hyperboleon tra L B. Q E. P B. & O B. [Paso 10] & il Synemennon tra G B. S B. N B. & R B.



*Paso 2.* [...] colocaremos primero (por la Primera [definición] del Tercero de las *Dimostrazioni*)<sup>169</sup> el Tono mayor acorde a su proporción, y obtendremos AB, y CB, de los que el primero contiene nueve partes, para el mayor término de su proporción; y el segundo ocho, para el menor; de tal modo que entre ellos habremos ubicado el dicho Tono.



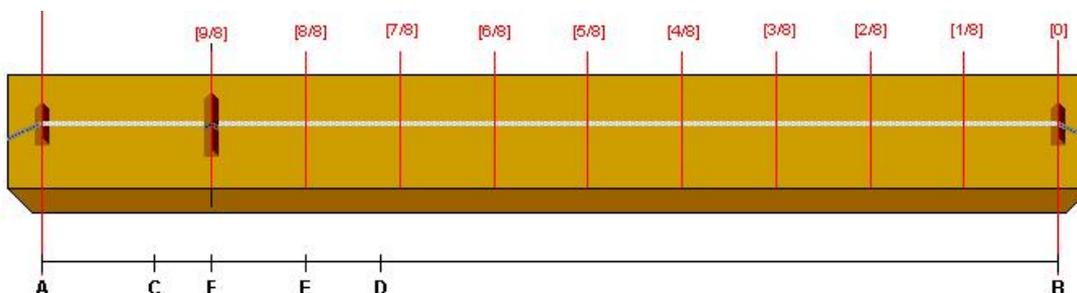
*Paso 3.* A éste añadiremos después el primer Tetracordo, llamado Hypaton: dividiendo el CB en cuatro partes iguales, como término mayor que contiene la proporción; después se toman tres partes para el menor, y lo obtendremos colocados sus extremos entre CB, y DB.



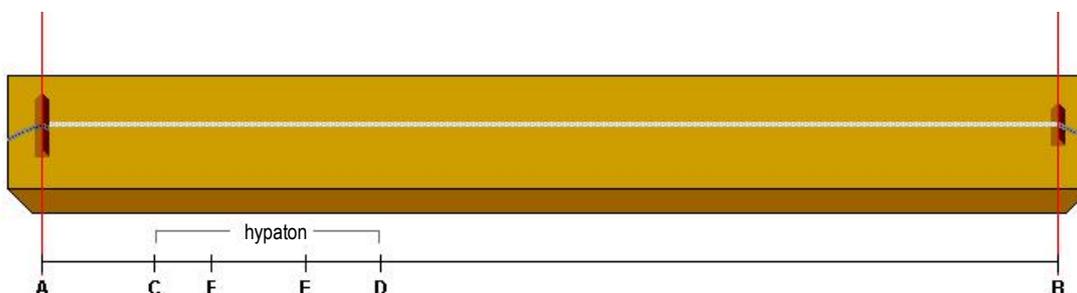
*Paso 4.* Queriendo después dividirlo en dos Tonos, y en un Semitono, según la razón de los intervalos, y proporciones del dicho Tetracordo, ubicaremos primero el Tono menor a su

<sup>169</sup> Se refiere Zarlino a su libro *Dimostrazioni Harmoniche*. Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1571, p. 146. En dicha definición, Zarlino se refiere a la “Regola harmonica [...] che chiamai Monochordo.”

proporción dividiendo DB en nueve partes iguales, para el menor término de su proporción; después añadiendo hacia el grave una otra parte, habremos ubicado el Tono menor entre el DB, que contiene nueve partes, y el EB, que contiene diez.



*Paso 5.* A este, enseguida lo convertiremos en el mayor, dividiendo EB en ocho partes, añadiendo la novena parte, y entre el FB, y EB lograremos el propósito: puesto que el Semitono mayor viene necesariamente a ser colocado entre CB, y FB, como puede probarse puesto que al añadir a una Sesquicuarta [5:4], que contiene el Ditono [3ª M], la Sesquiquintadécima [16:15] proporción, que contiene un semitono [St M]; por el Corolario 20 de la Primera Demostración<sup>170</sup>; se verá, necesariamente, la proporción, Sesquitercia [4:3], que abarca los extremos del Tetracordo [4ªJ]. Lo mismo tendríamos manifiestamente, si quitáramos una Sesquioctava [9:8] y una Sesquinona [10:9] de una Sesquitercia [4:3]: se mantendría la Sesquiquintadécima [16:15].



*Paso 6.* El primer Tetracordo [*Hypaton*] se colocará entonces en su propio lugar, dividido en dos Tonos, y un Semitono, según la Tetracordo.

<sup>170</sup> Se refiere Zarlino a su libro *Dimostrazioni Harmoniche*. Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1571, p. 59. En dicho corolario Zarlino expuso que la proporción sesquiáltera 3:2, es decir, 5ªJ, se compone de sesquicuarta y sesquiquinta, es decir 5:4 y 6:5; 3ªM y 3ªm, respectivamente.

Comentario a los Pasos 1 al 6: El método para construir el primer tetracordo *Hypaton* ha consistido en ubicar C como inicio para construir una cuarta justa, descender un tono menor y después, descender un tono mayor. Esto generaba las siguientes proporciones:

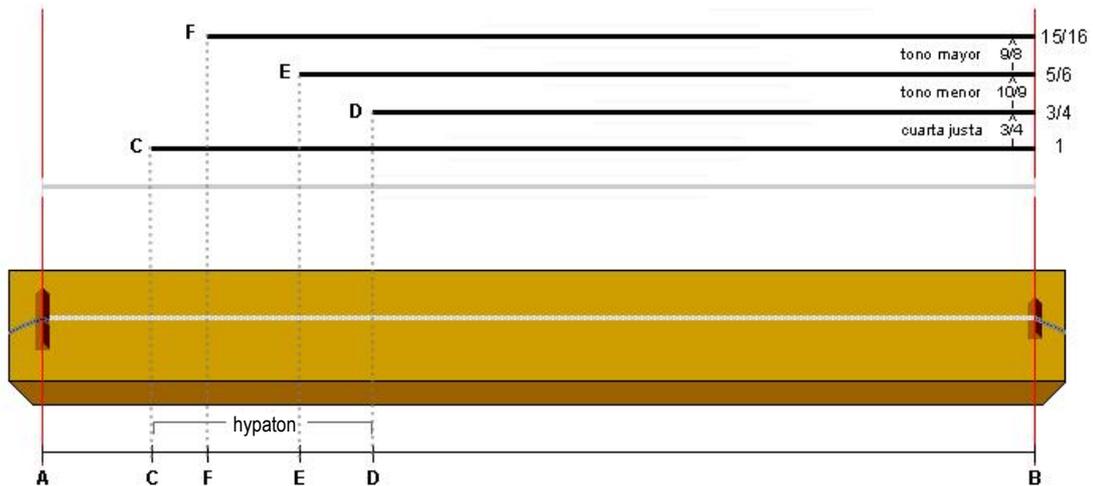


Fig. 18. Primer tetracordo syntono *Hypaton* en el orden de su obtención.

Al reordenarlas de mayor a menor, se producía la estructura interna del tetracordo Diatónico *syntono* de Ptolomeo, como sigue:

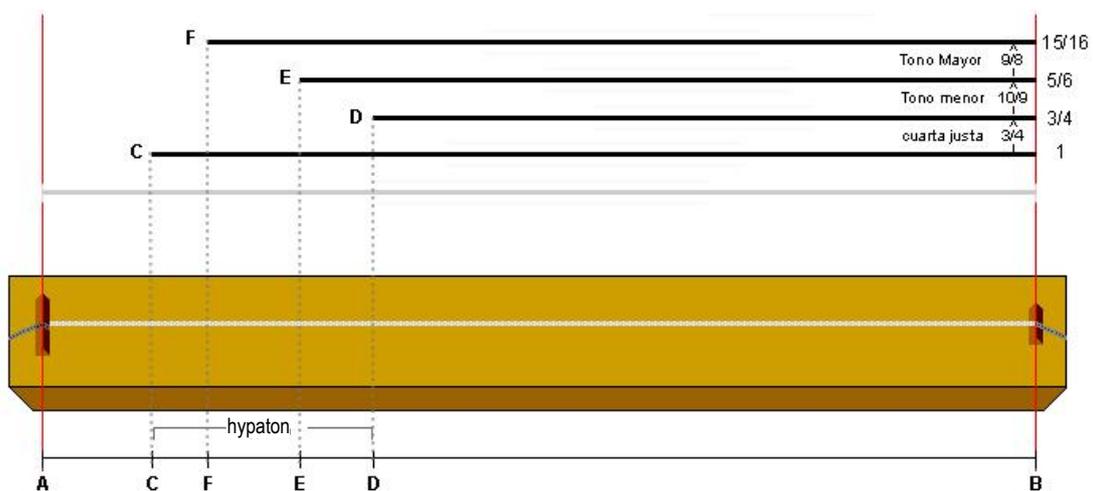
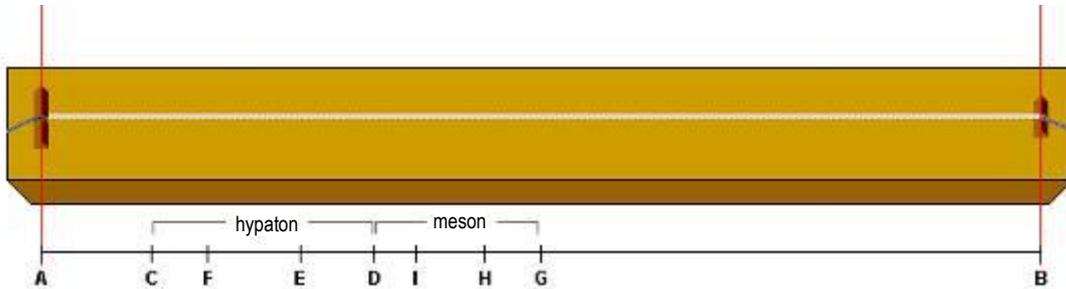


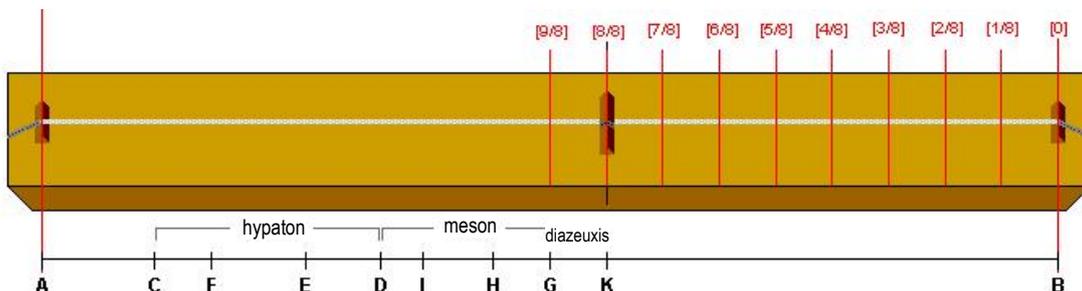
Fig. 19. Primer tetracordo *syntono* *Hypaton* en orden ascendente.

A partir de aquí, Zarlino replicaría el método de manera exacta –según los pasos 3, 4 y 5– para conseguir el resto de los tetracordos. Así, de esa manera, obtiene el segundo tetracordo *meson*.



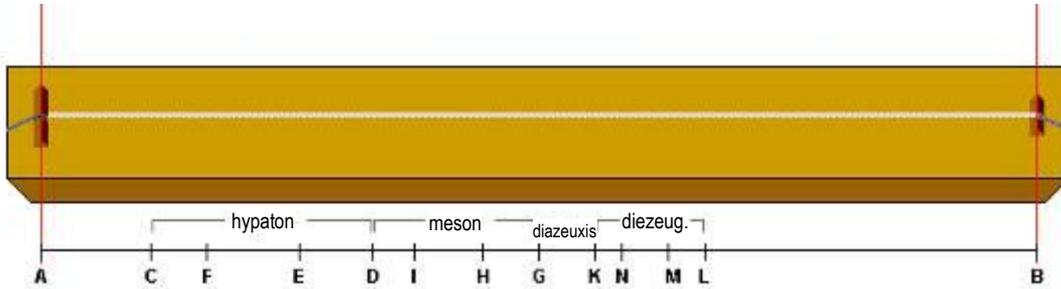
*Paso 7.* Añadiremos después a este el segundo llamado *Meson*, y los otros por orden, según el modo que se tiene en las otras divisiones, y obtendremos el *Meson* entre DB, IB, HB, y GB...

Para poder colocar ahora el tercer tetracordo, era necesario realizar la separación o *diazeuxis*, de proporción sesquioctava 9:8, que la tradición boeciana indicaba. Aunque Zarlino no lo indicara explícitamente en este momento, ya lo había expuesto en capítulos anteriores –Cap. XXVIII del Libro I–, donde aclaraba que al tetracordo *meson* se le añade el llamado *Tuono della diuisione*, es decir, un tono sesquioctavo 9:8, para separarlo del tercer tetracordo llamado *Diezeugmenon*. Para ello, bastaba con subdividir GB en nueve partes y tomar los ocho novenos para obtener dicha proporción 9:8, tal como se observa en la siguiente figura:

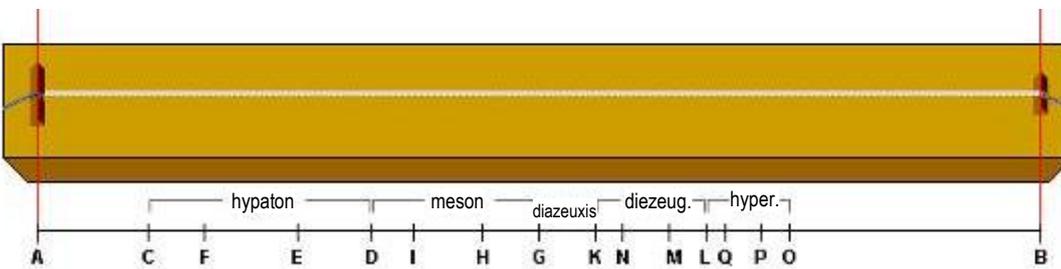


**Fig. 20.** Colocación de la *diazeuxis* según lo expuesto por Zarlino.

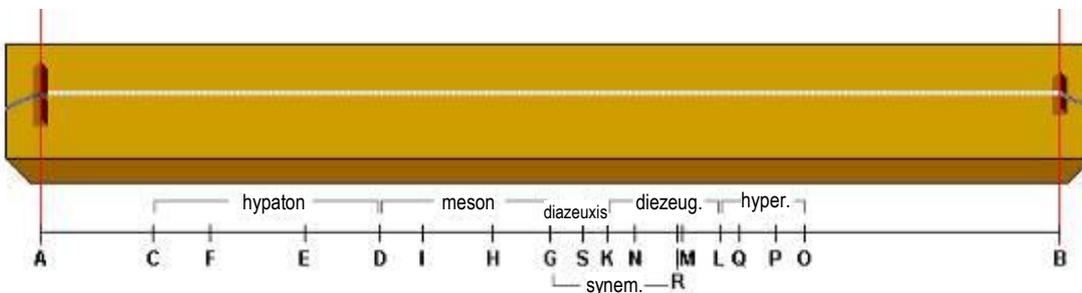
Una vez ubicada la *diazeuxis* en K, se podía continuar con la ubicación del resto de los tetracordos, según el método presentado en los pasos 1 a 6. Así, se obtenía el próximo tetracordio denominado *Diezeugmenon*, y el resto:



Paso 8. [...] [y obtendremos] el *Diezeugmenon* entre KB, NB, MB, y LB;



Paso 9. [...] [y obtendremos] el *Hyperboleon* entre LB, QB, PB, y OB.



Paso 10. [...] [y obtendremos] el *Synemennon* entre GB, SB, NB, y RB.

Con esta secuencia –segmentada aquí en 10 pasos–, culminaba la construcción del primer monocordio de Zarlino: el así llamado “monocordio Diatónico *syntono*”. La ilustración final de Zarlino, era la siguiente:

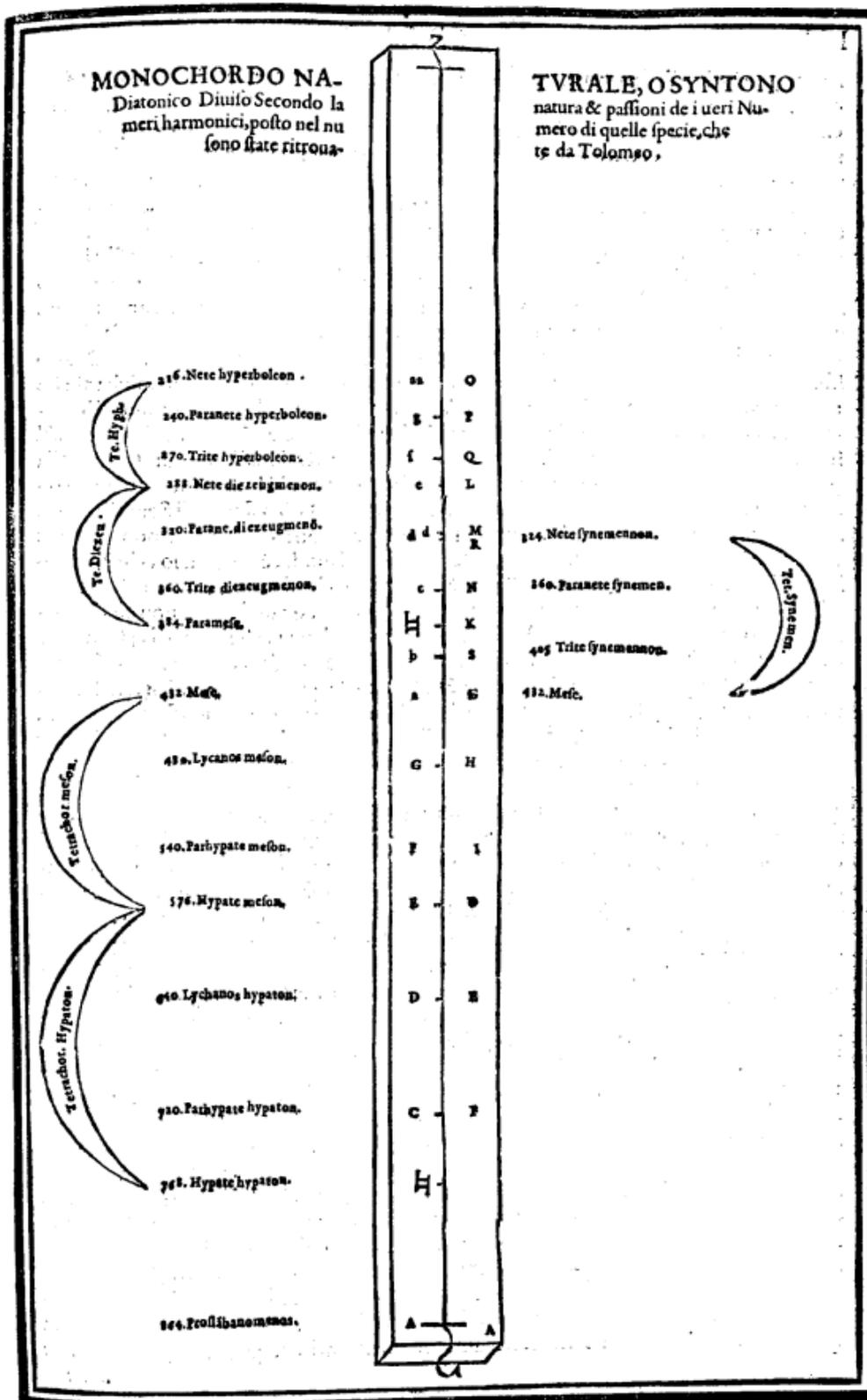
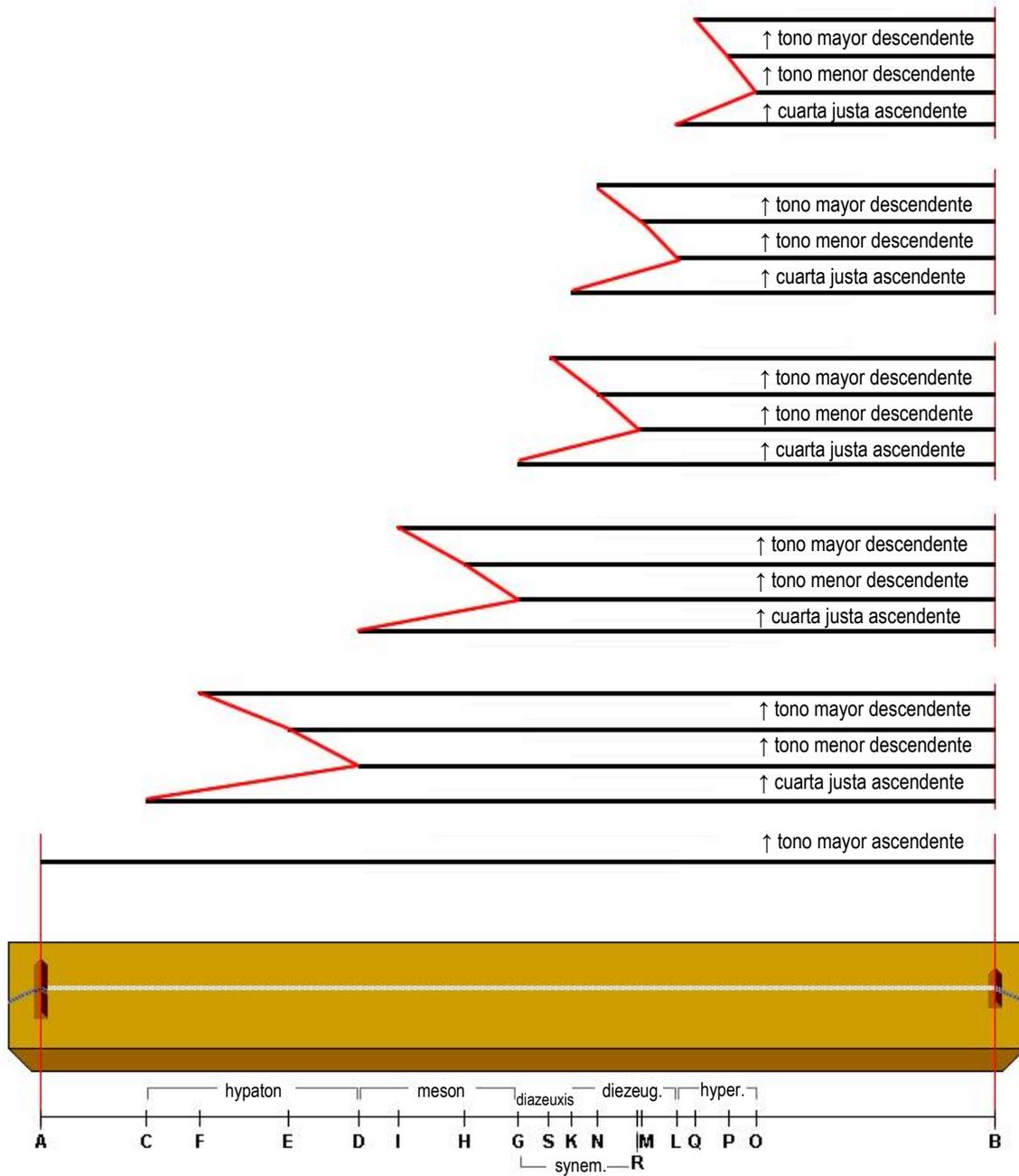


Fig. 21. Monocordio natural, o *syntono* diatónico.

ZARLINO [1588], p. 151.

A diferencia del proceso de Ramos de Pareja (*cf.* **Fig. 6**, Pág. 74), donde se observaba un perfil más bien caótico, Zarlino ha seguido un método sistemático y repetitivo que puede representarse como sigue:



**Fig. 22.** Perfil de obtención de consonancias por medio de superposición de tetracordos *syntono*.

Si se reordenan las proporciones obtenidas de mayor a menor se obtiene lo siguiente:

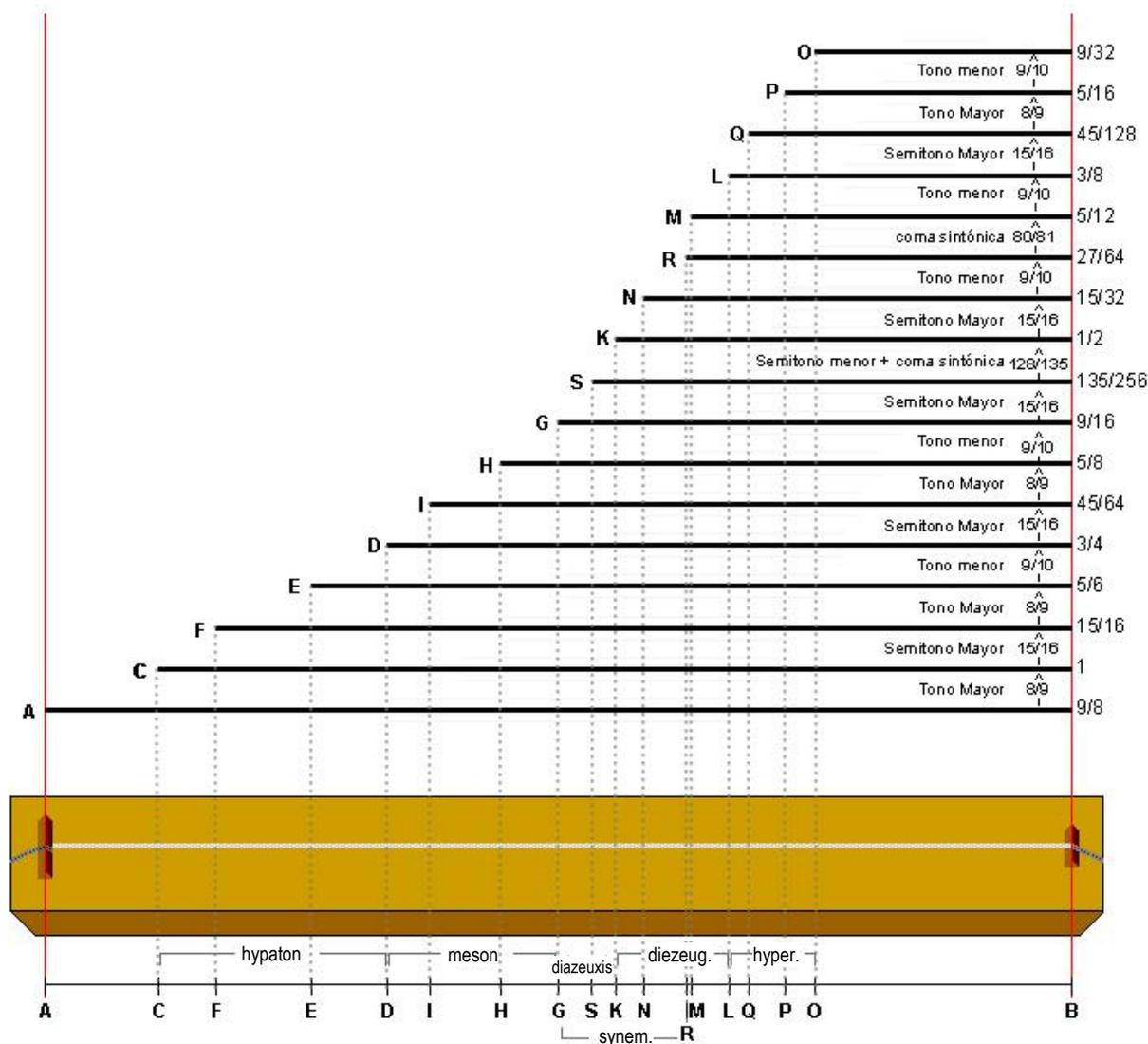


Fig. 23. Estado final del monocordio “perfecto” según Zarlino, una vez ordenados, de mayor a menor los intervalos hallados. Nótese la coma sintónica entre los segmentos RB y MB de proporción sesquiochentésima, 81:80. [A la derecha las fracciones respecto a la distancia marcada en C].

Zarlino denominó a esta división como *fatta secondo la natura de i Numeri Sonori*; números sonoros que mostraban las consonancias de forma *vere et naturali* y acorde a la *perfettioni della armonia*; y por estas razones se ha denominado como monocordio “perfecto”. Este primer resultado, producto del esfuerzo por conciliar la tradición griega

y la moderna “afinación justa”, a su vez contenía una pequeña imperfección: la llamada *coma sintónica* que aparecía entre las divisiones RB y MB. Este pequeño intervalo posee la proporción sesquiochentésima 81:80 que, como se ha visto, ha aparecido como discrepancia al utilizar el tetracordo Diatono *syntono* de Ptolomeo y dividir la cuerda según el antiguo método griego de superposición de tetracordos. A este respecto, decía Zarlino:

Et perche questo interuallo si minuto darebbe molta noia all' vdito, quando si volesse adoperare, massimamente ne gl' istrumenti artificiali; però la Natura primieramente, et dipoi l' Arte, hanno trouato rimedio (dirò cosi) ad un tanto disordine: [...].<sup>171</sup>

Puede interpretarse esto como una *aporía* en el sentido de lo contradictorio y lo aparentemente irresoluble, puesto que si bien el monocordio era denominado como “verdadero, natural y perfecto”, existe molestia y desorden, es decir, había “imperfección.” No en balde, según Zarlino, podía perfeccionarse y hallarse *rimedio* tal cual, de hecho, hacían tanto cantores como instrumentistas.

El dicho “remedio” se presentaba de dos maneras: por un lado, las voces “disolvían” la molestia de manera natural, acomodándola de tal manera, que no se escuchaba conforme discurría el canto, mientras que los instrumentos artificiales la “distribuían” previamente en la afinación del resto de las cuerdas. De hecho, desde un punto de vista práctico, el sistema, tanto natural como artificial, se auto-reorganizaba según unas mínimas proporciones, que hacían desaparecer la discrepancia y no ofendían al oído. Así, la naturaleza resolvía sus problemas de manera “natural” y el arte a través de un proceso “artificial” de distribución que sería llamado de diversas maneras: *distributione*, *participatione*, *temperamento* y cuyo ejemplo supremo sería el laúd, con sus trastes distribuidos, proporcionalmente, según diversas técnicas artesanales. El proyecto filosófico de Zarlino consistiría entonces, en una racionalización teórica y matemática

---

<sup>171</sup> “Y puesto que este intervalo tan pequeño daría mucha molestia al oído, cuando se quisiese utilizar, principalmente en los instrumentos artificiales; sin embargo, la Naturaleza primeramente, y luego el Arte, ha hallado un remedio (por decirlo así) a tanto desorden: [...] ZARLINO [1558-1588] p.150.

de aquél “remedio”, cuya práctica estaba consolidada y aceptada por los *oídos modernos*. Su objetivo sería inédito, puesto que se proponía hacer algo –según él– “original”, y hay consenso histórico y musicológico en reconocerlo como el primero en dar un tratamiento estricto y racional al temperamento en el marco de la “afinación justa” y su puesta a punto en el monocordio. A esto dedicaría Zarlino los próximos y complejos capítulos de su libro *L’Istitutioni Harmoniche*.

## 2.4 Disolución de la coma

### a) Planteamiento del problema

La aparición de la coma sintónica de proporción sesquiochentésima, 81:80, entre las cuerdas RB y MB (véase la **Fig. 23**, Pág. 129), puede interpretarse como la imposibilidad filosófica, teórica y especulativo-matemática de fundir, en una sola entidad conceptual, la “afinación justa” moderna –basada en el *senario*– con la antigua teoría de los tetracordos griegos. Cuando Zarlino dice que esta imposibilidad era salvada por cantores e instrumentistas colocando los sonidos

[...] fuori delle loro forme, o proportioni vere, [...], che l' Vdito se ne contenta [...]<sup>172</sup>

reconocía que *el monocordio exponía verdades teóricas que eran transformadas en falsedades prácticas por razones estéticas*. El problema filosófico surgía al no haber fundamentación teórica y matemática que justificara una práctica que ya había sido sancionada favorablemente por el juicio estético. En otras palabras, Zarlino se planteaba investigar qué era, exactamente, lo que hacían los prácticos y fundamentar racionalmente dicha práctica fijando los límites que complacieran, tanto a la razón como al sentimiento. La estrategia era muy simple: fundir las cuerdas RB y MB en una sola, de manera que *se distribuya su diferencia –la coma sintónica– entre el resto de las cuerdas*.

---

<sup>172</sup> “[...] fuera de su forma o proporción verdadera [...] de manera que el oído esté satisfecho [...]” ZARLINO [1558-1588] p. 145.

El problema matemático expuesto por Zarlino era, en todo caso, independiente de su conexión con el mundo griego: *en la llamada “afinación justa” no todas las quintas y no todas las terceras pueden ser justas*. De hecho, un inventario de dichas proporciones mostraría que de las quintas resultantes, solo seis de ellas son justas, habiendo dos de ellas disminuidas en una coma sintónica. A continuación, el inventario:

F	E	D	I	H	G	S	K	N	R	M	L	Q	B		
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15	8640	<table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr></table> 5a.J	2	3
2															
3															
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16	12960			
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15	9720	<table border="1"><tr><td>27</td></tr><tr><td>40</td></tr></table> 5a. J - coma sintónica	27	40
27															
40															
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16	14400			
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15	2073600	<table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr></table> 5a.J	2	3
2															
3															
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16	3110400			
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15	2073600	<table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr></table> 5a.J	2	3
2															
3															
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16	3110400			
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15	2332800	<table border="1"><tr><td>27</td></tr><tr><td>40</td></tr></table> 5a.J - coma sintónica	27	40
27															
40															
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16	3456000			
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15	186624000	<table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr></table> 5a. J	2	3
2															
3															
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16	279936000			
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15	186624000	<table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr></table> 5a.J	2	3
2															
3															
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16	279936000			
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15	186624000	<table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr></table> 5a.J	2	3
2															
3															
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16	279936000			

**Fig. 24. Inventario de quintas en la llamada “afinación justa” según lo expuesto por Zarlino en su monocordio “perfecto” (Cfr. *infra*, Fig. 26)**

Respecto a las terceras, solo siete serían justas, habiendo tres terceras menores descendidas en una coma sintónica y una tercera de tipo pitagórica –el llamado *ditono* pitagórico– de proporción 81:64, que podía entenderse como una tercera justa, aumentada en una coma sintónica. A continuación, el inventario:

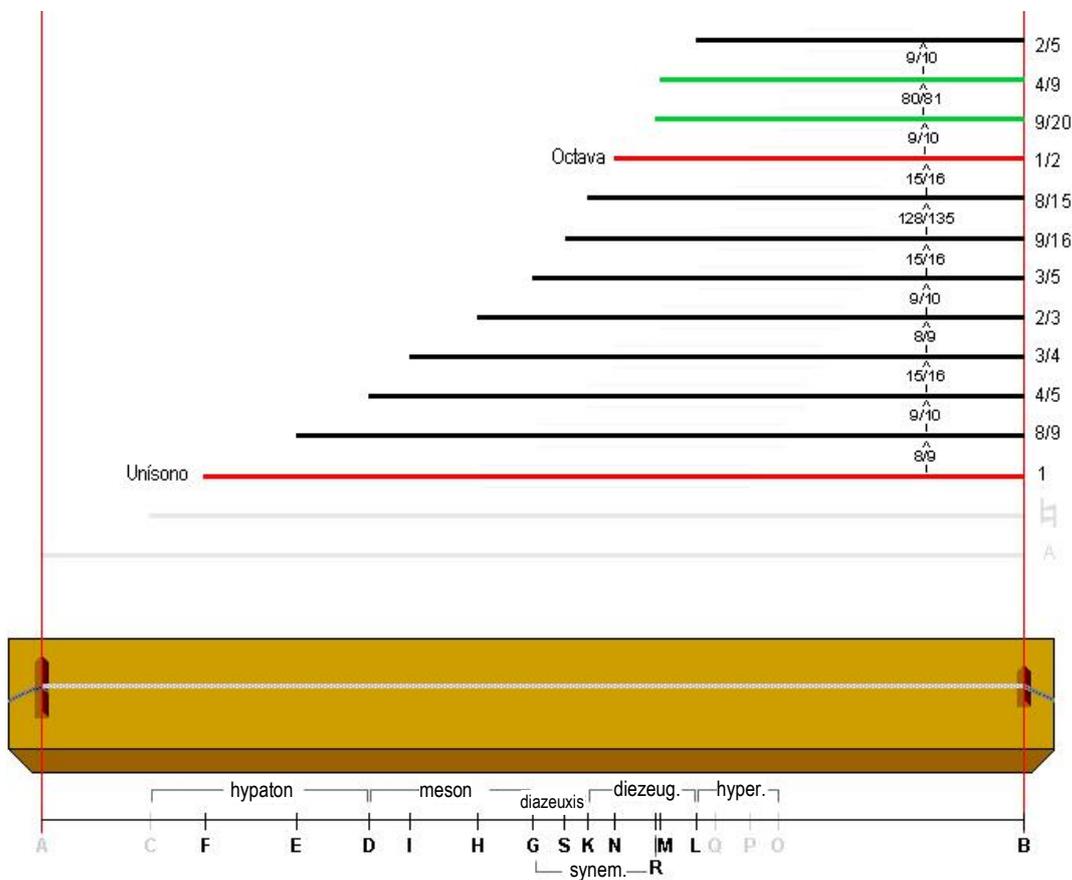
F	E	D	I	H	G	S	K	N	R	M	L	Q	B		
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15		72	<b>4</b>	3a M
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16		90	<b>5</b>	
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15		135	<b>27</b>	3a m - coma sintónica
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16		160	<b>32</b>	
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15		120	<b>5</b>	3a m
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16		144	<b>6</b>	
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15		72	<b>4</b>	3a M
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16		90	<b>5</b>	
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15		135	<b>27</b>	3a m - coma sintónica
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16		160	<b>32</b>	
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15		17280	<b>4</b>	3a M
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16		21600	<b>5</b>	
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15		28800	<b>5</b>	3a m
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16		34560	<b>6</b>	
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15		17280	<b>4</b>	3a M
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16		21600	<b>5</b>	
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15		1382400	<b>64</b>	3a M + coma sintónica
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16		1749600	<b>81</b>	
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15		135	<b>27</b>	3a m - coma sintónica
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16		160	<b>32</b>	
8	9	15	8	9	15	128	15	9	80	9	15		10800	<b>5</b>	3a m
9	10	16	9	10	16	135	16	10	81	10	16		12960	<b>6</b>	

**Fig. 25. Inventario de terceras en la llamada "afinación justa" según lo expuesto por Zarlino en su monocordio "perfecto" (Cfr., *infra*, Fig. 26)**

En resumen, como se dijo, en la "afinación justa" no todas las quintas y no todas las terceras pueden ser justas, sea si se construyen a la manera antigua griega o a la manera que propusiera Ramos de Pareja en el siglo XV, o según Zarlino, ya en el siglo XVI. Este cariz del problema matemático-musical no fue mencionado por Zarlino, pero seguramente era sabido, pues sus cálculos posteriores evidencian que lo tomaba en

cuenta, al igual que su metodología para disolver la coma sintónica. La solución clamaba como una necesidad: modificar todo el sistema repartiendo los desajustes con miras a *lograr que todas las quintas y terceras fueran iguales, respectivamente entre sí, aunque por ello dejaran de estar en proporción justa*. Además, todo esto, habría de hacerse *ex novo*, es decir, prescindiendo de fundamentación histórica alguna o coartadas de los antiguos.

La situación del monocordio antes del complejo proceso de la distribución de la coma se presentó de la siguiente manera:



**Fig. 26. Esquema del monocordio de Zarlino para distribuir la coma sintónica. [Nótense los segmentos seleccionados, desde FB hasta LB: un intervalo de proporción 5:2 (doble sesquicuarto) equivalente a una decena mayor (octava más tercera mayor)].**

Se observa allí, en verde y con las proporciones 20:9 y 9:4, las cuerdas que producían la coma sintónica y que, según la estrategia de Zarlino, debían fundirse en una sola cuando

fuera repartida su diferencia entre el resto de las cuerdas. El complejo método de distribución de la coma sintónica seguía la siguiente estrategia:

- Concentrarse en 12 cuerdas (véase **Fig. 26**): de FB a LB para después fundir las cuerdas MB y RB y finalmente quedar con sólo 11 cuerdas.
- Desajustar la pureza de todas las quintas justas de proporción 3:2 descendíéndolas en  $2/7$  de coma sintónica. Este desajuste privilegiaría la pureza de las terceras mayores y menores (proporciones 5:4 y 6:5, respectivamente) las cuales quedarían tan solo  $1/7$  de coma sintónica más bajas que su original “afinación justa”.<sup>173</sup> En consecuencia, las cuartas justas de proporción 4:3 se harían ligeramente más agudas, al aumentar en  $2/7$  de coma sintónica. Pero nada de esto, según Zarlino, ofendería al oído. Resumiendo, terceras más “puras” en detrimento de cuartas y quintas, lo que podía interpretarse como:

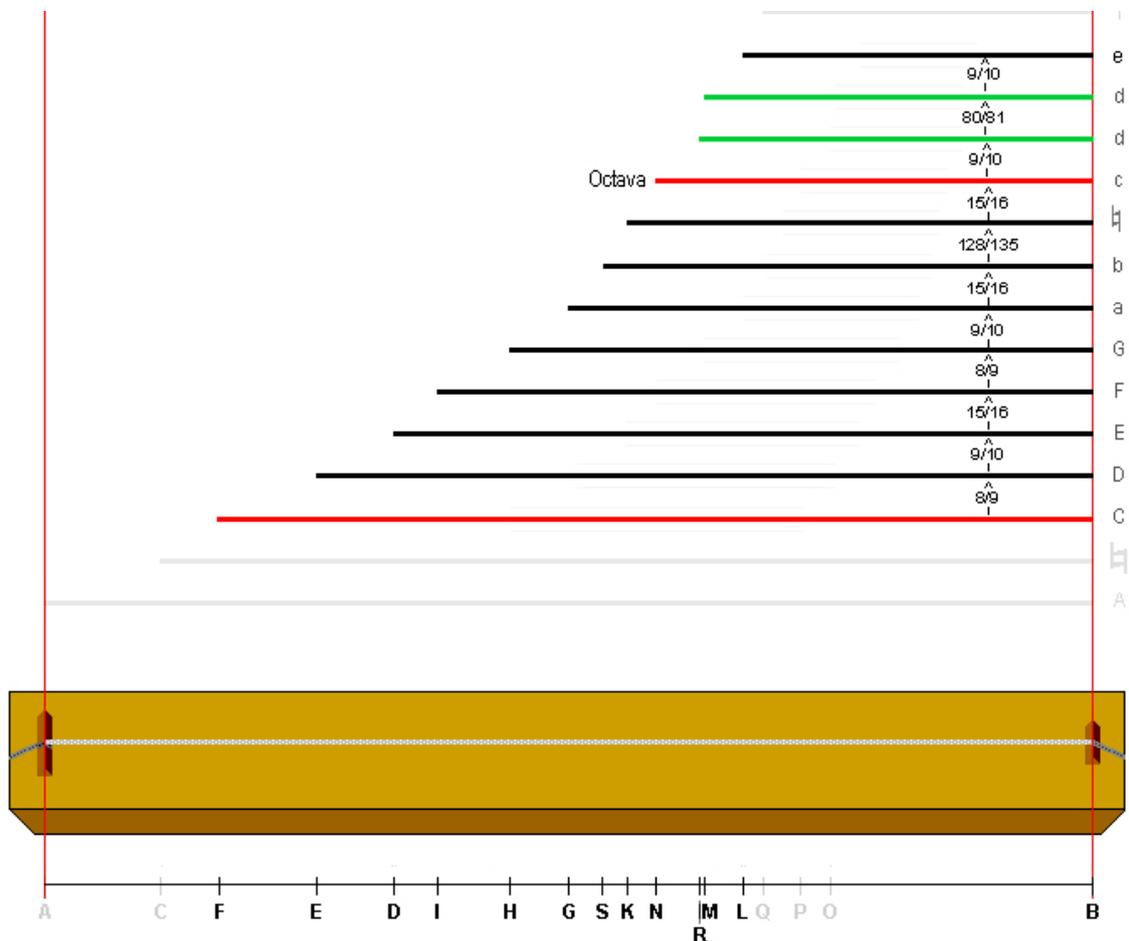
---

<sup>173</sup> Decir “ $2/7$  de coma sintónica” presupone dos cuestiones básicas: *a*) que la coma sintónica, por más pequeño que parezca el intervalo, es subdivisible; y *b*) que dichas subdivisiones podían ser discriminadas lo suficientemente bien como para poder aplicarse a una cuerda que *subiría* hacia el agudo o *bajaría* hacia el grave, conforme se desplaza la marca en el monocordio. Quedaba claro que dichos “ $2/7$ ” hacían referencia a “séptimos” de *igual proporción*, es decir, proporciones que compartían una misma *ratio* y en las cuales sería subdividido el pequeño intervalo de proporción 81:80. La elección del denominador de la fracción en “séptimos”, era lógica y consistente con la idea de “disolver” el pequeño intervalo entre el resto de las cuerdas en la octava, privilegiando tanto terceras mayores como menores. Como puede notarse, la tercera mayor pitagórica –84:61– se produce después de cuatro quintas consecutivas: *Do* –*Sol* – *Re* – *La* – *Mi*; la tercera menor pitagórica –32:27– (a través de su inversión, la sexta mayor –27:16–), se produce después de tres quintas consecutivas: *Do* – *Sol* – *Re* – *La*. Por lo tanto, si se distribuyera la coma sintónica repartiéndola en “un cuarto” por cada quinta, se privilegiarían las terceras mayores; si se distribuyera en “un tercio” se privilegiarían las terceras menores. Así pues, los “séptimos” son un compromiso “promedio” para privilegiar tanto terceras mayores como menores puesto que  $1/3 > 2/7 > 1/4$ , donde  $2/7$  es la media aritmética entre  $1/3$  y  $1/4$ . Una vez subdividida dicha coma en siete partes proporcionalmente iguales, podían tomarse, los “dos séptimos” y ajustar cada quinta para lograr la distribución [Agradecimiento especial a Amaya García Pérez por algunas precisiones respecto a este tema en el marco del Simposio Internacional “Francisco Salinas (1513-2013). Teoría musical en el Renacimiento” realizado en Salamanca durante marzo 2013].

*privilegiar las modernas terceras y sextas “justas”, en detrimento de las antiguas consonancias de cuarta y quinta pitagóricas.*

- Iniciar los ajustes con la primera quinta FB-HB, continuar con la siguiente quinta HB-RB, y así, consecutivamente, con las restantes. Después, un ajuste final sobre la cuarta IB-SB dejaría todas las quintas iguales entre sí. La coma sintónica habría quedado disuelta en el sistema y las cuerdas RB y MB fundidas en una sola.

Para iniciar este proceso, Zarlino renombró las cuerdas según la nomenclatura de Guido d’Arezzo (C, D, E, F, G, a, b, c, d, e), quedando su monocordio “perfecto” como sigue:



**Fig. 27.** Esquema del monocordio de Zarlino después de renombrar las cuerdas según la nomenclatura de Guido d’Arezzo y con miras a la “disolución” de la *coma sintónica*.

Como se observa, no hay rastros del esquema de los tetracordos griegos, y a pesar de utilizar la nomenclatura de Guido, tampoco hay sugerencias a sus hexacordos. La octava era ahora la estructura básica organizativa, tal como Ramos de Pareja hubiera enunciado, en pugna con sus contemporáneos, un siglo atrás.

Como se dijo, el primer paso del proceso comenzaba con el descenso –deliberada “desafinación”– de la quinta justa FB-HB de manera que:

[...] senza mouere altramente la F B, faremo la H B più graue secondo la quantità di due settime parti di un Coma; [...]<sup>174</sup>

Para lograr esta primera quinta justa descendida en  $2/7$  de *coma sintónica*, Zarlino debía construir, primero, dicha coma de proporción 81:80, después, dividirla en siete partes proporcionalmente iguales y, finalmente, descenderla en  $2/7$ . Para ello tomaría, la primera quinta entre FB y HB y, a la izquierda de H –como era de esperar para hacerla descender auditivamente–, construiría la *coma sintónica*. Para ello utilizó el método de restar al tono mayor de proporción 9:8 (que se creaba entre la letra I y la letra H), un tono menor de proporción 10:9, es decir, tomó el segmento IB, dividió en décimos y colocando el caballete en los  $9/10$ , halló la resta del tono mayor menos el tono menor, es decir,  $9:8 \div 10:9 = 81:80$ , la *coma sintónica*. El monocordio quedaría como sigue:

---

<sup>174</sup> “[...] sin mover FB haremos HB más grave según la cantidad de dos séptimas partes de una coma; [...]” ZARLINO [1558-1588] p.157.

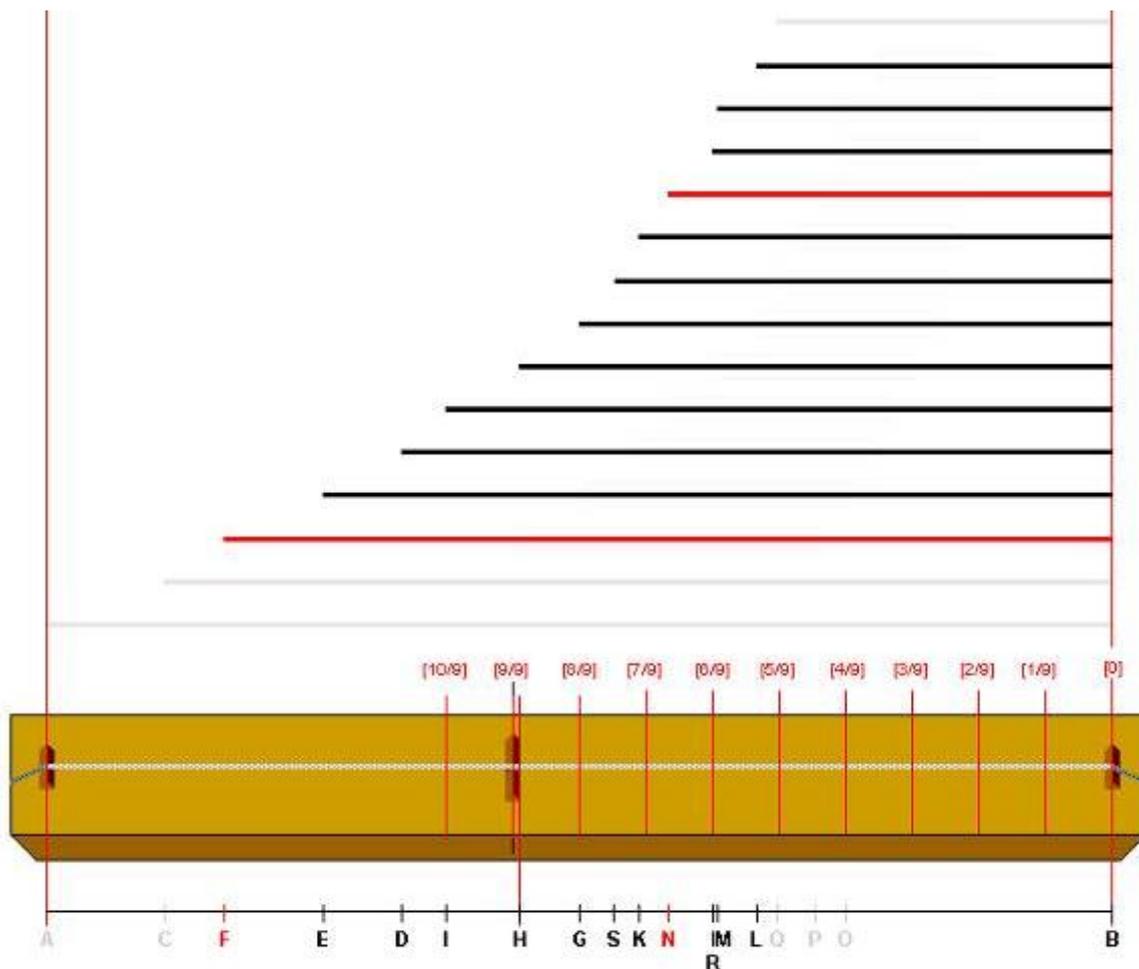


Fig. 28. Cálculo de la *coma sintónica* al restar un tono menor 10:9 al tono mayor 9:8 entre IB y HB.

Una vez ubicada la *coma sintónica*, el proceso planteaba la división de ese pequeño intervalo en séptimos proporcionalmente iguales. Zarlino no disponía de un método matemático –geométrico o aritmético– que dividiera en partes proporcionalmente iguales un intervalo de proporción *superparticular*  $n+1:n$ , como lo era la proporción 81:80.<sup>175</sup> En el Cap. XXIV, titulado *In qual modo si possa Diuidere qual si voglia Interuallo Musicale in due parti equali* [De qué modo se puede dividir cualquier intervalo musical en dos partes iguales].<sup>176</sup> Zarlino ya había expuesto y comentado la Proposición XIII del Libro VI de Euclides, que consistía, como su título indica: *Dadas*

<sup>175</sup> Se recuerda al lector que en el Apéndice 5.1 “Sobre la teoría de las *razones* o *proporciones* y su terminología” se da una breve revisión a este tema.

<sup>176</sup> ZARLINO [1558-1588] p.115.

*dos rectas, encontrar una media proporcional*.<sup>177</sup> Pero como bien decía allí, se explicaba cómo hallar *una* –y tan sólo *una*– media proporcional dados dos segmentos. Ahora, en el siguiente Cap. XXV, se mostraba, como su título indicaba: *Altro modo di diuider qual si voglia Consonanza, ouero Interuallo in due, ò in più parti equali* [Otro modo de dividir cualquier intervalo en dos o más partes iguales].<sup>178</sup> Este “otro modo” se basaba en la utilización de un aparato geométrico-mecánico, de herencia griega, llamado *mesolabium* –cuya etimología permite interpretarse como el *determinador de medias*– el cual se explicará, detalladamente, enseguida, en el próximo apartado.

Vale la pena dejar constancia que, en el sentido expuesto anteriormente, al incorporar las medias proporcionales *iguales*, Zarlino habría desplazado el problema de la “inconmensurabilidad” entre el paradigma de los tetracordos griegos y la moderna “afinación justa”, hacia las futuras reflexiones sobre la validez del *temperamento igual*. A pesar de que Zarlino utilizara, en una primera instancia, el dicho temperamento igual para subdividir, solamente, la pequeña *coma sintónica*, no sería exagerado decir que, con ello, esta solución –que más tarde Mersenne considerara *plus utile* y extendería a la octava entera– habría entrado en escena.

## b) Resolución del problema: el *mesolabium* según Zarlino

En una primera aproximación, para Zarlino, el *mesolabium* —de ahora en adelante, *mesolabio*– era un dispositivo material mecánico que por medio de la utilización de pliegos de cartón o metal, junto a finísimos hilos, permitía hallar medias proporcionales, entre dos segmentos.<sup>179</sup> La justificación para su utilización como instrumento, se

---

<sup>177</sup> EUCLIDES: *Elementos*. Vol.2, Madrid, Gredos, 1991, pp. 74-75.

<sup>178</sup> ZARLINO [1558-1588] p.116.

<sup>179</sup> La “media proporcional” o, “media geométrica”, es aquél número o magnitud,  $m$ , entre dos términos de una serie de números o magnitudes,  $a$ ,  $b$ , de manera que se cumpla la relación:  $a : m :: m : b$ . De lo anterior se deduce que,  $m^2 = a \times b$ , de donde la media geométrica,  $m$ , entre dos números es,  $m = \sqrt{ab}$ . En el campo de la música es fácil notar que una secuencia creciente de octavas de proporción 2:1; 4:1; 8:1; 16:1 ... 2<sup>n</sup>:1 estaban en proporción geométrica siendo el número “2” la media geométrica igual para cada

hallaba, justamente, en la necesidad de dividir la *coma sintónica*, 81:80, en siete partes proporcionalmente iguales, para intentar repartirla, de la manera correcta posible, entre el resto de las cuerdas, quedando así fundidas las cuerdas RB y MB en una sola (véase la **Fig. 27**, Pág. 136). Si dicha subdivisión y distribución era racionalmente consistente y, a su vez, era realizada con la debida precisión, los pequeños desajustes no serían percibidos por el oído sensible y se habría logrado una “conciliación” entre el antiguo sistema de tetracordos griego y la moderna “afinación justa” con sus terceras y sextas no-pitagóricas. Como puede deducirse, todo el proceso dependía y quedaba supeditado a la posibilidad de hallar esas “medias geométricas proporcionales”, lo que le confería entonces, al mesolabio, un papel fundamental.

Para lograr el objetivo anteriormente expuesto, Zarlino presentó, con gran detalle, la materialidad y la metodología para el uso del mesolabio, tanto escrito como ilustrado, lo que permite presuponer un interés explícito en la construcción y utilización real de este instrumento matemático que pertenecía a una tradición que lo retrotraía hasta la antigüedad griega.<sup>180</sup>

Aunque la primera descripción del mesolabio que realizara Zarlino datara de 1558, su correspondencia confirma su existencia real hacia 1579-1580, atestiguando así el interés que despertó en eruditos y matemáticos de la Universidad de Padua como Gian Vincenzo Pinelli y Giuseppe Moletto.<sup>181</sup> Las cartas que todavía permanecían inéditas

---

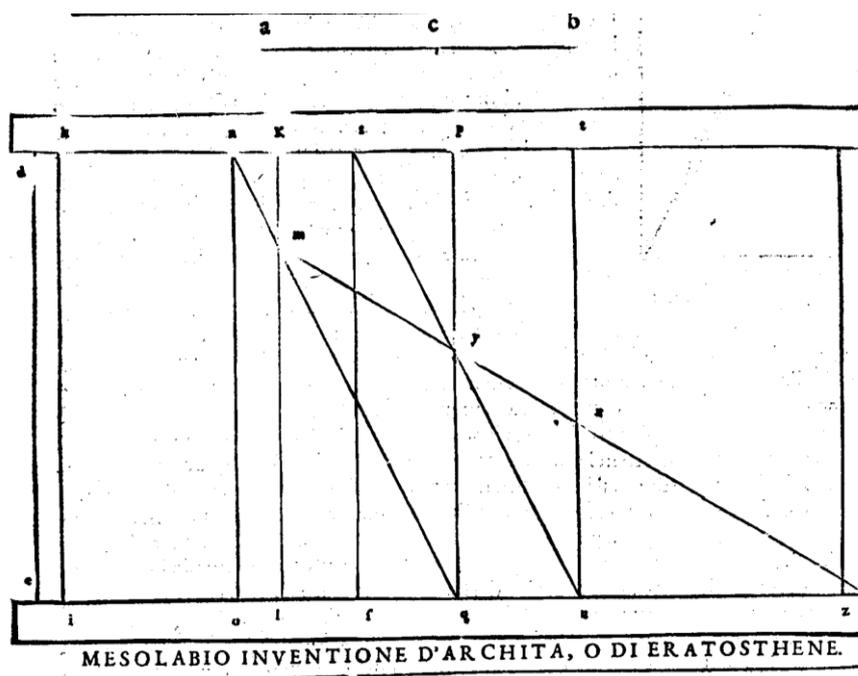
dos proporciones adyacentes. El cálculo de intervalos según medias geométricas en el interior de una octava era un problema cuya solución no era fácil, pues requería la utilización de la aritmética de los números irracionales o el cálculo de raíces muy laboriosas.

<sup>180</sup> Para una breve descripción histórica, así como los principios geométricos que gobiernan el funcionamiento de este instrumento matemático, véase el Apéndice 5.3 “El mesolabio y su fundamentación histórica y geométrica”

<sup>181</sup> Gian Vincenzo Pinelli (\*Nápoles, 1535; †Padua, 1601) fue un erudito y humanista establecido en Padua, y reconocido como ávido coleccionista de libros y manuscritos que conformaban una vasta biblioteca. Se le considera el animador de un cenáculo de intelectuales del norte de Italia, así como también de Europa, con quienes mantenía constante correspondencia. A su biblioteca tuvo acceso Galileo Galilei, para quien Pinelli terminaría convirtiéndose en uno de sus mentores. Asimismo poseía una

hasta 1990, evidenciaban que Zarlino mandó a fabricar un par de mesolabios para dar uno a cada colega y que, de hecho, el 3 de mayo de 1580 envió uno de ellos a Pinelli.<sup>182</sup>

A continuación se coloca la ilustración y el párrafo dedicado por Zarlino a este instrumento matemático, para que después se contrasten con la reconstrucción y experimentación realizadas en la presente investigación:



**Fig. 29.** Esquema constructivo y funcionamiento del mesolabio según Zarlino. [Más adelante (*cfr.* Fig. 33, Pág. 145) se presenta un redibujo –más legible– de esta misma figura]. ZARLINO [1588] p.118.

colección de instrumentos matemáticos y se interesó por la óptica a través de las notas de Giuseppe Moletto (\*Messina, 1531; †Padua, 1588) quien fuera profesor de matemáticas de la Universidad de Padua y amigo personal de Pinelli, al punto de confiarle su propia biblioteca en su testamento. Los intereses de Moletto abarcaban muchos campos donde se inscribían, además de la óptica, estudios en mecánica, hidrografía, geografía, hidráulica, relojes, la perspectiva, la escenografía y la música.

<sup>182</sup> Véase SANVITO, Paolo: “Le sperimentazioni nelle scienze quadriviali in alcuni epistolari zarliniani inediti”, en *Studi musicali*, 19 (1990), pp. 305-318.

Si debbe adunque primieramente apparecchiare vn' Asse, ouer Tauola ben piana, et vguale nella sua superficie, la qual sia larga vn piede almeno<sup>183</sup>, et lunga quanto si vuole; ancorache quanto più fusse lunga, tanto più tornerebbe commodo. Ridutta poi in vna figura quadrata lunga, la quale contenghi ne i capi quattro angoli retti (per potere operar meglio, et senza alcuno errore) faremo sopra di essa con diligenza vn canale, ponendo dalle bande per lungo della detta tauola, o asse due righe, o liste sottili fatte con discretione; di modo che essendo equidistanti, le sponde del canale venghino ad esser alte quanto è vna costa di coltello, et non più.<sup>184</sup>

A continuación, Zarlino expuso los elementos deslizantes y la compleja manera en que éstos operaban en la tabla, es decir: tres paralelogramos de metal muy finos –o madera muy delgada– con su diagonal marcada, que se colocarían en la tabla de manera que deslizaran el uno sobre el otro.

Fatto questo, faremo tre figure quadrate di metallo, o di legno sottilissime, le quali i Geometri chiamano Parallelogrammi, che habbino quattro angoli retti; et che siano lunghe quanto è largo il canale, et larghe quanto si vuole; pur che siano fabricate in tal maniera, che l' vna sia equale all' altra, cioè che i lati dell' vna siano equali a i lati dell' altra. Dipoi tiraremo a due di esse vna linea diametrale dall' angolo superiore sinistro all' angolo destro inferiore di ciascuno in tal maniera, che le superficie siano diuise in due triangoli Orthogonij equali, come qui si vede. Porremo dipoi li Quadrati nel detto canale l' vn dopo l' altro in tal modo; che l' primo senza diametro sia nella parte sinistra, et resti immobile; dipoi gli altri, che hanno li diametri, cioè il secondo, et il terzo

---

<sup>183</sup> La aproximación histórica al *piede* veneciano, se estima en 0,347735 m. Véase MARTINI, Angelo: *Manuale di metrologia, ossia, Misure, pesi e monete in uso attualmente e anticamente presso tutti i popoli*. Roma, E.R.A., 1976, p. 817. [Puede leerse o descargarse, en formato jpg, en el enlace de la Biblioteca Nazionale Braidense <http://www.braidense.it/dire/martini/modweb/>].

<sup>184</sup> “Se debe primeramente preparar un tablero o tabla bien plana e igual en su superficie que sea por lo menos un pie de ancho, y tan larga como se quiera; aunque quanto más larga sea, tanto más cómoda se tornará. Luego de convertida en una figura cuadrada alargada que contenga en sus esquinas cuatro ángulos rectos (para operar mejor y sin error alguno), haremos sobre ella, con diligencia, un canal, poniendo a lo largo de los bordes de la tabla o tablero dos reglas o listones sencillos hechos con discreción, de modo que, siendo equidistantes los lados de este canal, sea tan alto como el lado de un cuchillo, y no más.” ZARLINO [1558-1588] p. 116-117.

per ordine a banda destra, di maniera che 'l lato destro dell' uno sia posto sopra il sinistro dell' altro; et cosi haueremo fatto il detto Istrumento.<sup>185</sup>

Para experimentar en detalle la resolución y exactitud de este instrumento se ha realizado una reconstrucción histórica lo más apegada posible a las instrucciones constructivas de Zarlino. Tal como sugiere el autor, se construyó un tablero (de madera de pino) con sus dos listones para definir el canal. Las dimensiones son 38 cm de alto (un poco más que el *piede* veneciano de 34,77 cms), por 72 cm de largo.



**Fig. 30. Tablero con listones según las dimensiones e instrucciones expuestas por Zarlino.**

Igualmente, se colocó una fina placa de hojalata en los bordes de los listones del canal, para protección y para que los paralelogramos de hojalata se desplacen con la mejor precisión posible y con el mínimo error.

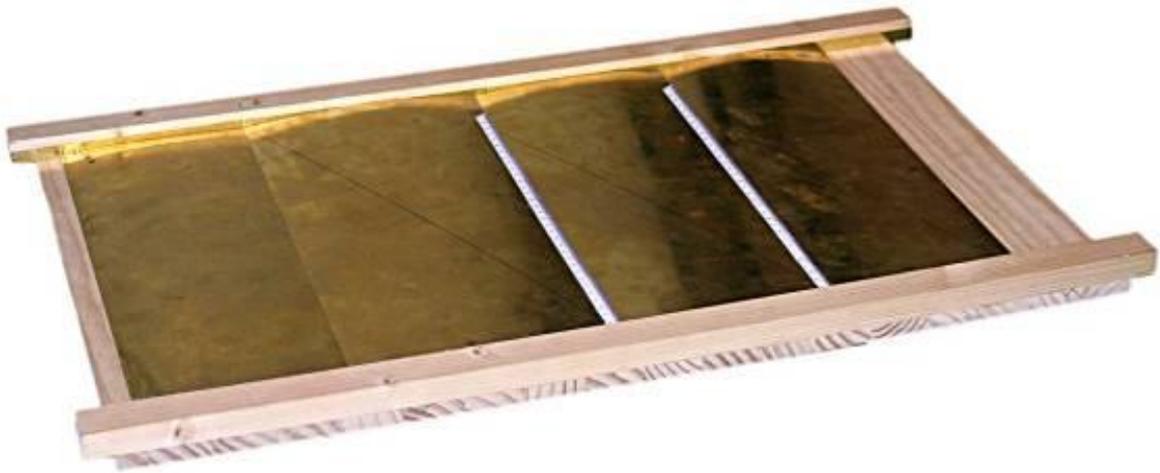
---

<sup>185</sup> “Hecho esto [la tabla], haremos tres figuras cuadradas de metal, o de una madera sutilísima, a las cuales los geómetras llamamos, paralelogramos, y que teniendo cuatro ángulos rectos sean tan anchas como el canal y tan largas como se quiera; y deben fabricarse de tal manera que una [la figura cuadrada o paralelogramo] sea igual a la otra. Luego marcaremos a dos de estas, una línea diametral del ángulo superior izquierdo al ángulo inferior derecho de cada uno, de tal manera que la superficie se divida en dos triángulos ortogonales [rectángulos] iguales, como se ve. Después colocaremos los cuadrados en el mencionado canal, uno sobre el otro, de tal modo que el primero sin diámetro esté a la parte izquierda y quede inmóvil; después los otros que poseen los diámetros, el segundo y el tercero por orden hacia el lado derecho, de manera que el lado derecho del uno se coloque encima del lado izquierdo del otro; y así habremos construido dicho instrumento.” ZARLINO [1558-1588] p. 117.



**Fig. 31. Detalle de las canales y la colocación de los pliegos de metal en el mesolabio según Zarlino.**

Se optó por utilizar pliegos de hojalata –*metallo... sottilissime*– para la construcción de los paralelogramos. Para facilitar la toma de medidas, se fijó, al lado derecho de los paralelogramos móviles, una tira de papel con una regla milimétrica impresa. En resumen, es una reconstrucción simple que puede dar una idea clara de la mecánica del instrumento en el marco de las prácticas artesanales del siglo XVII.



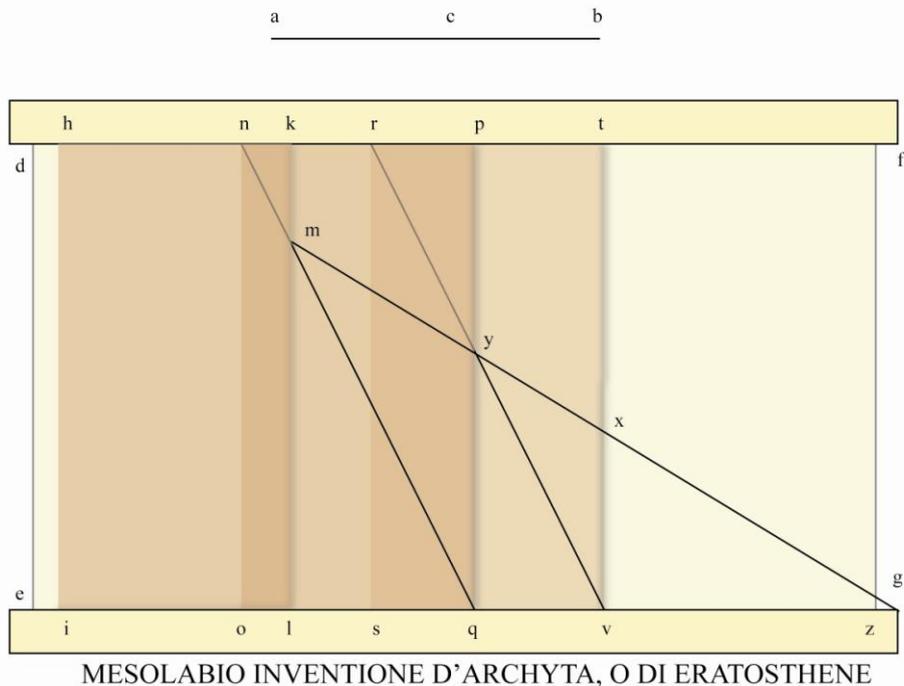
**Fig. 32. Reconstrucción del mesolabio según las instrucciones de Zarlino.<sup>186</sup>**

De inmediato, Zarlino expuso el método para hallar una media proporcional entre dos segmentos ( $ab$  y  $cb$ ) en una proporción doble 2:1, es decir en la relación que

---

<sup>186</sup> Nótese que hay cuatro paralelogramos –dos de ellos con su tira milimétrica de papel adosada–, y no tres como indicaba Zarlino. Esto permitirá –como se explicará más adelante– calcular dos medias proporcionales. Es importante recalcar que el diagrama expuesto por Zarlino correspondía con la consecución de una, y sólo una, media proporcional.

corresponde, en el campo de la ciencia musical, a la octava. Para verificar su operatividad, es menester seguir las siguientes y complejas indicaciones, para lo cual se ha colocado aquí un redibujo del esquema de Zarlino y de inmediato el párrafo explicativo para hallar una media proporcional entre los segmentos  $ab$  y  $cb$ :



**Fig. 33. Redibujo del mesolabio según Zarlino. [Nótese que se han agregado transparencias y sombras para una mejor comprensión de la herramienta mecánico-geométrica].**

Faremo primieramente il lato destro del primo quadrato, cioè  $lk$  equale alla  $ab$  in punto  $m$ , et sarà  $lm$ ; dipoi pigliaremo il secondo quadrato, et lo spingeremo sotto 'l primo tanto, che 'l suo diametro  $nq$  seghi il lato  $kl$  del primo quadrato in punto  $m$ ; et così il primo, et il secondo quadrato resteranno immobili. Faremo poi il lato destro del terzo quadrato, cioè  $vt$  equale alla  $cb$  in punto  $x$ ; et posto vn fillo sottilissimo in punto  $m$ , che sarà la  $mx$  del sottoposto essemplio, lo distenderemo tanto, che passi per il punto  $x$ . Spingeremo hora il terzo quadrato tanto sotto 'l secondo, che 'l lato  $pq$  venghi ad esser segato dal diametro  $rv$ , et dal detto fillo in vn punto, che sarà  $y$ ; et quella parte del lato destro del secondo quadrato, la qual resterà sotto 'l fillo, che è la  $qy$  sarà la ricercata linea, o chorda proportionale; come nella figura si vede [...]<sup>187</sup>

<sup>187</sup> “Haremos primeramente que el lado derecho del primer cuadrado, es decir  $lk$  sea igual a  $b$  en el punto  $m$ , y será  $lm$ : luego tomaremos el segundo cuadrado y lo empujaremos debajo del primero hasta que su diámetro  $nq$  corte el lado  $kl$  del primer cuadrado en el punto  $m$ ; y así el primer y el segundo cuadrado

El resultado del complejo método consistía en, una vez fijado el punto  $m$  –con la magnitud del segmento  $ab$ – hacer coincidir las líneas, de manera que quedasen, finalmente, como en su ilustración, es decir: haciendo que el hilo coincida en  $m$ ; pero también en un solo punto “ $y$ ” (junto a la diagonal y el lado derecho del segundo paralelogramo); y, a la vez, en el punto  $x$ , que posee la magnitud del segmento  $cb$ .

En su explicación, Zarlino no especificaba que dicho método era “aproximativo” y que la colocación final de los paralelogramos y el hilo se hacía progresivamente; es decir, como un proceso iterativo que se acercaba, paso a paso, a una solución lo más exacta posible. Era entonces menester, ir reajustando continuamente todos los elementos hasta que se lograra la máxima coincidencia geométrica expuesta en su diagrama.<sup>188</sup>

Hasta aquí, el mesolabio no habría demostrado mayor utilidad, puesto que *una* –y sólo *una*– media proporcional podía hallarse de manera sencilla según el método euclidiano ya comentado y expuesto por el propio Zarlino. No obstante, el objetivo era lograr más de una media proporcional, en este caso, siete medias proporcionales para poder ubicar los ya mencionados “séptimos de coma sintónica.” La ampliación del método mostrado anteriormente, fue expuesta por Zarlino con relativa simplicidad, escribiendo:

---

quedarán inmóviles. Haremos ahora que el lado izquierdo del tercer cuadrado, es decir  $vt$  sea igual a  $cb$  en el punto  $x$  y al colocar un hilo sutilísimo en el punto  $m$ , que será la  $mx$  del ejemplo colocado, lo estiraremos hasta que pase por el punto  $x$ . Empujaremos ahora el tercer cuadrado tanto por debajo del segundo de manera que el lado  $pq$  venga a cortarse con por el diámetro  $rv$  y por el hilo en un punto que será  $y$ ; y esta parte del lado derecho del segundo cuadrado que quedara bajo el hilo, que es la  $qy$  será la línea buscada o cuerda proporcional, como se ve en la figura.” ZARLINO [1558-1588] p. 117.

<sup>188</sup> Para una exacta comprensión de este método aproximativo y el funcionamiento correcto del mesolabio se realizó un breve video explicativo que se encuentra en el CD anexo y en la siguiente dirección web <http://www.youtube.com/watch?v=KbKkfqCFy0w>. Igualmente, en el CD anexo y en la página web <http://www.calderon-online.com/tesis-doctoral/> puede encontrarse una aplicación multimedia-interactiva que muestra el uso del mesolabio. Asimismo, durante el proceso para construir y ajustar el llamado monocordio “perfecto” de Zarlino el usuario puede derivar a una sub-aplicación que muestra al mesolabio, independiente del monocordio. Se realizó una versión interactiva del mesolabio con 4, 7, 8 y 13 paralelogramos, junto a la posibilidad de “escuchar” con exactitud las proporciones halladas.

Bastami solamente hora dire, che uolendo ritrouar piu linee mezane, ò chorde proportionali; cioè, uolendo diuidere in piu parti qual si uoglia Interuallo musicale, si potrà usare il mostrato modo. Bisogna però auertire, che per ogni linea, ò chorda, che si uorrà aggiungere oltra la ritrouata, sarà dibisogno di aggiungere etiandio un'altro Parallelogrammo, ò Quadrato col suo diametro, fatto di maniera & di grandezza, come sono i primi; facendo, che i lati destri d'ogni Quadrato uenghino ad esser segati in un punto istesso da i diametri & dal filo al mostrato modo. Auertendo etiandio di por sempre il primo quadrato senza diametro, che sia immobile; & che 'l suo lato destro sia segato dal diametro del seguente in quel punto, che si porrà per la lunghezza della linea, ò chorda proposta maggiore; & che 'l lato destro dell'ultimo sia segato dal filo in quella parte, che si piglia la lungezza della linea minore proposta, secondo 'l modo dato.<sup>189</sup>

Con esta advertencia, Zarlino dejaba al lector la confirmación de la utilidad y exactitud del mesolabio. Pareció bastarle con mostrar tan sólo una media proporcional, quedando la tarea de confirmar, sea con 3 o más paralelogramos, el método mostrado.<sup>190</sup> Zarlino no hizo referencias aquí, ni a las pequeñas dimensiones de la coma sintónica (entre 0,8 y 1,5 cm, aproximadamente, para un monocordio de 137 cm, véase **Fig. 16**, Pág. 112), ni al proceso iterativo, ni a la “maquinosidad” y los errores que podían sobrevenir, al utilizar mayor cantidad de pliegos en espacios más pequeños. Tan sólo advertía que si

---

<sup>189</sup> “Me bastaría solamente ahora decir que, queriendo hallar más líneas medias, o cuerdas proporcionales, esto es, queriendo dividir en más partes cualquier intervalo musical, se podrá usar el modo mostrado. Pero es necesario advertir que, por cada línea, o cuerda, que se quiera añadir a la ya encontrada, será necesario añadir entonces otro paralelogramo, o cuadrado, con su diámetro, hecho de la misma manera y tamaño que los primeros; haciendo que el lado derecho de cada cuadrado venga a ser cortado en un mismo punto del diámetro y el hilo según el modo mostrado. Advirtiéndome entonces, que siempre el primer cuadrado sin diámetro, sea inmóvil y que su lado derecho sea cortado por el diámetro del siguiente en el punto que se colocará la longitud de la línea, o cuerda mayor propuesta, y que el lado derecho del último sea cortado por el hilo en aquella parte que se coloque la longitud de la línea menor propuesta, según el modo dado.” ZARLINO [1558-1588] pp. 117-118.

<sup>190</sup> Posteriormente, tanto en sus *Dimostrazioni Harmoniche* (*Proposta IX del Ragionamento Terzo*) de 1571 como en los *Sopplimenti Musicali* de 1588, Zarlino utilizaría el mesolabio para crear 3 intervalos iguales y hasta los 12 semitonos iguales de una octava.

las líneas propuestas eran de mayor longitud que el propio mesolabio “[...] non si potrebbe far cosa alcuna.”<sup>191</sup>

\* \* \*

Entre las pocas experimentaciones que reporta la bibliografía específica referida al mesolabio, destaca la realizada por Patrizio Barbieri en 1993 tal y como está descrito en su ensayo “Il mesolabio e il compasso di proporzione.”<sup>192</sup> En dicho ensayo, Barbieri hace una breve discusión histórica del mesolabio y ofrece sus dudas ante la *troppo generosa* opinión que de sus bondades realizaran personajes como Salinas, Zarlino y Mersenne. Para calibrar dichas opiniones, Barbieri procedió a experimentar con un “improvisado” mesolabio basado en pliegos de papel de 20,9 x 29,7 cm, medidas éstas que coinciden con el formato estándar del papel DIN A4.

Barbieri, siguiendo las instrucciones de Zarlino, intentó dividir una octava en tres partes proporcionalmente iguales.<sup>193</sup> Los márgenes de error obtenidos, cercanos a 10 *cents*

---

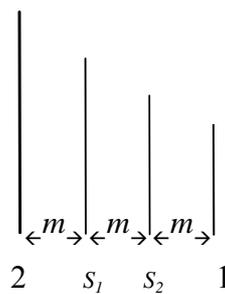
<sup>191</sup> “[...] no se podría hacer cosa alguna.” ZARLINO [1558-1588] pp. 118. No obstante, Zarlino proponía –de manera astuta y correcta– que podía trabajarse con dichas líneas, reduciéndolas según alguna proporción, hasta que pudieran colocarse en el mesolabio. Una vez allí, se hallarían las medias proporcionales y después habría que “allungar secondo la ragione della parte presa delle proposte linee, & cosi ogni cosa tornerà bene” [alargar según la razón de las partes tomadas de las líneas propuestas y así, cada cosa saldrá bien]. Véase final del párrafo del Cap. XXV en ZARLINO [1558-1588] pp. 118.

<sup>192</sup> BARBIERI, Patrizio: “Il mesolabio e il compasso di proporzione: le applicazioni musicali di due strumenti matematici (1558-1675)”, en *Musica, scienza e idee nella Serenissima durante il Seicento: Atti del convegno internazionale de studi, Venezia-Palazzo Giustinian Lolin, 13-15 dicembre 1993*. Venecia, Edizioni Fondazione Levi, 1996, pp. 201-220.

<sup>193</sup> Queda claro que al querer dividir una proporción 2:1, en  $n$  partes proporcionalmente iguales, la media poseerá el valor  $\sqrt[n]{2}$ . De ahí se deriva que, para el caso particular de incluir, entre un segmento mayor y otro menor en proporción doble, dos segmentos,  $S_1$  y  $S_2$  en proporción geométrica, se producirían 3 medias iguales  $m$ , como sigue:  $2 : S_1 :: S_1 : S_2 :: S_2 : 1$ . Se tendría, entonces, que dichos segmentos disminuirían según las siguientes proporciones:

musicales, de defecto y exceso, no fueron de su satisfacción, considerando así al instrumento como inviable. Barbieri concluía que el mesolabio de Zarlino, aún más grande, debía tener mayores errores y que, por ello, habría sido preferible servirse “dell’aborrito metodo numerico”.<sup>194</sup>

Enseguida, se intentará contrastar los resultados obtenidos por Barbieri, con un mesolabio construido y ajustado a las condiciones materiales históricas sugeridas por Zarlino. Puede adelantarse que el resultado final, a pesar de poseer dimensiones mayores a las utilizadas por Barbieri junto a la manipulación de hilos y pliegos de hojalata, resultó de una precisión favorable, lo que invita a reconsiderar el papel de dicho instrumento en las matemáticas y la ciencia musical.



- Segmento mayor = 2
- 1er. segmento intermedio  $S_1 = \text{Segmento mayor} \div \sqrt[3]{2^1} = 1,587401052$
- 2do. segmento intermedio  $S_2 = \text{Segmento mayor} \div \sqrt[3]{2^2} = 1,25992105$
- Segmento menor = 1

Desde el punto de vista musical, dividir una octava de proporción 2:1, según el proceso antes descrito, equivaldría a crear una escala de terceras mayores: Do : Mi : Sol# : Si##[Do], de temperamento igual.

<sup>194</sup> BARBIERI, Patrizio: “Il mesolabio e il compasso di proporzione: le applicazioni musicali di due strumenti matematici (1558-1675)”, en *Musica, scienza e idee nella Serenissima durante il Seicento: atti del convegno internazionale de studi, Venezia-Palazzo Giustinian Lolin, 13-15 dicembre 1993*. Venecia, Edizioni Fondazione Levi, 1996, pp. 207. Un *cent* es una unidad musical, de base logarítmica para medir el intervalo musical entre dos frecuencias  $f_2$  y  $f_1$  tal que:  $1 \text{ cent} = 1200 \times \log_2 (f_2 / f_1)$ . Equivale a 1/100ma parte de un semitono de temperamento igual, cuya proporción es  $\sqrt[12]{2}$ , por lo tanto un semitono es igual a 100 cents.

- *Experimentación*

Como se dijo, Zarlino propuso un mesolabio –como mínimo– de un *pie*, lo que se estima en unos 34,77 cm de tamaño (véase Nota 183, Pág. 142). La reconstrucción aquí realizada, permite trabajar con paralelogramos de un máximo de 38 cm en un área de trabajo –que Zarlino dejaba al libre arbitrio – de 72 cm de longitud. Con miras a hallar –al igual que en el experimento de Barbieri–, dos medias geométricas, en el intervalo de proporción 2:1, se utilizaron cuatro paralelogramos: el primero fijo –a la izquierda– con el segmento mayor de 32,8 cm –distancia similar a la cuerda de un violín– y el cuarto extremo y movable –a la derecha– de proporción a mitad, 16,4 cm.



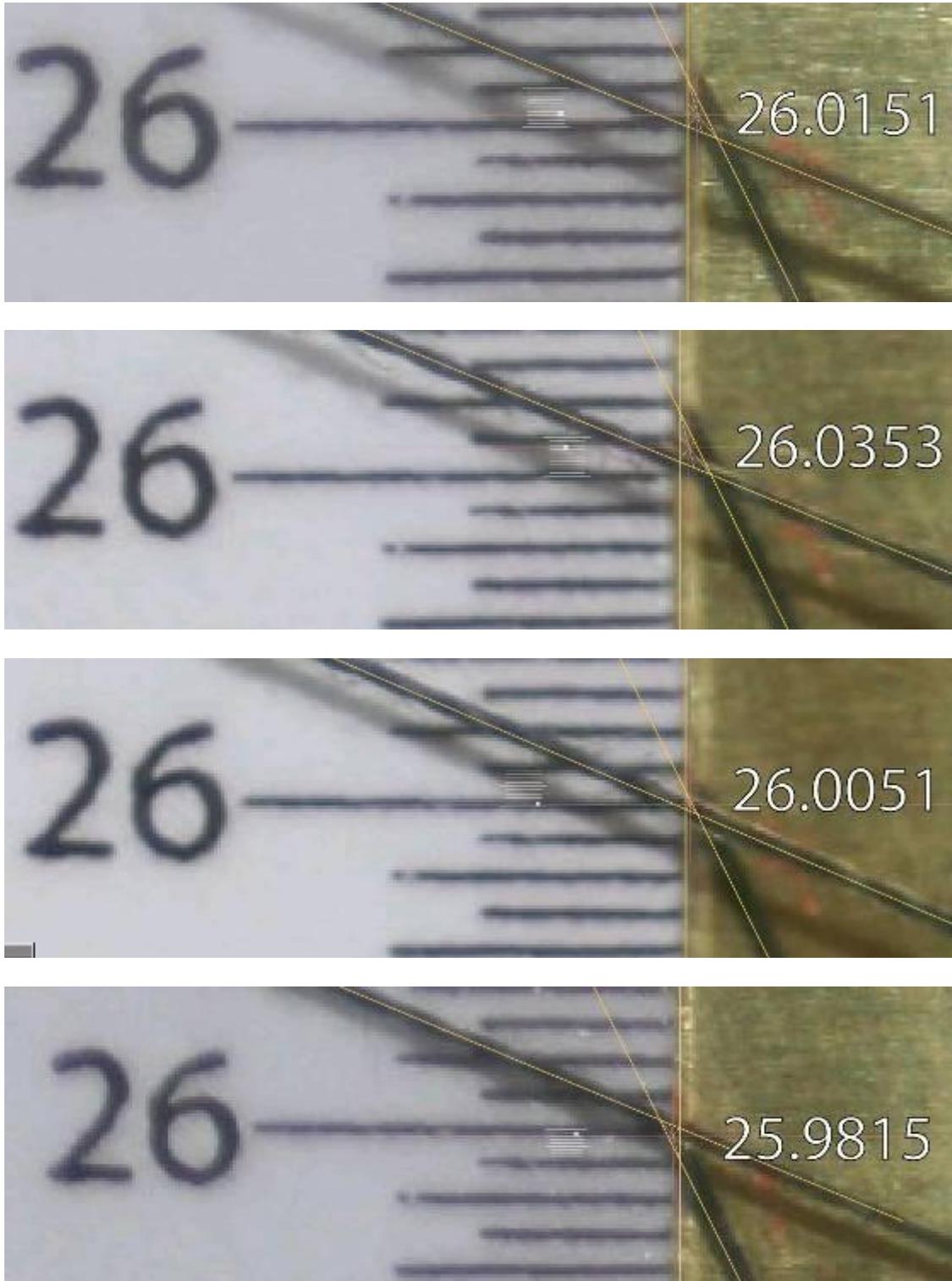
**Fig. 34. Paralelogramos con los segmentos marcados en proporción 2:1. A la izquierda, el paralelogramo fijo (32.8 cm) y, a la derecha el cuarto paralelogramo (16.4 cm).**

Se han realizado cuatro sesiones de experimentación y cálculo. Para un mejor control de los resultados, los datos fueron capturados visualmente a través de una cámara fotográfica digital de alta resolución debidamente alineada y, posteriormente, se ha realizado un promedio de hasta cuatro decimales, después de sucesivos acercamientos en un software de retoque de imágenes.<sup>195</sup> Una vez manipulado el mesolabio tal y como está expuesto por Zarlino, se han obtenido los siguientes resultados:

---

<sup>195</sup> Queda claro que, para el tiempo de Zarlino, dicha medida, seguramente, se tomaba a “ojo desnudo”, confluyendo en el punto clave varias líneas: el hilo, la diagonal, la vertical y alguna sombra que, discretamente, se atraviesa. El promedio geométrico obtenido con fotografías “zoom” no es una ventaja instrumental, pues sólo busca valores que, posteriormente, puedan contrastarse con los resultados provenientes del cálculo matemático de raíces, y así, calibrar definitivamente la resolución del aparato.

Para la primera subdivisión o primera media geométrica (segundo paralelogramo de izquierda a derecha) se tiene:



**Fig. 35. Resultados de las cuatro sesiones de cálculo con el primer paralelogramo móvil.**

Como se observa en las fotografías, se ha hecho un promedio geométrico para obtener un valor final que es fácilmente ubicable en la regla de papel adosada al paralelogramo.

Los resultados son los siguientes:

<b>1er. paralelogramo movable</b>	
Toma 1	26.0151 cm
Toma 2	26.0353 cm
Toma 3	26.0051 cm
Toma 4	25.9815 cm
<b>Promedio:</b>	<b>26.09250 cm</b> (máximo error: 0.0538 cm).

**Tabla 1. Resultados obtenidos para el primer paralelogramo movable durante cuatro sesiones.**

Según el cálculo matemático debería haberse obtenido:

$$32,8 \div \sqrt[3]{2} = 26,033377 \text{ cm}^{196}$$

La proporción entre el promedio obtenido y el cálculo matemático esperado, puede expresarse a manera de *margen diferencial* en *cents*, de la siguiente manera:

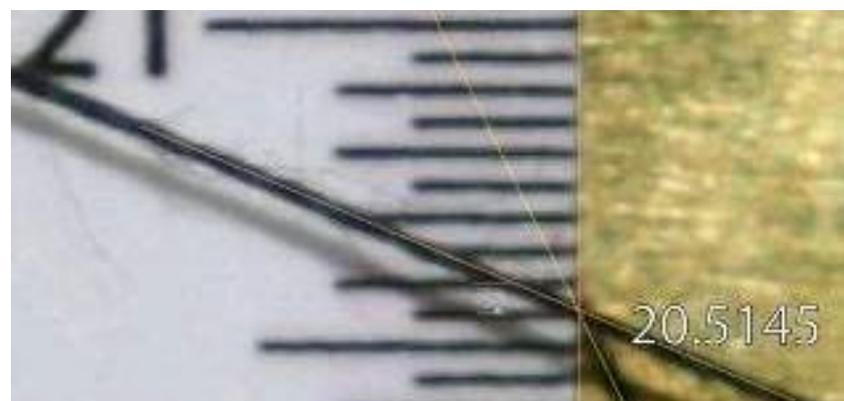
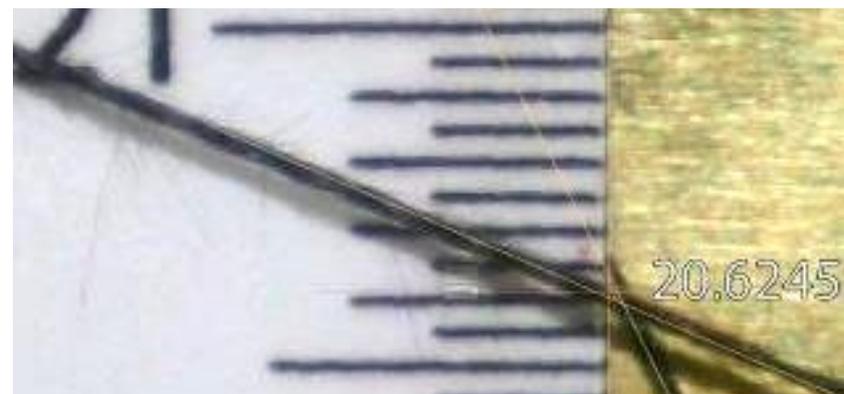
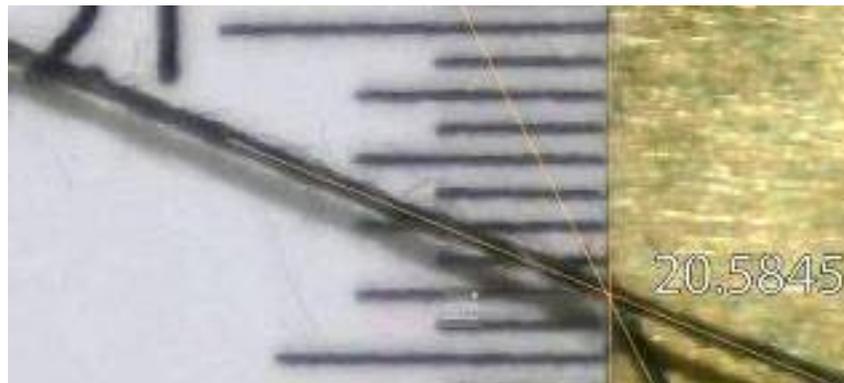
$$\frac{26.09250}{26.033377} \text{ lo que, entre dos sonidos, equivaldría a una diferencia de } \mathbf{3,92 \text{ cents}}.^{197}$$

Para la segunda subdivisión o segunda media geométrica (tercer paralelogramo de izquierda a derecha), se han obtenido los siguientes resultados:

---

<sup>196</sup> Véase Nota 193, Pág. 148, respecto de la justificación de dicho cálculo.

<sup>197</sup> Se recuerda al lector que 1 *cent* es una unidad musical, de base logarítmica para medir el intervalo musical entre dos frecuencias  $f_2$  y  $f_1$  tal que:  $1 \text{ cent} = 1200 \times \log_2 (f_2 / f_1)$ . Así entonces, si en la octava de proporción 2:1 hay 12 semitonos temperados en igual proporción, una octava posee 1200 cents. En el caso presentado, pueden sustituirse los valores de frecuencia por las dimensiones de las cuerdas obtenidas, teniéndose un *margen diferencial* =  $1200 \times \log_2 (26.09250 / 26,033377) = 3,92725458 \text{ cents}$ .



**Fig. 36** Resultados de las cuatro sesiones de cálculo con el segundo paralelogramo movable.

Los resultados son los siguientes:

<b>2do. paralelogramo movable</b>	
Toma 1	20.5845 cm.
Toma 2	20.6245 cm.
Toma 3	20.6185 cm.
Toma 4	20.5145 cm.
<b>Promedio:</b>	<b>20.5855 cm</b> (Máximo error: 0.1100 cm).

**Tabla 2. Resultados obtenidos para el primer paralelogramo movable durante cuatro sesiones.**

Según el cálculo matemático debería haberse obtenido:

$$32,8 \div \sqrt[3]{2^2} = \mathbf{20,662705 \text{ cm.}}^{198}$$

La proporción, entre el promedio obtenido y el cálculo matemático esperado, puede expresarse como un segundo *margen diferencial* en *cents* a partir de la fracción:

$$\frac{20.58550}{20.66270} \text{ lo que, entre dos sonidos, equivaldría a una diferencia de } \mathbf{6,48 \text{ cents.}}^{199}$$

\* \* \*

- *Conclusiones particulares en torno al mesolabio según Zarlino*

De los resultados obtenidos, y de otras experimentaciones posteriores realizadas con más de dos paralelogramos movibles, puede concluirse lo siguiente:

- En la medida que los paralelogramos –o las líneas propuestas para el cálculo– pueden considerarse “pequeñas” (menores de 20 cm) los errores se hacían cada vez más perceptibles, tanto por la dificultad de precisar la medida exacta, como por la acumulación de errores durante el proceso. De aquí, es fácil deducir que

---

<sup>198</sup> Véase Nota 193, Pág. 148, respecto de la justificación de dicho cálculo.

<sup>199</sup> Véase Nota 197, Pág. 152, respecto de la justificación de dicho cálculo.

un mesolabio de dimensiones mayores, o cuyo segmento a dividir sea mayor, será –a diferencia de lo que exponía Barbieri–, más fiable.

- Al ser un proceso iterativo y aproximativo, se produce una acumulación en el error de cálculo, que aumenta, de manera creciente, hacia los paralelogramos de la derecha. De aquí, puede deducirse que la utilidad del mesolabio para gran cantidad de subdivisiones –como en el caso de los séptimos de coma sintónica o las once medias proporcionales para los doce semitonos de la escala–, podría conducir a una acumulación de errores insostenibles. De todas maneras, es fácil darse cuenta que podrían hacerse las subdivisiones por pasos, es decir, subdividir en dos medias proporcionales y después, cada una de éstas, subdividir las en procesos ulteriores, que no involucrarían más de uno, dos o a lo sumo tres paralelogramos.<sup>200</sup>

Los errores cometidos en la experimentación –llamados aquí *margen diferencial*–, permiten establecer conclusiones respecto a los umbrales de discernimiento en altura del oído humano, según las prácticas musicales del siglo XVI, y en comparación con la *psicofísica* y *psicoacústica* actuales.<sup>201</sup> Estos errores, provenientes de comparar los

---

<sup>200</sup> En el ejemplo y experimentación citados anteriormente, si quisiera evitarse el uso de más paralelogramos para construirse escalas de temperamento igual, subdividiendo las terceras mayores halladas (véase Nota 193, Pág. 148), a la mitad y en igual proporción. Con esto se obtendrían los tonos intermedios que conforman la llamada “escala de tonos enteros”. Posteriormente, cada cada tono podría subdividirse nuevamente, consiguiendo así, los semitonos intermedios para completar la escala en temperamento igual de 12 semitonos.

<sup>201</sup> La utilización del término “psicofísica” y “psicoacústica”, en el marco de las experimentaciones zarlinianas del siglo XVI, son, sin duda, un anacronismo. Sin embargo, no hay duda que los músicos –tanto teóricos como prácticos– discutieron, razonaron y experimentaron, intensamente, sobre “cuánto y cómo” un sonido podía “ofender” al oído y en torno a qué “umbrales” permitían considerarse “agradables” los sonidos musicales, sea en secuencia, o simultáneos. Es, así como, los términos “psicofísica” y “psicoacústica” hallan un espacio en el marco de esta investigación, es decir: como el *estudio y discernimiento razonado sobre la conexión entre los estímulos sonoros y las respuestas del ser humano*. Actualmente, se entiende por “psicofísica” –rama de la física–, una disciplina cuyo objetivo es, al igual que la física, la consecución de un método descriptivo, cuantitativo y predictivo de las respuestas

---

de un sistema evolutivo real y físico, dadas unas condiciones iniciales. La diferencia específica de la psicofísica radica en que el sistema en estudio, es un sistema sensorial que pertenece a un sujeto (el ser humano, animales o cualquier órgano receptivo que forme parte de un sistema nervioso). Bajo este concepto, las condiciones quedan determinadas por el *estímulo físico inicial* y la respuesta es expresada por *sensaciones psicológicas* evocadas en el sujeto; sea en el cerebro y comunicadas por el ser humano, o manifestadas en forma de un comportamiento sensorial específico del animal. En particular, se denomina “psicoacústica”, a la rama de la psicofísica que estudia la conexión entre los estímulos sonoros y las respuestas del ser humano, un auditorio o un grupo social. Al igual que la física, la relación entre estímulo y respuesta se establece a partir de la experimentación y, es medida a través del establecimiento de modelos explicativo-predictivos. En el caso de esta investigación, dicha conexión, al igual que los seres humanos en ella involucrados, ocupan un espacio y tiempo históricos específicos: la comunidad musical de la Venecia del siglo XVI. Permitáse, entonces, la utilización de este término, tomando en cuenta las consideraciones aquí realizadas. La bibliografía moderna sobre psicoacústica es extensa y, en la mayoría de las veces, queda subsumida dentro de la acústica en general. El trabajo fundamental es HEMHOLTZ, Hermann von: *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik - On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music* [Sobre las sensaciones de tono como base fisiológica para la teoría de la música]. Alexander John Ellis (ed. y trad.). Londres, Longmans Green and Co., 1895. Puede leerse o descargarse desde el enlace de la página web <http://archive.org/details/onsensationston02helmgoog>. El mismo editor y traductor de Hemholtz, ha realizado importantes estudios –hacia 1948 y 1955– en torno al tema de la psicoacústica, que han sido recogidos en en ELLIS, John Alexander: *Studies in the history of Musical Pitch*. Amsterdam, Frits Knuf, 1968. Libros de acústica que contienen información referente a la psicoacústica son: KINSLER, Lawrence; y AUSTIN Frey: *Fundamentals of Acoustics*. New York, Academic Press 1982; ROSSING, Theodor: *The science of sound*. Reading-Massachussets, Addison-Wesley, 1990. Obras más recientes dedicadas a la psicoacústica y la música –y no a la acústica en general– son: ROEDERER, Juan: *The Physics and Psychophysics of Music: An Introduction*. New York, Springer-Verlag, 1995 (Trad. cast.: ROEDERER, Juan: *Acústica y Psicoacústica de la música*. Buenos Aires, Ricordi, 1997). También puede verse: ZWICKER, Eberhard; y FASTL, Hugo: *Psychoacoustics: facts and models*. Berlin, Springer-Verlag, 1999; PLACK, Christopher J.: *The sense of Hearing*. New Jersey, Routledge, 2005; HOWARD, David; y ANGUS, Jamie: *Acoustics and psychoacoustics*. Oxford, Focal Press, 2009. En castellano, también puede verse CALVO-MANZANO, Antonio: *Acústica físico-musical*. Madrid, Real Musical, 1991. Este libro es un compendio que ha sido (y es) utilizado en los conservatorios de Cataluña y España, aunque posee algunas imprecisiones históricas (la insistencia en Ramos de Pareja como sistematizador del temperamento igual). Véase también PIERCE, John Robinson: *Los sonidos de la música*. Barcelona, Prensa Científica, 1985; “Introducción” en GARCÍA PÉREZ, Amaya: *El concepto de consonancia en la*

promedios obtenidos con el cálculo matemático esperado, se encontraron en el rango de los 3,92 a 6,48 cents, siendo, aproximadamente, entre 3 y 6 cents –según la psicoacústica actual– el *umbral de discriminación de frecuencias* de mayor refinamiento, por debajo del cual el cambio es *imperceptible para el oído humano*.<sup>202</sup>

---

*Teoría Musical: De la Escuela Pitagórica a la Revolución Científica*. Salamanca, Publicaciones Universidad Pontificia de Salamanca, 2006, pp. 20-30.

<sup>202</sup> Se entiende aquí como "umbral de discriminación" o, también, "diferencia apenas perceptible", DAP – en inglés, "just noticeable difference", JND–, la cuantificación, psicológica, de cierto límite en que *el cambio se hace perceptible*. En el caso de la psicoacústica, el *umbral de discriminación de frecuencias* es el más pequeño cambio de frecuencia, en una onda sinusoidal, que es perceptible para un promedio de oyentes. Puede entenderse, también como la magnitud en cents que permite conocer cuándo dos estímulos sonoros de frecuencias diferentes, se hacen indistinguibles entre sí. Este umbral –DAP– es normalmente medido, tocando dos sonidos en sucesión e interrogando al oyente, si percibe, o no, diferencias de altura. Este umbral depende, no sólo de las frecuencias, sino también de la intensidad, la duración de los sonidos, cuán repentino es el cambio en la frecuencia, el entrenamiento del oyente y el método de medida. Si los rangos aceptados de la audibilidad humana son entre los 20Hz y los 20.000Hz de frecuencia, y, de 5dB a 120 dB, para la intensidad, los físicos psicoacústicos han construido tablas que marcan, en cents, este umbral para la onda sinusoidal, de la siguiente manera:

		Intensidad (decibelios dB)									
		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Frecuencia (Hertz Hz)	31	220	150	97	76	70					
	62	120	120	85	80	74	61	60			
	125	100	73	52	46	43	48	47			
	250	61	37	22	19	18	17	17	17	17	
	500	28	19	12	10	9	7	6	7		
	1.000	16	11	7	6	6	6	6	5	5	4
	2.000	14	6	4	3	3	3	3	3	3	
	4.000	10	8	5	5	4	4	4	4		
	8.000	11	9	7	6	5	4	4			
	11.700	12	10	6	6	6	5				

Extraído de PIERCE, John Robinson: *Los sonidos de la música*. Barcelona, Prensa Científica, 1985, p. 131.

Como se observa, conforme el cambio de frecuencia ocurre, en las zonas graves y con poca intensidad, el DAP se hace mucho mayor; por el contrario, los sonidos agudos poseen umbrales mucho más pequeños, tanto aquellos de poca, como mediana y alta intensidad, aceptándose, en general, que, a partir de los 500Hz, se amplía, notoriamente, el umbral DAP. En la tabla, los valores entre 3 y 6 cents pueden

Estos 6 *cents* equivalen, numéricamente a unos, aproximadamente, 2/7 de coma sintónica y coinciden con el umbral que Zarlino consideraría imperceptible, para su oído de la segunda mitad del siglo XVI.<sup>203</sup>

Finalmente, puede concluirse que el mesolabio, tal y como lo propuso Zarlino en el *L'Istitutioni Harmonice* de 1558, y según las dimensiones experimentales utilizadas y aquí confirmadas, era un aparato práctico con una resolución viable y aceptable.

\* \* \*

- *Consideraciones finales y evaluación del experimento en su contexto histórico*

No debe olvidarse que el objetivo filosófico y matemático final de Zarlino con el mesolabio era *la división de la minúscula coma en siete partes iguales para poder repartirla entre las restantes cuerdas*. Aunque su mesolabio sólo mostraba una media proporcional, Zarlino había sugerido ampliar su método añadiendo un total de ocho

---

considerarse como los umbrales más ajustados, que, como se observa, se refieren a sonidos agudos y con presencia notoria de volumen.

<sup>203</sup> Según lo ya expuesto, la *coma sintónica* de proporción 81:80 representaría, en *cents*, el siguiente valor:  $1200 \times \log_2 (81 / 80) \approx 21,5 \text{ cents}$ .

Al dividirse en séptimos de proporción igual se tiene que la media *m* sería:

$$m = \sqrt[7]{\frac{81}{80}} = 1,001776\dots \text{ que, según lo ya expuesto, equivaldría a } 1200 \times \log_2 (1,001776\dots) \approx 3,07 \text{ cents.}$$

Por lo tanto, dos séptimos de coma sintónica equivalen a 6,14 *cents*.

Si bien, es evidente, que Zarlino no utilizó ondas sinusoidales, sino cuerdas pulsadas cuyo timbre es diferente –incluso en el lugar donde la cuerda sea pulsada–, tanto las consideraciones psicoacústicas, como las tablas y diagramas aquí expuestos, mantienen su utilidad para establecer referencias con el sonido que pudo emitir su monocordio. Lo anterior es particularmente cierto, sobre todo, si se asume que el timbre no cambia y las cuerdas de tripa que pudieron utilizarse en dicho instrumento, no debieron haber alcanzado frecuencias, más allá, de los 1000 Hz, tal como en los laúdes de la época, cuyo rango podía expandirse, aproximadamente, desde los 100 Hz a los 1000 Hz, en sus notas más agudas. Véase ROSSING, Thomas; y FLETCHER, Neville: *The physics of musical instrument*. New York, Springer-Verlag, 1998, p. 264.

paralelogramos: uno fijo y siete móviles. Se obtendrían así siete divisiones de la coma y ocho segmentos en igual proporción.<sup>204</sup> Sin embargo Zarlino no comentó nada sobre si llegó a realizar este proceso, o no; simplemente, pareciera haberlo asumido como un hecho del todo posible, amparado en la supuesta demostración racional y experimental de su mesolabio.

En todo caso, la propuesta zarliniana de subdividir la coma sintónica en séptimos se aplicaría, primeramente, tomando como segmento menor la línea HB, y como segmento mayor la misma línea HB, más su coma sintónica añadida, tal como se expone en la **Fig. 28**, Pág. 138). La pequeña coma sintónica de, aproximadamente, 1,12 cm, sería sometida al cálculo con el mesolabio, para dividirla en siete partes proporcionalmente iguales.

Los resultados que se esperarían, calculados matemáticamente para una cuerda de 134 cm cuya letra H está a 2/3, es decir 89,3333..., serían los siguientes:

Segmento menor HB = 89,3333... cm.

Segmento mayor HB = 90,45 cm.

Espacio a subdividir = 1,1166... cm.<sup>205</sup>

$$\text{Media proporcional } m = \sqrt[7]{\frac{90,45}{89,33\dots}} = \sqrt[7]{\frac{81}{80}} = 1,00177622\dots$$

Los diferentes segmentos resultantes, según la media proporcional, serían como sigue:

---

<sup>204</sup> Véase Nota 189, Pág. 147.

<sup>205</sup> Si se tiene un monocordio cuya cuerda mide 134 cm, la letra H (proporción 3:2) se encuentra a 2/3, es decir, a unos 89,3333... cm. Por lo tanto, si se agrega una coma sintónica de proporción 81:80, el segmento aumenta a:  $89,3333\dots \times 81/80 = 90,45$  cm. El aumento es:  $90,45 - 89,3333\dots = 1,11666\dots$  cm  $\approx 1,12$  cm.

<b>Segmento mayor</b>	$90,45 \div 1,0017762^0 =$	<b>90,45</b>	Reducción
<b>1ra. Media proporcional</b>	$90,45 \div 1,0017762^1 =$	<b>90,289626</b>	0,160374
<b>2da. Media proporcional</b>	$90,45 \div 1,0017762^2 =$	<b>90,129536</b>	0,160090
<b>3ra. Media proporcional</b>	$90,45 \div 1,0017762^3 =$	<b>89,969729</b>	0,159806
<b>4ta. Media proporcional</b>	$90,45 \div 1,0017762^4 =$	<b>89,810207</b>	0,159523
<b>5ta. Media proporcional</b>	$90,45 \div 1,0017762^5 =$	<b>89,650967</b>	0,159240
<b>6ta. Media proporcional</b>	$90,45 \div 1,0017762^6 =$	<b>89,492009</b>	0,158958
<b>Segmento menor</b>	$90,45 \div 1,0017762^7 =$	<b>89,3333...</b>	0,158676

**Tabla 3. Cálculo de séptimos de coma a partir del segmento HB y su coma sintónica añadida.**

Como se observa, cada media proporcional habría ido reduciendo al segmento mayor, logarítmicamente, según fracciones de poco más de milímetro y medio, hasta alcanzar al segmento menor. *Dichas reducciones son del todo visibles y manipulables a la hora de utilizar el monocordio y, sobretodo, a la hora de hacer marcas –artesanalmente– en el instrumento.* Si se asumen, tan sólo, dos decimales en dichas reducciones, todas podrían “redondearse” y homologarse en 0,16 cm, dada la escala del instrumento en el cual Zarlino trabajaba.

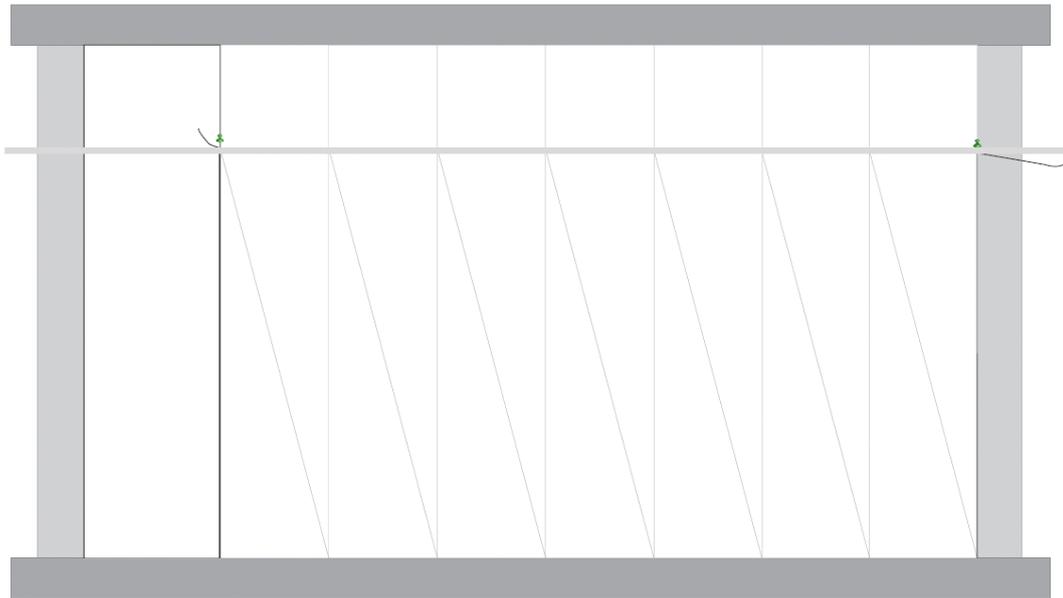
\*

Ahora, desde el punto de vista del cálculo geométrico, en la siguiente hoja desplegable, puede observarse la dimensión exacta geométrica de estos ajustes, sobre un “mesolabio digital”. Para ello, se utilizó un segmento mayor de 32,80 cm y uno menor de 31,68 cm, cuya diferencia son, aproximadamente, 1,12 cm.<sup>206</sup>

---

<sup>206</sup> Aunque la fracción  $32,8 / 31,68$ , no equivalga a los  $81 / 80$  de la coma sintónica, el mesolabio puede ser utilizado aquí, como instrumento matemático, para tan sólo dividir, en partes igualmente proporcionales, la *dimensión absoluta* de esa misma coma sintónica que se ha estimado en 1,12 cm. Para realizar la imagen siguiente, se ha utilizado el software digital Adobe Illustrator, el cual permite un alto grado de precisión en esta suerte de “mesolabio digital”. Al igual que en el mesolabio real, se han manipulado tanto paralelogramos “digitales” como el “hilo”, hasta llegar al cálculo más exacto posible.

**Hoja desplegable. 2**



Como se observa, al igual que se ha podido “redondear” el resultado matemático, es posible considerar “a simple vista” que *las reducciones están espaciadas de manera equidistante*. Es decir, si bien sabemos que existe una reducción logarítmica, el resultado, tanto matemático como geométrico, es asumible como una equidistribución aritmética de los espacios. Desde el punto de vista musical, un séptimo de coma *aritmético* equivaldría, aproximadamente, a unos 3.06 *cents*.<sup>207</sup> Como es fácil notar, en comparación con los 3,07 *cents* del séptimo de coma *geométrico* (véase Nota 203, Pág. 158) y los umbrales psicoacústicos mencionados, *esas centésimas son absolutamente despreciables*, tanto en las notas graves como las muy agudas.

\* \* \*

Si bien estas siete medias geométricas se han obtenido con gran exactitud –sea, a través del cálculo matemático que involucra números irracionales, o a través de un software gráfico vectorial–, las experimentaciones posteriores realizadas mostraron que *el intento de obtenerlas mecánicamente era complicado e inexacto*. A continuación se muestra un estado de la reconstrucción sobre el mismo segmento de 16,4 cm utilizado anteriormente, el cual se dividiría en siete partes iguales. A pesar de ser un segmento relativamente grande, en comparación con la coma sintónica de 1,12 cm, los siete paralelogramos produjeron errores acumulativos en un rango mucho mayor de lo tolerable.

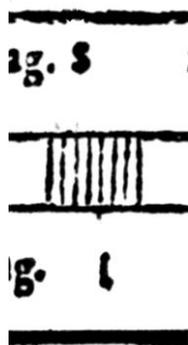
---

<sup>207</sup>  $1/7$  “aritmético” de coma sintónica equivaldría a convertir la proporción 81:80 en una proporción del tipo  $81 : (81 - 1/7)$ , lo que equivale a la proporción  $81 : 80,857142\dots$ . Esta proporción equivale, en *cents*, a  $1200 \times \log_2 (81 / 80,857142\dots) \approx 3,06 \text{ cents}$ .



**Fig. 37. Estado de la división de un segmento de 16.4 cm en siete partes proporcionalmente iguales.**

Es decir, si bien Zarlino expuso el mesolabio con suma sencillez, su utilización práctica y mecánica para subdividir en siete partes proporcionalmente iguales, un mínimo espacio de más de un centímetro, es prácticamente, imposible. Podría acordarse, con Patrizio Barbieri, que al multiplicarse los paralelogramos e intentar aplicar la subdivisión a esas magnitudes tan pequeñas, los mínimos movimientos, el ajuste del hilo y toda la llamada “maquinosidad” del aparato harían imposible un resultado confiable: una “quimera”, como dijera el propio Barbieri. Sin embargo, la paradoja consiste en que, justamente, para espacios pequeños, las separaciones “geométricas” no difieren sensiblemente de las “aritméticas”. Los cálculos realizados –matemáticos y geométricos– han ofrecido un alegato que, con seguridad, no escapaba del ojo, tanto de teóricos como de artesanos: *en espacios pequeños, como la coma sintónica de un monocordio, la media geométrica es equiparable a una media aritmética; por ello bastaría con dividirla a espacios iguales*. Seguramente, por eso mismo, cuando Zarlino subdivide gráficamente la coma sintónica, resulta inapreciable cualquier reducción logarítmica, tal como se observa en el siguiente detalle:



**Fig. 38. División de la coma sintónica en séptimos según Zarlino. ZARLINO [1588] p.158.**

En suma, sin duda, el mesolabio de Zarlino podía ser un instrumento matemático de alta precisión si la distancia a subdividir era relativamente grande y se trataba de pocas subdivisiones; pero no es menos cierto que en el minúsculo espacio de la coma y desde el punto de vista práctico y artesanal, las subdivisiones o medias proporcionales podían estimarse en siete divisiones equidistantes despreciando las reducciones logarítmicas que, para efectos de la práctica musical, eran del todo imperceptibles para el oído.

La consulta con constructores especializados en instrumentos antiguos confirma la posibilidad de realizar –con las herramientas artesanales de la época– finas marcas espaciadas a distancias, desde medio milímetro, hasta un milímetro y medio, sobre un trozo de madera o metal, para servir de guía para la colocación del caballete de un monocordio, así como la colocación de trastes o cuerdas en un instrumento musical.

En síntesis, puede decirse que, la viabilidad y utilidad del mesolabio como instrumento geométrico-mecánico en la historia de la ciencia musical y la musicología, no queda invalidada íntegramente, tal como se demostró en las experimentaciones iniciales que subdividían la octava en tres terceras mayores –igualmente temperadas–, con altísima precisión. Por ello, como herramienta para el artesano y para el constructor de instrumentos, el mesolabio pudo haber sido útil para dividir en partes igualmente proporcionales, espacios de mayor amplitud, como por ejemplo el mástil de un laúd. Zarlino, en sus *Sopplimenti Musicali* de 1589, mostró un mesolabio de doce paralelogramos, que podría resultar del todo fiable para una dimensión, aproximada, de unos 60 cm y, seguramente, es a este tipo de debates al que se referían las cartas antes mencionadas de los años 1579-1580.

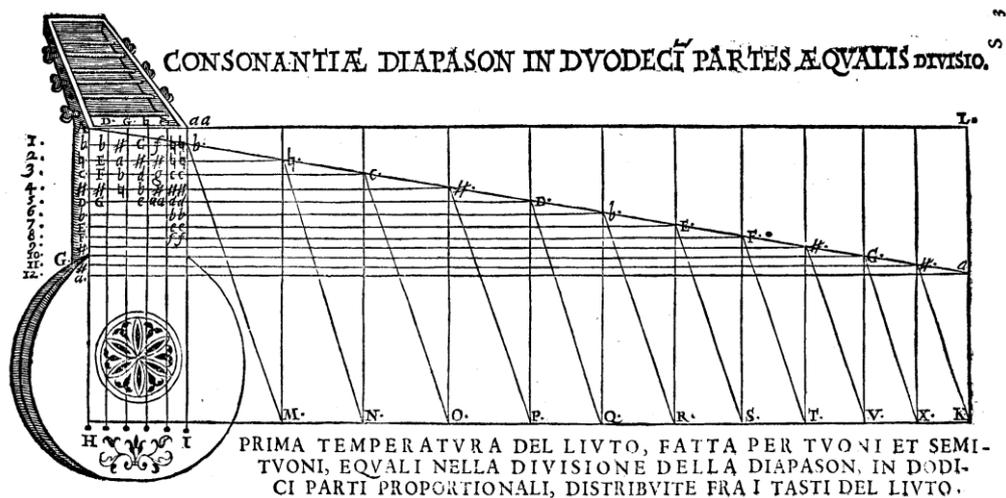


Fig. 39. División del mástil de un laúd utilizando el mesolabio, según Zarlino.

ZARLINO, Gioseffo. *Sopplimenti Musicali* (1588-1589), p. 209.

Zarlino estaba al tanto de la utilización del mesolabio para dividir segmentos de mayores dimensiones y expuso un método ya en su primera edición de *Le Istitutioni Harmoniche* de 1558, como sigue:

Et se la maggior linea proposta fusse più lunga, che il quadrato posto nel Mesolabio, non si potrebbe fare alcuna cosa. E ben vero, che pigliando la metà, di ciascuna delle due proposte, si potrà hauere il proposito: perche dopo fatto il tutto, le mezane ritrouate si potranno allungar secondo la ragione della parte presa delle proposte linee; et cosi ogni cosa tornerà bene.<sup>208</sup>

Esta misma operación, que amplifica las proporciones halladas, podía ser perfectamente utilizable para, al contrario, simplificar y disminuir las medias halladas en el caso de segmentos pequeños. Se ha comentado que la utilización del mesolabio en un mínimo espacio (como la coma sintónica) sería una “quimera”, pero el razonamiento citado anteriormente permitiría hacer la subdivisión y, –parafraseando a Zarlino–, las medias

<sup>208</sup> “Y si la línea mayor propuesta fuese más larga que el cuadrado colocado en el Mesolabio, no podrá hacerse cosa alguna. Pero es cierto, que tomando la mitad de cada una de las dos [líneas] propuestas, se podrá lograr el propósito: puesto que después de hacerlo todo, las medias halladas se podrán alargar, según la fracción racional tomada a las líneas propuestas; y así cada cosa volverá a estar bien.” ZARLINO [1588] p. 112.

halladas se podrían “encoger según la fracción racional” deseada. Aunque esto no lo dijera explícitamente Zarlino, es del todo plausible y comprensible en el marco de sus razonamientos.

Puede concluirse, entonces, que hay evidencias históricas que confirman la existencia concreta del mesolabio a pesar de que la historiografía –tanto científica como musicológica– haya insistido en considerarlo únicamente como un artilugio teórico y abstracto. H. J. M. Bos realizó una revisión del estatus de las construcciones geométricas basadas en la utilización de instrumentos mecánicos (reglas deslizantes, paralelogramos, etc.) o procedimientos de ensayo y error en su libro *Redefining geometrical exactness*, y en un ensayo dedicado al mesolabio de Sluse.<sup>209</sup> El debate sobre la exactitud de estas construcciones mecánicas, para el momento de la publicación del mesolabio de Zarlino (1558), es, para Bos, algo opaco e inconcluso, puesto que para la época dichos mecanismos poseían utilidad e interés, pero no se consideraban auténticas construcciones geométricas en el sentido de aquellas realizadas con regla y compás. Bos acota que el término “mesolabio” no es un término con una estricta connotación instrumental –mecánica– sino que alude a todo procedimiento que involucre la construcción geométrica de medias proporcionales. Al comentar el caso “especial” de la división de la octava en el monocordio, pone en duda que el mesolabio haya sido utilizado en la práctica. Finalmente, Bos sentencia que dichas construcciones, sean reglas o paralelogramos deslizantes a la manera de un mesolabio

---

<sup>209</sup> Véase BOS, Hendrik J. M.: *Redefining geometrical exactness: Descartes' transformation of the early modern concept of construction*. New York, Springer-Verlag, 2001 e ID.: “The significance of Sluse’s mesolabum within seventeenth-century geometry and algebra”, en *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 55/1 (1986), pp.145-153. René Francois Walter de Sluse (\*Vise, Bélgica, 1622; †Lieja, 1685) fue un clérigo, intelectual y matemático valón activo en Lieja. Conocedor de diversas lenguas, fue también astrónomo y escribió sobre física, historia natural, historia y teología. Mantuvo correspondencia con otros filósofos y científicos como Pascal, Descartes, Huygens. Su obra, *Mesolabum seu duse mediae proportionales inter extremas datas per circulum et ellipsim vel hyperbolam infinitis modis exhibitae* (Lieja, F. van Milst, 1659), discutía soluciones a ecuaciones de tercero y cuarto grado en las cuales se veía involucrado el mesolabio como herramienta geométrica, y no mecánica.

[...] were not meant to be actually performed in any practice; they all belonged to idealized, abstract geometry. If they involved instruments, these instruments were also considered in abstracto.<sup>210</sup>

Como se observa, para Bos el mesolabio es una abstracción, y la música no pareciera jugar un papel importante en estos debates, prefiriendo citar posteriormente al musicólogo James Murray Barbour, quien, a su vez, opta por no entrar en un terreno que considera plagado de opiniones conflictivas.<sup>211</sup> Otros musicólogos y estudiosos, como los ya mencionados Barbour y Goldáraz, ven en el mesolabio una herramienta teórica que sólo muestra el papel de la Antigüedad en las obras musicales y matemáticas del Renacimiento.<sup>212</sup>

En contraste y como resumen de todo lo expuesto, puede concluirse lo siguiente: en 1558 Zarlino rescató el mesolabio y muy probablemente le sirviera para hacer una subdivisión de la octava en una y hasta dos medias proporcionales, tal como quedó expuesto en su diagrama del *Le Istitutioni Harmoniche*. Ahora, una vez aceptada su viabilidad, puede interpretarse que extrapoló su funcionamiento a cualquier segmento y cualquier cantidad de paralelogramos, convirtiendo así lo que era un aparato mecánico material, en un *fundamento especulativo, racional y abstracto que justificaría la división de la minúscula coma sintónica*. Veinte años más tarde, una vez que otros músicos se hicieran eco del uso del mesolabio –como es el caso del reconocido Francisco Salinas–, Zarlino reeditaría sus “fundamentos armónicos” y, seguramente,

---

<sup>210</sup> “[...] no significaban que fueran de hecho utilizadas en la práctica; todas ellas pertenecen a una geometría idealizada y abstracta. Si ellos involucraron instrumentos, estos instrumentos deben ser también considerados en abstracto.” BOS, Hendrik: *Redefining geometrical exactness: Descartes' transformation of the early modern concept of construction*. New York, Springer-Verlag, 2001, p. 147.

<sup>211</sup> Véase BARBOUR, James Murray: *Tuning and Temperament*. East Lansing, Michigan State College Press, 1951. [Reimp.: New York, Da Capo Press, 1972, p. 51].

<sup>212</sup> Véase GOLDÁRAZ, Javier: “La especulación teórica en torno a la aplicación y los temperamentos y su aplicabilidad práctica”, en *Los Instrumentos musicales en el siglo XVI: Actas del I Encuentro Tomás Luis de Victoria y la Música Española del Siglo XVI*. Ávila, Fundación Cultural Santa Teresa, 1997, pp. 29-40.

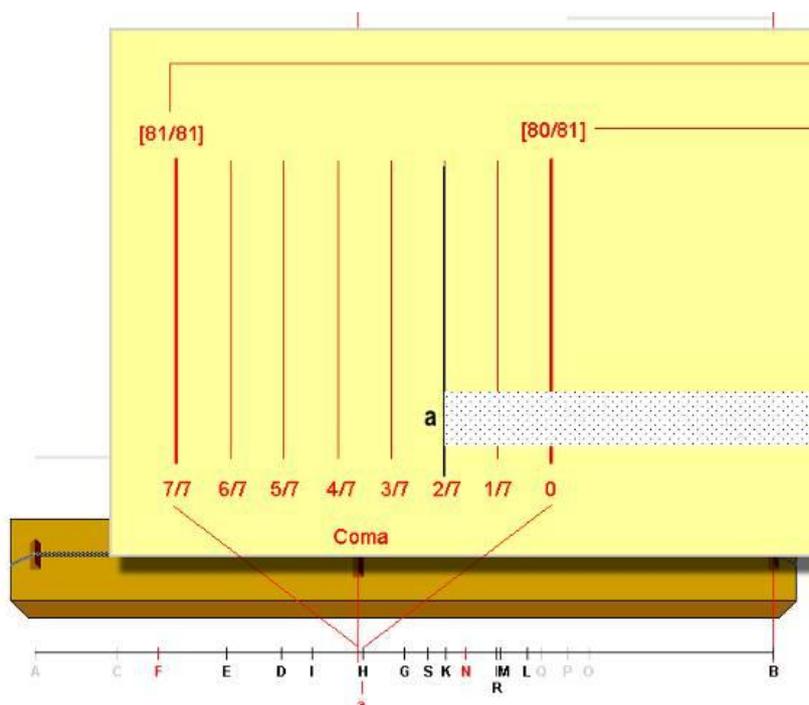
fabricaría otros aparatos para someterlos a debate con sus colegas Pinelli y Moletto, tal como atestiguan las cartas comentadas.<sup>213</sup> Este segundo mesolabio no iría dirigido a justificar la subdivisión de la coma sintónica, sino la división temperada en doce semitonos iguales de toda la cuerda (en un instrumento como el laúd, lo cual era del todo posible dadas las dimensiones de dicho instrumento). En ambos momentos, el empeño de Zarlino por indicar medidas, materiales, diagramas e invitar al lector a construir un mesolabio, junto a las cartas que evidencian su fabricación, permiten afirmar que se estaba ante la práctica concreta de un aparato geométrico-mecánico. Este aparato poseía un cierto rango de viabilidad que, a su vez, servía de fundamentación teórica a un nuevo tipo de problema científico-musical a resolver en el monocordio: la división de cualquier intervalo musical según la proporción geométrica y –como se verá de inmediato– los umbrales estéticos que la limitaban.

---

<sup>213</sup> Se recuerda al lector que G. V Pinelli y G. Moletto fueron eruditos y colegas matemáticos de Zarlino que mantuvieron relación epistolar respecto al mesolabio. Por otro lado, Francisco Salinas (\*Burgos, 1513; †Salamanca, 1590) es considerado por muchos musicólogos como el máximo teórico musical español. A su vez fue también un humanista, conocedor de la lengua griega y organista. Ciego desde su niñez, se dedicó con empeño a la música tanto práctica como teórica, lo cual quedó plasmado en su obra principal, *De Musica Libri Septem*. Salamanca, Mathias Gastius, 1577. En ella menciona al mesolabio – seguramente conocido a través de la obra de Zarlino–, y propone su aplicación para dividir la octava en 12 semitonos iguales. Como puede observarse, hay un margen de doce años entre la mención del mesolabio, por parte de Zarlino, en 1558, y esta mención de Salinas de 1577. Sólo posteriormente, en los *Sopplimenti Musicali* de 1589, Zarlino haría una mención a la división de la octava en 12 medias proporcionales, por lo tanto, algunos musicólogos han querido ver aquí que Zarlino, a pesar de haber “resucitado” el mesolabio, no habría tenido la idea de aplicarlo a la octava entera, sino tan sólo, después de haber conocido la obra de Salinas. No hay evidencias de que esto haya sido así y, por ello Salinas – además de su desarrollo teórico especulativo–, ha sido considerado como pionero en enunciar el sistema de temperamento igual. Véase BARBOUR, James Murray: *Tuning and Temperament*. East Lansing, Michigan State College Press, 1951. [Reimp.: New York, Da Capo Press, 1972, p. 50]. Una mirada general a la obra de Salinas puede verse en GOLDÁRAZ GAÍNZA, Javier: *Matemáticas y música en los tres primeros libros del De musica de Francisco Salinas*, tesis doctoral. Madrid, Universidad de Educación a Distancia, 1991. Una comparación entre Zarlino y Salinas a este respecto puede verse en GARCÍA, Sara Amaya: *El número sonoro. La matemática en las teorías armónicas de Salinas y Zarlino*. Salamanca, Caja Duero, 2003.

### c) El Monocordio “imperfecto”. La distribución de la coma sintónica

Una vez asentada la fundamentación filosófica y matemática para dividir en medias proporcionales cualquier intervalo, Zarlino proponía: primero, dividir la coma en 7 partes igualmente proporcionales, y después, seleccionar 2/7 de coma de su parte aguda y adjudicar una nueva posición a la letra H, colocando allí la nueva cuerda aB. A continuación, se presenta una ilustración –a manera de “zoom”– del área en donde estarían aplicándose estos repartos de séptimos de coma:



**Fig. 40. Acercamiento a la subdivisión de la coma sintónica. [La barra en blanco representa el punto exacto donde debe “seccionarse” la cuerda con el caballete].<sup>214</sup>**

Como se observa, la quinta justa formada por FB y HB, se ha desviado en 2/7 de coma; es decir, se ha “desafinado” en esa cantidad y su nota superior (HB) ha descendido 2/7 de coma haciendo de ella una nueva cuerda aB, ligeramente, más grave. En el caso de

<sup>214</sup> En el CD anexo y la web ya mencionados, puede escucharse el correlato sonoro de estas subdivisiones. En especial, si se ejecutan los extremos de la coma y se comparan con la nueva ubicación, pueden calibrarse los umbrales audibles y estéticos a los que Zarlino se refiere como “ofensivos”, o “aceptables”, a su oído y el de sus contemporáneos.

un monocordio de 134 cm, equivaldría a convertir la distancia HB de 89,33 cm, en una nueva distancia aB de 89,65 cm.<sup>215</sup> Esta desviación, como ya se ha dicho, equivaldría a descender cualquier intervalo en 6,14 *cents*.<sup>216</sup> Este intervalo en torno a los 6 cents, como ya se ha dicho, es considerado como el umbral de diferencia –*diferencia apenas perceptible* DAP– que percibe un ser humano, quedando la aproximación de Zarlino dentro de estos umbrales psicoacústicos.

La estrategia de Zarlino continuaría a través de una serie de quintas consecutivas a partir de cada nueva nota hallada, y repartiendo con ingenio los séptimos de coma, a fin de que todas las quintas quedasen igualmente reducidas en 2/7 de coma.<sup>217</sup>

A continuación se presenta la ilustración que aparece en *Le Istitutioni Harmoniche*, que debe considerarse como la solución final al problema filosófico que el propio Zarlino se había planteado; es decir: modificar todo el sistema musical, con miras a racionalizar una práctica que privilegiaba las modernas terceras “justas” en detrimento de las antiguas quintas pitagóricas, sin que el oído quedara “ofendido” por ello. No obstante, esta ilustración debe considerarse más como un diagrama o racionalización abstracta del problema, puesto que no estaban allí dibujadas, ni las proporciones ni las distancias correctas entre los intervalos entre sí, lo que hace evidente que no debe tomarse como un esquema de construcción, sino como una guía conceptual ilustrativa.

---

<sup>215</sup> Véase, *supra*, en la Tabla 3 el valor de la 5ta. media proporcional igual a 89,650967.

<sup>216</sup> Véase en la Nota 203, Pág.158, el cálculo de dicho valor. Cada séptimo de coma equivale a 3,07 *cents*.

<sup>217</sup> El proceso, hasta su culminación, puede seguirse en el CD multimedia anexo y en la web ya mencionada.



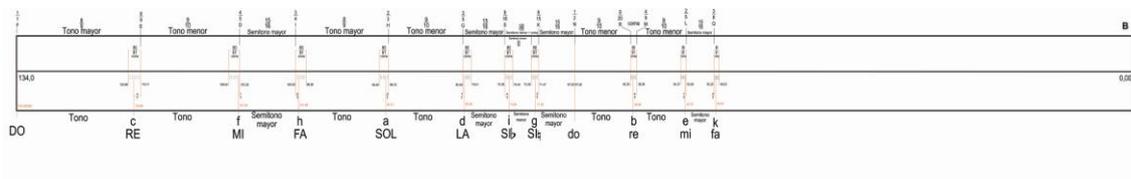
Puede interpretarse que Zarlino modificó la escala y proporción del dibujo para poder hacer visible y comprensible el detalle de la división de la coma sintónica, que, como se observa y se ha comentado, ha quedado dividida según líneas equidistantes.<sup>218</sup>

Ahora, ¿utilizó efectivamente Zarlino el mesolabio para dividir esta coma de dimensiones minúsculas? Seguramente no. Si lo hizo, tan sólo le debió servir para percatarse o inferir la relativa equidistancia de dichas subdivisiones. En la siguiente hoja desplegable se ha redibujado la imagen anterior, como si de un monocordio de 134 cm se tratara, y se han corregido todas las dimensiones y proporciones. Se han dibujado las disminuciones logarítmicas a las que se ve expuesta la cuerda, pero, en el caso de la subdivisión de la coma sintónica, la diferencia entre ellas es, prácticamente, imperceptible, tanto visual, como acústicamente. A continuación, la imagen:

---

<sup>218</sup> *Cfr. Fig. 38, Pág. 164.*

### Hoja desplegable. 3



Los datos rectificados han permitido confeccionar una nueva hoja de acetato que da forma al monocordio “imperfecto” y su subdivisión, basada en séptimos de coma.



**Fig. 42. Monocordio “imperfecto”, según Gioseffo Zarlino.**



**Fig. 43. Detalle de los séptimos de coma en el Monocordio “imperfecto”, según Gioseffo Zarlino.**

\* \* \*

Finalmente, Zarlino concluye que su monocordio ha quedado ajustado, dado que se ha

[...] accresciuto, o diminuto equalmente, non solo ogni Consonanza nella sua specie; ma ogn' altro Interuallo, che tra le dette chorde era contenuto; et di Dodici chorde che erano prima, le haueremo ridutte al numero di Vndici,[...] <sup>219</sup>

Puede leerse allí, que uno de los aspectos más relevantes de este proceso ha sido el reparto *igualitario*. El modificar los intervalos en una única y misma proporción puede interpretarse como la desaparición progresiva de jerarquías en las proporciones de los intervalos, lo que allana el camino hacia un monocordio de *temperamento igual*, el cual, finalmente, será enunciado por Mersenne y se analizará en la Tercera Parte de esta investigación.

## **2.5 Conclusiones particulares en torno al monocordio de Zarlino**

Antes de presentar estas conclusiones particulares es necesario recordar y enfatizar que Zarlino había presentado su instrumento en dos estadios claramente definidos: un primer monocordio denominado “perfecto”, que fuera construido en la confluencia del antiguo sistema griego y la “afinación justa” del siglo XVI; y un segundo monocordio denominado “imperfecto”, en el que se abandonaba la tradición y se reorganizaba todo el sistema con base en el temperamento de los 2/7 de coma y el juicio sensible del oído. Esta diferenciación es fundamental para comprender el alcance que como instrumento científico puedan haber tenido tanto el mesolabio como el monocordio. La investigación realizada permite entonces establecer conclusiones en torno a tres aspectos básicos: *a)* los términos utilizados por Zarlino para referirse al monocordio; *b)* el tipo de

---

<sup>219</sup> “[...] aumentado o disminuido igualmente, no sólo cada consonancia, sino todos los intervalos, que en la cuerda estaban contenidos, y de doce cuerdas que se tenían al principio, las habremos reducido a once.” ZARLINO [1558-1588] p.131.

conocimiento que produjo este instrumento en relación con los debates historiográficos; y c) las interpretaciones que el autor de esta investigación propone en el marco de la música como ciencia en el siglo XVI.

Con respecto al primer punto, a), una vez que Zarlino reconociera históricamente el monocordio en la obra de Ptolomeo y Boecio, pasó a caracterizarlo como un instrumento, en el cual, sumado al juicio de la razón y por virtud de la proporcionalidad armónica,

inuestighiamo le ragioni delle consonanze musicali, [...] et accettati, i quali collochiamo in esso secondo i gradi del graue, et dell' acuto a i loro luoghi, et li descriuemo co i nomi propij, [...]<sup>220</sup>

El verbo “investigar” consistiría aquí, básicamente, en hallar el exacto valor matemático con el cual se expresaba esa virtud precedente –la proporcionalidad armónica–, y una vez hallados dichos valores, construir una suerte de clasificación razonada de las consonancias. La particularidad de esta clasificación es que su fundamento quedaba explicado por una ley numerológica *a priori*: el *senario*, ley que a su vez –como se mostraba en la larga enumeración expuesta en la Nota 160, Pág.113– incluía a las mismas consonancias que el propio *senario* pretendía demostrar. En otras palabras, el monocordio poseía sus verdades –las consonancias–, ya prefijadas como una necesidad, de manera que Zarlino habría constreñido su instrumento a ejecutar sólo los números provenientes del *senario*, so pena de derrumbarse el razonamiento general. Sus marcas ya estaban entonces prefijadas, y su verdad era *necesaria*, en la medida que toda verdad expuesta en sus conclusiones estaba ya incluida en las verdades de las premisas.

A partir de allí, Zarlino sólo podía demostrar lo que ya se consideraba cierto, y al hacerlo, su monocordio no daba espacio a la especulación ni al descubrimiento en el reducido espacio del *senario*.

---

<sup>220</sup> “[...] investigamos las razones de la consonancia musical, [...] y aceptadas, las cuales colocamos según su grado, del grave y del agudo hasta sus lugares, y las describimos con su propio nombre [...]” ZARLINO [1558-1588] p.119.

En este sentido, y según lo expuesto, este primer monocordio denominado “perfecto”, sería un aparato que puede interpretarse como una herramienta *apodíctica*, en el sentido aristotélico de la palabra, es decir: *mostraba verdades auto-evidentes y necesarias*.<sup>221</sup> Así, en la medida que el instrumento estaba constreñido al *senario* y replicaba experimentaciones ya realizadas –tanto por pitagóricos, como por Ramos de Pareja–, sólo se acudía a él para comprobar la belleza de un grupo de consonancias restringidas y prefijadas por el propio *senario*. No es posible ver aquí, entonces, descubrimiento ni experimentación, y si bien se investiga, esto sólo habría servido para construir una clasificación, que una vez hecha, permitía ahora ejercitar la modulación y la armonía, es decir, el artificio práctico creador. Por lo tanto, este monocordio era un instrumento que, sirviendo como mediador entre la razón y la creación, entre la naturaleza y el artificio, quedaba definido como teórico-especulativo, y sólo después como práctico.

Consecuencia de lo anterior, y con respecto al punto *b*), el tipo de conocimiento que producía este monocordio se orientaba, primeramente, en el sentido básico de *clasificar* –un “ordenar según clases”–, y después permitiría “hacer” cosas, como pudieran ser, el ejercitar el oído musical o desarrollar las técnicas compositivas musicales. Al igual que en el monocordio de Ramos de Pareja, estaban camufladas allí las proporciones asociadas a los armónicos naturales, pero, sólo puede esgrimirse que este primer monocordio se asemeja más a una “cartografía” o “mapamundi” sonoro, a manera de

---

<sup>221</sup> Como ya se comentó en la Nota 162, Pág. 115, el pensamiento aristotélico gravitaba en torno a los razonamientos zarlinianos, al igual que en muchos de los intelectuales de la época y la zona. Las relaciones entre el aristotelismo y el renacimiento pertenecen a un tema muy vasto. La variedad y diversidad del tema puede verse de manera introductoria en SCHMITT, Charles. B.: *Aristotle and the Renaissance*, Cambridge, Harvard University Press, 1983: ID.: “Aristotelianism in the Veneto and the Origins of Modern Science” en *Aristotelismo veneto e scienza moderna*, Luigi Olivieri, (ed.). Padua, Antenore, 1983, pp. 104-123. En el marco particular del nacimiento de la ciencia moderna véase COHEN, F. *The Scientific Revolution: a Historiographical Inquiry*, Chicago, The University of Chicago Press, 1994, pp. 279-285. Para mayor detalle puede consultarse la colección de ensayos de la “Part I: The new nature” en *The Cambridge History of Science, Early Modern Science*, Vol. 3. Lorraine Gaston y Katharine Park (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, 2006.

*modelo explicativo pasivo*, que a lo que pudiera considerarse un aparato filosófico que produce algún tipo de conocimiento.

No obstante esta pasividad, la revisión, tanto material y metodológica como los problemas científicos que pretendía resolver, mostraron y evidenciaron que este primer monocordio albergaba en su seno una imperfección –la *coma sintónica*–, que obligó a Zarlino a reorganizarlo en un segundo monocordio denominado “imperfecto”. Para ello, y con base en la fundamentación práctica y teórica del mesolabio, la discordante coma sintónica no fue prohibida –como hiciera Ramos de Pareja–, sino disuelta, para reorganizar todo el sistema. Es decir, la molestia e imperfección de un minúsculo intervalo, fue repartida entre el resto de los tradicionales intervalos –si bien “justos” y “perfectos”–, haciendo ahora de todo el monocordio un aparato, si se quiere, “injusto” e “imperfecto”, con la salvedad de que era posible ponerlo a prueba sensiblemente. Tal vez por ello, Zarlino rogaba ejecutar el monocordio, si no perfectamente, *almeno mediocrementemente*, pues sólo así se podía enfrentar “quelle cose, ch'ogni giorno uà ritrouando di nuouo; & farne la proua per sapere inuestigar con la proua in mano le Passioni proprie de i Numeri sonori.”<sup>222</sup>

Consecuente con esto, y en referencia al punto *c)* puede afirmarse que el monocordio zarliniano permitió colocar en discusión y debate, no sólo las novedades de los prácticos y los números sonoros, sino lo que debía interpretarse como los límites auditivos y estéticos de lo que, para el siglo XVI, Zarlino consideraría consonante. Con ello se entraba de lleno en un terreno de claras resonancias *dialécticas* en el estilo, también, aristotélico del término, y en tanto “pregunta respecto de la contradicción y asunción de lo aparente y lo plausible.”<sup>223</sup> A diferencia de la retórica, que para el siglo XVI se consideraba más apropiada para los aspectos humanos prácticos, históricos o de

---

<sup>222</sup> “aquellas cosas, que cada día se encuentran como novedad, y ponerlas a prueba para saber investigar, con la prueba en la mano, las pasiones de los números sonoros.” ZARLINO [1558-1588] p. 445.

<sup>223</sup> Véase “Cap. 1” en ARISTOTELES: *Analíticos Primeros, Tratados de Lógica (Organon II)*. Madrid, Gredos, 1988.

reflexión moral, la lógica aristotélica se había impuesto con base en sus silogismos, argumentaciones y conclusiones de índole universal.<sup>224</sup> Como es sabido, la dialéctica, en el caso aristotélico, es aquel método propio de su filosofía que parte de una *endoxa* o cosas plausibles o aceptables; es decir, una opinión que “parece bien a todos, o a la mayoría, o a los sabios, y, entre estos últimos, a todos, o a la mayoría, o a los más conocidos o reputados.”<sup>225</sup> Como puede verse, la diferencia entre un silogismo apodíctico-demostrativo y un silogismo dialéctico consiste en que en este último, las premisas provienen de la opinión autorizada o de aquella que es aceptada por una mayoría. Así entonces, Zarlino ofreció su *endoxa*: *la coma sintónica es diluible en el resto de las notas; y de ser cierto, no debería ofender al oído*. Zarlino pasó a demostrarlo siendo él mismo la “opinión autorizada”, cuyo apoyo, descansaba en la “mayoría” de los músicos prácticos.

Este segundo monocordio “dialéctico”, permite concluir que no se agotó la capacidad instrumental y científica del instrumento con la desaparición de las tradiciones pitagóricas –como parecieran sugerir los musicólogos Meyer o Herlinger<sup>226</sup>–, sino que, justamente, la expansión del *tetractys* al *senario*, permitió mostrar las contradicciones e inconmensurabilidades que la propia “afinación justa” traía en el seno de su propuesta. Una vez expuestas dichas contradicciones y atenuadas conciliadoramente con la ayuda teórica y práctica del mesolabio, el monocordio permitió conocer los *umbrales psicoacústicos* que Zarlino otorgaba a la consonancia en el siglo XVI. Quedaba claro que el anacronismo “psicoacústica” servía aquí para caracterizar lo que para Zarlino y los teóricos del siglo XVI era la búsqueda de límites entre lo que “ofende al oído” y su

---

<sup>224</sup> Para una revisión general de estos aspectos véase SERJEANTSON, Richard: “Proof and Persuasion”, en *The Cambridge History of Science*. Vol. 3, *Early Modern Science*. Cambridge, Cambridge University Press, 2006, pp. 132-175.

<sup>225</sup> Véase Libro I, de *Tópicos*, en ARISTOTELES: *Tratados de Lógica (Organon I)*. Madrid, Gredos, 1988, p. 90.

<sup>226</sup> MEYER, Christian: *Mensura Monochordi: la division du monocorde* (1996). HERLINGER, Jan: “Medieval canonic” (2002).

correlato físico-matemático verificable en el monocordio. A esto se habrían abocado los esfuerzos de Zarlino, es decir, a discernir “cuánto” su oído podía aceptar como consonante, a pesar de quedar fuera de su propio *senario* omniexplicativo.

A la manera de la psicoacústica actual, Zarlino habría estudiado en el monocordio la conexión entre los estímulos sonoros y las respuestas del ser humano o un grupo social, relacionando estímulo y respuesta a partir de la experimentación, la medida y el establecimiento de un modelo explicativo-predictivo. Finalmente, la tarea de Zarlino habría sido el planteamiento básico de problemas que podrían colocarse en los siguientes términos: ¿Cuál era el umbral de un placer consonante y matematizado? O a la inversa: ¿cuál era el umbral de una matemática que podía ser consonante y placentera al oído? En otras palabras, ¿qué disciplina determinaba la verdad de la ciencia musical: la estética o la matemática? Como se ha visto, para los cantores y músicos prácticos, la respuesta a estas preguntas era hallada de manera “natural”, ajustando sus voces o temperando “intuitivamente” sus instrumentos. Pero, para Zarlino –*musico perfetto*, al fin–, la respuesta cobraba forma numérica, en la media proporcional de séptimos de coma, es decir, una aritmética de números irracionales que justificada por la geometría mecánica del mesolabio, era investigada, clasificada, descrita y puesta a prueba, sensiblemente, en el monocordio. Esa fracción expresaría entonces ese umbral de placer –y displacer– que para el tercio final del siglo XVI, y según Zarlino, sería estéticamente tolerable y matemáticamente racionalizable.

En resumen, la investigación permite concluir que, por una parte, el mesolabio de Zarlino pudo haber sido, de hecho, utilizado como herramienta práctica de cálculo y medida, es decir, como instrumento matemático; mientras que el monocordio, presentado como un *istrumento* en el marco de la *scienza della Musica*, permitió, a través del cálculo matemático y de la experiencia estética, conocer y proponer umbrales de discernimiento en altura sonora. Expuesto primero como una herramienta propia de una *lógica apodíctica*, fue inmediatamente puesto en *debate dialéctico*, vistas –y escuchadas– las inconsistencias allí halladas.

Dado el reconocimiento y celebridad del autor, aquellos argumentos dialécticos fueron fuertemente debatidos por otros teóricos como Vincenzo Galilei, pero gran parte de la comunidad musical de la época aceptó este tipo de afinación denominada *mesotónica*, por hallar “medios tonos” o “tonos intermedios” entre las tradicionales notas provenientes de las proporciones pitagóricas y justas. La insistencia de Zarlino en el reparto igualitario de las pequeñas diferencias producto de la coma sintónica –basadas en medias geométricas y números irracionales–, allanaba el camino hacia la instauración del llamado *temperamento igual*, tal como haría en el siglo siguiente, entre otros, Marin Mersenne.

## 2.6 Apostillas: el monocordio como prueba de Dios

A pesar de que Dios no había hecho falta ni para la construcción del *senario* ni para el primer monocordio “perfecto” de Zarlino, se ha mostrado cómo cuando la ciencia zarliniana se topó con la coma sintónica y, por ende, con la imperfección de su conocimiento, apareció una *aporía* que pudo interpretarse así: *el monocordio es perfecto, pero es imperfecto*. Es aquí donde entraba Dios. Al respecto, escribió Zarlino:

Et se ad alcuno paresse strano [acquistar le consonanze perfette, et le imperfette insieme], che nella Musica occorriano simil cose; si debbe ricordare, che non solo in questa scienza; ma in ogn' altra ancora, in ogni arte, et in ogni altra cosa creata si ritroua grande imperfettione. Et questo, credo io che habbia voluto Iddio Ottimo Massimo; accioche, vedendo la imperfettione di queste cose inferiori, voltiamo lo intelletto nostro alla contemplatione della sua Infinita Sapienza, nella quale si ritroua ogni cosa non solamente Perfetta, ma etiandio Ottima.<sup>227</sup>

---

<sup>227</sup> “Y si a alguno le parece extraño que en la Música, ocurran cosas similares [el querer alcanzar la consonancia perfecta junto a la imperfecta juntas], se debe recordar que no sólo en esta ciencia; sino en cada una de las otras, en todo arte y en toda cosa creada, se encuentra gran imperfección. Y esto, creo yo que lo había querido Dios Óptimo Máximo; puesto que viendo la imperfección de estas cosas inferiores, volvamos nuestro intelecto a la contemplación de su Infinita Sabiduría, en la cual se encuentra cada cosa, no solamente Perfecta, sino también Óptima.” ZARLINO [1558-1588] p. 155.

Si se analiza la cita anterior, se observa que: primero, la sensibilidad contemplaba lo imperfecto; segundo, se atisbaba que la causa oculta de dichas imperfecciones sería Dios –causa a la cual se accedía, por revelación, ante las innumerables imperfecciones en toda cosa inferior creada–; y finalmente, nuestro intelecto, necesariamente volvía su mirada a esa perfección divina que, –así lo creía Zarlino–, era superior, infinita y óptima. En ese “volver el intelecto a Dios”, Zarlino habría convertido a la imperfección de la coma sintónica expresada en el monocordio, en nexo entre el hombre y Dios. En este caso, podría decirse, y con ello se desbordaría todo debate historiográfico, que el monocordio habría servido como instrumento para probar, si no la existencia de Dios, por lo menos los “trucos” de su omnipotencia.

## TERCERA PARTE

### 3 EL MONOCORDIO DEL SIGLO XVII, SEGÚN MARIN MERSENNE

#### 3.1 Esbozo biográfico e historiográfico

Nacido en 1588, en la antigua provincia de Maine en Francia, Marin Mersenne desarrolló su obra filosófica en el marco de la institucionalidad religiosa de los Mínimos (orden creada por San Francisco de Paula en 1493), en la cual ingresó en 1611, que se caracterizaba por una humildad radical y una austeridad extrema. Después de pasar por algunos conventos de Francia, Mersenne se estableció definitivamente, en 1620, en el convento “L'Annonciade” cerca de la Place Royale, en París, hasta su muerte en 1648. Durante mucho tiempo, la obra de este fraile no mereció mayor atención y su obra era considerada una acumulación de infinitas anotaciones, discusiones y reflexiones varias. Tan sólo se salvaba –y día a día confirmaba su prestigio–, su excelente descripción enciclopédica de los instrumentos musicales de la Francia del siglo XVII, impresa en su tratado, titulada *Harmonie Universelle*.<sup>228</sup> En pocas palabras, Mersenne era, desde hace tiempo, sólo una voz en los diccionarios musicales biográficos de las primeras décadas

---

<sup>228</sup> Se sabe que este tratado tuvo tres tirajes diferentes como: *Harmonie Universelle, contenant La Théorie et la Pratique de la Musique* según los siguientes editores: París, Sebastien Cramoisy, 1636, [Vol. 2, Pierre Ballard, 1637]; París, Pierre Ballard, 1636; y París, Richard Charlemagne, 1636, [Vol. 2, Pierre Ballard, 1637]. La edición de Sebastien Cramoisy, es de la que, actualmente, se posee mayor cantidad de ejemplares (33). [Uno de esos ejemplares se conserva en la biblioteca del *Conservatoire des Arts et Métiers* de París y presenta abundantes notas marginales, diagramas y anotaciones por parte del propio Mersenne; fue reeditado como facsímil, (en 3 vols.) con una breve introducción de Francois Lesure, en París, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), 1965. Véase, en el Apartado titulado “Fuentes primarias investigadas” de la Bibliografía, la información referente, tanto a facsímiles y transcripciones (impresos y digitales) como a traducciones (íntegras o parciales) en otros idiomas]. A partir de esta cita, cuando se haga mención a esta obra, se colocará la cita bibliográfica como sigue: MERSENNE [1636] 1965 y el correspondiente número de volumen del facsímil de 1965, libro y número de página.

del siglo XIX, tanto alemanes como franceses. Hacia 1900, Paul Tannery inició la revisión y compilación de su legado epistolar, comenzando así, su obra, a adquirir mejor fortuna en la historia de la ciencia.<sup>229</sup> No obstante, habría que esperar aún más, para que se creara una primera imagen moderna de la vida de Mersenne a través de una biografía –escrita por Robert Lenoble, hacia 1943–, que lo mostraba como un personaje que fundía de manera “astuta” la filosofía natural y la doctrina cristiana en un sistema operativo de investigación.<sup>230</sup> Dentro de este sistema, Lenoble afirmaba que la música no habría sido vista por los historiadores de la ciencia con el sentido y profundidad que merecía, considerándola como un capítulo aparte –importante, sin duda–, pero tan sólo, para historiadores de la música o musicólogos. Según el biógrafo, Mersenne no se había dedicado a la música por un *goût d’artiste* sino por amor a la ciencia, en otras palabras: “la musique l’intéresse d’abord comme savant.”<sup>231</sup> Ahora, lo importante a destacar aquí, es que ese interés provenía de considerar la ciencia musical como una disciplina capaz de resumir al resto de las ciencias; y por ello, al no poder estudiarlas todas, Mersenne seleccionaba una que pudiera invitar a todas como *compagnes inseparables*.<sup>232</sup> Eso explica el porqué sus escritos giran cuantitativa y mayoritariamente en torno a la música, la cual sería considerada tribuna privilegiada desde donde –según Mersenne– atisbar más lejos y penetrar más profundo, amparado en el tradicional concepto de *Harmonie*.

Peter Dear, en su investigación de 1988, presentaba un Mersenne menos apologético y si bien reconocía lo fragmentario de su obra, se afanaba en hallar lo subyacente. Dear afirmaba que, a pesar de que Mersenne había dirigido su atención a diversas áreas como

---

<sup>229</sup> MERSENNE, Marin: *Correspondance du P. Marin Mersenne, religieux minime*. Paul Tannery (ed.). París, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), G. Beauchesne, 1932.

<sup>230</sup> LENOBLE, Robert: *Mersenne ou la naissance du mécanisme*, París, J. Vrin, 1943.

<sup>231</sup> “la música le interesa, en principio, como erudito.” *Ibid.*, pp. 524-525.

<sup>232</sup> Esta idea seminal quedó expuesta en MERSENNE, Marin: *Les Preludes de l’Harmonie Universelle*. París, Henry Guenon, 1634, p. 137. Puede leerse o descargarse en formato pdf, desde el enlace de la Biblioteca Digital “Gallica” de la Bibliothèque Nationale de France: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8620758q>.

la música, la mecánica y la óptica, el significado religioso siempre estaba allí, “never submerged, always remaining a central motivation.”<sup>233</sup> Mersenne habría desarrollado entonces, durante casi toda su vida, una “agenda” de carácter e inspiración religiosa más que un cuerpo de conocimiento; estando su esfuerzo e inteligencia más bien al servicio de consolidar, aunque fuera parcialmente, “an emerging community of natural philosophers following new ways of constructing the world.”<sup>234</sup>

Pero esta idea de “proto-comunidad científica”, pertenecía –y Dear lo reconoce–, a Allistair Crombie, historiador de la ciencia que se había dedicado a dejar claro que, de hecho, Mersenne contribuyó de manera genuina al desarrollo del conocimiento científico.<sup>235</sup> Para Crombie, Mersenne habría desarrollado una filosofía natural diferente (tanto en teoría como en práctica) a la de sus contemporáneos más influyentes: Galileo y Descartes. Según Crombie, Mersenne

[...] admired in Galileo his gift for theoretical simplification and his practical skill, and in Descartes his mathematical intuition into physical problems, but he rejected the possibility in natural science of the apodeictic demonstration.<sup>236</sup>

Hay que aclarar, que si bien Mersenne participara de dichas cualidades, –habilidades teórico-prácticas e intuición físico-matemática–, la diferencia filosófica radicaba en el reconocimiento de las limitaciones del conocimiento humano frente a la inescrutable omnipotencia de un Dios creador de los principios verdaderos de la naturaleza. Esta cota o límite teológico, no necesariamente debía detener la investigación, sino que más bien

---

<sup>233</sup> “nunca sumergida, permaneciendo siempre como una motivación central.” DEAR, Peter: *Mersenne and the learning of schools*. Ithaca, Cornell University Press, 1988, p. 4.

<sup>234</sup> “una comunidad emergente de filósofos naturales persiguiendo nuevas maneras de construir el mundo.” *Ibid.*, p. 7.

<sup>235</sup> Véase CROMBIE, Allistair: “Science of Music”, en *Styles of scientific thinking in the European tradition*. Vol. II. Londres, Duckworth, 1994, p. 783-894.

<sup>236</sup> “[...] admiraba en Galileo sus dones para la simplificación teórica y sus habilidades prácticas, y en Descartes, su intuición matemática para los problemas físicos, pero rechazaba la posibilidad de una ciencia natural de las demostraciones apodícticas.” *Ibid.*, p. 812

la estimulaba a realizar observaciones y refinadas experimentaciones que mitigarían este escepticismo y llevarían a la razón humana hacia un conocimiento verdadero basado en la información o “apariencias” que recibía de sus sentidos.<sup>237</sup>

En resumen, para algunos biógrafos –v.g. Lenoble–, Mersenne es un campeón de la curiosidad, lleno de energía y entusiasmo y presto a adjudicarse sus créditos en sus descubrimientos. Para otros –v.g. Crombie–, Mersenne es humilde, paciente, honesto, virtuoso y nunca insistente en la prioridad de su obra. Finalmente, para otros –v.g. Dear–, Mersenne encarna en su celda parisina al monje cuya fantasía personal se torna en empresa de cooperación social, al ser él, centro de acopio de una amplia correspondencia de todo aquél que congeniara filosóficamente.

A pesar de que la figura de Mersenne haya sido restaurada, su obra merece –tal como afirman Malet y Cozzoli en su reciente ensayo de 2010– una atención aún más especial.<sup>238</sup> Esta atención se centra en las conexiones que se establecen entre las contribuciones de Mersenne a las *matemáticas mixtas* –mecánica, óptica, cosmografía y música– y sus contextos filosóficos. Enmarcado en estas mixturas es donde se encuentra el monocordio de Mersenne, es decir, como un testigo privilegiado del concepto que para Lenoble –y para Mersenne mismo– designaría una suerte de correspondencia providencial de las proporciones entre todas las partes de la naturaleza; es decir, la llamada *Harmonie Universelle*.<sup>239</sup> Así pues, estuviera la figura de Mersenne inmersa en

---

<sup>237</sup> Este modelo de “escepticismo mitigado” –como es denominado en el contexto de la filosofía del siglo XVII– fue expuesto en su libro: MERSENNE, Marin: *La vérité des sciences, contre les septiques [sic] ou pyrrhoniens*. París, Toussaint du Bray, 1625. Puede leerse o descargarse en formato pdf, desde el enlace de la Biblioteca Digital “Gallica” de la Bibliothèque Nationale de France: <http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb37242643x>.

<sup>238</sup> Véase MALET, Antoni y COZZOLI, Daniele: “Mersenne and the Mixed Mathematics”, en *Perspective of Science* 18/1 (2010), pp.1-8. Algunos aspectos de la Tercera Parte de la presente investigación han sido publicados en dicha edición, bajo el título “The Monochord according to Marin Mersenne: Bits, Atoms and some Surprises”, pp. 77-97.

<sup>239</sup> Véase LENOBLE, Robert: *Mersenne ou la naissance du mécanisme*. París, J. Vrin, 1943, p. 531.

una actividad calma o agitada, la música –y junto a ella el monocordio– fue siempre el prototipo de su ciencia, porque era, a la vez una actividad, física y psicológica; era natural y moral; y era, finalmente, disfrute sensual y gozo piadoso.

\* \* \*

Hacia 1978, fecha de la publicación del ahora célebre libro *Origins of Acoustics* de Frederick Vinton Hunt, se reconoció, finalmente, como una necesidad lo que la historiografía de la ciencia había escamoteado a Marin Mersenne: su papel fundamental y original en el desarrollo de la física experimental.<sup>240</sup> Según Vinton, Mersenne había quedado ensombrecido por la obra de Galileo, a pesar de haber escrito

more extensively on sound than Galileo did and who made many new and original contributions to both experimental and theoretical acoustics [...]<sup>241</sup>,

debiendo entonces compartir, ambos, el crédito del nacimiento de una ciencia del sonido.

Lo anterior, que sin duda era cierto, podría entonces rastrearse hasta 1627, cuando Mersenne publicara su primera obra sobre el tema titulada, *Traité de l'harmonie*

---

<sup>240</sup> VINTON HUNT, Frederick: *Origins of Acoustics*. New York, Yale University, 1978. [Fue reeditado bajo los auspicios del American Institute of Physics en, New York, Acoustical Society of America, 1992]. A pesar de haber quedado incompleto –debido a la repentina muerte de su autor–, actualmente se considera a este libro como el primer tratamiento disciplinado y erudito –no anecdótico– de la historia de la acústica. El libro cubre los aspectos de la acústica, desde la antigüedad hasta la época de Newton. Para revisar un completo panorama –continuación de la obra de Vinton Hunt–, véase BEYER, Robert: *Sounds of our times, two hundred years of acoustics*. New York, Springer and AIP Press, 1999.

<sup>241</sup> “más extensamente sobre el sonido que Galileo, y quien hiciera muchas nuevas y originales contribuciones, tanto a la acústica experimental como la teórica [...]” *Ibid.*, p.82.

*universelle*.<sup>242</sup> Este breve tratado no debe ser confundido con su obra magna de 1636 titulada, simplemente, *Harmonie Universelle*, pues aquél primer tratado reunía diversos comentarios sobre los textos clásicos de la armonía y los historiadores coinciden en que no posee mayor originalidad. Posteriormente, en 1634, Mersenne publicó dos pequeños tratados: *Préludes de l'harmonie*<sup>243</sup> y *Questions harmoniques*<sup>244</sup>, y en 1635-1636 una de sus obras mayores, el *Harmonicorum Libri*<sup>245</sup>, el cual constaba de ocho libros y se acompañaba con los cuatro libros *Harmonicorum instrumentorum Libri IV*, de igual fecha.<sup>246</sup> Estas dos últimas obras serían reeditadas en 1648 –año de la muerte de

---

<sup>242</sup> MERSENNE, Marin. *Traité de l'harmonie universelle*. París, Fayard, 1627. Puede leerse o descargarse desde el enlace de la Bayerische Staatsbibliothek Digital <http://reader.digitale-sammlungen.de/resolve/display/bsb10599500.html>. A pesar de que Mersenne ya había escrito sobre música en su mencionada obra de 1625, *La vérité des sciences*, lo allí expuesto tampoco poseía marcada originalidad, consistiendo en breves reflexiones sobre las proporciones sonoras basadas en las argumentaciones de Zarlino, junto a consideraciones sobre la belleza del canto.

<sup>243</sup> MERSENNE, Marin: *Les Preludes de l'Harmonie Universelle, ou questions curieuses Utiles aux Predicateurs, aux Theologiens, aux Astrologues, aux Medecins et aux Philosophes*. París, Henry Guenon, 1634. [Puede leerse o descargarse en formato pdf, desde el enlace de la Biblioteca Digital “Gallica” de la Bibliothèque Nationale de France: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8620758q>].

<sup>244</sup> MERSENNE, Marin: *Questions harmoniques: Dans lesquelles sont contenues plusieurs choses pour la Physique, la Morale, & pour les autres sciences*. París, Jaques Villery, 1634. [Puede leerse o descargarse en el enlace de Google Books <http://books.google.be/books?id=sQpDAAAACAAJ&dq>. Este grupo de obras previas al *Harmonie Universelle* pueden consultarse, transcritas, en el sitio web [http://www.chmtl.indiana.edu/tfm/17th/17th\\_Index.html](http://www.chmtl.indiana.edu/tfm/17th/17th_Index.html) perteneciente al índice de “Traité français sur la musique”. Bloomington, Universidad de Indiana].

<sup>245</sup> MERSENNE, Marin: *Harmonicorum libri in quibus agitur de sonorum natura, causis & effectibus: de consonantiis, dissonantiis, rationibus, generibus, modis, cantibus, compositione, orbisque totius harmonicis instrumentis*. París, Guillaume Baudry, 1635. [Puede leerse o descargarse en el enlace de Google Books <http://books.google.be/books?vid=GENT900000134869>].

<sup>246</sup> MERSENNE, Marin: *Harmonicorum Libri IV*. París, Guillaume Baudry, 1636. [Puede leerse o descargarse en formato pdf, desde el enlace de la Biblioteca Digital “Gallica” de la Bibliothèque Nationale de France <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8626832p>].

Mersenne– bajo el título *Harmonicorum libri XII*.<sup>247</sup> Pero durante aquellos años de 1635 a 1636, Mersenne pudo compilar y publicar su obra de mayor resonancia y de un marcado carácter totalizador y enciclopédico: la ya mencionada *Harmonie Universelle*.

Aunque muchas de sus partes son traducciones al francés de la obra latina *Harmonicorum libri*, es evidente que la supera. Como sugería Vinton Hunt,

[...] the French version is more discursive by far than the Latin, by nearly four-to-one on the whole, and it contains a good bit of material that does not appear anywhere else in Mersenne's writings.<sup>248</sup>

A continuación el frontispicio de la *Harmonie Universelle* según su primera edición de 1636.

---

<sup>247</sup> MERSENNE, Marin: *Harmonicorum libri XII: in quibus agitur de sonorum natura, causis et effectibus, de consonantiis, dissonantiis, rationibus, generibus, modis, cantibus, compositione, orbisque totius harmonicis instrumentis*. París, Guillaume Baudry, 1648. Puede leerse o descargarse en el enlace de Google Books <http://books.google.be/books?id=V8pCAAAAcAAJ&hl>.

<sup>248</sup> “[...] la versión francesa es, con creces, más amplia que la latina, casi cuatro a uno en su totalidad, y contiene un buen trozo de material que no aparece en ningún otro de los escritos de Mersenne.” VINTON HUNT, Frederyck: *Origins of Acoustics*. NewYork, Acoustical Society of America, (1978) 1992, p.84.



Fig. 44. Frontispicio de la *Harmonie Universelle* según el ejemplar D.140 que reposa en el *Museo internazionale e biblioteca della musica di Bologna*.

Dentro del gigantesco fresco musical en que consiste la *Harmonie Universelle*, hay que dar crédito especial al *Livre des Instruments*. Como ya se dijo al inicio de este apartado, su prestigio se mantuvo, pues estaban recogidos allí la mayor cantidad de dispositivos

musicales, descritos con detalle y acompañados de ilustraciones harto explicativas. Entre ellos, el monocordio ocupa un lugar singular respecto a la ciencia musical y todo lo que de ello se deriva, tal como se verá enseguida.

### **3.2 Introducción al monocordio: entre la abstracción teórica y la práctica experimental**

El *Livre des Instruments* del *Traité de l'Harmonie Universelle* de Mersenne, comienza con las reflexiones en torno al monocordio, visto éste como un punto de partida: un aparato básico mínimo; un patrón, sin nada complementario ni suplementario y, en cierto sentido, un “meta-instrumento”, pues era un aparato no para *hacer* música sino para *conocer* de la música. Esto quedaba evidenciado en su Proposición V cuando, en su propio título, enunciara la suprema intención de dicho aparato:

Démonstrer toutes les divisions du Monocorde, et conséquemment toute la science de la Musique.<sup>249</sup>

Es una hipótesis ambiciosa que obliga a preguntarse: ¿qué es “toda” la ciencia musical? ¿se deriva “toda” la ciencia de la música del monocordio?, ¿de qué “música” habla Mersenne: especulativa o práctica, o ambas?, ¿si fuera la especulativa-teórica, qué habría entonces en el monocordio de los aspectos prácticos, materiales y constructivos de los instrumentos a los cuales Mersenne dedicaría sus casi quinientas siguientes páginas?, ¿si fuera la práctico-instrumental, y dada la insistencia objetiva en mostrarlo como instrumento artificial, qué papel desempeñaban allí la aritmética y la geometría abstractas? Es decir, a pesar de que el objetivo era “omniabarcante”, la estrategia, en general, para demostrar su hipótesis, era simple: *a)* presentar primero al monocordio como una abstracción geométrica de índole teórica y especulativa desde donde poder enunciar las divisiones, y después, *b)* presentar –a través de una figura– un objeto real y material que serviría de resguardo a dicho conocimiento, tanto para músicos teóricos,

---

<sup>249</sup> “Proposición V. Demostrar todas las divisiones del monocordio y en consecuencia toda la ciencia de la música.” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p.16.

como prácticos, constructores de instrumentos y, en última instancia, para la memoria humana.

En esta estrategia, si es analizada, paso a paso, puede calibrarse cómo los aspectos teóricos y prácticos de su ciencia musical más bien se entrelazaban, siendo, por momentos, unos consecuencia de otros y viceversa. Así, el monocordio de Mersenne se mostraba allí como ejemplo del conocimiento musical del temprano siglo XVII, y en particular, de cómo se relacionaban en su obra la pasión por la práctica experimental y la confianza en la abstracción teórica. Por momentos, la abstracción teórica era privilegiada en su ciencia musical; sin embargo, inmediatamente, el propio Mersenne clamaba por la práctica experimental. En otros momentos, era la práctica la que demandaba justificaciones teóricas, para después, finalmente, intentar buscar una actitud conciliadora entre ambas.

Este intercambio teórico-práctico puede observarse cuando Mersenne intentaba fijar el estatus que poseían los instrumentos musicales en su filosofía:

- a) Mersenne declaraba que *en caso de no haber instrumentos musicales, no se podría explicar el sonido*. Había aquí una clara toma de posición por la práctica instrumental como fundamento de la música. La justificación de este punto de partida discurría así: dado que durante siglos la música como ciencia podía ser una especulación geométrica ajena a lo sonoro, y dado que también sucedía lo contrario, es decir, que la práctica musical podía estar en manos de cantores iletrados, era necesario un nexo entre el sonido y su concreción material. Ese nexo eran los instrumentos musicales, tan diversos como los propios sonidos de la naturaleza, y por ello, “Il est imposible d’expliquer la diversité de tout les sons, si quant et quant l’on ne parle de la diversité des instruments, qui les produisent [...]”<sup>250</sup> Como se ve, abstracción y práctica, naturaleza y artefacto,

---

<sup>250</sup> “Es imposible explicar la diversidad de todos los sonidos, si no se habla de la diversidad de los instrumentos, que los producen.” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p.16. Mersenne acotaba que, si bien el viento silba y las rocas hacen estruendos y que, en general, todo

quedaban homologados en un solo plano a través de un mecanismo funcional, que convertía al instrumento musical artificial en modelo de lo natural.

- b) Mersenne procedía después a elogiar *la simpleza de los instrumentos de cuerda que se pueden representar como líneas –abstracciones geométricas–*, sean violas o clavicordios, sean aquellos que tienen mástil como aquellos que no lo tienen, tengan trastes, o no. Para Mersenne, eran los instrumentos ideales “[...] et servent pour expliquer, et pour demonstrier tout ce qui appartient à la Musique.”<sup>251</sup> Gran parte de lo ideal de estos instrumentos radicaba, justamente, en su capacidad de abstraerse como una línea geométrica. No obstante eso, Mersenne explicaba, detalladamente, todos los aspectos materiales y desigualdades de las cuerdas: sean de metal (oro, cobre, bronce) o de intestinos de oveja, capaces de producir cuerdas de más de 100 *poids* –unos 32,8 m<sup>252</sup>–, y las cuales él asegura haber visto; sean tripas de ovejas de Roma o Francia; sea porque las ovejas comen un tipo de hierba, u otro.<sup>253</sup>
- c) En la Proposición IV, Mersenne habría planteado, en su título, la pregunta clave: *¿cuál es el instrumento que se utiliza para medir los intervalos y las diferentes armonías de los sonidos?* Mersenne concluía que el monocordio era el instrumento ideal para regular los sonidos en la armonía, reconociendo lo ya establecido por Ptolomeo y afirmando haber repetido experimentaciones similares. Al igual que éste, Mersenne había renunciado a utilizar flautas o tubos sonoros y a calibrar las alturas suspendiendo pesos de las cuerdas, dado que

---

aquello que hace vibrar al aire por medio de cualquier método podría ser un instrumento, esos son sonidos que no dependen de nuestra voluntad.

<sup>251</sup> “[...] y sirven para explicar y demostrar todo lo que pertenece a la Música” MERSENNE [1636] 1965. Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 2.

<sup>252</sup> La equivalencia es 32.8 cm por cada pie y 2.735 cm por cada pulgada. Véase “Section IV” en, LENOBLE, Robert: *Mersenne ou la naissance du mécanisme*. París, J. Vrin, 1943, p. LXIII.

<sup>253</sup> MERSENNE [1636] 1965. Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 3.

[...] on ne sçauroit treuer la raison des poids qui sont necessaires pour mettre les chordes à toutes sortes de sons: & puis les mesmes chordes haussent souuent ou baissent leurs sons, bien qu'elles soient tédües avec mesmes poids; & quád elles seroient parfaitement égales, elles ne garderoient pas la raison des sons...»<sup>254</sup>

Mersenne utilizó en esta proposición una versión de la ya simplificada ilustración de Ptolomeo<sup>255</sup> y animaba a construirlo diciendo que no era inútil el saber su fabricación.

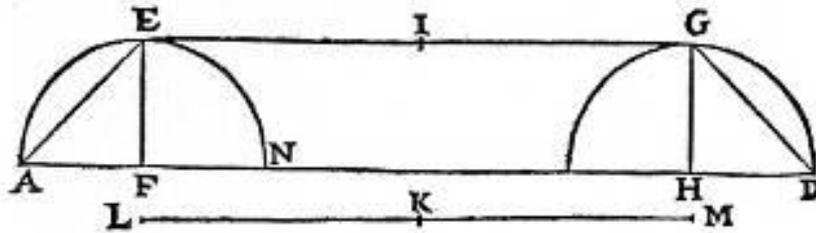
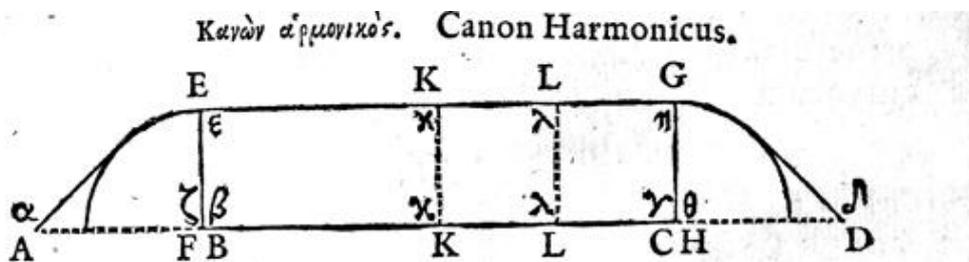


Fig. 45. Esquema del monocordio según Mersenne en su Proposición IV.  
MERSENNE [1636] 1965, vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p.15.

No obstante esta invitación a construir el monocordio ptolemaico, su ilustración parecía más una reverencia histórica al compararla con la portentosa imagen que mostraría en

<sup>254</sup> “[...] no se sabría hallar la razón de los pesos que son necesarios para someter las cuerdas a todo tipo de sonidos, y puesto que las mismas cuerdas elevan y bajan sus sonidos, sea que hallan sido tensadas con los mismos pesos; y siendo ellas perfectamente iguales, no guardarán la proporción de los sonidos [...]”  
MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 15.

<sup>255</sup> La imagen expuesta por Ptolomeo, tal como se recogía en la edición del matemático inglés John Wallis de 1682, era la siguiente:



Véase en PTOLOMEO, Claudio: *Klaudiu Ptolemaiu Harmonikon biblia 3*. John Wallis (ed.). Oxford, Sheldon, 1682, p. 35. Puede leerse, en formato jpg, desde el enlace del Max Planck Institute <http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/MPIWG:1VXPHZ2F>.

su Proposición XII (*Cfr, infra*, con la **Fig. 51**, Pág. 225). Puede afirmarse que esta imagen de herencia ptolemaica sólo servía de “construcción mental”, pues Mersenne, a pesar de saber y enaltecer la materialidad de los instrumentos, finalmente se alineaba con la tradición del cálculo de las proporciones sobre la abstracta línea geométrica, tal como puede deducirse de sus variados métodos geométricos para dividir la cuerda.

Definidos los instrumentos musicales como mecanismo funcional idóneo para el estudio de la ciencia musical –entre ellos, los de cuerda como modelos geométricos y el monocordio como el ideal–, Mersenne procedió a demostrar diversos métodos para la subdivisión de la cuerda. Estos métodos han sido organizados en dos grupos: *a)* aquellos de carácter eminentemente teórico-abstracto y cuyo énfasis está en la simplificación de gestos junto a una mayor capacidad explicativa; y *b)* aquellos de índole experimental y práctico. Como ya se ha dicho, las investigaciones teóricas y experimentales se apoyaban entre sí, y entre los diversos métodos, puede interpretarse que fluía un deseo por lograr que cada uno mostrara, progresivamente, una mayor capacidad explicativa junto a una minimización de gestos y justificaciones retóricas y lógicas.

### 3.3 Monocordios de abstracción teórica: métodos de subdivisión de la cuerda

#### a) El monocordio “absoluto”

El primer método de subdivisión de la cuerda se encontraba expuesto en la ya mencionada Proposición V (véase Nota 249, Pág. 191) en forma de un solo párrafo continuo y acompañado del siguiente esquema:

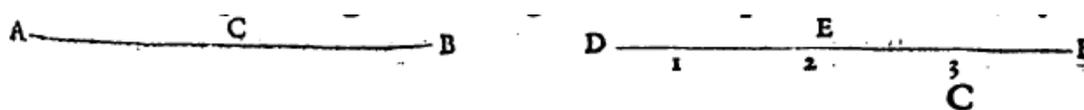


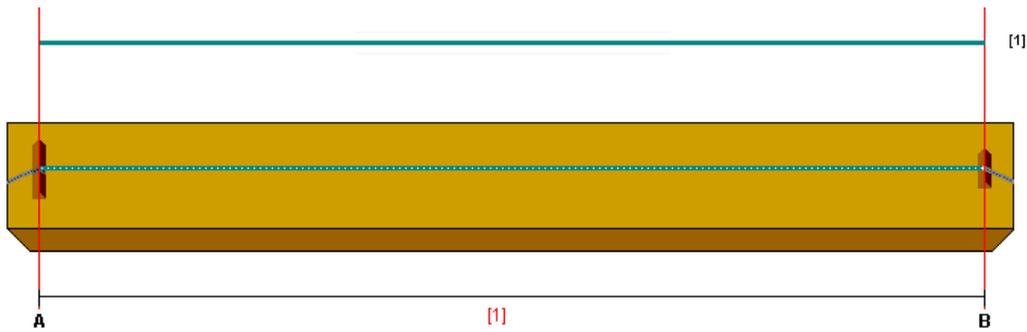
Fig. 46. Esquema del monocordio de la Proposición V.

MERSENNE [1636] 1965, vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p.16.

Como se observa, Mersenne presenta dos cuerdas –abstraídas geométricamente como segmentos–, que le servirían para hacer comparaciones en el transcurso de su razonamiento; sin embargo, este largo proceso se ha estructurado aquí en *15 pasos*, presentados con una única figura y su traducción al castellano, para su fácil lectura, clara comprensión y subsecuente comentario.<sup>256</sup>

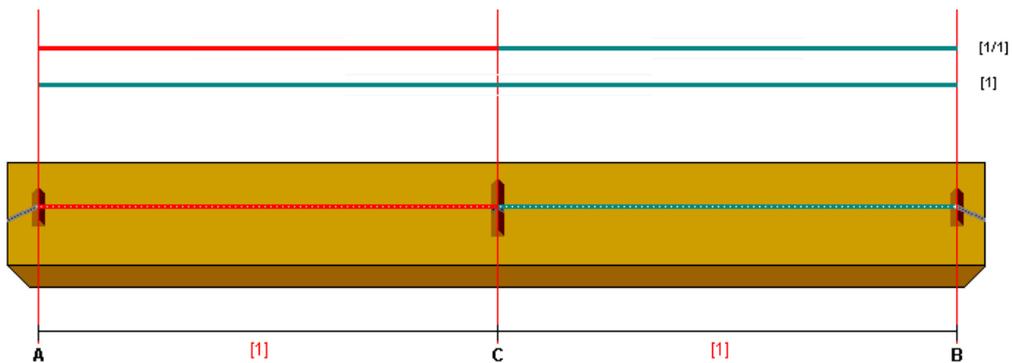
---

<sup>256</sup> El texto completo está expuesto en la Proposición V y se coloca aquí, en esta Nota, en el idioma original, extrayendo de él la información fundamental y colocando siempre, de manera introductoria, el Paso al cual se hace referencia en el presente análisis: “[Paso 0] [Paso 1] Quant à la diuision de la chorde par le moyen d'vn cheualet de bois, ou d'autre matiere pour trouuer les interualles, et les differences des sons, elle se fait premierement de la chorde diuisée en deux parties, comme l'on void à la chorde A B, qui se diuise au point C, car il y a mesme distance d'A à C que de C à B, c'est pourquoy ces deux chordes font l'vnisson, c'est à dire qu'elles ont vn mesme son quant au graue et à l'aigu, dont nous parlons seulement icy. [Paso 2] Et si l'on veut trouuer l'Octaue, il faut diuiser la chorde DF [AB] en trois parties esgales, et mettre le cheualet au point E [C], afin que la chorde EF [CB] fasse l'Octaue en bas contre la chorde DE [AB]. [...] [Paso 3] Les deux termes, qui font la raison de la Quinte, à sçauoir 2 et 3 estant adioustez ensemble font cinq, c'est pourquoy il faut diuiser la chorde en cinq parties esgales, et mettre le cheualet sur le point qui termine la seconde partie, afin qu'il demeure trois parties d'vn costé, et deux de l'autre: ou si l'on veut vser de deux chordes, il faut que l'une ait trois parties de longueur, et l'autre deux. [Paso 4] Semblablement si l'on diuise la chorde en sept parties, et que le cheualet arreste la chorde à la fin de la 3. partie, l'on oyra la Quarte: [Paso 5] et la chorde diuisée en 9 parties, et estant arrestée à la quatriesme fera la Tierce maieure. [Paso 6] Mais il la faut diuiser en 11 parties, pour faire la Tierce mineure avec le cheualet, qui l'arrestera à la fin de la cinquiesme partie: [Paso 8] et en huit parties pour faire la Sexte maieure, [Paso 9] et en treze pour faire la mineure. [...] [Paso 10] Et si on la diuise en 4 parties esgales, l'une des parties fait la Douziesme contre les trois autres. [...] [Paso 11] car la chorde estant diuisée en 17 parties, si le cheualet est à la fin de la 8. partie, il fera le ton maieur; [Paso 12] et si la chorde est diuisée en 19 parties, elle fera le ton mineur avec le cheualet qui sera à la fin de la 9. partie. [Paso 13] Finalment si l'on diuise la chorde en 31 parties, elle fera le demiton maieur en mettant le cheualet à la fin de la 15. partie: [Paso 14] si l'on met le cheualet à la fin de la 24. partie de la chorde diuisée en 49 parties, elle fera le demiton mineur; [Paso 15] et si on veut trouuer le comma, il la faut diuiser en 161 partie, et mettre le cheualet à la fin de la 80 partie.” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p.16.



**Paso 0.** La cuerda como totalidad.<sup>257</sup>

Según se muestra en la figura anterior, Mersenne concebía la cuerda entera como la unidad, y al hacer subdivisiones en ella, se producían una *parte* y un *resto*. En las figuras siguientes se mostrará en verde, la *parte* y en rojo, el *resto*. Así entonces, la primera división operaba para hallar el unísono, de la siguiente manera:



**Paso 1.** En cuanto a la división de las cuerdas por medio de un caballete de madera, o de otro material, para hallar los intervalos y los diferentes sonidos, hay que dividir primeramente la cuerda en dos partes, como se ve en la cuerda AB, que está dividida en el punto C; por lo tanto hay la misma distancia de A a C que de C a B; por esta razón estas dos cuerdas están en unísono, es decir, tienen un mismo sonido tanto grave como agudo, del que sólo hablaremos aquí.

**Comentario al Paso 1.** Mersenne ha seguido la tradición de iniciar dividiendo la cuerda a la mitad, pero su metodología consistiría en comparar la parte con el resto y no la

---

<sup>257</sup> Al igual que se ha expuesto en los casos de Ramos de Pareja y Zarlino, este proceso de subdivisión se mostrará en un monocordio esquemático y deberá cotejarse acústicamente en el CD anexo o en el sitio web ya mencionado <http://www.calderon-online.com/tesis-doctoral/>.

parte con la totalidad. Esta proporción 1:1 producía la concepción del unísono, consonancia venerada por Mersenne y cuya trascendencia era fundamentada con razonamientos de la siguiente índole:

- *Musicológicos*: el unísono es la consonancia más dulce por ausencia de batidos; más dulce aún que la octava.
- *Inferencias psicológicas*: el unísono es más fácil de comprender por la *imaginación*, la cual es para Mersenne el *asiento del placer*.
- *Analogías*
  - o Algebraicas: el unísono es como la ecuación que expresa la igualdad.
  - o Mecánicas: el unísono es análogo al equilibrio.
  - o Médicas: el equilibrio de los humores es una suerte de unísono.

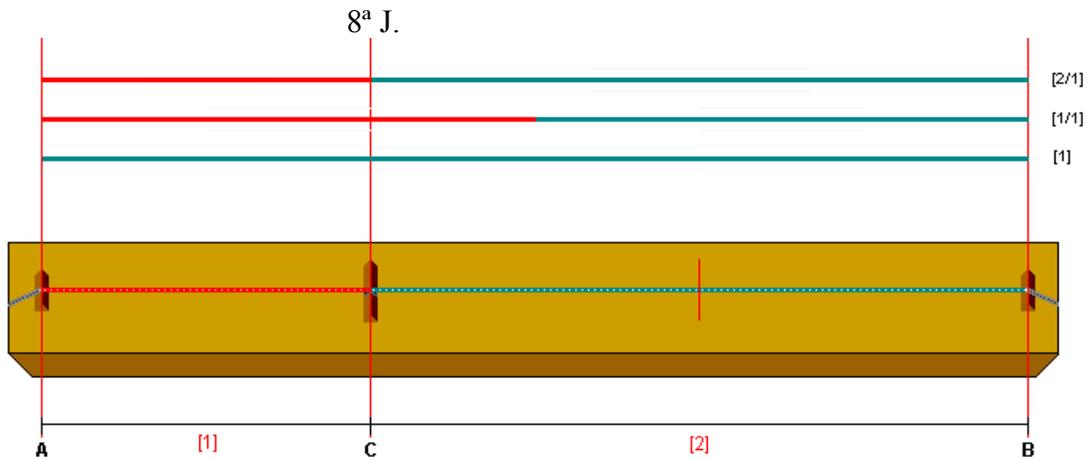
y finalmente, *argumentaciones teológicas*, como la siguiente:

Et s'il est permis de monter plus haut nous trouuerons vn eternal Vnisson dans la diuinité, puis que les trois personnes ne sont qu'une mesme nature, et n'ont qu'une mesme volonté, mesme puissance, et mesme bonté, quoy qu'elles soient reellement distinctes. Ce qui sera peut-estre cause que les Bien-heureux chanteront perpetuellement à l'Vnisson, afin que leur chant soit conforme à l'égalité des trois personnes, et à l'estat d'égalité, qui prend son origine de la beatitude eternelle, qui n'est susceptible d'aucune alteration [...]<sup>258</sup>

---

<sup>258</sup> “Y si se permite elevarse más alto encontraremos un eterno Unísono en la divinidad, puesto que las tres personas no son más que una misma naturaleza, y no tienen sino una misma voluntad, una misma potencia y una misma bondad, ya que ellas son realmente distintas. Ésta, tal vez, sea la causa que los bienaventurados canten perpetuamente al Unísono, a fin de que su canto sea conforme a la igualdad de las tres personas y al estado de igualdad que se origina de la beatitud eterna, que no es susceptible de alteración alguna [...]” MERSENNE [1636] 1965, Vol. II, *Livre Premier des Consonances*, p.15. Este último tipo de afirmaciones serán, en parte, las que justifiquen el monocordio, si se quiere, “bienaventurado”, de tres cuerdas al unísono, con el cual Mersenne pondría punto final a su investigación en torno a las consonancias.

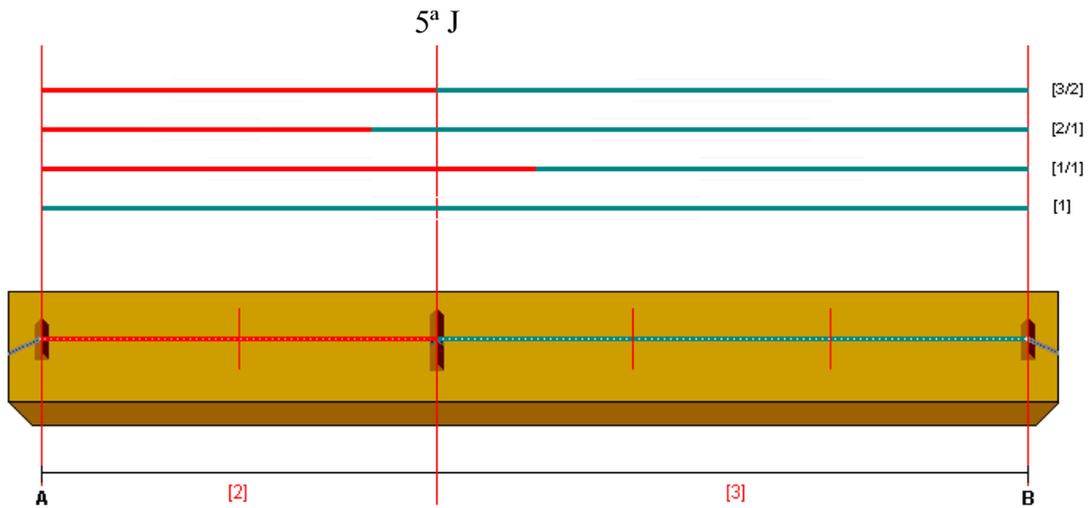
La subdivisión expuesta en la Proposición V continuaba de la siguiente manera:



**Paso 2.** Y si se quiere hallar la octava, la cuerda AB debe dividirse en tres partes iguales y colocar el caballete en el punto C, de manera que la cuerda CB haga la Octava por debajo contra la cuerda AC.

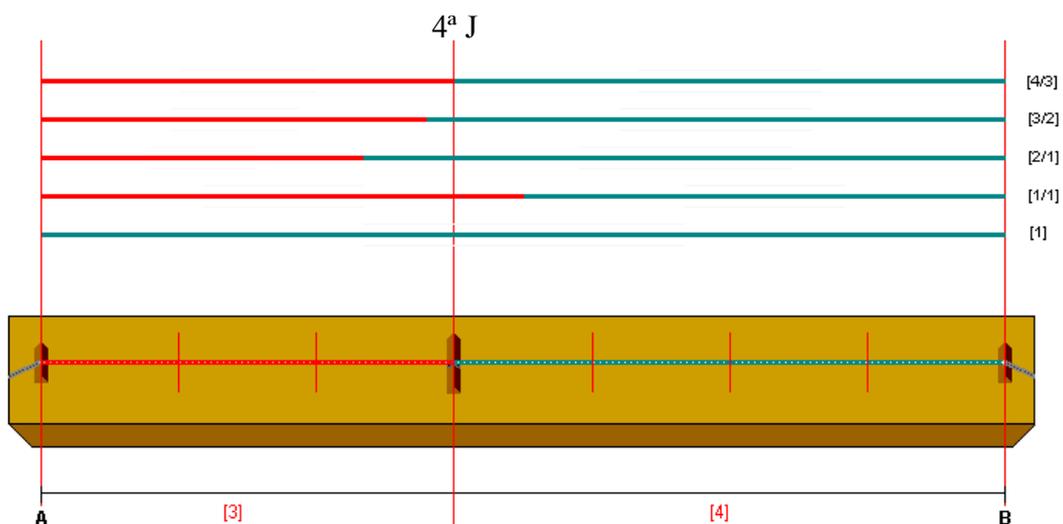
*Comentario al Paso 2.* En efecto, se ha obtenido una proporción 2:1 al comparar la parte de 2 unidades con el resto de 1 (octava ascendente); pero debe quedar claro que el sonido que produciría esta parte, comparada con la totalidad de la cuerda (la unidad), se encontraría en una proporción de 3:2, es decir una quinta. Hay que hacer notar que la letra C colocada por Mersenne, es entonces la marca de una proporción matemática, no de un punto a ejecutar musicalmente en el monocordio. Esto es relevante, pues, una vez se hayan colocado el resto de las marcas, se verá que si se colocasen en orden creciente, no reflejarían ninguna escala musical posible. Esta metodología permite vislumbrar, entonces, que el valor de la proporción matemática superaba al *valor práctico-musical*.

El resto de las consonancias se hallarían de la misma manera, es decir, comparando una parte con un resto; y así, se tenía:

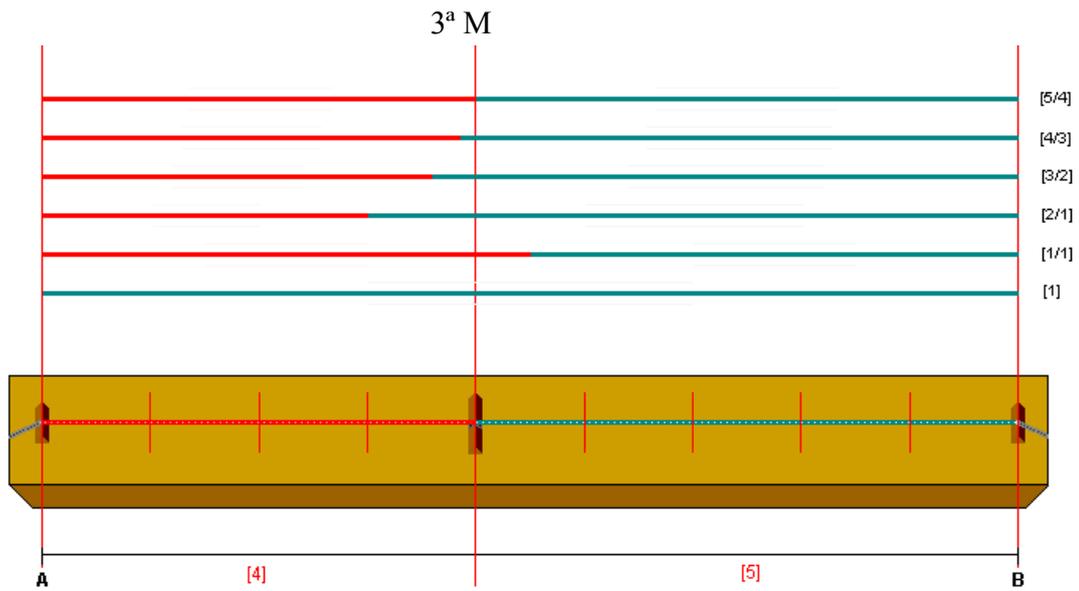


**Paso 3.** Los dos términos que forman la proporción de la Quinta, es decir 2 y 3, colocados juntos, hacen cinco; es por eso que la cuerda se debe dividir en cinco partes iguales y colocar el caballete en el punto que termina la segunda parte, a fin de que resten tres partes de un lado y dos de la otra.

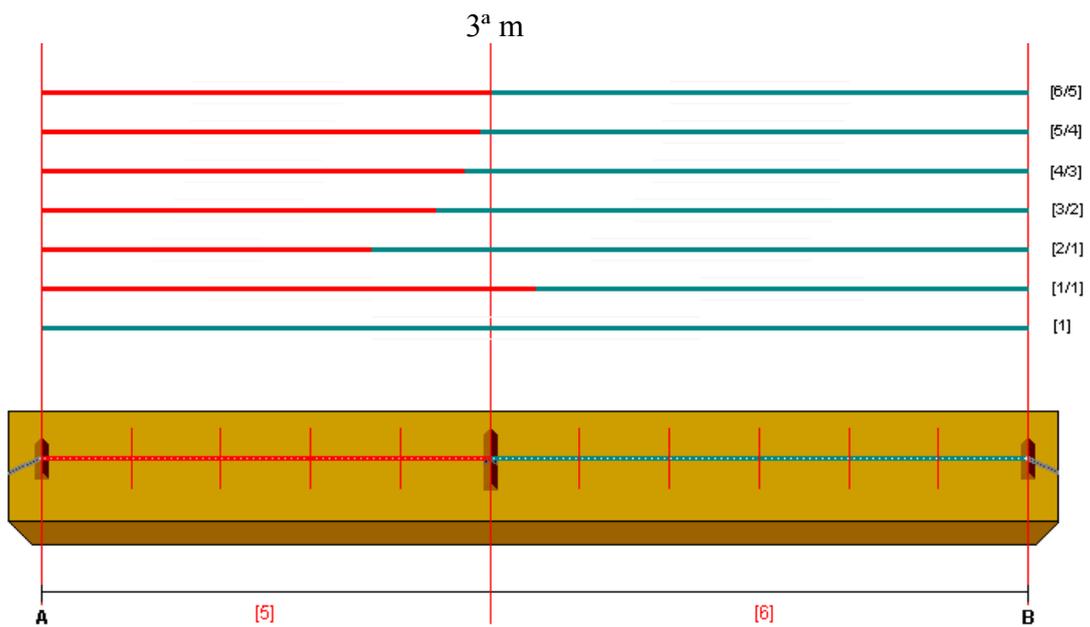
*Comentario al Paso 3.* Según lo expuesto en el comentario anterior, en efecto, la parte con el resto están en proporción 3:2; sin embargo, la marca en el monocordio se encuentra en proporción de 5:3 con respecto a la totalidad de la cuerda, lo que supondría una consonancia de sexta mayor. De nuevo, se concluye que esta manera de concebir la subdivisión no producía marcas a ejecutar en el monocordio, sino tan sólo un cálculo sonoro sin inmediato correlato instrumental alguno.



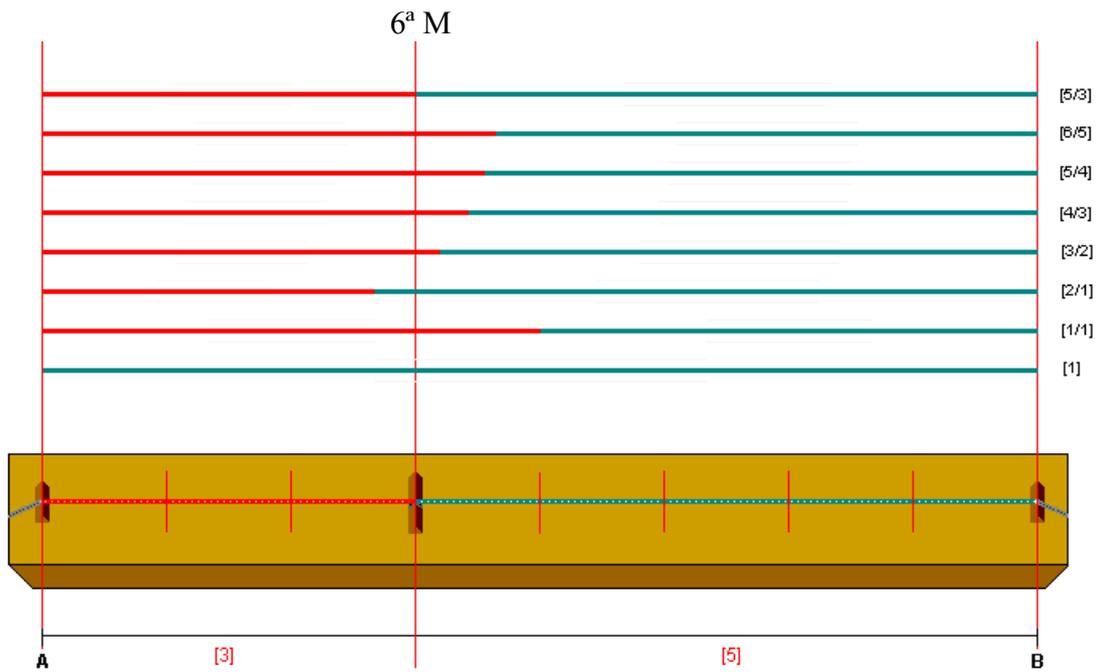
**Paso 4.** Similarmente, si se divide la cuerda en siete partes y se coloca el caballete al final de la tercera parte, se escuchará la cuarta.



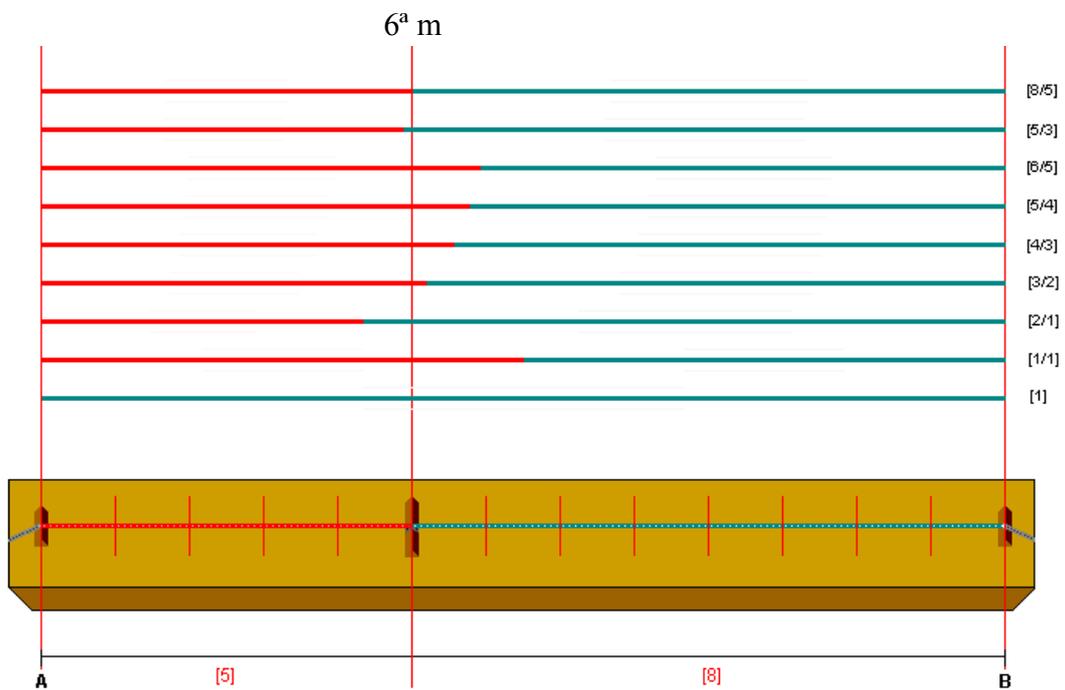
**Paso 5.** La cuerda dividida en nueve partes, colocando [el caballete] en la cuarta [parte], hará la tercera mayor.



**Paso 6.** Pero [la cuerda] debe dividirse en 11 partes, para producir la tercera menor con el caballete, que se colocará al final de la quinta parte.



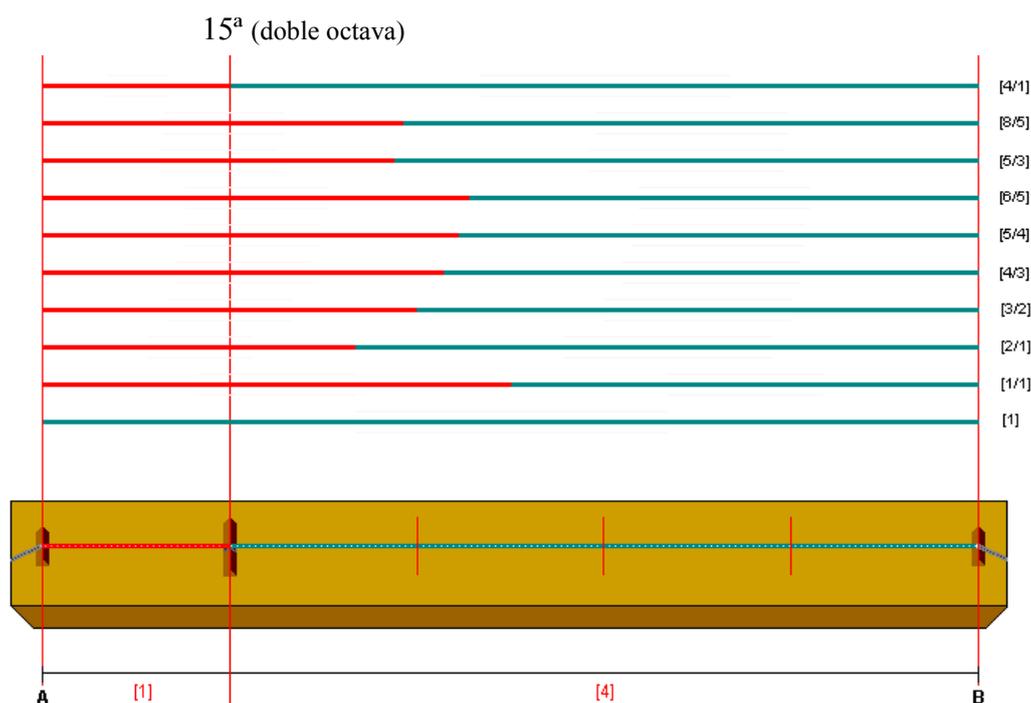
**Paso 7.** [Pero la cuerda debe dividirse] en ocho partes para producir la sexta mayor [al colocar el caballete al final de la tercera parte].



**Paso 8.** [Y debe dividirse la cuerda] en trece, para producir la [sexta] menor.

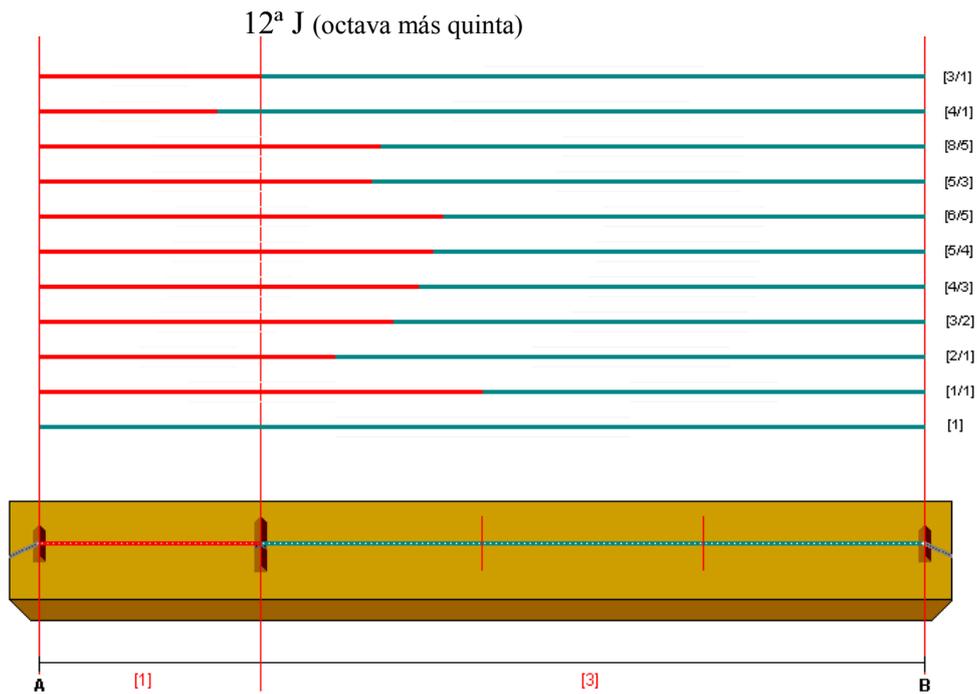
*Comentarios a los Pasos 4 al 8.* Hasta aquí, Mersenne habría producido el compendio de consonancias propias de la llamada “afinación justa” que incluye, además de la octava, quinta y cuarta, las sextas y terceras, tanto mayores como menores. No habría habido discusiones en torno a la naturaleza de dichos intervalos, y a pesar de haber sido todo concebido y construido sobre una base aritmética, la justificación teórica se encontraba alejada de numerologías. La división se había centrado, más bien, en consideraciones sobre la naturaleza física de los batidos y *tremblements* producidos entre las cuerdas del intervalo, tal como había quedado explicado claramente en el *Livre Premier Des Consonances*, lo cual era concienzudamente aplicado por Mersenne a la hora de construir las subdivisiones del monocordio.<sup>259</sup>

A continuación, Mersenne se dedicó a hallar las réplicas de estas consonancias en octavas superiores. Así se tenía:



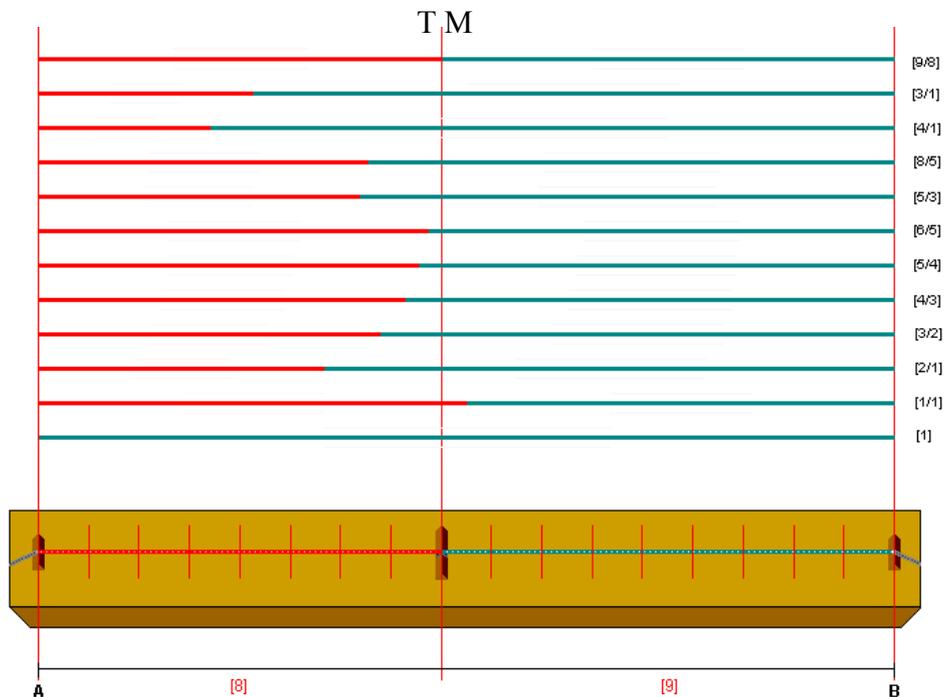
**Paso 9.** Si se divide la cuerda en 5 partes iguales, una de las partes produce la quincena en alto contra el resto; es decir, contra las otras 4 partes.

<sup>259</sup> Véase MERSENNE [1636] 1965, Vol. II, *Livre Premier des Consonances*, pp. 1-111.

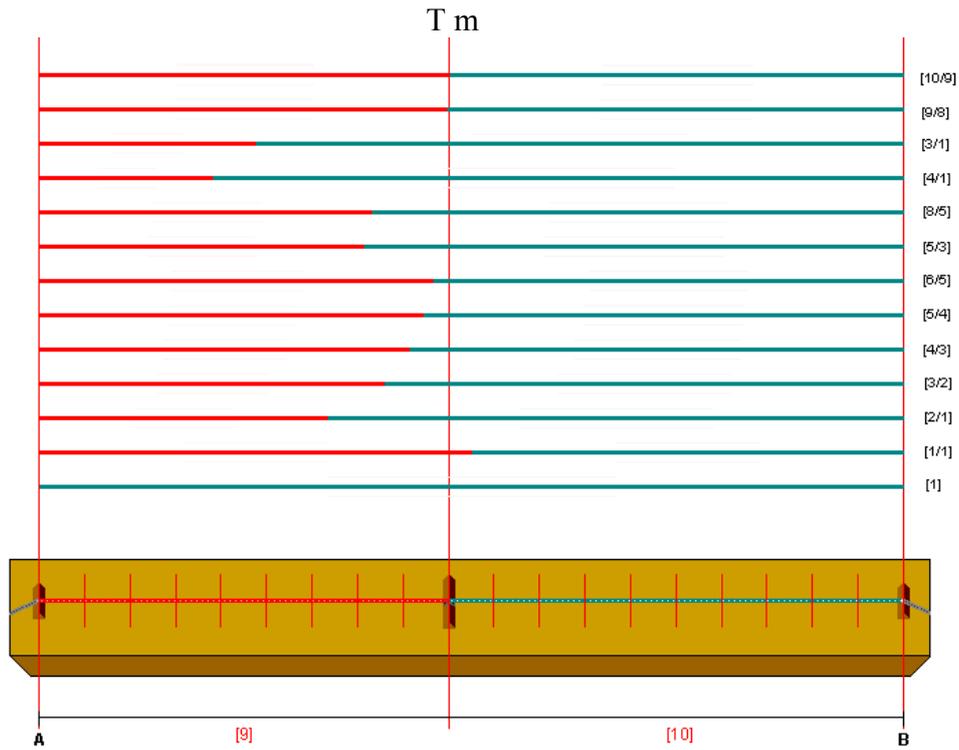


**Paso 10.** Y si la divides en 4 partes iguales, una de las partes produce la docena [8<sup>a</sup> más 5<sup>a</sup>] contra las otras 3.

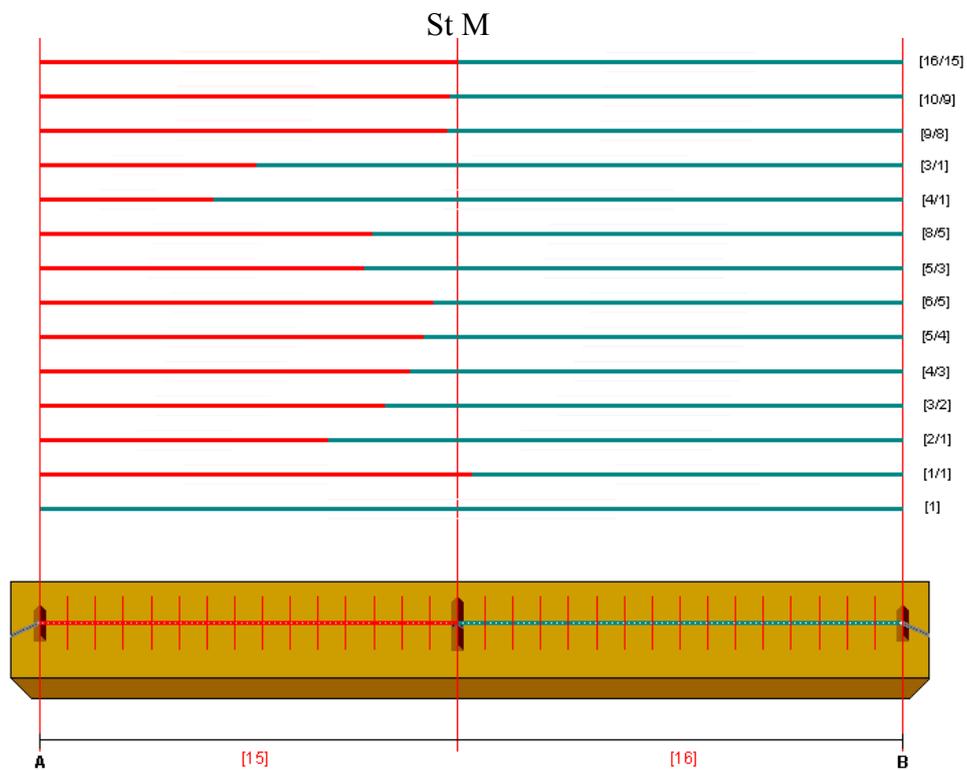
A continuación, Mersenne hallaba los intervalos más pequeños, es decir, tonos mayor y menor; semitonos mayor y menor y, finalmente, la coma de proporción 81:80.



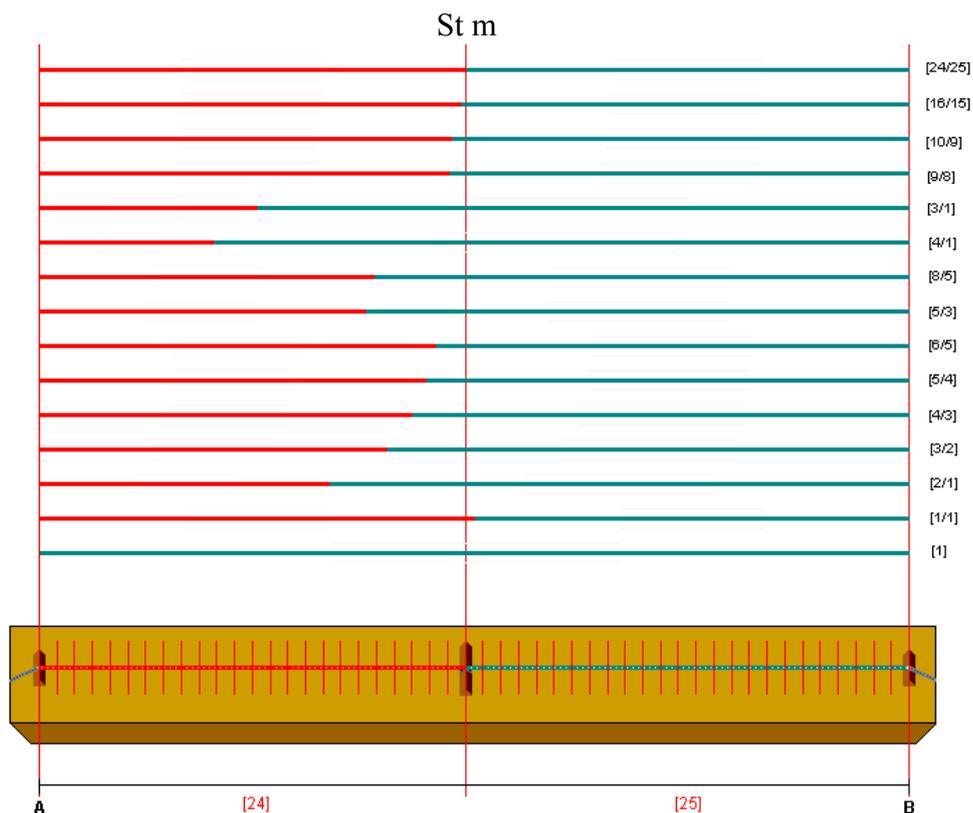
**Paso 11.** Estando la cuerda dividida en 17 partes si el caballete se coloca al final de la octava parte, se hará el tono mayor.



**Paso 12.** Y si la cuerda se divide en 19 partes, se producirá el tono menor con el caballete, que se colocará al final de la novena parte.



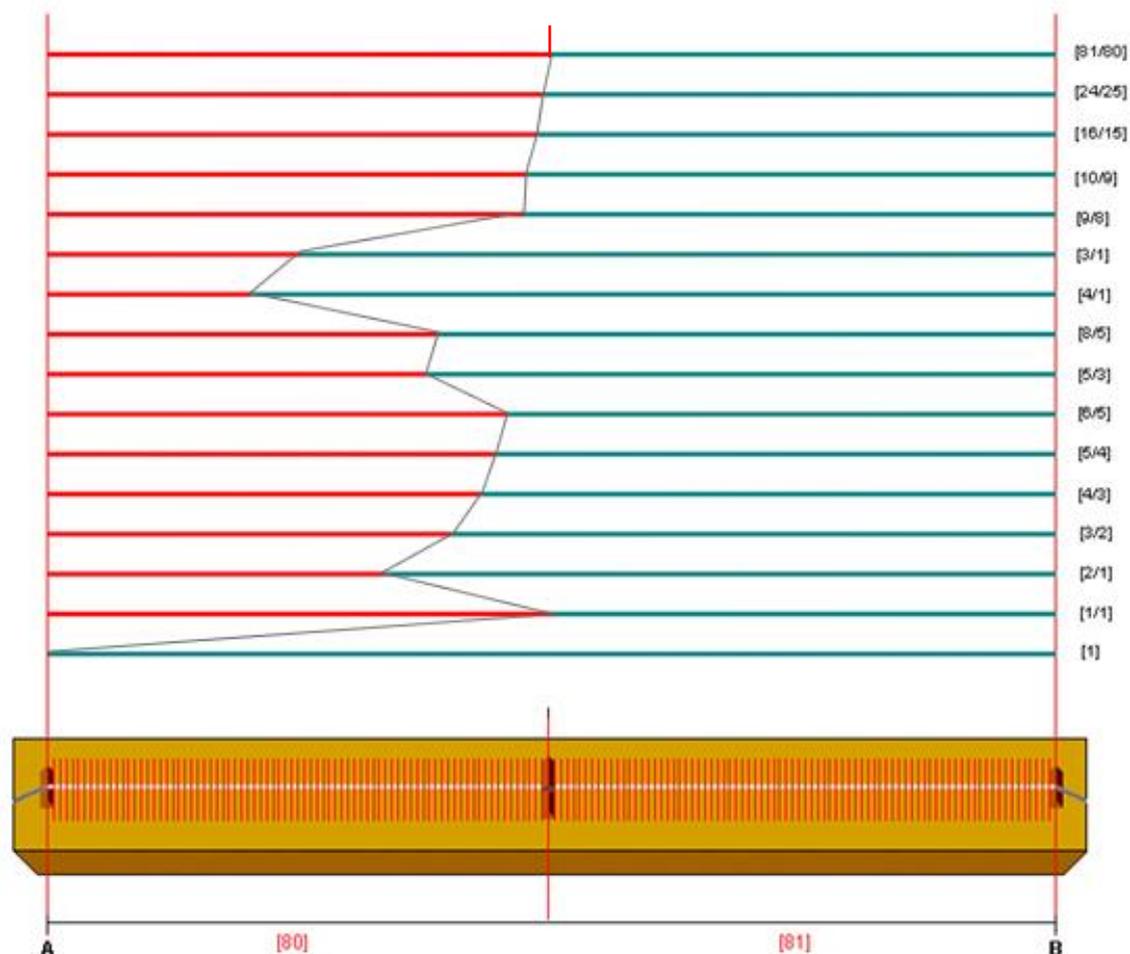
**Paso 13.** Finalmente, si se divide la cuerda en 31 partes, se hará el Semitono Mayor, colocando el puente al final de la 15a. parte.



**Paso 14.** Si se coloca el caballete al final de la 24a. parte de la cuerda dividida en 49 partes, se hará el semitono menor.

Finalmente, sólo quedaba por colocar la *coma sintónica*, para lo cual Mersenne seguirá su método numérico, dividiendo la cuerda en 161 partes. En la figura siguiente, puede verse la colocación de dicho intervalo y la silueta producida por los encuentros entre parte y resto que ha habido a lo largo del proceso de subdivisión.

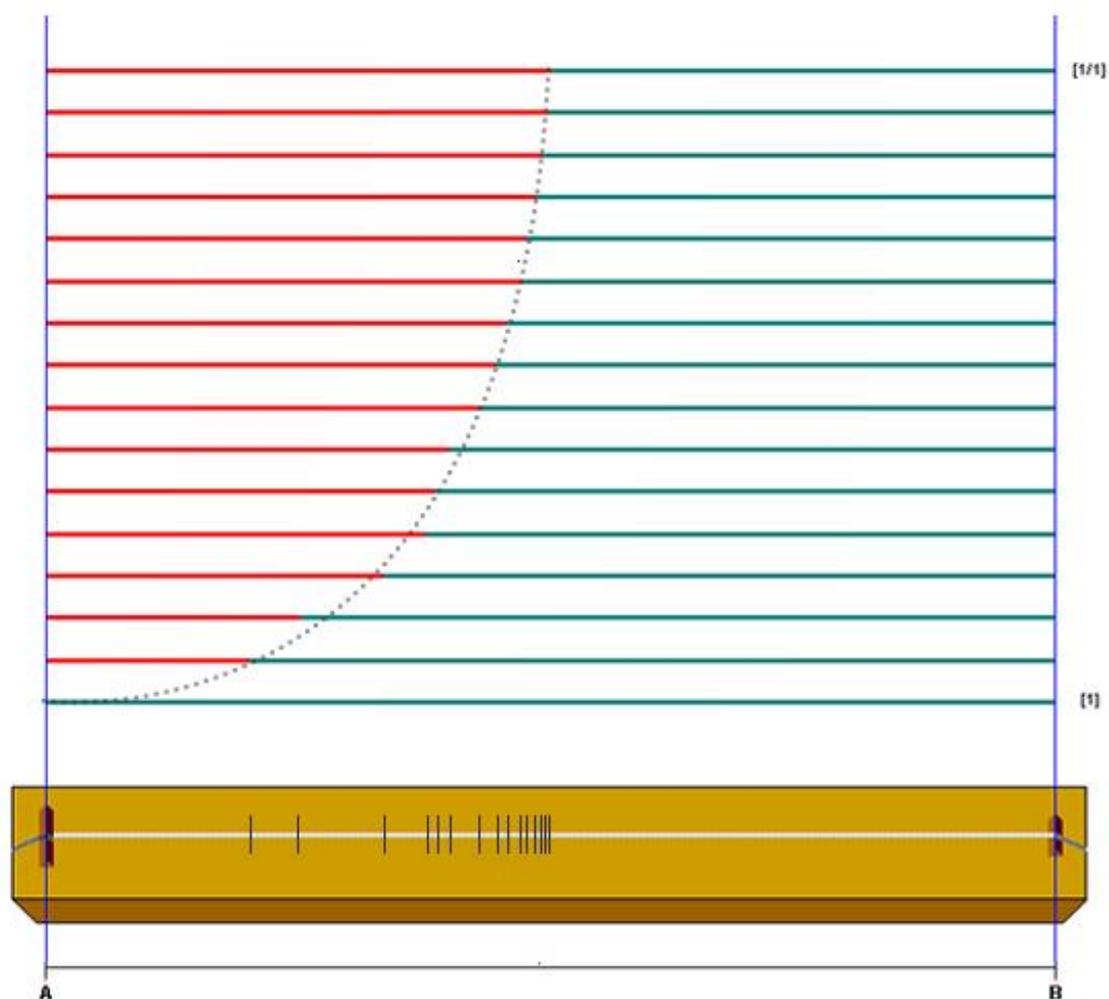
Coma sintónica, 81:80



*Paso 15.* Y si se quiere hallar la coma, hay que dividir [la cuerda] en 161 partes, y colocar el caballete al final de la 80ma. parte.

*Comentarios al Paso 11 al 15, y la silueta producida.* Como puede observarse, la silueta producida por los encuentros entre parte y resto no aportaba mayores evidencias a la práctica musical, puesto que Mersenne había seguido un criterio geométrico ya prefijado en la construcción de las consonancias. Su técnica de subdivisión ha seguido la tradición de segmentar el monocordio, progresivamente, según divisiones de poca complejidad, aunque su proceso no ha conllevado –al estilo de Ramos de Pareja– práctica mnemotécnica alguna. Tampoco ha servido para asentar en él los tetracordos griegos, ni ha servido de lugar –como hiciera Zarlino– para conciliar a los antiguos con los modernos. Este primer monocordio ha dejado de funcionar como posible instrumento musical, puesto que no permite ni entonar escala alguna ni observar en sus

marcas la progresión del grave al agudo. Al reorganizar de manera ascendente las proporciones halladas, se obtendría el siguiente esquema:



Lo que se observa –y se escucha–, es un acercamiento “asintótico” a la sonoridad de octava, a partir de una escala cuya audición, sin duda, ofendería abiertamente los oídos del siglo XVII; pero esto, probablemente, no era la intención de Mersenne.<sup>260</sup> Después de escuchar la pseudo-escala de este “monstruo sonoro”, puede concluirse que

---

<sup>260</sup> Se ruega al lector, de nuevo, que esta secuencia sea verificada, visual y acústicamente en el CD anexo o en el sitio web ya mencionado <http://www.calderon-online.com/tesis-doctoral/>. Allí se encuentra la aplicación multimedia que sigue en detalle este abstracto método de subdivisión de la cuerda de Mersenne, que se aleja de todo sentido musical práctico-instrumental.

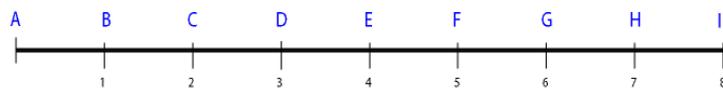
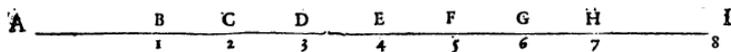
Mersenne, o no se percató de ello o, simplemente, el monocordio sólo le interesaba como *espacio simple de cálculo*. En suma, lo que ha demostrado con esta ordenación de mayor a menor, es que su primer monocordio era un lugar para calibrar consonancias en un *sentido absoluto*, liberado de prácticas musicales o pedagógicas. El monocordio de Mersenne, por el momento, tan sólo habría permitido entonar unos intervalos alejados de todo patrón de referencia básico y común, convirtiéndose, así, en proporciones absolutas para “oídos absolutos”, capaces de reconocer los intervalos como hechos sonoros, igualmente absolutos.

## b) Los monocordios “económicos”

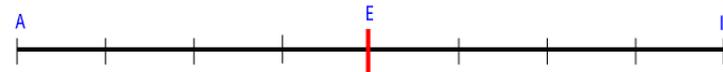
Las siguientes divisiones que sugeriría Mersenne privilegiaban mnemotecnias orientadas hacia una economía de gestos, una descripción más escueta y un cálculo más simple con una capacidad explicativa superior. La propuesta de la Proposición VI decía: *Demonstrer que le Monochorde estant divisé en 8 parties égales contient toutes les Consonances*<sup>261</sup> y, si bien esto es cierto, estas ocho marcas en el monocordio no serían marcas a ejecutar, sino, más bien, “puntos de cálculo”. De nuevo, y al igual que en la anterior subdivisión, las proporciones volverían a ser abstractas y absolutas, pero, en este caso, obtenidas de manera rápida, fácil y “económica”. En el siguiente esquema se resume dicha subdivisión, mostrando, primero, el esquema original, y después, el desarrollo de todos los intervalos expuestos por Mersenne:

---

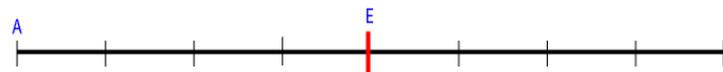
<sup>261</sup> “Proposición VI. Demostrar que el Monocordio estando dividido en 8 partes iguales contiene todas las Consonancias” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, pp. 19-20.



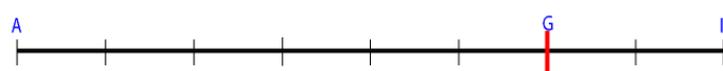
8 partes



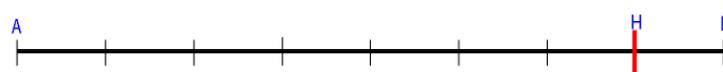
$$\frac{AE}{EI} = \frac{4}{4} = \frac{1}{1} \quad \text{Igualdad (1° J - unísono)}$$



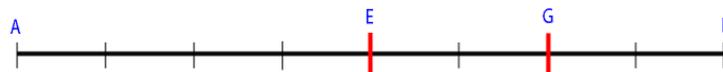
$$\frac{AI}{EI} = \frac{8}{4} = \frac{2}{1} \quad \text{Doble (8ª J - octava justa)}$$



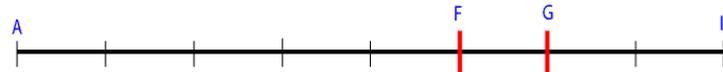
$$\frac{AI}{GI} = \frac{8}{2} = \frac{4}{1} \quad \text{Cuádruple (15ª J - quincena justa)}$$



$$\frac{AI}{HI} = \frac{8}{1} = \frac{4}{1} \quad \text{Óctuple (22ª J - Ventidosena justa)}$$



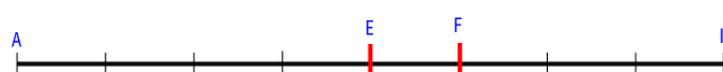
$$\frac{AG}{EG} = \frac{6}{2} = \frac{3}{1} \quad \text{Triple (12ª J - docena justa)}$$



$$\frac{AG}{FG} = \frac{6}{1} \quad \text{Séxtuple (19ª J - decinovena justa)}$$



$$\frac{AG}{CG} = \frac{6}{4} = \frac{3}{2} \quad \text{Sesquiáltera (5ª J - quinta justa)}$$



$$\frac{AF}{EF} = \frac{5}{1} \quad \text{Quíntuple (17ª M - decisetena mayor)}$$



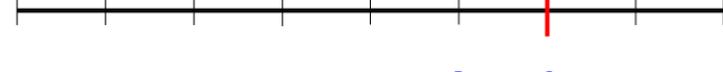
$$\frac{AF}{DF} = \frac{5}{2} \quad \text{Doble sesquiáltera (10ª M - decena mayor)}$$



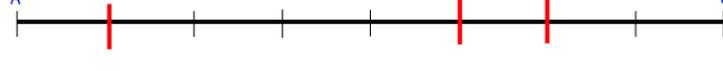
$$\frac{AF}{BF} = \frac{5}{4} \quad \text{Sesquicuarta (3ª M - tercera mayor)}$$



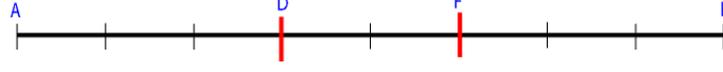
$$\frac{AI}{AG} = \frac{8}{6} = \frac{4}{3} \quad \text{Sesquitercia (4ª J - cuarta justa)}$$



$$\frac{AG}{BG} = \frac{AG}{AF} = \frac{6}{5} \quad \text{Sesquiquinta (3ª m - tercera menor)}$$



$$\frac{AF}{AD} = \frac{5}{3} \quad \text{Superbipartientetercia (6ª M - sexta mayor)}$$



$$\frac{AI}{AF} = \frac{8}{5} \quad \text{Supetripartientequinta (6ª m - sexta menor)}$$



$$\frac{AI}{AD} = \frac{8}{3} \quad \text{Duplesuperbipartientetercia (11ª J - oncena justa)}$$

Como puede verse, había proporciones que requerían dos y hasta tres marcas internas, y aunque dichas proposiciones estuvieran en el plano teórico especulativo, eran del todo posibles de ejecutar en un monocordio con la ayuda de caballetes adicionales.<sup>262</sup>

Con este método, sólo era posible obtener las consonancias “justas” –octava, quinta, cuarta, terceras y sextas, tanto mayores como menores–. Para obtener las disonancias, u otro tipo de intervalo, como tonos, semitonos –mayores y menores– y la coma sintónica, habría, necesariamente, que aumentar las ocho partes seleccionadas al inicio. A pesar de ello, merece destacarse el sentido exclusivamente aritmético de esta división, pues no es un método para “hallar” las consonancias, sino, una vez conocidas, ubicarlas de la manera más “económica” posible, con base en el número 8. Por supuesto, es posible encontrar aquí resonancias del *senario* de Zarlino, pues ya Mersenne –antes de exponer esta subdivisión– había reconocido que con una subdivisión en seis partes también hallaría muchas consonancias y disonancias. Pero, como él mismo dice, el número 8 resulta más explicativo, pues

[...] 8 fait la Sixte mineure avec 5 et l'Onziesme avec 3 de sorte que le nombre 8 produit deux nouvelles consonances, qui ne se rencontrent point dans le nombre de 6.<sup>263</sup>

En este caso, Mersenne ha preferido darle al número 8 una capacidad explicativa, pero liberada de toda justificación metafísica o numerológica. Como puede recordarse, Ramos de Pareja había elogiado el número 8 con justificaciones variadas, e ironizando las preferencias de Guido d'Arezzo por el número 6. Por otra parte, Zarlino consideraba que los intervalos que utilizaban el número 8 (sexta menor 8:5 y oncena 8:3), formaban

---

<sup>262</sup> Las proporciones que utilizarían dos o tres caballetes intermedios –como en los intervalos AG : CG, AG : FG y similares–, han sido experimentadas en la reconstrucción material mencionada en, *infra* Apartado 3.4. La sonoridad es del todo plausible, aunque nunca tan resonante como con un caballete simple. A su vez, la necesidad de levantar, desplazar y volver a colocar el caballete, obliga a interrumpir, momentáneamente, la ejecución y la percepción de la naturaleza del intervalo melódico.

<sup>263</sup> “[...] 8 hace la sexta menor con 5, y la oncena con 3, de manera que el número 8 produce dos nuevas consonancias que no se encuentran en el monocordio con el número 6” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p.19.

parte del *senario*, pero eran considerados como una expansión –en “acto”– de la “potencia” del intervalo de 5:4 y 4:3.<sup>264</sup> Si bien perviven este tipo de discusiones en Mersenne, éste las ha purgado de consideraciones extra-musicales o extra-matemáticas, pues, su meta sería la simplicidad y la comprensión, aunque su método aún no le permitiera deducir todo el compendio de intervalos.

Debido a lo anterior, Mersenne presentaba ahora un método que consistía, según el título de su Proposición VII, en: “Expliquer la plus simple, et la plus aysee que l’on puisse faire d’une chorde qui produint les consonances, et les degrez Diatoniques.”<sup>265</sup> La estrategia fundía las técnicas expuestas en la Proposición V (relación parte y resto), con las técnicas de caballetes intermedios de la Proposición VI (división en 8 partes). Mersenne reorientó la línea en forma vertical y su proceso quedaría reducido a sólo cuatro pasos, es decir, cuatro subdivisiones a la mitad –a la manera de las mnemotecnias de Ramos de Pareja–, cuya economía de cálculo ampliaba, con la incorporación de los tonos de proporción 9:8 y 10:9, mayor y menor, respectivamente, lo que no había logrado Mersenne en su proposición anterior. A continuación se inserta, el esquema original y el desarrollo de todos los intervalos expuestos por Mersenne:

---

<sup>264</sup> Véase una explicación general en COHEN, Hendrik Floris: *Quantifying music. The science of music at the first stage of the scientific revolution, 1580-1650*. Dohrdrecht, Kluwer Academic Publishers, 1986, pp. 3-7.

<sup>265</sup> “Proposición VII. Explicar la división más simple y la más fácil que puede hacerse en una cuerda que produce las consonancias y los grados diatónicos.” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, pp. 21-22.

	1er. Paso		2do. Paso		3er. Paso		4to. Paso
<p>AB La totalidad</p>	$\frac{AB}{BC} = \frac{2}{1}$ 8ª J - octava justa	$\frac{AB}{AD} = \frac{4}{3}$ 4ª J - cuarta justa	$\frac{AC}{CD} = \frac{2}{1}$ 8ª J - octava justa	$\frac{AE}{AC} = \frac{5}{4}$ 3ª M - tercera mayor $\frac{AE}{AD} = \frac{6}{5}$ 3ª m - tercera menor	$\frac{AG}{AC} = \frac{9}{8}$ T M - tono mayor $\frac{AG}{AE} = \frac{10}{9}$ T m - tono menor		
	$\frac{AD}{AC} = \frac{3}{2}$ 5ª J - quinta justa	$\frac{AD}{CD} = \frac{3}{1}$ 12ª J - docena justa	$\frac{AE}{CE} = \frac{5}{1}$ 17ª M - decisetena mayor $\frac{AC}{CE} = \frac{4}{1}$ 15ª J - quincena justa	$\frac{AD}{DE} = \frac{6}{1}$ 19ª J - decinovenena justa	$\frac{AE}{EB} = \frac{5}{3}$ 6ª M - sexta mayor $\frac{AB}{AE} = \frac{8}{5}$ 6ª m - sexta menor		
	$\frac{AB}{DB} = \frac{4}{1}$ 15ª J - quincena justa			$\frac{AB}{BF} = \frac{8}{1}$ 22ª J - ventidosena justa			

Como se observa, cada resto es subdividido a la mitad y así sucesivamente, lo que le permite a Mersenne obtener nuevas proporciones, salvo los intervalos de semitono mayor y menor (16:15 y 25:24, respectivamente). Aunque la subdivisión es económica y limpia (además de implicar una fácil mnemotecnia), era aún más compleja su ejecución con los caballetes intermedios, requiriendo ser colocados y desplazados continuamente. Al igual que en las anteriores divisiones, las marcas en el monocordio son proporciones abstractas y absolutas y, salvo la octava y sus duplicaciones (15<sup>a</sup> J, 22<sup>a</sup> J), ninguna marca es un punto a ejecutar como si de un instrumento se tratara. En resumen, esta subdivisión aún no es omniexplicativa, ni utiliza el monocordio en toda su extensión y posibilidad. Mersenne parecía saberlo, y tal vez por ello culminaba su Proposición VII diciendo que

[...] est facile de juger de l'excellence et de l'ordre des consonances par les trois diuisions, dont elles prennent leur origine, car celles qui viennent de la premiere diuision, sont plus douces que celles qui viennent de la seconde, et celles cy sont plus excellentes que celles qui viennent de la troisieme, d'autant quelles s'esloignent d'auantage de la simplicité, et de l'vnité.<sup>266</sup>

Mersenne hacía aquí una comparación estética y a la vez científica. Las proposiciones muestran un gradiente de “dulzura” *versus* un gradiente de “cientificidad”, entendida ésta como la simplicidad y unidad. Así, la primera subdivisión, expuesta en la Proposición V (relación parte-resto), es compleja, pero obtenía las consonancias más agradables al oído al ser construidas sobre la totalidad de la cuerda. La segunda subdivisión, expuesta en la Proposición VI (división en 8 partes), mostraba mayor simplicidad y unidad al concentrarse en un único número: el 8; pero por un lado no podían presentarse todos los intervalos y se hacía necesario utilizar dos caballetes para su ejecución. La tercera subdivisión, expuesta en la Proposición VII (división en 4

---

<sup>266</sup> “[...] es fácil juzgar la excelencia y el orden de las consonancias en las tres divisiones [Proposición V, VI y VII] de las cuales ellas se originan, puesto que aquellas que vienen de la primera división [Proposición V] son más dulces que aquellas que vienen de la segunda [Proposición VI], y éstas son más excelentes que aquellas que vienen de la tercera [Proposición VII], de manera que ellas se alejan de las ventajas de la simplicidad y la unidad.” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 21.

partes) habría ganado mayor unidad y simplicidad de cálculo (cuatro subdivisiones y un único tipo de subdivisión a mitades); sin embargo, su práctica con los caballetes incorporaba, aún, una mayor complejidad. Estas carencias explicativas y las dificultades prácticas, llevarían a Mersenne a proponer una nueva estrategia de subdivisión, que buscaría fundir la dulzura con la simplicidad, es decir: combinar el resultado práctico-estético deseado, junto a la justificación teórico-científica de máxima heurística.

### c) Los monocordios “exhaustivos”

La siguiente Proposición VIII, fue titulada “Expliquer les intervalles tant consonans que dissonans, et les degrez qui se treuvent aux residus de la chorde du Monochorde, apres que l'on y a marqué les intervalles et les degrez diatoniques.”<sup>267</sup> Mersenne expuso allí un método que abandonaba toda economía de gestos o mnemotecnias, y tomaba la cuerda entera como un todo subdividido en 120 partes, para ubicar, tanto las consonancias como las disonancias, según los valores aritméticos expuestos en la siguiente ilustración:

---

<sup>267</sup> “Proposición VIII. Explicar los intervalos, tanto consonantes como disonantes, y los grados que se hallan en los residuos de la cuerda del Monocordio, después que se han marcado los intervalos y los grados diatónicos” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 21.

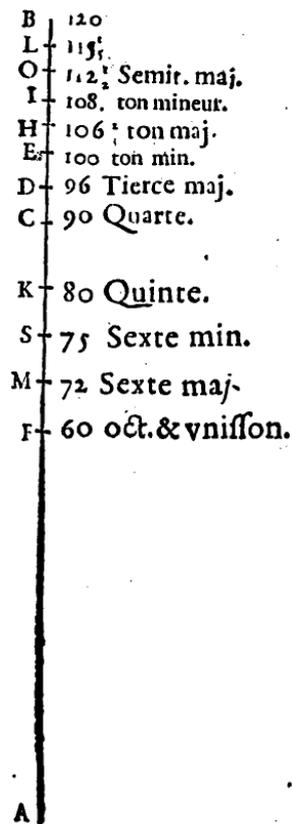


Fig. 47. Monocordio de la Proposición VII. <sup>268</sup>

MERSENNE [1636] 1965, vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p.16.

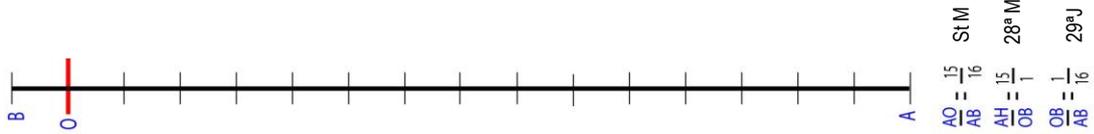
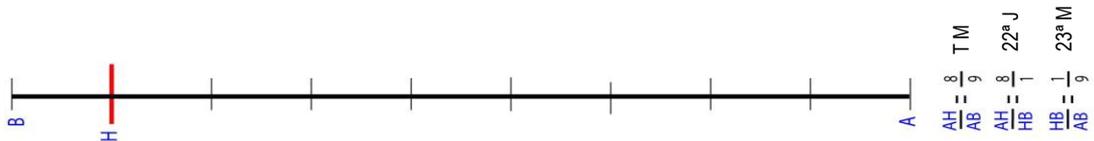
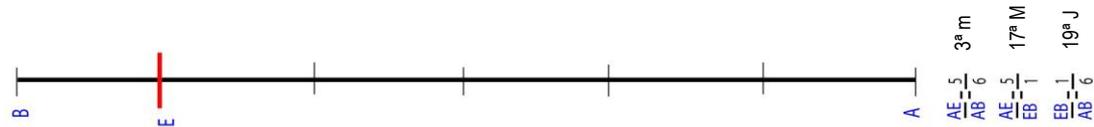
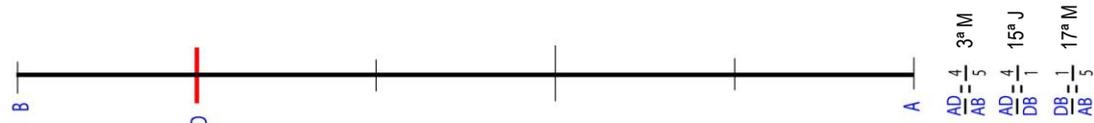
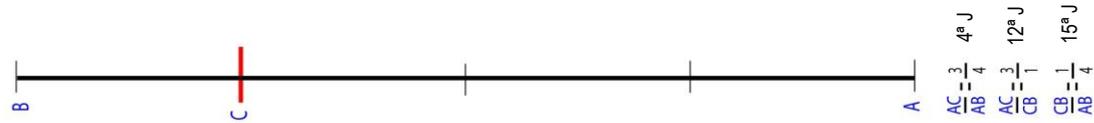
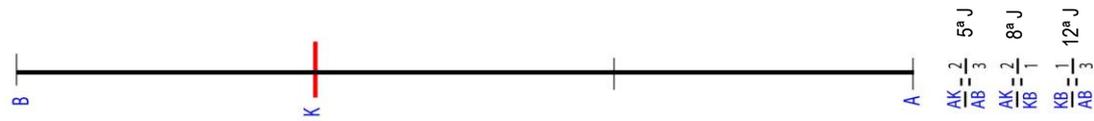
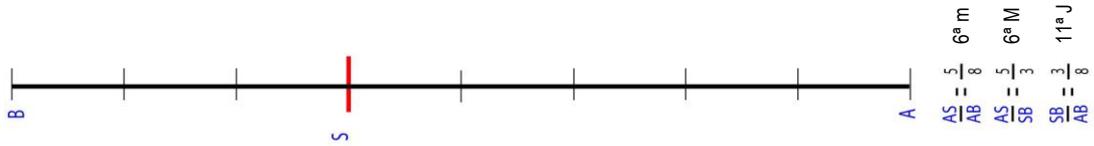
A diferencia de todas las subdivisiones anteriormente mostradas, ésta sí podría ser ejecutada como si de una escala musical se tratara, es decir, las marcas corresponden con las notas propias de una escala construida con referencia a la cuerda completa como un todo, y a manera de patrón básico de referencia.

Una vez colocadas las proporciones armónicas según la aritmética seleccionada, Mersenne evaluaba sistemáticamente las tres posibilidades: *a)* evaluar la parte contra el todo; *b)* evaluar la parte contra el resto; y *c)* evaluar el resto contra el todo.

En el siguiente diagrama, se indica cada división realizada en orden ascendente, y al pie, las relaciones de proporción entre parte-todo, parte-resto y resto-todo.

---

<sup>268</sup> Nótese que donde dice “E-100 ton min”, había evidentemente un error, debería decir “E-100 tierce min.”



En el siguiente esquema se recogen los resultados de manera más compacta.

Parte : Todo	Parte : Resto	Resto : Todo
120 : 120 unísono	120 : 0 -	0 : 120 -
115,5 : 120 semitono menor*	115,5 : 4,5 -	4,5 : 120 -
112,5 : 120 semitono mayor*	112,5 : 7,5 ventiochena mayor	7,5 : 120 ventinovenena justa
108 : 120 tono menor	108 : 12 ventitresena mayor**	12 : 120 venticuarta mayor
106 : 120 tono mayor*	106 : 14 ventidosena justa	14 : 120 ventitresena mayor**
100 : 120 tercera menor	100 : 20 decisetena mayor	20 : 120 decinovenena justa
96 : 120 tercera mayor	96 : 24 quincena justa	24 : 120 decisetena mayor
90 : 120 cuarta justa	90 : 30 docena justa	30 : 120 quincena justa
80 : 120 quinta justa	80 : 40 octava justa	40 : 120 docena justa
75 : 120 sexta menor	75 : 45 tercera mayor	45 : 120 oncenena justa
72 : 120 sexta mayor	72 : 48 decena mayor	48 : 120 decena mayor
60 : 120 octava justa	60 : 60 unísono	60 : 120 octava justa

\* Mersenne reconocía, en estos casos, que habla de aproximaciones, dada la división en 120 partes.

\*\* Mersenne colocaba aquí *Neufiesme majeure*.

Como puede notarse, Mersenne ha ido sistematizando progresivamente sus proposiciones, en la medida que busca una demostración más exhaustiva. Sin embargo, esta última proposición aún no le ha permitido obtener, con precisión, la totalidad de las disonancias. En la siguiente Proposición IX, bajo el título: “Expliquer toutes les consonances est les dissonances qui se rencontrent dans le Monochorde, est dans le Systeme parfait, [...] Par consequent le Monochorde et le Systeme harmonique sera icy considéré en toutes les façons possibles”, Mersenne colocaría un sinnúmero de intervalos –de los cuales reconoce que algunos podrían ser inútiles– para lograr esta totalidad.<sup>269</sup>

Para la consecución de este objetivo totalizador, Mersenne renunciaba a todo tipo de argucia geométrica y daba un paso definitivo hacia proporciones de índole aritmética. Ya se ha visto como subdivisiones en 8, 9, 16, 20 y 120 partes no habían sido

---

<sup>269</sup> “Explicar todas las consonancias y las disonancias que se encuentran en el monocordio y en el Sistema Perfecto, [...] En consecuencia, el Monocordio y el Sistema armónico serán aquí considerados en todas las formas posibles” MERSENNE [1636] 1965, *Livre Premier des Instruments*, p. 22.

suficientes para mostrar todas las disonancias, y seguramente, es por ello, por lo que Mersenne adoptaría ahora el valor de 3600, con lo cual podría ubicar todos los intervalos posibles.

Así, al imaginar un monocordio dividido en 3600 partes, todo quedaba resumido en una tabla de seis columnas, cuya ilustración original era como sigue:

I	II	III	IV	V	VI
Octave	c	1800	V.iffon	1800	Octave
Septième maj. de 15 à 8	♯	semit. maj. 1920	13 à 12	de 15 à 14 1680	15 à 7
Septième min. de 9 à 5	✕ b	semit. mi. 2000	Tierce majeure	21-20 1600	Neufième maj de 9 à 4
Septième min. de 16 à 9	B	comma 2025	9 à 7	46-45 1575	144 à 71
Sixième maj. de 5 à 3	A	semit. maj. 2160	Quinte de 3 à 2	35 à 33 1440	Dixième maj de 5 à 2
Sixième mj. de 8 à 5	✕ a	semit. mj. 2250	Sexte maj de 5 à 3	semi. maj. 1350	Vnzième, de 8 à 3
De 25 à 16	✕ g	diefe 2304	1152 à 653	675 à 653 1306	1800 à 653
Quinte.	.G	semit. mine 2400	Octave	653 à 600 1200	Douzième de 3 à 1
40 à 27	G	comma. 2430	243 à 127	127-120 1270	360 à 127
Triton de 45 à 32	✕ g	semit. min. 2560	32 à 13	127-104 1040	45 à 13
25 à 18	✕ f	diefe 2592	18 à 7	65-63 1008	25 à 7
Quarte de 4 à 3	F	semit. min. 2700	Douzième de 3 à 1	28 à 25 900	Quinzième de 4 à 1
Tierce maj. de 5 à 4	E	semit. maj. 2880	Quinzième de 4 à 1	tierce maj 720	Dixseptième maj de 5 à 1
Tierce mj. de 6 à 5	✕ e	semit. mine. 3000	Dixseptième maj de 5 à 1	tierce mi. 600	Dexneufième de 6 à 1
75 à 66	✕ d	diefe 3072	66 à 11	25 à 22 528	75 à 11
Ton maj. de 9 à 8	.D	semit. min. 3200	Vintedeuxième de 8 à 1	de 33 à 25 400	Vinttroisième maj de 9 à 1
Ton mineur, de 10 à 9	D	comma 3240	Vintetroisième maj de 9 à 1	ton min. 360	Vintquatrième maj de 10 à 1
Semiton maj. de 16 à 15	✕ d	semit. mj. 3375	Vintneufième fausse de 15 à 1	dixi. min. 225	Vintneufième de 16 à 1
Semiton mj. de 25 à 24	✕ b	diefe 3456	Trentetroisième de 24 à 1	de 15 à 25 144	Trentequatrième min. fausse de 25 à 1
	C	semit. min. 3600			

Fig. 48. Tabla de la Proposición IX. MERSENNE [1636] 1965, *Livre Premier des Instruments*, p.22.

Si se redibuja dicha tabla, haciéndola más legible, se tiene:

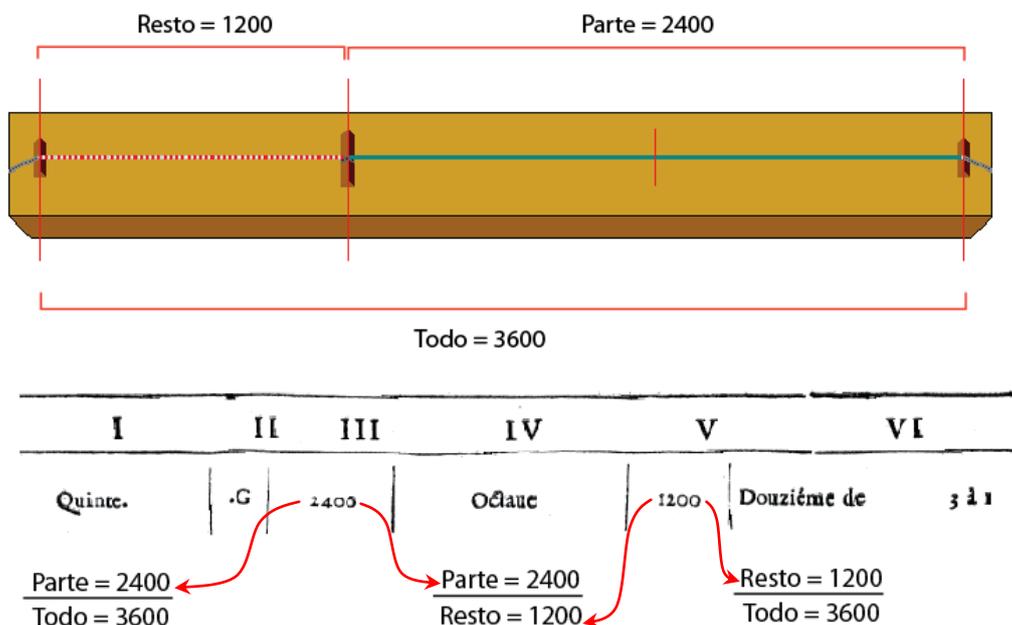
TODO = 3600					
TODO : PARTE	NOTA	PARTE	PARTE : RESTO	RESTO	TODO : RESTO
I	II	III	IV	V	VI
octava justa 2:1	<b>c</b>	<b>1800</b>	unisono 1:1	<b>1800</b>	octava justa 2:1
		semitono mayor 15:16		15:14	
séptima mayor 15:8	<b>♯</b>	<b>1920</b>	13:12	<b>1680</b>	15:7
		semitono menor 24:25		21:20	
séptima menor 9:5	<b>x b</b>	<b>2000</b>	tercera mayor 5:4	<b>1600</b>	novena mayor 9:4
		coma 80:81		46:45	
séptima menor 16:9	<b>B</b>	<b>2025</b>	9:7	<b>1575</b>	144:63 = 16:7 *
		semitono mayor 15:16		35:33	
sexta mayor 5:3	<b>A</b>	<b>2160</b>	quinta justa 3:2	<b>1440</b>	decena mayor 5:2
		semitono menor 24:25		semitono mayor	
sexta menor 8:5	<b>x a</b>	<b>2250</b>	sexta mayor 5:3	<b>1350</b>	oncena justa 8:3
		diesis 125:128		675:653	
25:16	<b>x g</b>	<b>2304</b>	1152:653	<b>1306</b>	1800:653
		semitono menor 24:25		653:600	
quinta justa 3:2	<b>G</b>	<b>2400</b>	octava justa 2:1	<b>1200</b>	docena justa 3:1
		coma 80:81		127:120	
40:27	<b>G</b>	<b>2430</b>	243:117 *	<b>1170 *</b>	360:117 *
		limma 243:256 *		117:104	
tritono 45:32	<b>x g</b>	<b>2560</b>	32:13	<b>1040</b>	45:13
		coma 80:81 *		65:63	
25:18	<b>x f</b>	<b>2592</b>	18:7	<b>1008</b>	25:7
		semitono menor 24:25		28:25	
cuarta justa 4:3	<b>F</b>	<b>2700</b>	docena justa 3:1	<b>900</b>	quincena justa 4:1
		semitono mayor 15:16		tercera mayor 5:4	
tercera mayor 5:4	<b>E</b>	<b>2880</b>	quincena justa 4:1	<b>720</b>	decisetena mayor 5:1
		semitono menor 24:25		tercera menor 6:5	
tercera menor 6:5	<b>x e</b>	<b>3000</b>	decisetena mayor 5:1	<b>600</b>	decinovenena justa 6:1
		diesis 125:128		25:22	
75:66	<b>x d</b>	<b>3072</b>	66:11	<b>528</b>	75:11
		semitono menor 24:25		33:25	
tono mayor 9:8	<b>D</b>	<b>3200</b>	ventidosena justa 8:1	<b>400</b>	ventitresena mayor 9:1
		coma 80:81		tono menor 10:9	
tono menor 10:9	<b>D</b>	<b>3240</b>	ventitresena mayor 9:1	<b>360</b>	venticuarta mayor 10:1
		semitono menor 24:25		sexta menor 8:5 *	
semitono mayor 16:15	<b>x d</b>	<b>3375</b>	ventinovenena justa 15:1	<b>225</b>	ventinovenena justa 16:1
		diesis 125:128		15:25	
semitono menor 25:24	<b>x d*</b>	<b>3456</b>	treintatresena justa 24:1	<b>144</b>	treinticuarta menor [falsa] 25:1
		semitono menor 24:25		-	
-	<b>C</b>	<b>3600</b>	-	<b>0</b>	-

Fig. 49. Redibujo de la Tabla de la Proposición IX. Los asteriscos [\*] indican correcciones al original.

A continuación, se explica el complejo funcionamiento de dicha tabla, teniendo en cuenta que posee una lectura, tanto horizontal como vertical, según lo siguiente:

- Se asume una cuerda cuyo “todo” está compuesto por 3600 partes.
- Las columnas III y V son los pilares fundamentales en los cuales Mersenne ha colocado los valores que definen los intervalos. Así, la columna III marca los valores de la “parte” y la columna V, los valores del “resto”. Como se ve, ambas se complementan y al sumar los valores de cada una de ellas, en el sentido horizontal, siempre se obtiene el valor del “todo” 3600. A su vez, en cada columna, Mersenne intercala el intervalo producido entre cada valor y su inmediato inferior, tal como lo muestran los signos “{ }” en el redibujo.<sup>270</sup>
- En la columna I, se muestra la relación “todo : parte” y a su lado derecho, en la columna II, el nombre de la nota producida, asumiendo que el sonido más grave es un Do [C] y el más alto, su octava, do [c].
- La columna IV indica la relación “parte : resto”, y la VI, la relación “todo : resto”.

Así, dada una posición cualquiera en el monocordio –ej. “parte” 2400– la lectura de la tabla sería como sigue:



**Fig. 50. Esquema de lectura de la tabla de la Proposición IX.**

<sup>270</sup> Cuando el intervalo era reconocible, Mersenne colocaba la proporción armónica y el nombre del intervalo; en caso contrario, sólo dejaba la proporción.

En resumen, puede interpretarse que lo que ha hecho Mersenne, habría sido: en primer lugar, dividir el monocordio en 25 partes para poder obtener así los tonos y semitonos que se le escapaban en las proposiciones anteriores; segundo: cada parte de estas veinticinco, la multiplicaba por un valor de 144 y así podía construir un total de 3600 partes, permitiéndose ahora ubicar la *diesis* y la *coma sintónica*, y con ello, todos los intervalos que se había propuesto. Como se observa en la tabla, tanto *diesis* como *coma sintónica* no se encuentran en la Columna I y, por ello, son sólo perceptibles al comparar un intervalo con otro y no como intervalos respecto a la cuerda entera.<sup>271</sup>

Como colofón a la compleja tabla y a este grupo de proposiciones, Mersenne reconocería sus limitaciones prácticas y sonoras diciendo que si bien la división de una sola cuerda daba cuenta de toda la música

[...] il faut mettre 2. chordes à l'unisson sur le monochorde, ... et mettre le doigt ou le cheualet à tous les endroits de la chorde, où sont les nombres de cette table, et l'on aura le contentement de sçauoir tout ce qui se peut considerer dans les consonances et les dissonances.<sup>272</sup>

Como se observa, el razonamiento teórico, que había ganado espacio sobre el práctico, cede ante la ejecución necesaria, pues, con dos cuerdas, se tendría una dedicada al “todo” constantemente, y se haría fácil la ejecución de las proporciones “todo : parte”, y “resto : todo”. A su vez, esto permitiría una escucha cuasi-armónica, dada la sencillez de la ejecución y la resonancia de cada cuerda. En otras palabras, no habría que detener

---

<sup>271</sup> Como puede deducirse, si se quisiera obtener, tanto la *coma sintónica* 81:80, como la *diesis* 125:128, en una relación de tipo “todo-parte”, habría que utilizar una cantidad de partes que fuera múltiplo, tanto de 81 como de 128; es decir, múltiplo de  $81 \times 128 = 10368$ . No obstante, eso sacrificaría la obtención simple de la tercera mayor 5:4, dado el número 5. Por lo tanto, debería entonces elevarse la subdivisión a  $10368 \times 5 = 51840$  partes.

<sup>272</sup> “[...] hay que colocar 2 cuerdas al unísono sobre el monocordio... y colocar el dedo o el caballete en todos los lugares donde están los números de esta tabla y se tendrá el contento de saber todo lo que se puede considerar en las consonancias y disonancias.” MERSENNE [1636] 1965, *Livre Premier des Instruments*, p. 23.

el sonido de la “parte”, quitar el caballete y, después, ejecutar el “todo”, pues, con un solo golpe del dedo, o plectro, se obtendría una ejecución donde los problemas acústicos podrían percibirse, seguramente, mucho mejor. Estos aspectos materiales y acústicos quedaron claramente explicitados por Mersenne cuando presentara –como se verá enseguida– su monocordio de tres cuerdas al unísono.

### **3.4 El monocordio práctico experimental: figura y objeto en la Proposición XII de la *Harmonie Universelle***

#### a) Introducción

A pesar que los resultados teóricos alcanzados en las proposiciones precedentes (Proposiciones V a IX), podían parecer suficientes para mostrar la esencia del instrumento, Mersenne destacaría la relevancia práctica, objetual y experimental del monocordio en su Proposición XII, titulada: “Expliquer la figure du Monochorde, et toutes les divisions.” A continuación el párrafo introductorio:

Si l'on entend les Propositions precedents, il n'est pas besoin d'expliquer icy le Monochorde, d'autant que i'en ay discouru si amplement & si exactement, que l'on n'y peut (ce me semble) rien desirer, si ce n'est que les Practiciens croyent que les discours en foient trop speculatifs. L'on void aussi la maniere de le construire sur la fin de la quatriesme Proposition, ou i'ay expliqué la regle harmonique de Ptolomée; neantmoins i'en mets encore icy vne figure particulaire, afin de m'accommoder tellement à la Practique & à l'vsage, qu'il n'y ait nul Facteur d'instruments ou Musicien, qui ne le comprenne aussi bien que moy, & qui ne puisse restablir la Musique par son moyen, encore qu'elle fust toute perduë & effacée de la memoire des hommes.<sup>273</sup>

---

<sup>273</sup> “Proposición XII. Explicar la figura del Monocordio y todas sus divisiones. Si se entienden las proposiciones precedentes, no hay necesidad de explicar aquí el monocordio, puesto que lo he discutido aquí tan amplia y exactamente, que no se puede (me parece a mí) desear nada más, a no ser que los Prácticos crean que este discurso sea demasiado especulativo. Hemos visto, también, el método

La Proposición XII mostraba un pequeño pero claro ejemplo del conocimiento musical del temprano siglo XVII, y en particular, de la mirada de Mersenne. Nótese, por una parte, cómo la confianza en el razonamiento abstracto y matemático le ha llevado a declarar que la figura del monocordio –y por ende, el objeto–, no era necesaria; pero por otra parte, nótese cuán atento estaba Mersenne a los aspectos prácticos y constructivos de los instrumentos musicales, que lo inducían a asumir que toda la ciencia musical estaba contenida en ese objeto. Nótese la tensión entre las dos posiciones, pues ambas aproximaciones, aunque comparten verdades musicales y se encuentran juntas en el monocordio, no parecían necesitarse la una de la otra.

A continuación se muestra la dicha *figure particulaire*, tal como Mersenne la presentara en las páginas de su libro:

---

de construirlo hacia el final de la cuarta Proposición, donde expliqué la regla armónica de Ptolomeo; *sin embargo*, coloco aquí una figura particular, a fin de ajustarme de tal manera a la Práctica y a los usos, que no haya ningún Constructor de instrumentos o Músico, que no lo comprendan tan bien como yo, y que no puedan restablecer la Música por medio de ella [la figura], aunque ella [la Música] se haya perdido del todo y borrado de la memoria de los hombres.” [énfasis añadido] MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p.32.”



La ilustración del monocordio que ofreció Mersenne es, sin duda, una de las más explícitas que pueden encontrarse en la larga lista de tratados musicales que han versado sobre dicho instrumento. Mersenne alababa de manera retórica estas imágenes, diciendo:

[...] il est certain que la figure des instruments de Musique soulagera grandement l'imagination des Lecteurs, & qu'ils en comprendront plus dans vn quart d'heure, qu'ils ne seroient dans un iour sans l'ayde desdites figures [...]<sup>274</sup>

Sin embargo, y tal como afirma Naomi Barker, muchos de los instrumentos musicales de la *Harmonie Universelle* fueron ilustrados en una tradición de copia y transmisión, a partir de algunas fuentes antiguas del tipo enciclopedias culturales –algunas muy ricamente decoradas, fantasiosas y totalmente inexactas–.<sup>275</sup> Pero, a primera vista, la ilustración mostraba un instrumento calibrado, resonante, construible y alejado de toda metáfora simbólica. En otras palabras, no era un esquema ni un diagrama, sino que era un *objeto* o *aparato*, con volumetría y materialidad.

\* \* \*

Como se ha visto, las proposiciones previas habían mostrado un compendio de cómo subdividir la cuerda en un marco estrictamente matemático –sea geométrico o aritmético–, y no había nada explícitamente material o sonoro en ellas. Mersenne se situaba así en una herencia intelectual que, desde Boecio a Zarlino, había puesto su atención en el monocordio, visto éste como una línea, con todos sus aspectos abstractos y geométricos. No obstante eso, Mersenne insistía en ofrecer una ilustración y un objeto material para así garantizar la eternidad de su ciencia. A continuación se hará el análisis

---

<sup>274</sup> “Es cierto que la figura de los instrumentos de la Música aliviará grandemente la imaginación de los lectores, y así ellos comprenderán más en un cuarto de hora, que lo que no harían en un día entero, sin la ayuda de las mencionadas figuras.” Véase “Preface au Lecteur” en MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. s/n.

<sup>275</sup> BARKER, Naomi: “Un-discarded images: illustrations of antique musical instruments in 17<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup> century books, their sources and transmission”, en *Early Music*, 35/2 (2007), pp. 191-211.

de dicha figura y objeto atendiendo a su materialidad y método de utilización; posteriormente, se mostrarán dos reconstrucciones de dicho monocordio: una digital-virtual (multimedia e interactivo), y una real-material (madera y cuerdas de tripa), con el fin de investigar, tanto numérica como acústicamente, las proposiciones de Mersenne. Estas reconstrucciones ayudan a leer algunos capítulos de la *Harmonie Universelle* de manera “multimedia”, puesto que los tratados musicales –especialmente aquellos del siglo XVII– tienen que ser “escuchados” para alcanzar una plena comprensión de sus proposiciones.

## b) Materialidad

*Tamaño.* Mersenne sugirió amplios márgenes para la dimensión del monocordio. Por un lado, mencionó a la cuerda de su ilustración, de unas siete pulgadas y un cuarto –aproximadamente, 19.83 cm– “[...] que l’on peut redoubler & multiplier tant de fois que l’on voudra [...]” y, por otro lado, sugería dimensiones de 3, 6, 12 o 24 pies de longitud –aproximadamente, de un metro hasta 78 m de longitud–.<sup>276</sup> A su vez, reconocía que algunos de estos gigantescos monocordios podían ser utilizados, en principio, para todo tipo de experimentos y para extraer cualquier conclusión acerca de la naturaleza del sonido, pero que, si sólo se quería verificar las diferencias entre lo agudo y lo grave, “il suffit d’auoir vn Monochord d’vn, de deux, ou de trois pieds [...]”<sup>277</sup> A pesar que la figura sólo muestra el género Diatónico, Mersenne aclaraba que

---

<sup>276</sup> “[...] que se pueden redoblar y multiplicar tantas veces como se quiera [...]” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 32. La equivalencia es: 2.735 cm por cada pulgada de Mersenne y 32.8 cm por cada pie. Véase LENOBLE, Robert: *Mersenne ou la naissance du mécanisme*. París, J. Vrin, 1943, p. LXIII.

<sup>277</sup> “[...] basta con tener un monocordio de uno, dos o tres pies” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 17. Mersenne ha indicado que su ilustración corresponde a un monocordio Diatónico, pero nos asegura haber ejecutado un monocordio de 4 pies y que, dada estas dimensiones, le fue posible experimentar con los tres géneros [Diatónico, Cromático y Enharmónico] perfectamente. Véase MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 34.

[...] i'ay fait un Monochorde de quatre pieds, qui contient ces trois genres [Diatonic, Chromatic et de l'Harmonique] en perfection, desquels i'ay seulement pris le Diatonic pour le transporter en petit volumen sur cette figure [...]<sup>278</sup>

Si bien las dimensiones quedaban supeditadas al experimento a realizar, éstas, seguramente, intentaban encontrar paralelismos con las dimensiones de los instrumentos musicales de la época, como laúdes, guitarras, violines, violas o violonchelos. Las medidas de éstos se encontraban en los rangos de, aproximadamente, 1 pie, en el caso del violín; 2 pies, en el caso de un laúd, 3 pies en el caso de un violonchelo y 4 pies para el bajo de viola.<sup>279</sup> Estas medidas para un monocordio permitirían discernir entre lo grave y lo agudo, en clara similitud con los sonidos de los instrumentos de cuerda de la época.

*Caja.* Aunque en esta Proposición XII Mersenne no indicaba materiales para su monocordio, ya había indicado, en la anterior Proposición V [Demostrar todas las divisiones del monocordio y en consecuencia toda la ciencia de la música], que para la construcción del monocordio podría usarse cualquier madera, aunque su preferencia era “[...] le sapin, le cedre, & les autres bois resonants, don't l'on fait les Luths, les Violes, & les autres instruments.”<sup>280</sup> Con miras a obtener una mejor resonancia, Mersenne

---

<sup>278</sup> “[...] he hecho un monocordio de cuatro pies [131.2 cm], que contiene los tres géneros [Diatónico, Cromático y Enarmónico] a la perfección, de los cuales yo he tomado, solamente, el Diatónico para trasladarlo en pequeño tamaño para esta figura” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 34.

<sup>279</sup> Mersenne escribió sobre un bajo de viola de 4 pies y medio e, incluso, otros que podrían hacerse de 6 u 8 pies si se tuvieran los brazos suficientemente grandes para poder tocarlo, o si se dispusiera de “quelque artifice qui puisse suppler le mouvement des doigts de la main gauche, ou de celle que tient l'archet” [algún artificio que pudiese suplir el movimiento de los dedos de la mano izquierda, o de aquella que sujeta el arco] MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Quatriesme des Instruments*, p. 193.

<sup>280</sup> “[...] el abeto, el cedro y otras maderas resonantes, con las cuales se hacen laúdes, violas y otros instrumentos” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 17.

sugería hacer aberturas en la tabla o en los costados del monocordio, “semblable à la rose des Luths, ou à l’ouye des Harpes ou des Violes.”<sup>281</sup>

*Cuerdas.* Mersenne indicaba que podía ser usada cualquier tipo de cuerda y restaba importancia a ello, pero en su Proposición V recomendaba las de latón o de acero, puesto “qu’elles ne sont pas suiettes à tant d’alterations & de changement, [...]”<sup>282</sup>

### c) Método de utilización

Una vez descritas las características del instrumento, Mersenne procedía de inmediato a sugerir su mecanismo de utilización. No se encontraba aquí metodología alguna para subdividir la cuerda, puesto que ya el monocordio poseía las marcas halladas según cualquiera de los procedimientos explicados en las Proposiciones anteriores. El monocordio a presentar sería un instrumento ya terminado, calibrado y listo para su utilización experimental siguiendo estas fases, ahora resumidas:<sup>283</sup>

- Sea un monocordio de cualquier longitud o anchura, siempre y cuando haya sido construido según la ilustración, y sus marcas hayan sido trasladadas a su superficie.
- Coloque tres cuerdas –preferiblemente procedentes de un laúd o una espineta– que sean de una misma longitud, determinada por dos caballetes fijos, y ajústelas, arriba, a un clavo de hierro, y abajo, a una clavija.

---

<sup>281</sup> “[...] similar a la roseta de los laúdes, o los oídos de las arpas o las violas” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 34.

<sup>282</sup> “[...] que no están sujetas a tantas alteraciones y cambios [...]” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 17.

<sup>283</sup> Las siguientes fases son el compendio de lo que está expuesto, de manera continua, en la Proposición XII y sus dos Corolarios. Véase en MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, pp. 32-34.

- Utilice un pequeño caballete debajo de las cuerdas exteriores (AB y CD, ver **Fig. 51**, Pág. 225), y desplácelo a todo lo largo, para así acortar la cuerda y producir cualquier consonancia, disonancia o intervalo que se desee. La cuerda central no poseerá divisiones y siempre representará el sonido entero que se escucha “al aire”, contra las divisiones de las otras cuerdas exteriores.
- Utilice las clavijas para tensar o destensar, y colocar las tres cuerdas al unísono.
- Ejecute, de acuerdo con las marcas, las cuerdas exteriores contra la central, para producir los intervalos, en este orden, en forma de escala mayor ascendente:

- 10:9 | T m - tono menor

- 9:8 | T M - tono mayor

- 5:4 | 3ª M - tercera mayor

- 4:3 | 4ª J – cuarta justa

- 3:2 | 5ª J – quinta justa

- 5:3 | 6º M - sexta mayor

- 15:8 | 7ª M - séptima mayor

- 2:1 | 8ª J – octava justa

- Toque el resto de los intervalos, los cuales son réplicas de los anteriores.
- Ponga atención al intervalo 81:80, *coma sintónica*, que se produce entre los valores 1296 y 1180, que corresponden al tono mayor y el tono menor (letras D). Este intervalo solo está marcado en la primera octava.
- Experimente y compare los muchos sonidos que los caballetes producen en la cuerda AB con los producidos en la cuerda CD. A manera de ejemplo, considere que si el caballete en la cuerda DC produce el tono mayor, entonces produce, en el N° 1 de la cuerda AB, la ventidosena o triple octava justa. Igualmente, el

caballete que produce la decisetena mayor en el N° 17 de la cuerda AB, produce la tercera mayor, en la letra E, de la cuerda CD. En resumen, observe “[...] a la chorde entiere contre chaque chevalet, et chaque chevalet contre ce qui reste de la chorde.”<sup>284</sup>

- Halle sonidos que “[...] peuvent donner du plaisir.”<sup>285</sup>

Como se observa, no hay aquí deducción ni descubrimiento de los intervalos. El monocordio en esta proposición no ha servido para hallar las proporciones, sino que más bien, es testimonio *objetual* y *material* de lo que Mersenne ya había dado por hecho en sus proposiciones anteriores. En la figura se han escamoteado algunos intervalos importantes, como las consonancias de tercera menor y sexta menor, y las disonancias del tritono y séptima menor. Mersenne aseguraba haberlos colocado en los monocordios de mayores dimensiones mencionados anteriormente, que contenían los géneros Diatónico, Cromático y Enarmónico.<sup>286</sup>

Nótese también, que Mersenne no consideró la tensión –suspensión de pesos en las cuerdas para calibrar las alturas u otro mecanismo–, como variable para la producción de intervalos, puesto que “[...] bien qu’elles soient tenduës avec mesmes poids; et quand

---

<sup>284</sup> “[...] en la cuerda entera contra cada caballete, y cada caballete contra lo que resta de la cuerda” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 33. Como puede deducirse, Mersenne intentaba utilizar el monocordio para experimentar las proporciones *parte-todo*; *parte-resto* y *resto-todo*, que había venido sistematizando en las proposiciones anteriores.

<sup>285</sup> “[...] que pueden dar placer.” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 33.

<sup>286</sup> Véase Nota 278, Pág. 228. Aunque Mersenne no lo mencionara directamente, sería fácil experimentar estos intervalos al comparar las cuerdas exteriores AB y CD. Por ejemplo, colocando el caballete en la Letra E de la cuerda CD, y comparando con el otro caballete, colocado en el N°5 de la cuerda AB, se produce una tercera menor. Igualmente, colocando el caballete en la Letra F de la cuerda CD, y comparando con el otro caballete, colocado en el N°7 de la cuerda AB, se produce el tritono. Similares comparaciones pueden hacerse para el resto de intervalos.

elles seroient parfaitement égales, elles ne garderoient pas la raison des sons [...]”<sup>287</sup>

Puede interpretarse que, a pesar de que Mersenne estaba al tanto de las complejas variables que afectaban a la altura de la nota en el caso de una cuerda vibrante – humedad, temperatura, dimensiones y calidad, etc.–, la cuerda de su monocordio continuaba siendo asimilada a una línea, la cual, después de todo, no podía ser tensada o afinada; por lo menos, en el universo geométrico de la ciencia musical del siglo XVII. La tensión, y su asociación con la altura y la frecuencia, pertenecían a la era acústica que el propio Mersenne estaría contribuyendo a crear. Sin embargo, Mersenne no ha dudado en considerar el color tonal –timbre– como un elemento en la ejecución del monocordio, animando al lector a comparar cuerdas de tripa (como las del laúd) o cuerdas de metal (como las de la espineta). En este caso, los materiales no podían ser reducidos al mundo abstracto y geométrico y Mersenne se mostraba como un devoto de la música del siglo XVII y su bien conocido y colorido rango de sonoridades e instrumentos.

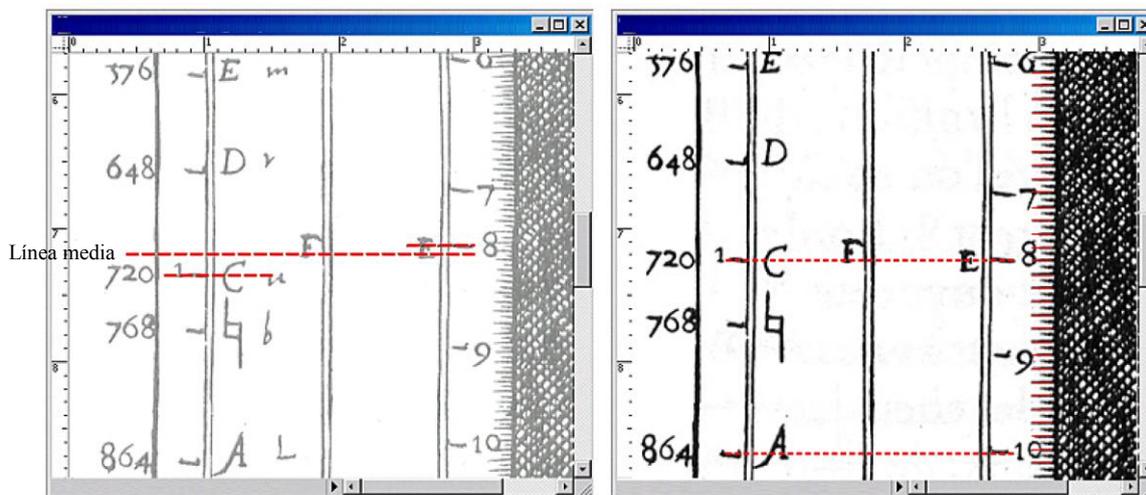
#### d) Reconstrucción virtual y aplicación multimedia

Con miras a escuchar, con la mayor precisión posible, los intervalos producidos, se ha realizado una aplicación virtual que da cuenta del monocordio de Mersenne. Para ello, primero, se digitalizó la ilustración mostrada en la Proposición XII (véase **Fig. 51**, Pág. 225), y una vez en el ordenador, con una regla digital se verificó la precisión y la exactitud de las marcas que Mersenne había colocado al margen derecho del instrumento. A pesar de que la ilustración de Mersenne era original, y no estaba construida sobre las tradiciones enciclopédicas mostrándose así alejada de todo tipo de simbolismo; fue mal dibujada. El propio Mersenne reconocía en el prefacio los abundantes errores de impresión de la obra, pero la inexactitud en la colocación de las marcas no se consideró una errata. En el siguiente par de imágenes se muestra, a la izquierda, la imagen original, remarcando las inexactitudes; y a la derecha, la imagen

---

<sup>287</sup> “[...] aunque estén tensadas con los mismos pesos y sean perfectamente iguales, no resguardarán la proporción entre los sonidos” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 15.

rectificada y el reajuste digital de la regla métrica que Mersenne colocaba al costado del instrumento.



**Fig. 52. A la izquierda, detalle del cuerpo central del monocordio de Mersenne según la ilustración original, marcando las diferencias en la octava central. A la derecha, ilustración rectificada digitalmente, unificando las marcas y corrigiendo la regla al margen.**

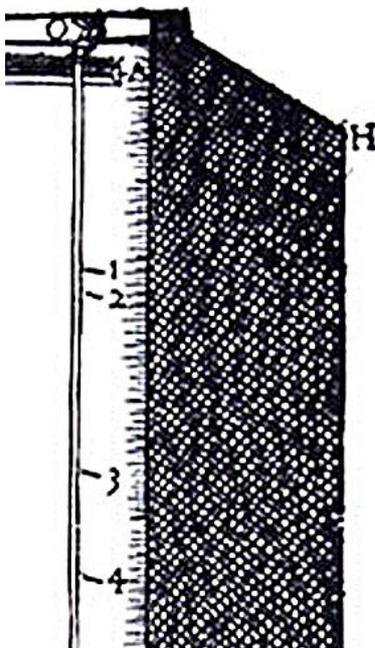
Como se observa, las marcas centrales, correspondientes con la proporción dupla 2:1 de la octava, no se encontraban centradas a la mitad, y además, diferían en las tres cuerdas. Las otras marcas estaban también ligeramente descolocadas. Mientras que la *coma sintónica* entre ambas letras D era bastante exacta, la octava en la letra C y el número 8, eran del todo incorrectos.<sup>288</sup> A pesar de que Mersenne había considerado tan esencial el uso de las imágenes, la figura se dibujó de manera inexacta, y ni el impresor ni el mismo Mersenne lo notaron, y si lo hicieron, no se dedicaron a corregirlo ni a escribir nada en las anotaciones manuscritas de su propia edición.<sup>289</sup> Para la reconstrucción –

<sup>288</sup> Otras reconstrucciones de instrumentos descritos por Mersenne muestran cómo han sido manejadas estas imperfecciones o informaciones fallidas. Véase ROBINSON, Trevor: “A Reconstruction of Mersenne's Flute”, en *The Galpin Society Journal*, 26 (1973), pp. 84-85.

<sup>289</sup> La hoja de la edición corregida por el propio Mersenne se muestra como sigue:

tanto virtual como material– se hizo necesario rectificar la imagen y recolocar las marcas –digitalmente hablando– a su posición exacta, según las proporciones numéricas que Mersenne había indicado en su texto. Una vez rectificada la imagen, se utilizó el software *Macromedia/Adobe DirectorMX*, para reconstruir, tanto el aparato como el proceso de su construcción, pudiéndose leer así, la Proposición XII en forma interactiva

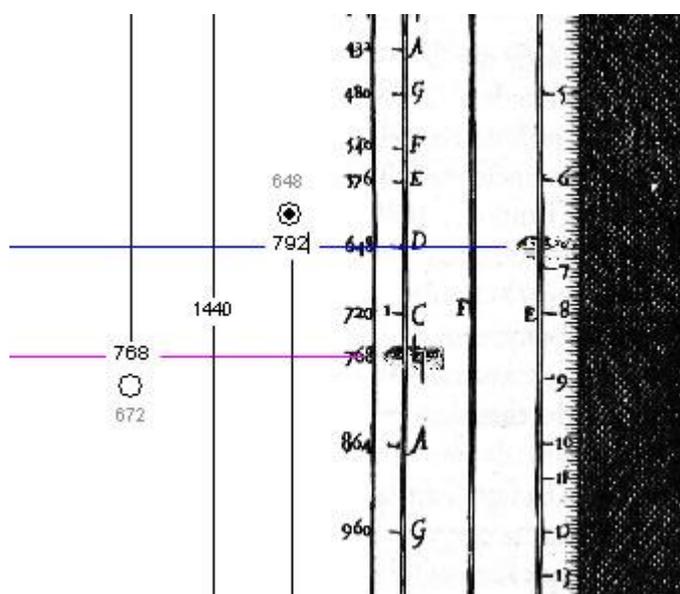
33



de savoir de ces 2 cordes peuvent  
 peut-estre faire par une raison  
 unques vuider fait son appert  
 Quant la douzieme, car estant  
 divisé en 4 la totale fait avec sa  
 moitié l'octave et avec la quarte la  
 15<sup>me</sup> et 3 parts sont contre une part  
 la douzieme.

En dicha nota dice lo siguiente: *Les recontres de ces 2 cordes peuvent, peut estre, servir pour trouver pouquoy une mesme chorde fait son proportion et puis la douzieme, car estant divisé en 4 la totale fait avec sa moitié l'octave et avec la quarte la 15<sup>me</sup> et 3 parts sont contre une part la douzieme.* Lo anterior puede traducirse como sigue: “Las proporciones de estas 2 cuerdas pueden, quizá, servir para hallar el porqué una misma cuerda hace su proporción y luego la docena, puesto que estando dividida en 4, la totalidad hace la octava con su mitad, y la quincena con la cuarta, y 3 partes contra una parte, la docena.” [Agradecimiento especial a Claudio Buccolini por el análisis del manuscrito y su lectura, a petición mía, en el Seminario “Mersenne and the mixed mathematics”. Barcelona, Universidad Pompeu Fabra, Mayo 2006].

y multimedia.<sup>290</sup> Las clavijas en este monocordio “virtual” permiten ajustar la tensión de las cuerdas y, un “click” al lado derecho o izquierdo de la clavija, “tensan” o “destensan”, respectivamente, la cuerda. Si se deseara afinar las tres cuerdas al unísono, bastaría pulsar con un “doble click” sobre cada clavija para colocar las cuerdas en una tensión –virtual, por supuesto– que produce un Do<sup>3</sup>, 261,62 Hz (Do central del piano moderno de 88 teclas). Una vez que el usuario ha seleccionado un tipo de cuerda y las ha afinado al unísono, puede ahora ajustar los valores sonoros y matemáticos mediante el desplazamiento del caballete, o introduciendo directamente los valores numéricos.



**Fig. 53. Detalle de la reconstrucción virtual y su interfase para colocar valores de manera numérica.**

Finalmente, se dispone de una lupa digital para obtener mayor precisión, y se ha colocado un resumen, a manera de guía visual, para ubicar todas las proporciones que Mersenne ha investigado a través de sus Propositiones V a VIII, es decir, desde la proporción 2:1 hasta la proporción 161:1. A continuación, se coloca la imagen del estadio final del multimedia:

---

<sup>290</sup> Todo este proceso se muestra en el CD anexo y en el sitio web ya mencionado, [www.calderon-online.com/tesis-doctoral](http://www.calderon-online.com/tesis-doctoral).



### e) Reconstrucción material

Con miras a experimentar con más detalle la capacidad de este instrumento, se ha realizado una reconstrucción material, apegados a las instrucciones que dejara escritas Mersenne. Para ello, se contactó con el *luthier* Ramon Elias i Gavernet, especialista en construcción de instrumentos antiguos.<sup>291</sup> A continuación una imagen del instrumento y su acabado final:



**Fig. 55. Aspecto final de la reconstrucción material del monocordio según Mersenne.**

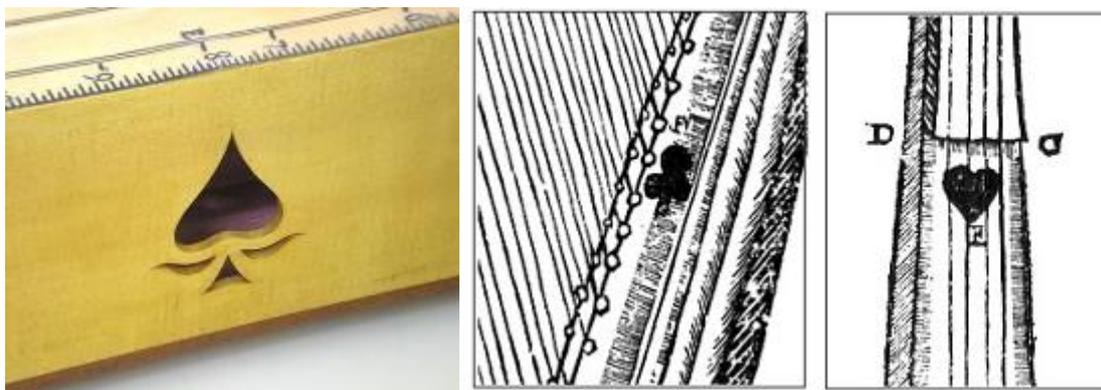
---

<sup>291</sup> Ramon Elias Gavernet. *Luthier*. Graduado como Técnico y Especialista en *Liutaio*, 2003, por el Istituto Professionale Internazionale per l'Artigianato Liutario e del Legno "Antonio Stradivari" I.P.I.A.L.L. Cremona, Italia. Gavernet tiene su taller en Altet (a 120 kms de Barcelona, España). Para contactar: [ramoneg@telefonica.net](mailto:ramoneg@telefonica.net). En el ya mencionado CD y sitio web [www.calderon-online.com/tesis-doctoral](http://www.calderon-online.com/tesis-doctoral) el lector puede observar un video que narra las fases y el proceso de esta reconstrucción, para la cual se han seguido las instrucciones de Mersenne lo más exactamente posible.

Se ha construido un monocordio de 72 cm de longitud de cuerda, dado el valor de 1440 unidades que Mersenne coloca al margen derecho de su ilustración. El número 72 es divisor simple de 1440 y permite que las marcas sean fácilmente transferibles. Además, 72 cm es equivalente a la medida de 2,20 pies –según la medida del pie utilizado por Mersenne– y también es la dimensión promedio de los laúdes, instrumento de cuerda que con más frecuencia se ejecutaba en la época.

Se seleccionó como madera el abeto, tanto para los lados como para la tapa superior. Para la tapa inferior se seleccionó el cedro. Estas piezas fueron encoladas utilizando “des petites tranches de velin”, tal como Mersenne describía brevemente en la construcción de laúdes, y tal como eran los procedimientos propios del siglo XVII.<sup>292</sup>

Respecto a las aberturas sugeridas por Mersenne para lograr una mejor resonancia, el *luthier* realizó un diseño propio semejante a las aberturas que se muestran en otros instrumentos del libro de Mersenne.



**Fig. 56. Comparación de la abertura diseñada por el *luthier* para el monocordio de Mersenne, con las aberturas del arpa y el violín, denominado por Mersenne: *Poche* y, expuestas en el *Harmonie Universelle*. MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Second des Instruments*, p. 171 y p. 178.**

---

<sup>292</sup> “[...] unas pequeñas tiras de vitela [pergamino]”. Véase “Proposition II. Expliquer la maniere dont il faut construire le Luth et la Pandore, et tout les autres instrumens qui luy sont semblables, comme il le faut monter en perfection, et comme l'on peut cognoistre si les chordes sont bonnes.” [Proposición II. Explicar la manera en la cual debe construirse el Laúd y la Pandora, y todos los otros instrumentos que le sean similares, cómo deben ensamblarse a la perfección, y cómo puede reconocerse si las cuerdas son buenas”], en MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Second des Instruments*, p. 49.

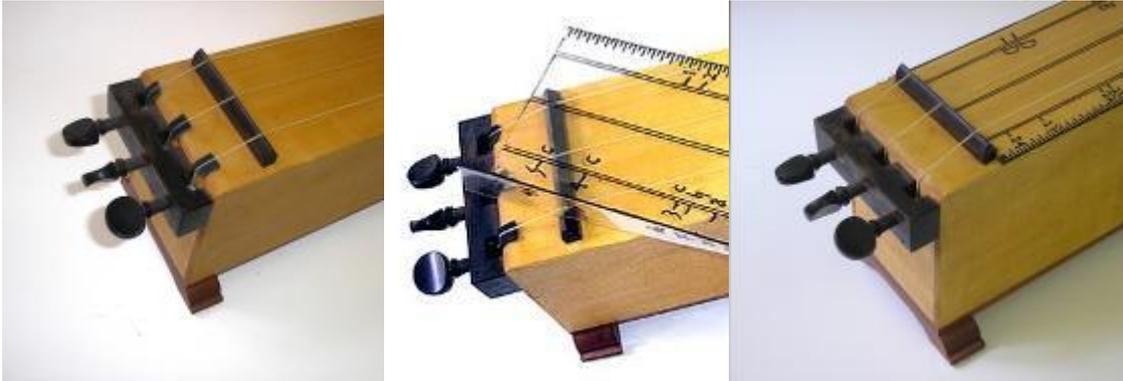
Se seleccionaron cuerdas de tripa, tal como si fueran a ser utilizadas en un laúd de dimensiones similares. Las tensiones a que estarían sometidas serían tales que producirían un sonido Sol<sup>2</sup> a 196,00 Hz (nota más grave del violín). Siguiendo la ilustración de Mersenne, las cuerdas fueron fijadas a un clavo de hierro (como el utilizado en las espinetas), y a las clavijas, tal como se aprecia en la siguiente imagen:



**Fig. 57. Detalle de la fijación de las cuerdas a los clavos. [Antes de llegar la cuerda a las clavijas, se ha colocado un pequeño trozo fino de cuero para proteger la tripa del roce directo con la madera].**

El caballete y las clavijas fueron hechos del acostumbrado material de ébano y, como elemento adicional, el *luthier* elaboró un par de patas que sirven de soporte al instrumento y permiten la máxima resonancia. Estas patas fueron elaboradas al estilo “francés”, con su curvatura y su corte inclinado. Aunque Mersenne no hiciera mención alguna al acabado o barnizado, se aplicó un barniz transparente con un mínimo toque de color.

Una vez construido el instrumento, se amplió a 72 cm la imagen rectificadora y fue impresa en una lámina transparente de acetato –al igual que en la reconstrucción del monocordio de Zarlino– para colocar fácilmente en la tapa superior del monocordio, tal como se aprecia en las siguientes imágenes.



**Fig. 58. Detalles de la utilización de la lámina transparente de acetato con sus marcas rectificadas.**

Esta hoja transparente sirve como guía –sin afectar la sonoridad del instrumento ni su desnuda materialidad–, y puede ser superpuesta o intercambiada con otras, permitiendo así hacer comparaciones entre diferentes subdivisiones de la cuerda.

Una vez afinadas las tres cuerdas en unísono y colocada en su lugar la hoja transparente con sus marcas, la ejecución del monocordio se percibe harto correcta. A diferencia de los monocordios de Ramos de Pareja y Zarlino, que eran secos y menos resonantes, la octava resuena como consonancia perfecta, e igualmente las quintas y cuartas “justas”. La comparación con la cuerda central facilita la percepción armónica de los intervalos y tanto terceras como sextas muestran su consonancia en su “justa” proporción. Las diferencias entre tono menor y mayor, junto a la *coma sintónica*, son también perfectamente audibles y reconocibles. Las notas agudas son menos resonantes, pero son igualmente discernibles. En resumen, el monocordio de Mersenne funciona correctamente, hasta tal punto que si se prescindiera de la hoja transparente, se haría fácil reconstruir las consonancias y las proporciones armónicas, dada su resonante sonoridad. Además de otorgar el *plaisir* prometido por Mersenne, sin duda, se está delante de un instrumento que permite discernir entre la consonancia y sus umbrales psicoacústicos con mucha mayor precisión.

\* \* \*

- *Otras observaciones sobre la experimentación en la reconstrucción material*

El desplazamiento del caballete se hace de manera tan fácil, que apenas se pulsa la cuerda suceden dos cosas: *a)* el caballete vibra y golpetea la tabla, lo que hace necesario mantenerlo fijo con la mano para evitar el “traqueteo”; *b)* si después de pulsar la cuerda se mueve inmediatamente el caballete –sea acortando o alargando, la longitud de la cuerda vibrante–, se escucha con gran facilidad y de manera muy perceptible la infinita sucesión de sonidos producto del movimiento. Mersenne se había expresado acerca de este tipo de “infinito”, cuando hablaba de la música de violas y violines, los cuales eran capaces de mostrar “[...] vne infinité de sons moyens entre le graue & l’aigu, il ya pareillement vne infinité de couleurs entre le blanc & le noir.”<sup>293</sup>

Más adelante en su *Livre Quatriesme des Instruments*, añadía que el violín

[...] contient toutes les interualles imaginables, qui son puissance sur son manche, lequel est semblable à la premiere matiere capable de toutes formes & figures, n’y ayant nul point sur la touche du Violon qui ne fasse vn son particulier: d’où il faut conclure qu’elle [i.e. la touche] contient vne infinité de sons differents, comme la chorde, ou la ligne contient vne infinité de points, & consequemment qu’elle peut estre appellé *Harmonie vniverselle*.<sup>294</sup>

De esta cita, se deduce que Mersenne habría manejado un concepto de infinito asociado al sonido, al color y a la geometría. Está claro que antes del siglo XVII la cuerda no era considerada como un *continuum* y esto puede confirmarse cuando Ramos de Pareja escribía claramente que

---

<sup>293</sup> “[...] una infinidad de sonidos intermedios entre lo grave y lo agudo, de igual manera que hay una infinidad de colores entre el blanco y el negro” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 14.

<sup>294</sup> “[...] contiene todos los intervalos imaginables que están en potencia en su mástil, al igual que la primera materia, capaz de todas las formas y figuras, y no hay ningún punto en el mango del violín que no produzca un sonido particular. Así, podemos concluir que contiene infinidad de sonidos distintos, como la cuerda o la línea, que posee una infinidad de puntos; por lo tanto puede llamársele la *Harmonie Universelle*” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Quatriesme des Instruments*, pp. 180-181.

Humana vox duplex est: quaedam continua, quaedam vero discreta. Continuae voces sunt, quando communi fine iunguntur, ut, si quis nervum percutiat et percutiendo torqueat, eveniet, ut in principio gravius sonet et continuo magis acuatur;[...] sicut etiam in gemitu accidit infirmorum [...] De talibus autem, ut verbis Boetii loquar, nolumus nos tractare, quoniam ab harmoniae scientia separantur. Discretae vero voces proprios habent locos. Igitur et soni instrumentorum discreti et voces harmonicae subiiciuntur arti.<sup>295</sup>

Es decir, para finales del siglo XV, la consideración de un *continuum* sonoro quedaba fuera de toda consideración y por ello en aquél monocordio de Ramos de Pareja “vero perfecto multa loca sunt, in quibus transitus in cantu evitandus est.”<sup>296</sup> Por su parte, Zarlino lo expresaría escribiendo que, si bien en su monocordio se encontraban en forma verdadera y natural todas las consonancias, los músicos prácticos temperaban los sonidos de sus instrumentos, quedando “[...] fuori delle loro forme, o proportioni vere [...]” y que dicha práctica del temperamento “[...] sia stata introdutta a caso, et non studiosamente.”<sup>297</sup>

Puede entonces interpretarse que esta *Harmonie Universelle*, asociada a un “infinito” sonoro, descansa sobre una cuerda que ha sido reconsiderada, no como un segmento jerarquizado o discreto, sino como un *continuum* con toda su infinidad, y por eso, en ella no hay lugares prohibidos, ni no-racionalizados. Esta naturaleza sonora “infinita”, percibida ahora con facilidad, será condición requerida para la subsecuente Proposición

---

<sup>295</sup> “La voz humana es doble: una continúa, otra discreta. Son continuas las voces cuando se unen en un límite común, como si uno pulsa un nervio y pulsándolo lo estira: ocurrirá que al principio suena más grave y de modo continuo se hace más agudo [...] como ocurre también en el gemitu de los enfermos [...] Más de tales casos, por emplear palabras de Boecio, no queremos nosotros tratar, porque están al margen de la ciencia de la armonía. En cambio las voces discretas tienen sus lugares propios.” RAMOS [1482] 1990, p. 41.

<sup>296</sup> “verdadero y perfecto, hay muchos lugares, que hay que evitar cantar” RAMOS [1482] 1990, p. 124.

<sup>297</sup> “[...] fuera de su forma o verdadera proporción [y que dicha práctica del temperamento] había sido introducida por suerte y no studiosamente” ZARLINO [1558-1588] p. 145.

XIV, la cual señalaba “[...] un autre monochord plus vtile & plus aysé” donde, según Mersenne, se ha puesto la exactitud más grande que podía imaginarse.<sup>298</sup>

### 3.5 El “otro” monocordio de Mersenne

Como es sabido, hacia comienzos del siglo XVII no existía un método numérico o matemático exacto para crear medias geométricas que involucrara el cálculo aritmético con números irracionales. Algunas aproximaciones se lograron a través del instrumento mecánico-geométrico llamado *mesolabio*, que ya fuera discutido ampliamente en el Apartado 2.4 y el Apéndice 5.3. Mersenne desechó el uso del aparato mecánico-geométrico y procedió a averiguar los valores según los números calculados por Jean Beaugrand.<sup>299</sup> Las aproximaciones numéricas, es decir, once números irracionales incluidos entre los números 100.000 y 200.000 se mostraban en la siguiente tabla:

---

<sup>298</sup> “[...] otro monocordio mas útil y más fácil [...]” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 37.

<sup>299</sup> Jean Beaugrand (\*París?, 1595; †*Ibid?*, 1640). Alumno del reconocido matemático François Viète (\*Fontenay-le-Comte, 1540; †París, 1603), fue matemático oficial de la corte del Duque Gastón de Orleans, hacia 1630. La poca información que se tiene de él, proviene de las cartas que cruzara con otros personajes de mayor relevancia histórica como Descartes, Fermat y el propio Mersenne, a quien visitara en su celda en París entre 1634 y 1637; justamente, los años de preparación y publicación de la *Harmonie Universelle*. Mersenne se refiere a Beaugrand en dos oportunidades como “tres-excellent Geometre”. Véase MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 37 y *Livre Quatriesme des Instruments*, p. 202.

13	g	100,000.
12	xf	$\sqrt{cccc}$ . 2, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000.
11	F	$\sqrt{cc}$ . 2, 000000, 000000, 000000, 000000, 000000, 000000.
10	E	$\sqrt{qq}$ . 2, 0000, 0000, 0000, 0000, 0000.
9	xd	$\sqrt{c}$ . 2, 000, 000, 000, 000, 000.
8	D	$\sqrt{cccc}$ . 32, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000.
7	xc	$\sqrt{q}$ . 2, 00, 00, 00, 00, 00.
6	C	$\sqrt{cccc}$ . 128, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000.
5	h	$\sqrt{c}$ . 4, 000, 000, 000, 000, 000.
4	B	$\sqrt{qq}$ . 8, 0000, 0000, 0000, 0000, 0000.
3	A	$\sqrt{cc}$ . 32, 000000, 000000, 000000, 000000, 000000, 000000.
2	xg	$\sqrt{cccc}$ . 2048, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000, 000000000000.
1	G	200, 000.

Fig. 59. *Monochorde Harmonique d'egalité composé d'onze nombres moyens proportionnels irrationels* [Monocordio armónico de igualdad compuesto de once números medios proporcionales irracionales]. Esquema, en notación matemática del siglo XVII, para las raíces del cálculo de las medias proporcionales entre los valores 100.000 y 200.000. MERSENNE [1636] 1965, vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p.38.<sup>300</sup>

Es posible reescribir la tabla anterior, en notación moderna, como sigue:

<sup>300</sup> La notación musical utilizada por Mersenne supone que:

- $\sqrt{q}$  significa  ${}^2\sqrt{\quad}$  (raíz cuadrada)
- $\sqrt{c}$  significa  ${}^3\sqrt{\quad}$  (raíz cúbica)

siendo entonces,  $\sqrt{qq} = {}^4\sqrt{\quad}$ ;  $\sqrt{cc} = {}^6\sqrt{\quad}$ ;  $\sqrt{cccc} = {}^{12}\sqrt{\quad}$

Veáse CAJORI, Florian: *A history of mathematical notations*. New York, Dover, 1993, p. 369.

		Notación científica	Media proporcional	
13	g	100000	$12\sqrt{(2^0) \times 10^5}$	100000,0000
12	xf	$12\sqrt{(2 \times 10^{60})}$	$12\sqrt{(2^1) \times 10^5}$	105946,3094
11	F	$6\sqrt{(2 \times 10^{30})}$	$12\sqrt{(2^2) \times 10^5}$	112246,2048
10	E	$4\sqrt{(2 \times 10^{20})}$	$12\sqrt{(2^3) \times 10^5}$	118920,7115
9	xd	$3\sqrt{(2 \times 10^{15})}$	$12\sqrt{(2^4) \times 10^5}$	125992,1050
8	D	$12\sqrt{(32 \times 10^{60})}$	$12\sqrt{(2^5) \times 10^5}$	133483,9854
7	xc	$2\sqrt{(2 \times 10^{10})}$	$12\sqrt{(2^6) \times 10^5}$	141421,3562
6	C	$12\sqrt{(128 \times 10^{60})}$	$12\sqrt{(2^7) \times 10^5}$	149830,7077
5	h	$3\sqrt{(4 \times 10^{15})}$	$12\sqrt{(2^8) \times 10^5}$	158740,1052
4	B	$4\sqrt{(8 \times 10^{20})}$	$12\sqrt{(2^9) \times 10^5}$	168179,2831
3	A	$6\sqrt{(32 \times 10^{30})}$	$12\sqrt{(2^{10}) \times 10^5}$	178179,7436
2	xg	$12\sqrt{(2048 \times 10^{30})}$	$12\sqrt{(2^{11}) \times 10^5}$	188774,8625
1	G	200000	$12\sqrt{(2^{12}) \times 10^5}$	200000,0000

Tabla 4. Medias proporcionales en función de raíces duodécimas y exponentes del 0 al 12. En la última columna, los valores exactos con aproximación de cuatro decimales.

Finalmente, el resultado fue expresado en la siguiente tabla con cinco columnas.

*Monochorde ou Diapason des touches*

I	II	III	IV	V
a	100,000.	c.	100,000.	n
xg	105946	h	105945	m
G	112246	b	112245	l
xf	118921	A	118920	k
F	125993	xg	125992	i
E	133481	G	133480	h
xd	141422	xf	141421	g
D	149830	F	149829	f
xc	158741	E	158740	e
C	168179	xd	168178	d
h	178172	D	178171	c
b	188771	xc	188770	b
A	200,000.	C	200,000.	

Fig. 60. Tabla con los valores hallados por Beaugrand para las medias proporcionales.

MERSENNE [1636] 1965, vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p.38.

En las columnas I, III y V, Mersenne colocó diferentes notas y letras –en orden alfabético–, para indicar que es indiferente donde se inicie la secuencia, dado que todos los semitonos son iguales. La columna II y IV, mostraban aproximaciones (en una unidad, tanto por defecto, como por exceso) al factor de multiplicación para estas medias proporcionales –número irracional–, cuyo valor exacto se aproxima a:

$$^{12}\sqrt{2} = 1,0594630943592952645618252949463\dots$$

Al compararla con el cálculo correcto, se tiene lo siguiente:<sup>301</sup>

*Monochorde ou Diapason des touches*

	I	II	III	IV	V	
100000,0000	a	100,000.	c.	100,000.	n	100000,0000
105946,3094	xg	105946	#	105945	m	105946,3094
112246,2048	G	112246	b	112245	l	112246,2048
118920,7115	xf	118921	A	118920	k	118920,7115
125992,1050	F	125993	xg	125992	i	125992,1050
133483,9854	E	133481	G	133480	h	133483,9854
141421,3562	xd	141422	xf	141421	g	141421,3562
149830,7077	D	149830	F	149829	f	149830,7077
158740,1052	xc	158741	E	158740	e	158740,1052
168179,2831	C	168179	xd	168178	d	168179,2831
178179,7436	#	178172	D	178171	c	178179,7436
188774,8625	b	188771	xc	188770	b	188774,8625
200000,0000	A	200,000.	C	200,000.		200000,0000

Fig. 61. Comparación de los números de Beaugrand con el cálculo correcto. En rojo aquellos que permiten observar el mayor rango de error de Beaugrand.

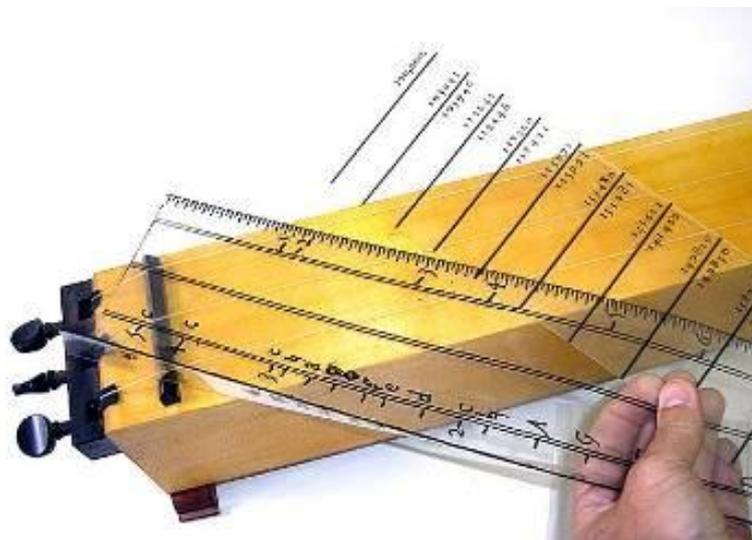
Los pequeños errores de cálculo de Beaugrand muestran una variación que se percibe en las unidades de cienmiles. Este rango de error puede considerarse mínimo, lo que permite afirmar que los números de Beaugrand son una aproximación bastante exacta

<sup>301</sup> Recuérdese que Mersenne ha utilizado números en el orden de los cienmiles, por lo tanto, el factor de multiplicación es  $^{12}\sqrt{2} \times 10^5 = 105946,309435929\dots$

para dichas medias proporcionales. El propio Mersenne lo sabía y, por ello, escribió que dichos números, no eran ni muy exactos ni justos, pero:

[...] ils en approchent neantmoins si pres qu'ils ne manquent pas d'une cent-milliesme partie, laquelle est bien loin au delà des sens: c'est pourquoy l'on peut les prendre pour les vrayes lignes moyennes proportionnelles, et les accommoder aux touches du Luth et des autres instrumens.<sup>302</sup>

No obstante la ausencia de una imagen explícita para este monocordio, se ha realizado otra lámina transparente de acetato con los nuevos valores, trasladados de la manera más precisa posible. Esta nueva hoja permite visualizar las diferencias y calibrar las sonoridades, al comparar con las subdivisiones previas.



**Fig. 62. Láminas transparentes de acetato marcadas para los monocordios presentados por Mersenne en la Proposición XII y XIV del *Livre Premier des Instruments*.**

\* \* \*

---

<sup>302</sup> “[...] ellos se aproximan, no obstante, tan cerca, de manera que no fallan más de una cienmilésima parte, lo que está muy lejos de los sentidos: por eso se pueden tomar como las verdaderas líneas medias proporcionales y colocarlas en los mástiles del laúd y otros instrumentos” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p.38.

La Proposición XV titulada: “Determiner de combien les interualles du Monochorde d'egalité sont moindres, ou plus grands que ceux du Monochorde Harmonique, et si l'oreille peut en appercevoir les differences”, es la última dedicada al monocordio.<sup>303</sup> Mersenne mostró allí una tabla aún más resumida y dedicada a “qui n'ayment pas les grands nombres.”<sup>304</sup>

C 1000	
<del>x c</del> 944	1,059322
D 891	1,059484
<del>x d</del> 842	1,058195
E 794	1,060453
F 750	1,058667
<del>x f</del> 708	1,059322
G 668	1,059880
<del>x g</del> 630	1,060317
A 595	1,058824
B 562	1,058719
<del>x</del> 531	1,058380
C 500	1,062000

**Fig. 63. Simplificación de la tabla de medias proporcionales.**

**A la derecha se coloca el factor de multiplicación resultante.**

**MERSENNE [1636] 1965, vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 41.**

Como se observa, dicha tabla reducía el rango a los números 500 y 1000, y las medias proporcionales constaban de sólo tres números. Nótese que el factor de multiplicación varía entre cada media proporcional y que, igualmente, difieren con el factor exacto

$${}^{12}\sqrt{2} = 1,059463\dots$$

No obstante, Mersenne escribía:

<sup>303</sup> “Proposición XV. Determinar cuántos intervalos del Monocordio de igualdad son menores, o más grandes que aquellos del Monocordio Armónico, y si el oído puede percibir las diferencias” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 39.

<sup>304</sup> “[...] a quien no le gusten los números grandes.” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 41.

Cette diuision du manche des instrumens de Musique n'est pas nouvelle, puis que tous les Facteurs, et ceux qui les touchent en usent ordinairement sans en sçavoir la raison; de sorte que l'on peut dire que les nombres precedens, qui respondent aux 11 moyennes proportionnelles, ne sont autre chose que ce qui se pratique sur le manche du Luth et de la Viole.<sup>305</sup>

Queda claro que Mersenne estaba “racionalizando”, al igual que Ramos de Pareja y Zarlino, la práctica musical y el artificio de los constructores, pero lo importante es reconocer que dicho juicio “racional”, quedaba, finalmente, anclado al juicio sensible de los prácticos. Mersenne aseguraba que, al experimentar con este monocordio, podía observarse que sus intervalos, en especial las quintas,

[...] n'offensent nullement l'oreille, comme l'on experimentera perpetuellement, [...], la difference des deux sons qu'elle [la Quinte] fera ne sera pas sensible, ou du moins elle n'offencera nullement l'oreille.<sup>306</sup>

Dados estos números, y al ejecutar el monocordio de temperamento igual con la nueva lámina transparente, puede estarse de acuerdo con Mersenne –como lo están los oídos contemporáneos occidentales– que esa división funcionaba

[...] sans offenser l'oreille: dont il n'est pas besoin de parler plus au long, [...]<sup>307</sup>

Queriendo culminar las disputas manifestando “no hablar más del asunto” Mersenne, con tan sólo pasar una página, habría eliminado siglos de discusiones –matemáticas y metafísicas– en torno a la armonía, y habría también, aceptado el temperamento igual.

---

<sup>305</sup> “Esta división del mástil de los instrumentos de música no es nueva, puesto que todos los constructores, y aquellos que los tocan, la usan ordinariamente sin conocer su razón, de manera que puede decirse que los números precedentes, que responden a las 11 medias proporcionales, no son otra cosa que lo que se practica sobre el mástil del laúd o de la viola.” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 40.

<sup>306</sup> “[...] no ofenden en nada el oído, como se puede experimentar perpetuamente, [...] la diferencia de dos sonidos que producirá [la quinta], no será sensible, o por lo menos, no ofenderá en nada al oído” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 40.

<sup>307</sup> “[...] sin ofender al oído: por lo tanto no hay más necesidad de hablar de ello, [...]” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 41.

Todo ello, partiendo de la matemática de los irracionales, la consideración de la cuerda como un *continuum* sonoro de posiciones infinitas y manteniéndose ajeno a toda especulación pura o mental, es decir, experimentando e investigando en un aparato material, sonoro y resonante.

### 3.6 Monocordio y *an-aesthesis*

Después de la anterior Proposición XV, Mersenne asignó diversos usos al monocordio, que permitirían demostrar *que la preocupación estética de índole cualificativa dió paso a la investigación científica de carácter descriptivo, cuantitativo y predictivo*. Diversas proposiciones y argumentaciones, permiten vislumbrar una actitud teórico-experimental cuyo punto de partida no era la búsqueda de las razones del placer o de la belleza, sino el conocimiento de la naturaleza y su compleja red de variables y propiedades. La consonancia como concepto asociado a lo agradable al oído, dejaría así de poseer un interés como motor de la investigación y el conocimiento que produciría el monocordio se liberaría de consideraciones estéticas. Con ello el instrumento entraría en lo que se ha denominado *an-aesthesis*, es decir, un espacio de investigación donde lo sensible persiste, pero ha dejado de estar asociado a la belleza o al arte.

La primera de estas argumentaciones, que se han denominado aquí “anestésicas”, estaba expuesta en la Proposición XVI, cuyo largo encabezado era: “Determiner quelle est la force de toutes sortes de chordes, quelque longueur ou grosseur qu'elles puissent avoir; et trouver quelle est l'estenduë de leurs sons depuis le premier ou le plus grave iusques au plus aigu; par consequent donner le poids necessaire pour rompre chaque chorde donnée: de plus, trouver le poids qui donne une esgale tension à toutes sortes de chordes, ou différentes tensions selon la raison donnée.”<sup>308</sup> En suma, Mersenne

---

<sup>308</sup> “Proposición XVI. Determinar cuál es la fuerza de todos los tipos de cuerda, cualquiera que sea la longitud o grosor que puedan tener; y hallar cuál es la extensión de sus sonidos desde el primero o más grave, hasta el más agudo; en consecuencia, dar el peso necesario para romper cada cuerda dada: además, hallar el peso que produce una tensión igual para todo tipo de cuerdas, o las diferentes tensiones, según la razón [proporción] dada” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 42.

calculaba aquí las tensiones que soportaban las cuerdas según el material, longitud, grosor y la relación con los sonidos a producir. Estas experiencias –según Mersenne– se hicieron rigurosamente observando *toutes les circonstances* necesarias para el tema, y para ello se experimentaría con cuerdas de oro, plata, hierro, cobre y latón, de dos maneras: suspendidas con un cuerpo pesado en el extremo, a manera de péndulo, o como “[...] les chordes d'un Monochorde couché parallèle à l'horizon.”<sup>309</sup> Mersenne buscaba tensar la cuerda, hasta romperla, para obtener así información de la cualidad y morfología –longitud y grosor– de los metales que la conformaban y gobernaban su resistencia. En otro experimento, Mersenne comparaba cuerdas con diferentes longitudes, grosores y tensiones, pero colocadas todas al unísono para establecer las relaciones numéricas que posibilitaban esta igualdad sonora o ecuación acústica.

Se hace evidente que ambos experimentos no investigaban, ni el sonido ni el tono (sea grave o agudo, ni mucho menos si es agradable o desagradable al oído). En resumen, romper las cuerdas o utilizar el unísono como rasero de las variables físicas, eran actos que, a todas luces, podían interpretarse como “anestésicos”, en la medida en que *la belleza, entendida como lo agradable al oído, ni interesaba, ni como causa ni como efecto, ni como fundamento ni como meta.*

En las proposiciones siguientes –XVII a XX<sup>310</sup>– Mersenne se dedicó a lo que para él era una de las dificultades *plus grandes de la Musique* es decir, cuantificar las vibraciones –

---

<sup>309</sup> “[...] las cuerdas de un monocordio acostado paralelo al horizonte” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 43.

<sup>310</sup> Los títulos de dichas proposiciones giran todas en torno al problema de los *retours* o *tremblements*, tal como sigue: *Proposition XVII. Determiner en quelle proportion se diminuent les retours, et les tremblemens des chordes.* [Determinar en qué proporción disminuyen los retornos, y las vibraciones de las cuerdas]. *Proposition XVIII. Determiner qu'elle est la durée des retours ou tremblemens de chaque corde, et en qu'elle raison la durée de l'une est à celle de l'autre.* [Determinar cuál es la duración de los retornos o vibraciones de cada cuerda, y en qué razón [proporción] la duración de una es a la otra]. *Proposition XIX. Quelles sont les utilitez que l'on tire des mouvemens precedens pour la Medecine, pour les Mathematiques, et pour plusieurs autres choses.* [Cuáles son los usos que pueden extraerse de los movimientos precedentes para la Medicina, para las Matemáticas, y para muchas otras cosas].

*retours et tremblements*— de la cuerda, sea suspendida o fija entre dos puntos. Mersenne investigó tanto el número y proporción de vibraciones entre diversas cuerdas de un monocordio, como la disminución de dichas vibraciones y los usos que de ello podía derivarse en otras disciplinas. En el caso de la cuerda suspendida con un peso colocado al extremo —a manera de péndulo—, Mersenne enumeró, en la Proposición XIX, los siguientes usos: medicinales (como referencia para comparar las variaciones del pulso de un enfermo); astronómicos (medir la duración de un eclipse) y para la relojería (el diseño de relojes con péndulo de precisión).

Contar las vibraciones le parecía a Mersenne la tarea *plus grand et difficile* de la Música, dado lo imperceptible del fenómeno. Por ello, sus experimentos adquirieron dimensiones gigantescas para adecuarse a los sentidos humanos. En el *Livre Troisième des Instruments* expuso que:

[...] si l'on estend une chorde d'Epinette ou de Luth de 100, ou de 120 pieds, comme i'ay fait, l'on trouvera que chaque retour de cette chorde se fait dans vne seconde, [...] <sup>311</sup>

Esta experimentación, con cuerdas de aproximadamente 30 m, demuestran, claramente, que *el fenómeno ya no era ni musical ni estético, pero aún más, tampoco interesaba como experiencia sonora*. Queda claro que 1 Hz es, absolutamente inaudible, y lo que

---

*Proposition XX. Determiner le nombre des tours et retours de chaque chorde suspenduë par vn bout, et libre de l'autre, auquel vn poids est attaché; et combien il faut qu'elle soit plus longue pour faire ses retours plus tardifs selon la raison donnée.* [Determinar el número de idas y retornos de cada cuerda suspendida por un extremo y liberada del otro, en el cual se fija un peso; y cuán largo hace falta que sea para hacer que sus retornos sean lo más tardíos, según una razón [proporción] dada]. Véase MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, pp. 42-44?. En esta parte del libro hay una errata en la compaginación del libro. Las proposiciones anteriores conforman, en total, las once últimas páginas del *Livre Premier des Instruments*.

<sup>311</sup> “[...] si se extiende una cuerda de Espineta o Laúd de 100, o de 120 pies, como yo he hecho, se encontrará que cada vibración de dicha cuerda se hace en un segundo” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Troisième des Instruments*, p. 150.

interesaba a Mersenne era el comportamiento de la cuerda como mero *fenómeno ondulatorio*. De todas maneras, la ampliación del fenómeno le permitía concluir que

[...] la moitié de la mesme chorde fait deux retours en une seconde, que le quart en fait 4, la huitiesme partie 8, la seiziesme 16, la 32, trente deux, et ainsi des autres, car le nombre de ces retours croist en mesme raison que la longueur de la chorde se diminuë [...] <sup>312</sup>

Esta última cuerda de treinta y dos vibraciones, tendría una dimensión aproximada de 3,20 pies –105 cm–, medida cercana a un laúd o una tiorba, lo cual podía producir un sonido Do<sup>1</sup> de 32 Hz, en los umbrales de la música instrumental.

Esta liberación de los aspectos sensibles auditivos –ya no sólo estéticos, sino psicofísicos–, alcanza su cota máxima cuando Mersenne, confiado en su capacidad descriptiva y de cálculo, predice que bastaría con una tabla numérica para que un hombre sordo afinara un instrumento de cuerdas. La Proposición VII del *Livre Troisiesme des Instruments*, se tituló: "Un homme sourd peut accorder le luth, la Viole, l'EpINETTE, et les autres instrumens à chorde, et treuver tels sons qu'il voudra, s'il cognoist la longueur, et la grosseur des chordes: de là vient la Tablature des sourds." <sup>313</sup> Es decir, dado entonces un material, y tres variables físicas (longitud, grosor y tensión), se habría terminado por configurar la *ley de la frecuencia* para lo que *ninguno requiere de sensibilidad auditiva, ni musical ni estética*.

---

<sup>312</sup> “[...] la mitad de la misma cuerda [50 o 60 pies] hace dos vibraciones en un segundo, que la cuarta parte en 4, la octava parte en 8, la décimosexta en 16, la 32, treinta y dos, y así las otras, puesto que el número de vibraciones crece en la misma proporción que la longitud de la cuerda se disminuye [...]” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Troisiesme des Instruments*, p. 150.

<sup>313</sup> “Proposición VII. Un hombre sordo puede encordar [afinar] el laúd, la viola, la espineta y otros instrumentos de cuerda, y hallar los sondios que el quiera, si conoce la longitud y el grosor de las cuerdas: de allí procede la Tablatura de los sordos” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Troisiesme des Instruments*, p. 123.

### Tablature harmonique pour les sourds.

Les 8 sons, ou notes de l'Octave.		Les 7 degrez de l'Octave.		Table I.			Table II.		Table III.			Table IV.			
				La tension des chordes proportionnées selon la raison doublée des intervalles.			La grosseur des chordes proportionnée selon la raison simple des intervalles.		La longueur des chordes proportionnées selon la raison simple des intervalles.			*La Tension des chordes proportionnées selon la raison simple des intervalles.			
		livres.	onces.	gros.	grains.	de ligne	parties	dixièmes.	pieds.	pouces.	lignes.	livres.	onces.	gros.	grains.
1	VT	1	0	0	0	10			4	0	0	2	0	0	0
	ton mi.														
2	RE	1	4	15	54	9			3	7	2 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	1	12	12	58
	ton mai.														
3	MI	1	10	9	0	8			3	2	4 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	1	9	9	43
	fem. mai.														
4	FA	1	14	3	32	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>			3	0	0	1	8	0	0
	ton mai.														
5	SOL	2	6	4	0	6 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>			2	8	0	1	5	5	24
	ton mi.														
6	RE	2	14	3	32	6			2	4	9 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	1	3	3	14
	ton mai.														
7	MI	3	11	12	18	5 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>			2	1	7 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	1	1	1	5
	femi. maj.														
8	FA	4	4	0	0	5			2	0	0	1	0	0	0

Fig. 64. Tablatura armónica para los sordos.

MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Troisième des Instruments*, p. 125.<sup>314</sup>

Nótese las correcciones experimentales que agrega Mersenne –fácilmente notables en el puesto 8 de la octava de la Tabla por un valor de 4 onzas– que compensan la pérdida por fricción con los elementos que sostienen los pesos aplicados en un monocordio.<sup>315</sup>

<sup>314</sup> Nótese, en el paso del puesto 5 al 6, de la primera columna, la mutación sol = ut que permite completar la escala de ocho notas a través del esquema de hexacordos según la tradición impuesta desde tiempos de Guido d'Arezzo. Véase *supra*, Nota 164, Pág. 116 una breve descripción de dicha técnica.

<sup>315</sup> Aunque Mersenne no lo especifica, dicha fricción podía provenir del uso de pequeñas poleas o del roce con los caballetes de los monocordios.

Para la confección de dicha tabla, Mersenne se basó en nueve reglas que dan cuenta de diversas combinaciones que pueden existir entre el grosor, la longitud y la tensión a la que pueden estar expuestas dos cuerdas, sean para estar al unísono u otro intervalo (especialmente la octava). A pesar que Mersenne considerara que dicha tabla era “[...] si facile qu’il n’est pas besoin de l’expliquer”<sup>316</sup>, a continuación, se han separado y reconstruido en forma de tres tablas, dado que su sencillez no es evidente. Para ello, se han utilizado las instrucciones que el propio Mersenne indicara para su uso, totalizando, siempre, la longitud en *pieds*, la tensión en *livres*, y el grosor en *lignes* e, igualmente, añadiendo el valor final en unidades físicas modernas (gr y mm).<sup>317 318</sup>

---

<sup>316</sup> “[...] tan fácil que no es necesario explicarla.” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Troisième des Instruments*, p. 125.

<sup>317</sup> Se mantienen aquí las unidades seleccionadas por Mersenne, en sus términos originales franceses dada la dificultad de traducirlos al castellano y algunos de ellos estar en desuso. Para Mersenne, la *livre* contiene 16 *onces*, ésta contiene 8 *gros*, éste contiene 3 *deniers*, y éste 24 *grains*, por lo tanto cada *livre* es equivalente a 9216 *grains*. Véase “Proposition XVI - Corollaire II” en, MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Septième Des Instrumens De Percussion*, p. 30. En el caso de las medidas de longitud Mersenne indica que el *piéd du Roy* se divide en 12 *pouces*, y éstas en 12 *lignes*, por lo tanto cada *piéd* es equivalente a 144 *lignes*. Véase “Proposition I – Corollaire” en, MERSENNE [1636] 1965, Vol. I, *Livre second des mouuemens de toutes sortes de corps*, p. 88. Según Lenoble, la *livre de Paris* puede estimarse en 490 gr, por lo tanto, cada *grain* equivale, aproximadamente, a 18,81 gr. Por otro lado, si cada *piéd du Roy* lo estima Lenoble en 32,8 cm, y cada uno posee 12 *pouces* estimadas en 2,735, entonces, cada *ligne* podría equivaler, entre 2,22 y 2,279 mm. Para la tabla se utilizará un valor promedio de 2,25 mm. Véase LENOBLE, Robert: *Mersenne ou la naissance du mécanisme*, París, J. Vrin, 1943, p.LXIII.

<sup>318</sup> Con miras a poder comparar con más claridad, los valores de estas tablas, se ha optado por colocar las sílabas correspondientes a los sonidos (en la columna I) según las normas del solfeo moderno. *Cfr.* con Nota 314.

1. Si las cuerdas son iguales en longitud y grosor, se proporciona la tensión (totalizada en gramos). Para el caso de cuerdas iguales con 4 pies de longitud y un grosor de 1 línea, se tendría:

		longitud		grosor		tensión	
		<i>pies</i>	mm	<i>lignes</i>	mm	<i>livres</i>	gramos
1	<b>DO</b>	4	1296,0	1	2,250	<b>1,00</b>	<b>490,00</b>
2	<b>RE</b>	4	1296,0	1	2,250	<b>1,37</b>	<b>672,79</b>
3	<b>MI</b>	4	1296,0	1	2,250	<b>1,70</b>	<b>830,70</b>
4	<b>FA</b>	4	1296,0	1	2,250	<b>1,90</b>	<b>931,94</b>
5	<b>SOL</b>	4	1296,0	1	2,250	<b>2,41</b>	<b>1179,06</b>
6	<b>LA</b>	4	1296,0	1	2,250	<b>2,90</b>	<b>1421,94</b>
7	<b>SI</b>	4	1296,0	1	2,250	<b>3,78</b>	<b>1853,77</b>
8	<b>do</b>	4	1296,0	1	2,250	<b>4,25</b>	<b>2082,50</b>

2. Si las cuerdas son iguales en longitud y tensión, se proporciona el grosor (totalizado en mm). Para el caso de cuerdas iguales con 4 pies de longitud y una tensión de 1 libra, se tendría:

		longitud		tensión		grosor	
		<i>pies</i>	mm	<i>livres</i>	gramos	<i>lignes</i>	mm
1	<b>DO</b>	4	1296,0	1	490,00	<b>1,00</b>	<b>2,250</b>
2	<b>RE</b>	4	1296,0	1	490,00	<b>0,90</b>	<b>2,025</b>
3	<b>MI</b>	4	1296,0	1	490,00	<b>0,80</b>	<b>1,800</b>
4	<b>FA</b>	4	1296,0	1	490,00	<b>0,75</b>	<b>1,687</b>
5	<b>SOL</b>	4	1296,0	1	490,00	<b>0,62</b>	<b>1,395</b>
6	<b>LA</b>	4	1296,0	1	490,00	<b>0,60</b>	<b>1,350</b>
7	<b>SI</b>	4	1296,0	1	490,00	<b>0,53</b>	<b>1,192</b>
8	<b>do</b>	4	1296,0	1	490,00	<b>0,50</b>	<b>1,125</b>

3. Si las cuerdas son desiguales en longitud, grosor y tensión, y se proporcionan el grosor y las longitudes de las tablas anteriores, se debe aplicar la siguiente tensión (totalizada en gramos).

		longitud		grosor		tensión	
		<i>pieds</i>	mm	<i>lignes</i>	mm	<i>livres</i>	gramos
1	<b>DO</b>	4,00	1296,0	1,00	2,250	<b>2,00</b>	<b>980,00</b>
2	<b>RE</b>	3,59	1166,4	0,90	2,025	<b>1,85</b>	<b>906,52</b>
3	<b>MI</b>	3,20	1036,8	0,80	1,800	<b>1,64</b>	<b>802,36</b>
4	<b>FA</b>	3,00	972,0	0,75	1,688	<b>1,50</b>	<b>735,00</b>
5	<b>SOL</b>	2,66	864,0	0,62	1,395	<b>1,35</b>	<b>663,54</b>
6	<b>LA</b>	2,40	777,6	0,60	1,350	<b>1,21</b>	<b>594,10</b>
7	<b>SI</b>	2,13	691,2	0,53	1,199	<b>1,07</b>	<b>524,72</b>
8	<b>do</b>	2,00	648,0	0,50	1,125	<b>1,00</b>	<b>490,00</b>

Al separar la información en tres tablas, se observa claramente su funcionamiento y, en especial, la conversión a valores métricos modernos da una idea de las dimensiones exactas que manejaba Mersenne. Como se observa, se utilizaron, para estas experimentaciones, cuerdas entre aproximadamente, 130 y 65 cm, con grosores entre 2,25 y 1,12 mm, y utilizando pesos entre 2.08 kg y 490 gr.

De las descripciones de los experimentos y los datos recogidos en las tres tablas, puede configurarse la célebre *Ley de la Frecuencia*, tal como la concibiera Mersenne. Así, de la experiencia en el monocordio ya se deducía que al disminuir a la mitad una cuerda se obtenía la proporción doble de octava, y también, que al disminuir a un cuarto, se obtenía la proporción cuádruple, de donde los “retornos” o “temblores” –*retours* o *tremblements* –es decir la frecuencia  $f$ – pueden expresarse así:

$$f \propto \frac{1}{L}$$

La frecuencia  $f$  es inversamente proporcional a la longitud  $L$  de la cuerda.

Igualmente, de la primera Tabla (si se desprecian las correcciones), se deduce que, para obtener la proporción doble (octava) entre dos cuerdas (sin cambiar ni su longitud ni su grosor), debía cuadruplicarse la tensión de la cuerda; de donde:

$$f \propto \sqrt{T}$$

La frecuencia  $f$  es proporcional a la raíz cuadrada de la tensión  $T$ , aplicada a la cuerda.

De la segunda Tabla, se deduce que para obtener la octava, entre dos cuerdas de igual longitud y tensión, habría que disminuir el diámetro a la mitad, lo que significa, igualmente, disminuir la relación de áreas de la sección de ambas cuerdas, en cuatro veces, de donde:

$$f \propto 1/\sqrt{d}$$

La frecuencia  $f$  es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del diámetro  $d$  de la cuerda.

Al combinar las tres deducciones se obtiene

$$f \propto \frac{1}{L} \sqrt{\frac{T}{d}}$$

en donde no se observan variables o constantes relacionadas con el tipo de material ni alguna de sus características, sea masa o densidad. A este respecto, Mersenne realizó cálculos y los recogió en su *Neufiesme Regle* (Novena Regla), dedicada a cuerdas de diversos materiales (oro, plata, cobre o acero). Mersenne pudo deducir de sus experimentos que

[...] l'or fait la Quarte en bas avec celle d'argent, que celle d'argent fait le ton maieur avec l'acier, qui fait le semi-ton maieur en haut avec celle de cuiure, laquelle fait le Triton avec l'or, qui fait la Quinte avec l'acier.<sup>319</sup>

A pesar de dar suficiente importancia a los materiales, Mersenne no llegó a relacionar, con exactitud cuantitativa, el concepto *densidad* como variable. Sigalia Dostrovsky, en su reconocido ensayo “Early vibration theory” de 1975, discute en detalle las nueve

---

<sup>319</sup> “el oro produce la cuarta por debajo con la[cuerda] de plata, que la de plata produce el tono mayor con la de acero, que, a su vez, produce el semitono mayor ascendente respecto a la de cobre, la cual produce el tritono con la de oro, que produce la quinta con la de acero” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Troisième des Instruments*, p. 125.

reglas expuestas por Mersenne y guía al lector, para, finalmente, incluir la variable *densidad* y remarcar el deseo de Mersenne por conocer las causas de la verdad de dichos valores.<sup>320</sup> A pesar de que, tanto la tabla como las mencionadas reglas, no están en notación algebraica, Dostrovsky las analiza para deducir la que es, actualmente, considerada una de las primeras leyes de la ciencia moderna: la *Ley de la Frecuencia*, cuya notación matemática es, incluyendo la densidad del material, como sigue:

$$f \propto \frac{1}{L} \sqrt{\frac{T}{\sigma\rho}}$$

donde  $f$  es frecuencia,  $L$  es longitud,  $T$  es tensión,  $\sigma$  es el diámetro de la sección de la cuerda, y  $\rho$ , una constante propia del material asociada a su densidad.<sup>321</sup>

Tanto Dostrovski como H. F. Cohen<sup>322</sup>, han rastreado este proceso por medio del cual se gestó el moderno concepto de *frecuencia*, a partir de las cartas que cruzaran Beeckman, Descartes y Mersenne. Los historiadores de la ciencia coinciden en otorgar a Mersenne la paternidad de dicha ley, en especial por haberla publicado en 1636, en la *Harmonie Universelle*. Dostrovsky sugiere que es un descubrimiento tardío, y el culpable sería, de hecho, el monocordio, que habría

---

<sup>320</sup> DOSTROVSKY, Sigalia: “Early vibration theory: Physics and music in the Seventeen Century”, en *Archive for History of Exact Sciences*, 14 (1975), pp. 169-218.

<sup>321</sup> La ley de la frecuencia, tal como se conoce hoy día y se expone en los libros universitarios de física, se enuncia de la siguiente manera:

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

donde  $\mu$  es masa por unidad de longitud y  $n$  permite obtener las frecuencias naturales para  $n= 1, 2, 3, \dots$  siendo 1 la frecuencia fundamental y el factor  $1/2$  que supone la vibración como un ciclo completo de “ida y regreso”. Véase SERWAY, Raymond: *Física*. Vol 1. México, International Thompson Editores, 2005, p. 554.

<sup>322</sup> Cfr. “Chapter 4: The mechanistic approach”, en COHEN, Hendrik Floris: *Quantifying music. The science of music at the first stage of the scientific revolution, 1580-1650*. Dohrdrecht, Kluwer Academic Publishers, 1986, pp. 115-179.

[...] quantified pitch so well that it may have made the discovery of frequency more difficult.<sup>323</sup>

Pero la dificultad de este descubrimiento no debe adjudicarse a la precisión del monocordio, sino a la fenomenología estética que lo gobernaba desde la Antigüedad. Como se ha sugerido, a los filósofos naturales les interesaba cuantificar la consonancia como fenómeno estético, y para ello el monocordio era idóneo y preciso. Por ello, sólo una mentalidad interesada en los mecanismos de la naturaleza, más que en la contemplación de su belleza, pudo utilizar el mismo monocordio para descubrir la ley que gobernaba el fenómeno. Por estas mismas razones –que se han denominado aquí “anestésicas”–, puede interpretarse que Mersenne enunciara su siguiente Proposición VIII, titulada “Que l’on peut sçavoir la grosseur, et la longueur des chordes sans les mesurer, et sans les voir, par le moyen des sons.”<sup>324</sup> Es, sin duda, complemento de aquella proposición dedicada al “hombre sordo”, pero ahora, sin medir y sin ver –un “hombre ciego”, seguramente– se podrían conocer las dimensiones de una cuerda vibrante. Es decir, dado un sonido, un hombre ciego podría predecir si proviene de oro, plata, o tripa y, a la vez, ofrecer las posibles dimensiones para una hipotética cuerda. Con esto, la teoría armónica habría quedado definitivamente reducida, “anestésicamente” hablando, a *un modo de relaciones e interconexiones de las variables naturales*: sin adjetivos calificativos, sin categorías del gusto y, sin fruición estética alguna.

Huelga agregar que dicho hombre, “sordo” o “ciego”, no necesariamente sería alguien insensible al fenómeno estético u otras manifestaciones artísticas; no obstante, lo importante a destacar es que, para Mersenne, *cualquier hombre* no necesitaría de la *audición* ni la *visión* como fenómeno sensible para afinar un instrumento de cuerda.

---

<sup>323</sup> “[...] cuantificado los tonos [sus alturas] tan bien, que pudo haber hecho el descubrimiento de la frecuencia más difícil.” DOSTROVSKY, Sigalia: “Early vibration theory: Physics and music in the Seventeen Century” en *Archive for History of Exact Sciences*, 14 (1975). New York, Springer-Verlag, p.184.

<sup>324</sup> “Proposición VIII. Que se puede saber el grosor y la longitud de las cuerdas sin medirlas y sin verlas, por medio de los sonidos.” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Troisième des Instruments*, p.126.

Puede interpretarse que Mersenne ha querido –retóricamente– persuadir al lector con la paradoja de tomar al “excluido” del disfrute de un arte –el sordo, el ciego–, como alguien que puede ser “incluido” en el tipo de saber que el propio Mersenne construía, a saber: la naciente ciencia moderna.

\* \* \*

Alejado entonces el monocordio del placer sonoro y de la experiencia estética, quedaba orientado como instrumento científico destinado a la descripción, el cálculo y la predicción de las variables físicas. Sólo bajo estos criterios puede comprenderse que Mersenne considerara ahora que su monocordio sería capaz de servir como instrumento meteorológico, *v.g.*, un barómetro, puesto que

L'Experience fait voir que les chordes de la Viole montent plus haut en temps humide que quand le temps est sec, [...] c'est à dire, si quand vne chorde monte plus haut d'une Tierce maieure, dont la raison est de 4 à 5, l'air est plus humide d'une quatriesme partie qu'il n'estoit deuant; [...] <sup>325</sup>

Aunque este “monocordio-barómetro” aún participaba de la música, también era posible “anestetizarlo” aún más (colocando pesos en la cuerda), y utilizarlo sin preocupación sonora alguna, puesto que

[...] on verra les differents degrez de l'humidité par les differentes elevations du poids, comme on recognoist les differents degrez de lumiere, & de chaleur par les differentes elevations du Soleil [...] <sup>326</sup>

---

<sup>325</sup> “La experiencia hace ver que las cuerdas de una Viola [cuerdas de tripa] tienden a subir más alto cuando el tiempo es húmedo, que cuando es seco [...] [y] esto quiere decir, que cuando una cuerda se sube más de una Tercera mayor, cuya razón es de 4 a 5, el aire es una cuarta parte más húmedo que como estaba antes [...]” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Troisième des Instruments*, p.130.

<sup>326</sup> “[...] pueden verse los diferentes grados de humedad por las diferentes elevaciones de peso, como se reconocen los distintos grados de luz y de calor por las diferentes elevaciones del Sol [...]” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Troisième des Instruments*, p.132.

Las observaciones sobre el estiramiento y encogimiento de las cuerdas, según la humedad del ambiente, fueron extrapoladas por Mersenne hacia la ingeniería –*la volonté des Ingeniers*– que podían servirse de estas propiedades para conocer que

[...] les chordes, dont on use pour sonner les cloches, sont plus courtes à l'hyuer qu'à l'esté, ce qui arrive semblablement à celles qui sont suspenduës aux voulttes des Eglises pour abbaïsser les lampes [...]<sup>327</sup>

Estas citas mostraban nuevas tareas (totalmente independientes de fenomenología estética musical alguna), sea la meteorología o la ingeniería para levantar pesos. Nada en estas proposiciones finales se refería al placer o a la belleza del sonido. El interés en el hecho físico en sí de la cuerda que vibra, hizo que la *antigua armonía* cediera el paso a la *moderna acústica*. Puede verse en esas páginas la transición que partía de una *filosofía natural* –la **Música**– hacia una temprana *ciencia moderna* –la **Acústica**–, como un proceso que incorporaba una *an-estetización* de los juicios filosóficos. Conforme la experiencia sensible daba paso, de lleno, a la cuantificación descriptiva experimental y predictiva, Mersenne y sus monocordios ya no describían una cuerda que vibraba “agradablemente al oído”, sino una cuerda que, simplemente, era una “vibración” según sus variables físicas y matematizables. Así pues, las razones físicas producirían sonidos, y el monocordio podía convertirse en barómetro –u otra cosa–, puesto que la compleja red interconectada de fenómenos y variables físicas así lo permitiría. Al hacerlo, el hombre sordo y el ciego –que ya se habían alejado de la belleza musical y ejercían de afinadores numéricos–, podrían convertirse en meteorólogos o ingenieros, y con ello se habría abandonado definitivamente el mundo musical y artístico.

---

<sup>327</sup> “[...] las cuerdas, que se usan para hacer sonar las campanas, son más cortas en invierno que en verano, y lo que ocurre igualmente, a las que son suspendidas de las bóvedas de las Iglesias para bajar las lámparas [...] MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Troisième des Instruments*, p. 132.

### 3.7 Conclusiones particulares

Al revisar las diversas subdivisiones de los monocordios de Mersenne, ha podido notarse cómo el aspecto sonoro y estético fue, progresivamente, quedando de lado conforme avanzaba la investigación filosófica y científica.

Al inventariar este proceso, puede recordarse que la primera subdivisión se inició con una metodología exclusiva de tipo *parte-resto*, que generó una escala no entonable. Se obtenían, eso sí, las fracciones correctas, pero el monocordio dejaba de ser un objeto que sirviera de inmediato para la enseñanza de la entonación. Ya este primer monocordio, si bien atento a la consonancia y la armonía, resultaba alejado de antiguas prácticas pedagógicas, mnemotécnicas, retóricas o dialécticas.

La segunda y tercera subdivisiones agregaban el apoyo numérico basado en el número 8, y el recurso de divisiones a mitades, de manera continuada. Eran, sin duda, recursos de cierto cariz retórico y mnemotécnico, que recordaban a Ramos de Pareja y Zarlino – un *octonario* en vez de *senario*–; pero Mersenne se encargó de otorgarle un sentido más bien “económico”, es decir, conseguir una “vía rápida” para hallar las proporciones con pocos gestos y heurística superior. Mersenne hizo los debidos “malabares gestuales” que al intentar convertirlos en aspectos práctico-instrumentales obligaban al uso de caballetes dobles o triples, además de un monocordio adicional en donde ir trasladando las proporciones obtenidas, a fin de poder ejecutar una escala correcta.

En sus siguientes dos subdivisiones, el método *parte-resto-todo* se convirtió en una auténtica tabla sistemática –ver *supra*, **Fig. 64**, Pág. 254– de “todas las formas posibles” de consonancias y disonancias, útiles o no. Con esto, el camino hacia la *an-aesthesis* había quedado ya marcado. Esta tabla, que presentara Mersenne, como resumen de “toda la ciencia musical”, estaba basada en el número 3600 y permitía ubicar el complejo mundo de todas las proporciones armónicas para mediados del siglo XVII. Finalmente, alejados de toda numerología, las proporciones quedaron “encapsuladas” en otra tabla, cuyo desdén por la experiencia sensible declaraba que una persona sorda podía afinar el laúd, la viola, la espineta y otros instrumentos de cuerda, para así obtener

los sonidos que quisiera, siempre y cuando conociera la longitud y el grosor de las cuerdas. La música había trascendido, así, la esfera completa de lo sensible; que un hombre sordo afinase el laúd –aunque no pudiera ejecutarlo– era una muestra de conformidad con los procedimientos científicos, que se habrían tornado, ahora, *predictivos*. El número habría sustituido totalmente a la experiencia sonora estética, y así, para Mersenne, la sorda tabla numérica parecía más valiosa para la ciencia de la música, que un ejecutante sin ella –por más experimentados que fueran sus buenos oídos–.

Si lo anterior pudiera parecer una caricaturización, lo que se quiere decir es que Mersenne transitaba de un mundo que cualificaba y describía emociones sensibles, a un mundo que cuantifica y racionaliza las percepciones físicas en forma de juicios filosóficos matemáticos, que no poseen ni adjetivos ni adverbios calificativos. Interesaba ahora el cómo la cuerda vibra y no el porqué emociona. La causa y la razón de la belleza no serían ahora el fin de la investigación, sino, más bien, el desentrañar la naturaleza del mecanismo de la realidad física. Así pues, las viejas proporciones armónicas, que una vez hablaron sobre la belleza, la moral, los astros y muchas cosas más, ahora no garantizaban nada, salvo el hecho desnudo de la vibración. El antiguo y bien afinado universo gobernado por el Dios de Kepler, que “no hace nada sin belleza geométrica”, se desvanecía, para convertir las proporciones armónicas en la simple y eficiente *ley de la frecuencia*. Sin embargo, esto no significa que Mersenne haya olvidado la vía estética; sólo se ha querido precisar que la proposición científica ha sido *an-estetizada*, dado que, tal vez, como dijera J. Needham,

If the scientist passes the beauty [of Nature] by, it is only because he is entranced by the mechanism.<sup>328</sup>

El efecto “hipnótico” que sugiere Needham estaría trabajando, y la cuantificación de los efectos musicales como realidades físicas, y no exclusivamente estéticas, puede

---

<sup>328</sup> “Si el científico deja de lado la belleza [de la Naturaleza], es sólo porque ha quedado maravillado [encantado, hipnotizado] por el mecanismo.” NEEDHAM, Joseph *et alii*: *Science and civilization in China*. Vol.2, Cambridge, Cambridge University Press, 1954, p. 431.

considerarse como una de las grandes contribuciones de la música y el monocordio al nacimiento de la ciencia moderna. No hay pesadumbre en Mersenne por este “desencantamiento” del mundo. Cuando Allistair Crombie sugiriera que esta nueva ciencia musical del siglo XVII estaba

[...] tailoring ancient philosophical ambitions to the possible, the testable and the soluble [...] <sup>329</sup>

lo que hacía, más bien, era deshilar esa fusión. El monocordio de Mersenne no cuantificaba la especulación metafísica, sino que más bien la disolvía y transmutaba en la materialidad de la red de variables físicas.

En la búsqueda de las razones del placer musical, los sonidos ayudaron a Mersenne a conectar el mundo sensible con el inteligible, a través de la naturaleza material de un objeto: el monocordio. A mediados del siglo XVII, una vez que el placer se hubo satisfecho y los afectos cesaron, se desarrolló la investigación moderna de Mersenne. En este proceso, el monocordio estuvo siempre presente, y en el caso de su “pequeña caja de madera”, acabó por convertirse, simultáneamente, en *cuna* de la ciencia moderna y *sarcófago* de las ambiciones filosóficas de la armonía y todas sus derivaciones metafísicas. Todo ello, de manos de un personaje que era, igual y simultáneamente, físico y metafísico; espiritualista religioso y materialista científicista; esteta y an-esteta.

\* \* \*

Puede afirmarse que el monocordio de Mersenne es un objeto, decididamente, afín a los *philosophical apparatus*, en la medida que resguardaba verdades –tradicionales y modernas–, y que mantenía sus funciones prácticas como instrumento matemático para la afinación de instrumentos musicales. A pesar de encontrarse en una de las más poderosas recopilaciones didácticas, como la *Harmonie Universelle*, se ha demostrado

---

<sup>329</sup> “[...] fundiendo las antiguas ambiciones metafísicas con lo posible, lo experimentable y lo resoluble [...] CROMBIE, Allistair: “Science of Music”, en *Styles of scientific thinking in the European tradition*. Vol. 2. London, Duckworth, 1994, p. 786.

que, por su morfología y su metodología de utilización, no estaba orientado exclusivamente a la enseñanza del canto ni a las demostraciones didácticas. Su razón de ser era *resguardar el conocimiento para la memoria de los hombres*, y en ese sentido, se emparentaba históricamente con el monocordio retórico-memorístico de Ramos de Pareja. A su vez, al ser lugar donde colocar previas deducciones lógicas, aritméticas y geométricas de las consonancias propias de la llamada “afinación justa”, se convertía en un aparato de verdades necesarias, que lo emparentaba con el monocordio “apodíctico” de Zarlino. Sin embargo, amparado en la consideración de la cuerda como un *continuum* y la matemática de los irracionales, pudo convertirse en asiento del temperamento igual, que expandía y culminaba la “dialéctica” que iniciara Zarlino con su temperamento mesotónico. Finalmente, al concentrarse Mersenne en la red de dimensiones físicas que lo gobierna –longitud y grosor de la cuerda–, y la red de variables físicas que lo rodea –materialidad y tensión, temperatura y humedad–, se permitió liberarlo de las funciones exclusivamente estéticas, para catapultarlo hacia la búsqueda de verdades naturales. Fruto de la experimentación con el monocordio sería la *ley de la frecuencia*, considerada, junto a las proporciones armónicas pitagóricas, los dos momentos fundacionales del razonamiento físico-matemático y científico.

Por ello, puede concluirse que la historiografía, que separa instrumentos de conocimiento de aquellos que resuelven problemas prácticos, no debe aplicarse a un monocordio como el de Mersenne. La actividad filosófica de este monocordio se inició tras una doble-verdad, afincada tanto en la práctica musical como en la teoría matemática, pero las verdades finalmente encontradas –ajenas a preocupaciones estéticas–, colocaron al instrumento en el umbral del nacimiento de la ciencia moderna. El monocordio de Mersenne mostraba, aún, a la música como un saber en su doble condición de ciencia-arte, pero, a la vez, en su último estadio, como filosofía natural: era una música que, como disciplina filosófica, simultáneamente, abandonaba la búsqueda de causas para entregarse a los instrumentos científicos y los modelos matemáticos capaces de describir, cuantificar y prever los fenómenos: *v.g.*, su monocordio.

## 4 CONCLUSIONES GENERALES

Entre los propósitos principales de esta investigación se incluía la revisión del panorama bibliográfico e historiográfico de los instrumentos científicos en torno a los siglos XV, XVI y XVII con miras a reivindicar el monocordio como perteneciente a dicha categoría y no como mero instrumento musical inserto exclusivamente en los intereses de la musicología. Se ha demostrado que tanto la historiografía de la ciencia tradicional como la moderna se habrían referido al monocordio como un objeto afín a la ciencia – desde la Antigüedad al Renacimiento–, pero sus descripciones siempre fueron muy escuetas y carentes de profundidad, en comparación con la importancia adscrita a sus descubrimientos. Al igual que las recientes publicaciones de autores como Wardhaugh y Creese,<sup>330</sup> la presente investigación asumió la científicidad de dicho instrumento; pero se concentró en un lugar y período no trabajado por aquéllos –el continente europeo de los siglos XV al XVII–, en el cual el monocordio adquirió un papel protagonista en la construcción de una ciencia musical moderna. Allí donde musicólogos como Meyer y Herlinger<sup>331</sup> consideraban los comienzos del siglo XV como frontera final del pitagorismo y por ende de un supuesto monocordio auténtico, se ha intentado demostrar que, justamente, allí se inició un desarrollo intenso de las potencialidades de descripción, cálculo y experimentación predictiva de dicho dispositivo.

A continuación se presentan las conclusiones generales en referencia directa a lo expuesto en la Introducción de esta investigación, a saber: *a)* respecto al panorama historiográfico revisado; *b)* según las fuentes primarias y secundarias consultadas, junto a los análisis, experimentaciones y conclusiones particulares alcanzadas en cada

---

<sup>330</sup> WARDHAUGH, Benjamin: *Music, Experiment and Mathematics in England, 1653-1705* (2008) y CREESE, David: *The Monochord in Ancient Greek Harmonic Science* (2010).

<sup>331</sup> MEYER, Christian: *Mensura Monochordi: la division du monocorde* (1996). HERLINGER, Jan: “Medieval canonic” (2002).

monocordio; y, finalmente, c) respecto al balance general de esta temática y la hipótesis propuesta.

#### 4.1 Respecto al panorama historiográfico planteado

*En torno al término ‘instrumento científico’.* El análisis de cada uno de los monocordios seleccionados, tanto en sus características como en su funcionamiento, demostró el modo en que estos aparatos se expandían hacia los tres ámbitos propios de los instrumentos científicos de los siglos XV, XVI y XVII: como dispositivos que sirvieron para la búsqueda y salvaguarda de verdades filosóficas propias de su época; como aparatos de utilidad práctica para los profesionales que los utilizaban y, a su vez, como potentes recursos pedagógicos para la transmisión y salvaguarda del conocimiento.

Según el debate historiográfico, los instrumentos musicales –si son entendidos como recursos para el músico práctico o como vehículo de la obra artística–, no contribuirían a la legitimidad del término. A pesar de que a menudo se encuentra al monocordio definido como un dispositivo o instrumento musical, se ha mostrado que tanto Ramos de Pareja como Zarlino y Mersenne coincidieron en estar atentos a su papel como filósofos y no el de meros músicos.<sup>332</sup> Sus monocordios no se presentaban como instrumentos musicales, sino como *herramientas para la descripción, el cálculo y la experimentación*, además de cumplir la tarea de divulgar y salvaguardar una ciencia. En resumen, privaba en ellos un deseo por trascender a *cantores y prácticos* y aspirar a un músico *perfetto* –un *Melopeo*– que, según Zarlino, era aquél que otorgaba a su práctica

---

<sup>332</sup> Esto puede verse fácilmente en la mayoría de los diccionarios de música e instrumentos musicales. Se encuentran allí, asociados al monocordio, los términos “string instrument”, “musikinstrument”, “strumento musicale”, “instrumento de una sola cuerda”, “cítara de una cuerda”. En particular, el término “monochord” –redactado por Cecil Adkins–, en *The New Grove Dictionary* (2001, Vol.17, pp. 2-4) indica “ancient instrument [...] a musical device” [“un antiguo instrumento [...] un dispositivo musical”]. Cabe mencionar la definición del *The New Oxford Companion to Music*, que a pesar de considerarlo tan sólo como “string” coloca también “a piece of scientific apparatus and not a musical instrument at all” [un sencillo aparato científico y no, del todo, un instrumento musical”. Véase *The New Oxford Companion to Music*. Denis Arnold (ed.). Oxford, Oxford University Press, 1983, p. 70.

experta la facultad de juzgar con la razón, llevando así su ciencia hacia la perfección. Esta aspiración sería una constante, y por ello puede decirse que en el marco de la filosofía natural que realizaban, no debe considerarse al monocordio como una mera herramienta práctica.

Los términos *instrumentum*, *istrumento* e *instrument* –como en los casos respectivos de Ramos de Pareja, Zarlino y Mersenne–, sin duda han sido utilizados ampliamente en sus tratados; por lo tanto, al confrontar en el debate un término como ‘instrumento musical’, el problema radica en el adjetivo ‘musical’. La conciencia explícita de lo musical como actividad científica que tenía cada uno de ellos, sea en su *harmoniae scientia* como en *la scienza della Musica* o en una *science de la Musique* –según los términos utilizados por cada tratadista– obliga a matizar, o por lo menos presentar una excepción, al razonable cuidado que se tiene con el uso de los términos a propósito de un caso como el monocordio. Así, cada uno de estos filósofos realizó su actividad con miras a encontrar y salvaguardar lo que para su momento eran consideradas verdades de índole filosófica, sean las persuasivas fracciones de la llamada “afinación justa” introducida por Ramos de Pareja, o sea la definición de un umbral psicoacústico según Zarlino, o la expansión de la función del monocordio hacia campos ajenos al fenómeno de la consonancia, tal como hiciera Mersenne.

Nada de lo anterior entraba en disputa con la utilización práctica o pedagógica del aparato que tanto Ramos de Pareja como Zarlino y Mersenne dieron al monocordio, sea como recurso práctico para la afinación de cantores o instrumentos, o como recurso pedagógico y transmisor de conocimiento. En este sentido, estos monocordios fueron garante palpable y objetivo del saber musical de su época. Para Ramos de Pareja, fue una vía expedita para la enseñanza de su ciencia musical, sólo que se hizo necesario simplificar su mecanismo demostrativo con una mnemotecnia que permitiera su rápida y fácil asimilación. El monocordio de Zarlino tropezaría en su intento por fundir el saber de los antiguos, con el humanismo de los modernos; pero las aporías y sofismas a los que se enfrentaría, le permitieron sistematizar una nueva pedagogía musical. Finalmente, Mersenne lo expuso como figura y aparato que salvaguardaba un

conocimiento que sería capaz de reconstruir la ciencia de la música en caso que ésta se hubiese “toute perduë & effacée de la memoire des hommes.”<sup>333</sup>

Puede entonces afirmarse que estos monocordios no son “instrumentos musicales” en el sentido de herramienta del músico práctico o como medio para la ejecución de una obra artística, sino que cumplen la mencionada triple caracterización propia de muchos de los instrumentos científicos de los siglos XV, XVI y XVII tal y como se presentó en la Introducción a esta investigación.

*En torno a las clasificaciones de los instrumentos científicos.* A primera vista, podría pensarse que el monocordio se caracterizaría como un instrumento matemático cuya función es “medir” el sonido, aunque éste no sea una unidad física, sino una compleja interrelación de variables de tiempo, espacio y masa. Incluso, ya se ha dicho que los griegos habían logrado crear una representación y un modelo numérico –la teoría de las proporciones– para estos sonidos, y sólo así se habría podido operar con ellos, tanto aritmética como geoméricamente. Sin embargo, pudo demostrarse que el trabajo de los filósofos naturales llevaría al instrumento hacia: *a)* un terreno de observación mucho más detallada (*v.g.* recuento de vibraciones, descripción de fenómenos como la resonancia, los armónicos naturales y la detección de nodos en la cuerda vibrante); *b)* hacia un cálculo más preciso (ampliación del esquema pitagórico de explicación de la consonancia, operaciones con el mesolabio y séptimos de coma sintónica de proporción 81:80, aproximaciones numéricas a cálculos logarítmicos); y *c)* hacia una experimentación mucho más audaz, tanto en la descripción del fenómeno como en su *alcance predictivo* (experimentaciones con longitudes, grosores, tensiones, materiales y condiciones atmosféricas). Es por ello que ver en los monocordios de Ramos de Pareja, Zarlino y Mersenne meras herramientas prácticas de índole matemática, que tan sólo “miden” el sonido, es una visión sesgada para con su papel filosófico en la historia de la ciencia y la musicología.

---

<sup>333</sup> “perdido del todo y esfumado de la memoria de los hombres.” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Premier des Instruments*, p. 32.

A este respecto se ha mostrado cómo los tres monocordios estudiados fueron presentados por sus autores como garantes de una verdad matemáticamente preconcebida y corporeizada –*embodied*–, de manera que –tal como diría Mersenne–, si se entendían las proposiciones matemáticas asociadas a su ciencia musical, no había necesidad de explicarlo. Pero, a su vez, estos monocordios mostraban que las teorías podían quedar totalmente subordinadas a la práctica, pues, como los mismos autores clamaban, serían la experiencia sensible y la manipulación práctica los jueces finales de toda investigación teórica musical. Así pues, estos monocordios servirían para experimentar y racionalizar los modernos aportes que la práctica artística produjo a partir del siglo XV, mostrándose ahora *disembodied*, y como mediadores lo más transparentes posibles de las verdades de la naturaleza y del arte.

En especial, en el caso de Ramos de Pareja privaba el uso práctico y pedagógico, que permitiría la implantación de un nuevo paradigma teórico musical: la llamada “afinación justa”. Visto así, su monocordio no se mostraría, en una primera mirada, como un *philosophical apparatus*, puesto que su orientación práctica se hacía explícita desde el propio título de su tratado: *Musica Practica*. Sin embargo, se ha demostrado que la “verdad” descubierta –el esquema de la “afinación justa” basado en los armónicos naturales– quedaba camuflada entre los recursos mnemotécnicos y la maquinaria retórica de su propio discurso y metodología. En los casos de Zarlino y Mersenne, privaría el uso de la observación, la medida y el experimento para saldar las disputas entre la teoría y la experiencia sensible; pero siempre mostrando que era a través del cálculo matemático y la experimentación en el monocordio, lo que el oído refrendaría como verdadero. Por un lado, el humanismo de Zarlino concebiría un monocordio de raíz platónica donde la utilización del número *senario* –expuesto según la inducción y *apodeixis* aristotélica– lo explicaría todo; pero, al intentar conciliar este humanismo con las prácticas musicales de su época, surgieron las aporías que serían justificadas con las sonoridades experimentalmente producidas en el monocordio. En el caso de Mersenne, el uso y la productividad del monocordio como instrumento científico le permitieron trascender la esfera placentera de la consonancia para convertir su ciencia musical en un cuerpo de leyes verdaderas –la *ley de la frecuencia*–, ajenas a toda consideración estética y centradas en un quehacer científico en el sentido moderno.

En resumen, al atender al uso y productividad que cada tratadista daba al monocordio en su marco histórico-cultural, pudo mostrarse que existía un desplazamiento de lo *retórico* a lo *apodíctico-dialéctico*, y a lo *anestésico*, que caracterizaría la ciencia musical de los siglos XV, XVI y XVII. Las conclusiones obtenidas apuntan hacia la consolidación del monocordio de estos siglos como un instrumento científico de talante físico-matemático y experimental, que simultáneamente no se alejaba del uso práctico y pedagógico. En este sentido, recreaba el fenómeno de la consonancia, lo modelaba numérica y geoméricamente, lo calculaba con mayor precisión conforme avanzaban los siglos, y permitía predecir comportamientos futuros de la cuerda vibrante en diversas condiciones. Todo esto sin perjuicio de su capacidad como herramienta didáctica y de utilidad práctica para cantantes, instrumentistas y fabricantes de instrumentos musicales.

La pregunta ¿era el monocordio un instrumento *for doing* o *for knowing*? hallaría su respuesta, por supuesto, en el tipo de conocimiento que hubieran obtenido los filósofos naturales que lo utilizaron. Sin embargo, la clasificación expuesta por Jim Bennett,<sup>334</sup> de nuevo, se hace estrecha para caracterizarlo, pues si bien no cabe duda que se resolvieron problemas prácticos y artesanales –como la afinación de órganos, clavicémbalos y clavicordios–, también es cierto que sólo basándose en las experimentaciones realizadas con él pudo extraerse conocimiento teórico de la naturaleza sonora y proponer tanto nuevos modelos de afinación –justa, mesotónica y temperamento igual– como, finalmente, enunciar la *ley de la frecuencia*. A su vez, un músico práctico como Ramos de Pareja pudo ver en el monocordio una herramienta para hallar respuesta a preguntas tan curiosas como:

Quis nescit plorantes infantulos nutricum cantilenis placari et accensi sanguinis ardorem numeris extingui, equos ad tubae clangorem micare auribus, tremere artubus, hinnitus edere, largius exultare, stare loco nescire, pugnam Martemque sitire?<sup>335</sup>

---

<sup>334</sup> BENNETT, Jim: “Knowing and doing in the sixteenth century: what were instruments for?” (2003).

<sup>335</sup> “¿[Por qué] [...] los niños que lloran se calman con las cantilenas de sus nodrizas [...] [por qué] el ardor de la sangre encendida se extingue con la música [...] [por qué] los caballos ante el sonar de la tuba hacen

Sin menoscabo de que lo anterior pertenezca a la retórica propia del autor, lo que interesa destacar es que Ramos de Pareja se encontraba, más bien, tras las causas verdaderas que justificaran razonadamente el quehacer de los músicos prácticos. Sólo una vez halladas estas causas, el monocordio se tornaría práctico en sí, es decir, para enseñar a cantantes y calibrar otros instrumentos que, posteriormente, calmarían a los niños o espolearían caballos. En el caso de Zarlino, pudo verse cómo se hizo necesario resucitar el antiguo instrumento matemático: el mesolabio, para asistir al monocordio en la solución de un problema matemático-sonoro como la inconmensurabilidad entre algunas proporciones musicales. Así, el mesolabio, que podía utilizarse como herramienta práctica para una distribución igualitaria de los trastes de un laúd del siglo XVI *–for doing–*, Zarlino de hecho lo utilizaría *for knowing*, es decir, para refinar cálculos y lograr un monocordio que aumentaría el conocimiento del fenómeno auditivo humano tanto física como psicológicamente. En resumen, las categorías de Bennet pueden considerarse pertinentes para mucho de lo expuesto en su ensayo pero, de nuevo, el monocordio se presenta como un testigo de excepción.

Por lo anteriormente planteado, puede afirmarse que las clasificaciones de instrumentos científicos que muestra la historiografía actual, encuentran problemas a la hora de ubicar un aparato como el monocordio y sus dobles matices, propios, tanto de su accionar filosófico, como de la disciplina a la que se adscriben. Sin duda, la mirada actual de la música como arte ha contribuido a esta segregación de dichas clasificaciones, pero, no es el caso, que por ello deba quedar fuera de ellas.

## **4.2 Respecto a las conclusiones particulares**

Dada la naturaleza de la presente investigación y las diferentes fuentes primarias estudiadas, fueron ya expuestas conclusiones particulares de cada monocordio, para las cuales se tuvo en consideración la materialidad del instrumento, sus técnicas de construcción, los métodos para su utilización y las experimentaciones descritas por sus

---

vibrar sus orejas, temblar sus miembros, lanzan relinchos, piafan con mayor fuerza, no saben estarse quietos, sienten sed de la lucha y de Marte?” RAMOS [1482] 1990, p. 17.

autores, junto a otras realizadas en reconstrucciones históricas. A continuación se remarcarán estas conclusiones particulares y se presentarán marcos historiográficos específicos en los cuales dichas conclusiones adquieren relevancia.

\* \* \*

Particularmente, se ha caracterizado el monocordio de Ramos de Pareja como un instrumento científico de talante *retórico-memorístico*, evidenciando los parentescos que la maquinaria retórica del siglo XV –ejemplificada en la obra del coterráneo A. Nebrija– poseía con lo expuesto por Ramos de Pareja. Decir que su monocordio es un instrumento científico “retórico”, no es tan sólo calificarlo con un adjetivo, sino derivarlo hacia una disciplina que estaba viva en el siglo XV y cuyo análisis aplicado a la historia de la ciencia es más bien reciente.<sup>336</sup>

“Scientists argue; nobody disputes that [...]” escribía Randy Harris en la edición que incluía los artículos principales sobre el tema.<sup>337</sup> No se pretende describir aquí el estado de la cuestión del debate sobre retórica y ciencia, sino tan sólo intentar crear un mínimo marco donde asentar las conclusiones particulares alcanzadas. A este respecto, el trabajo de Ramos de Pareja puede caracterizarse como un claro ejemplo de fusión de las llamadas retóricas “internas” y retóricas “externas”. Las primeras conciernen a la

---

<sup>336</sup> Los ensayos “A Rhetoric of Science” (1989), “The Rhetoric of Science” (1990) y “Rhetoric of Science” (1991) difieren, como se ve, en un artículo gramatical y ello ofrece pistas sobre la naturaleza, igualmente retórica, del debate. Para el primero, –Prelli–, la ciencia es *inventio* retórica, y como tal, sus argumentaciones se basan en “lugares comunes”; para el segundo, –Gross–, la ciencia es principalmente *discurso* en búsqueda de la persuasión. Para el tercero –Harris– ni la retórica ni la ciencia son disciplinas estables, por lo tanto, existen tantas retóricas como actividades científicas existen y por ello no cabe el artículo, ni determinado ni indeterminado. Véase PRELLI, Lawrence: *A Rhetoric of Science: Inventing Scientific Discourse*. Columbia, University of South Carolina Press, 1989; GROSS, Alan: *The Rhetoric of Science*. Londres, Harvard University Press, 1990; HARRIS, Randy: “Rhetoric of Science”, en *College English*, 53/3 (1991), pp. 282-307. Véase también, HARRIS, Randy: “Introduction”, en *Landmark essays on rhetoric of science: case studies*. New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, 1997, p. XI.

<sup>337</sup> “Los científicos argumentan; nadie discute eso [...]” HARRIS, Randy: “Introduction” en *Op. Cit*, *Ibid.*, p. i.

manera en que el científico argumenta e intenta convencer y persuadir a los otros científicos, y las segundas al cómo persuadir a un público más amplio, que no es necesariamente la comunidad científica.<sup>338</sup> El *Musica Practica* fue planteado por su autor, desde su mismo *prologus*, como un intento de persuadir a doctos e indoctos; a los más instruidos y a los carentes de instrucción, a filósofos o matemáticos y a aquellos que tuvieran apenas los primeros rudimentos de la gramática. Sin embargo, Ramos de Pareja también se dirigía a la dicotomía especializada de músicos teórico-especulativos y cantores-prácticos, intentando satisfacer a ambos grupos. Como puede notarse, el público de la ciencia musical del siglo XV –escindido cultural y profesionalmente en estos dos ámbitos–, terminaba encontrando en su monocordio, un asiento real y material donde la argumentación lógica podía verificarse y el discurso persuasivo satisfacer las promesas.

En su concepción del monocordio y en cada paso de la subdivisión de la cuerda, destacaba esa índole persuasiva, mnemotécnica y pedagógico-divulgativa, que con afán retórico –no exento de vehemencia e ironía– defendía el sistema de la llamada “afinación justa” y su esquema estructural, basado en la octava. Ramos de Pareja intentó convencer de la bondad de su sistema, simplificando astutamente en su monocordio algunas operaciones de cierta complejidad, y clamando, tan sólo, por los rudimentos de la gramática (ni siquiera los de la aritmética). Así pues, su monocordio como instrumento científico resultaba simple en su construcción, escueto en su descripción, apegado a la tradición geométrico-abstracta en la cual la cuerda se homologaba como línea y se enmarcaba en la idea de lo artificial que modela y ayuda a lo natural. La retórica nebrijana refrendaba su filosofar, cuando se refería a la existencia de una memoria natural y una artificial, la primera grabada en la mente, y la otra, reforzada a través de artificios teóricos y técnicos. Por esto,

---

<sup>338</sup> El ensayo que introduce esta distinción –COOK, Tom y SEAMON, Ron: "Ein Feyerabenteur, or Who is Feyerabend", en *Pre/Text*, 1/1-2 (1980), pp.124-60–, gira en torno al trabajo del filósofo de la ciencia Paul Feyerabend, cuya obra *Contra el Método* incluye en su índice analítico la voz “retórica, 1-304” como si transitara a lo largo de sus 304 páginas. FEYERABEND, Paul. *Against Method*. Londres, New Left Books, 1975. (Trad. cast.: *Tratado contra el método*, Madrid, Tecnos, 1986).

la memoria natural, para que pueda llegar a ser egregia, debe recibir la ayuda de los preceptos del arte, y la que se adquiere gracias a las reglas teóricas necesita el talento natural.<sup>339</sup>

Al extrapolar lo dicho por Nebrija a lo expuesto por Ramos de Pareja se llegó a la conclusión de que el monocordio era el resguardo de esos preceptos del artificio musical a manera de primer sistema de *loci e imagines* del *ars memorativa* musical. Sin duda, al impulsar un nuevo esquema de consonancias más cercano a la verdadera naturaleza de la cuerda vibrante, se hacía egregia a la memoria natural –como decía Nebrija–; pero nada de esta naturaleza acústica quedaba explicitada en Ramos de Pareja. La *memoria* y finalmente, la *pronuntiatio* –es decir, la ejecución efectiva en forma de canto–, configuró un programa retórico donde el monocordio era, tan sólo, el instrumento depositario de la doctrina.

\* \* \*

El anterior debate entre naturaleza y artificio había quedado caracterizado en la historia de la ciencia musical, según las discusiones que mantuvieran Gioseffo Zarlino y Vincenzo Galilei. En ese sentido, los monocordios de Zarlino quedaban allí enmarcados y permitieron matizar el debate, al racionalizar los umbrales del placer consonante en la audición humana natural, a través de los artificios del mesolabio y del propio monocordio.

Particularmente, Zarlino mostró un monocordio en dos fases claramente diferenciadas: la primera correspondería al encuentro del sistema tetracordal griego y la “afinación justa” con sus inherentes inconmensurabilidades; y la segunda, correspondería a la conciliación y superación de dichas inconmensurabilidades, sobre la base de una racionalización matemática que, al trasladarse a la cuerda sonora, no molestaba a los oídos naturales. Utilizando el mesolabio como justificación para el cálculo de las medias proporcionales, Zarlino propuso una solución artificial que los músicos prácticos, de manera natural, ya realizaban, fuera en el canto o en sus instrumentos. Por

---

<sup>339</sup> NEBRIJA, Antonio de: *Rhetorica*. Juan Lorenzo (ed.), Salamanca, Ediciones Universidad Salamanca, 2007, p.149.

eso, cuando Zarlino acometiera la empresa de temperar el monocordio por artificio, lograría aquella conciliación que mantenía la práctica en los límites del placer musical. El monocordio se había convertido entonces en un aparato que permitía, con sofisticada resolución artificial, conocer los mecanismos de ajuste –inconscientes y no racionalizados– de lo natural.

Estos dos monocordios fueron caracterizados como *apodíctico* y *dialéctico*, en la medida que los razonamientos que los justificaban se interpretaban amparados en filosofías de talante aristotélico, tal y como el mismo Zarlino afirmaba en sus obras. Pudo demostrarse cómo el primer monocordio era un instrumento cuyas verdades eran “necesarias”, dado el fundamento lógico que las gobernaban. Por ello, sólo servía para confirmar verdades ya prefijadas por el denominado *senario*, y ya expuestas y confirmadas, un siglo antes, por Ramos de Pareja. Sin embargo, el *senario* no fue suficiente para explicar lo que de manera evidente mostraba el monocordio en forma de intervalo ofensivo al oído natural: la denominada *coma sintónica*. Es por ello que el segundo monocordio permitió a Zarlino desarrollar un proceso dialéctico donde la plausibilidad y la *endoxa* hicieron su presencia, con miras a justificar una *aporía* del tipo “el monocordio es perfecto, pero no es perfecto”. Zarlino, como autoridad reconocida, mostró un monocordio temperado mesotónicamente, que la comunidad debía evaluar según el grado de ofensa que sufriera el concepto de consonancia. En resumen, lo que esta investigación ha demostrado, es que el monocordio de Zarlino funcionó como instrumento científico en la medida que amplió el conocimiento sobre nuestra percepción auditiva –psicoacústica–, y racionalizó una serie de prácticas musicales sobre la base geométrico-mecánica del mesolabio y las proporciones irracionales. En particular, se mostró que, en el caso del mesolabio, hay suficientes evidencias –tanto históricas como historiográficas– como para considerarlo un instrumento matemático real y no una abstracción, como se acostumbra a interpretar. Tanto las cartas del propio Zarlino, como la descripción e instrucciones para su construcción, permitieron hacer una reconstrucción, que mostró el alcance de dicho aparato para la fundamentación de las nuevas proporciones basadas en los séptimos de coma. Aunque dichas proporciones fueran denominadas “números sordos” –y por ello pertenecieran a un universo que se mostraba ajeno a la ciencia musical del momento–,

las experimentaciones realizadas por Zarlino y confirmadas con las reconstrucciones históricas realizadas, mostraron cómo este monocordio definió matemáticamente los umbrales psicoacústicos del oído occidental para el siglo XVI, y con ello, abrió camino hacia las investigaciones sobre el temperamento igual.

\* \* \*

Entre los candidatos a la paternidad del mencionado temperamento igual, los historiadores franceses se han inclinado por Marin Mersenne, al igual que otras naciones hacen lo suyo por sus coterráneos. A pesar de que dicha paternidad siga en discusión, el consenso es unánime, al considerar a Mersenne como el responsable del moderno concepto de *frecuencia*. En esta investigación se ha mostrado, que el monocordio fue el instrumento científico que permitió la observación, medida y experimentación, que llevaría a enunciar dicho concepto a través de un proceso que abandonaba las tradiciones que idealizaban la cuerda como línea geométrica. Para explicar el fenómeno de la consonancia, Mersenne habría partido de aquella idealización, pero culminaría en la descripción, cálculo y experimentación predictiva, de una compleja interrelación de variables físicas, a saber: propiedades de la materia, dimensiones y sollicitación de tensiones en una cuerda vibrante.

A diferencia de Ramos de Pareja y Zarlino, conforme el monocordio de Mersenne se acercaba a una morfología y resolución mucho más detallada, igualmente se alejó de prácticas musicales inmediatas, como escalas “entonadas”, pedagogía musical y técnicas de composición. Después de presentar diversos métodos geométricos y aritméticos, Mersenne ofreció la imagen y las instrucciones para la construcción de un monocordio, que en la línea de la memorística de Ramos y de la lógica empleada por Zarlino, sería tan sólo la garantía de resguardo de las verdades matemáticas halladas. Pero la conciencia de la realidad material del instrumento, sus propiedades y dimensiones, derivaron en una descripción más ajustada de la cuerda vibrante, permitió cálculos más exactos, y predicciones de comportamientos, incluso en entornos no musicales. Esta actitud terminaría convirtiendo al monocordio en un instrumento científico productor de un conocimiento alejado de la fenomenología musical y estética.

Después de realizar experimentos –a todas luces “antimusicales”–, como la construcción de monocordios con longitudes gigantescas, el contar vibraciones en frecuencias inaudibles, romper o someter la cuerda a acortamientos y estiramientos longitudinales según la humedad, etc., Mersenne pudo sentar las bases del fenómeno vibratorio, liberado de adjetivos calificativos como “bello”, “dulce” o “agradable”. Esta actividad teórica-experimental que se ha denominado “anestésica”, permitió evidenciar la interrelación entre las diversas variables físicas y caracterizar algunos de los aspectos de la naciente ciencia moderna, preocupada más por describir, calcular y predecir los fenómenos, que por sus simbolismos o anhelos metafísicos. En este sentido, si bien Mersenne y Kepler coinciden en la agresiva crítica a los monocordios simbólicos de Robert Fludd, Mersenne difiere de Kepler, puesto que éste se mantiene aún bajo una hipótesis de índole estética que supone que las razones de la belleza musical serían capaces de explicar el cosmos.<sup>340 341</sup> Si bien Mersenne concibió un monocordio que

---

<sup>340</sup> Robert Fludd (\*Kent, 1574; †Londres, 1637) fue un filósofo y médico con variados intereses como la alquimia, la astrología y la armonía. Sostuvo una controversia con Kepler que lo acusaba de utilizar la armonía de una manera puramente simbólica, a diferencia de él, que la justificaba con rigurosos cálculos numéricos. Véase a este respecto, una revisión del historiador Max Caspar a dicha controversia en el apartado “Matemático territorial en Linz: Controversia con Robert Fludd”, en la traducción al castellano: CASPAR, Max, Kepler, Madrid, Acento, 2003, pp. 370-374. La edición original es CASPAR, Max: *Bibliographia Kepleriana: Ein Fuhrer Durch das Gedruckte Schrifttum von Johannes Kepler*. Múnich. C.H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, 1936.

<sup>341</sup> Esta fue la hipótesis principal de mi Trabajo de Investigación “*Experiencia estética y formulación científica: el caso del Harmonices Mundi*” presentado para optar al Diploma de Estudios Avanzados (DEA) en octubre de 2005 y previo a la presente investigación. Allí se intentó demostrar que el Libro III del *Harmonices Mundi* de Johannes Kepler, que puede parecer estrictamente musical, no lo es tanto si se atiende a los constantes esfuerzos que hace Kepler por interconectarlo con el Libro V, donde reside su importante *Tercera Ley Planetaria*. Al homologar la astronomía y la música sobre la base de un único arquetipo geométrico, la una podía informar de la otra y viceversa. Las condiciones históricas que posibilitaron esta interconexión, estaban fundamentadas en el entusiasmo de Kepler por la polifonía de sus contemporáneos y, en especial, por la música de Orlando di Lasso. La sólida formación musical de Kepler, junto a la novedad y originalidad que supuso para los intelectuales y humanistas alemanes la incorporación de esta “oleada” musical francoflamenca, lo incitó a diferenciarse de los antiguos griegos tanto musical como astronómicamente hablando. La complejidad y la belleza hallada en los motetes

explicaría la belleza de las consonancias del siglo XVII, una vez explicadas, su interés se desplazó inmediatamente al mecanismo físico de la cuerda vibrante y hacia la formulación de una ley en donde los adjetivos estéticos ya no interesaban. Allí donde Kepler culminaba entonando el motete polifónico del cosmos, compuesto por un Dios geómetra y músico para deleite del oído de la humanidad, Mersenne colocó a un hombre sordo y ciego, que explicaba y manipulaba inteligentemente los mecanismos que gobernaban la física de una onda estacionaria. En su Proposición VII, dedicada a ese hombre sordo que “conoce las diferencias tanto en materia como en longitud y grosor” se presentaron las nueve reglas *veritables & infaillibles* que demostraban todo tipo de “acuerdos” entre las variables físicas mencionadas; y en ninguno de sus párrafos interesaba el fenómeno de la cuerda como evento auditivo-musical, ni mucho menos estético ni religioso. La única consonancia mencionada sería el unísono, el cual funcionaría como elemento que igualaría una ecuación donde dos sonidos de la misma altura permitirían deducir –al hombre ciego y sordo– las combinaciones de variables físicas de diferentes cuerdas capaces de producirlos.

Esta vía “anestésica” caracterizaría al grueso de la investigación científica naciente para la cual la belleza no sería ya, necesariamente un punto de partida. Lo feo –o por lo menos, lo que simplemente existe o ha sido creado– sería digno de ser cuantificable y experimentable. Así pues, puede interpretarse que espectáculos alejados de la belleza tradicional, como los animáculos vistos a través del microscopio, las manchas del Sol detectadas a partir del telescopio o el asistir a la muerte de un ser vivo en la bomba neumática, serían capaces –parafraseando lo ya dicho por Needham– de “hipnotizar” al

---

polifónicos de su contemporáneo Lasso, debía estar gobernada por los mismos principios de los cuales participaba la bóveda celeste. Visto así, una experiencia estética musical, anclada en una sólida formación, permitió a Kepler configurar un marco de verdades –la geometría, la armonía y la polifonía contemporánea– sobre el que formuló y contrastó sus teorías, tal como puede leerse –y oírse– en los mismos textos del *Harmonices Mundi*. Una versión de este Trabajo de Investigación dedicado a Kepler ha sido presentada y aprobada (en prensa) para el *Anuario Musical*, revista española especializada en musicología editada por el Departamento de Ciencias Históricas-Musicología (antiguo “Instituto Español de Musicología”) de la Institución “Milá y Fontanals” (IMF), Centro de Investigación en Humanidades perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

científico y suspender definitivamente el juicio estético para afirmarse en la búsqueda de verdades, ni feas ni bellas: simplemente naturales.

### 4.3 Respecto a la hipótesis planteada

Lo expresado en las conclusiones particulares permite concluir que el término *philosophical apparatus* es afín a las tareas para las cuales se concibió el monocordio. Como se comentó en los apartados iniciales de esta investigación, un *philosophical apparatus* se entendía como un dispositivo destinado a demostrar leyes, principios o hechos de la realidad natural, a diferencia de aquellos *mathematical instruments*, creados para usos exclusivamente prácticos. Estos últimos, incluían los tradicionales instrumentos de la arquitectura, topografía, navegación y comercio; es decir: regla, compás proporcional, teodolitos, brújula, cuadrante, sextante, astrolabio y balanza, entre otros. El mesolabio –tal como lo presentara Zarlino–, a pesar de no aparecer en muchas de estas clasificaciones, puede incluirse en ella, pues su empleo era destinado a medir proporciones, al igual que el resto lo hiciera al medir diversas propiedades, sean de masa, espacio o tiempo. Quedaba claro que los *philosophical apparatus* servían para investigar la naturaleza, no con fines comerciales, sino por el deseo de escudriñar el mundo natural de parte de filósofos naturales y también caballeros u hombres de independencia económica. Estos nuevos aparatos no “medían” cosas sino que presentaban –al decir del Shaffer y Shapin– un *matter of fact*, es decir, un nuevo hecho, fenómeno o realidad.<sup>342</sup>

Como es fácil notar, la aparición de estos términos fue posterior a la obra de Ramos de Pareja, Zarlino y Mersenne, y por ello, su utilización resultaría anacrónica. No obstante, al concluir que los monocordios seleccionados son afines a dicho término, se quiere indicar el cuidado histórico a tener con dicho término, y a la vez llamar la atención sobre la verdadera naturaleza de dichos monocordios. Como ya se ha dicho, es fácil

---

<sup>342</sup> SHAPIN, Steven; y SHAFFER, Simon: *Leviathan and the air-pump*. (1985), p.3.

asimilar el monocordio a un tradicional instrumento musical o un instrumento matemático, dado que allí se “tocaba” o se “medía” el sonido, además de practicar y enseñar la entonación de los intervalos por parte de maestros que comerciaban y se ganaban la vida con ello. Sin embargo, como se ha mostrado a lo largo de esta investigación, la diferenciación entre “filósofo natural” y “hombre práctico”, pervierte toda discusión en torno a la ciencia musical de los siglos XV, XVI y XVII. Tanto Ramos de Pareja como Zarlino y Mersenne han mostrado ser simultáneamente filósofos y hombres prácticos en el marco de su ciencia musical y, aún más importante, han sido conscientes de dicha diferenciación, la cual se expresaba en el anhelo por fundir en un músico *perfetto* al filósofo-teórico-especulativo y el cantor-instrumentista-práctico. Así pues, respecto a la hipótesis planteada, los monocordios presentados han mostrado ser afines a los *philosophical apparatus* pero también a instrumentos tan serviles como la regla y el compás. Los monocordios recreaban un fenómeno que la naturaleza no producía de por sí, y en ese sentido, una cuerda vibrante era una nueva realidad, que permitió comprender –en parte– el fenómeno vibratorio del sonido natural.

Al igual que con el microscopio del siglo XVII, cuando Mersenne magnificara el fenómeno (a escala gigantesca y no-musical) con sus monocordios de 20 y 40 m, la naturaleza se mostró comprensible y pudo construirse un concepto como el de “frecuencia”. También es cierto que otro aparato como el telescopio, mostraría nuevas cosas del mundo natural, pero parte de su utilidad fue añadir precisión y detalle en la tradicional astronomía de posiciones. El monocordio de Zarlino habría hecho lo mismo, al permitir trabajar con la precisión de los números irracionales y llamar la atención sobre las mínimas diferencias que serían perceptibles para el oído humano. En general, los *philosophical apparatus* fueron concebidos para mostrar nuevas cosas de la naturaleza, pero, a la vez, demostrarlas más allá de pruebas lógicas o matemáticas, es decir: a través de la experimentación sensible. En ese sentido, el monocordio de Ramos de Pareja mostró a los oídos del siglo XV un nuevo esquema sonoro, y sólo después de alcanzar el convencimiento sensible, se explicitaron los fundamentos matemáticos que lo confirmaban. Zarlino y Mersenne partieron de demostraciones lógicas y matemáticas, pero inmediatamente sometieron al juicio sensible lo que mostraban sus aparatos. Por un lado, Zarlino demostró matemáticamente en el mesolabio la posibilidad de las

medias proporcionales, y después las sometió al juicio de una comunidad teórica y práctica, de la cual él era autoridad suprema. Mersenne halló matemáticamente los números necesarios para lograr el temperamento igual, y después lo sometió a la prueba acústica, para concluir que era la mejor y más fácil división del monocordio. Con ello se cerraba una discusión de siglos, y Mersenne se orientaría, finalmente, hacia experiencias con la cuerda vibrante más afines a nuevos instrumentos científicos, como el barómetro o el péndulo. En resumen, estos monocordios *mostraban*, pero también, *demostraban*, y en este sentido la ciencia musical se sirvió siempre del término ‘demostración’ en sus dos vertientes, a saber: como prueba relacionada con la lógica, el lenguaje y la matemática; pero también asociada al experimento demostrativo, basado en la observación directa a través de instrumentos científicos.

Si bien las verdades musicales descubiertas sirvieran de solaz para los filósofos naturales, éstos no desdeñaron sus funciones prácticas como herramientas para la entonación, construcción y afinación de instrumentos musicales, demostraciones didácticas, o simple resguardo de un saber. La doble-verdad que perseguían estos monocordios –expresada en la naturaleza teórica y práctica del concepto “consonancia”– es indisoluble, y por ello, la historiografía que insiste en separar los instrumentos según su naturaleza filosófica o práctica, no puede ni debe aplicarse a un instrumento como el monocordio. Considerarlo exclusivamente como instrumento musical reflejaría miopía en el historiador de la ciencia, y reducirlo a mero ancestro de clavicémbalos, clavicordios o trompas marinas y psalterios, sería una mirada musicológica sesgada. Si con el término ‘musical’ se entiende una disciplina que para los siglos XV, XVI y XVII poseía una índole científica –en el sentido de lo que se entiende por “ciencia” para dichos siglos– el monocordio sería a todas luces un instrumento científico, y como tal se reclama su ausencia, a la vez que se clama y reivindica su presencia, en las colecciones y museos de instrumentos científicos. Reconstrucciones históricas como las aquí expuestas –tanto reales como virtuales–, contribuirían a comprender la naturaleza de dichos aparatos y su papel histórico, pues permiten experimentar el aspecto sensible de una ciencia en la que sentido y razón se presentaban indisolubles.

Asimismo, la morfología y metodología de utilización de los tres monocordios, evidencia una expansión en sus capacidades como aparato acústico que va, desde la pequeña y “sorda” tabla plana de Ramos de Pareja, a una tabla más voluminosa y sonora en el caso de Zarlino, para finalmente, llegar a la caja resonante de Mersenne, de dimensiones similares a un laúd. La metodología para utilizarlos fue evolucionando, desde considerarlo, como hiciera Ramos de Pareja, una salvaguarda memorística en forma de diagrama audio-visual de proporciones matemáticas, hasta un “espacio” para mostrar complejas operaciones que involucraban números irracionales, como en los casos de Zarlino y Mersenne. En resumen, se pasó de una pequeña tabla marcada con una única cuerda, a una caja acústica con triplicación de cuerdas, cuya regla lateral estaría pensada para evaluar cualquier sonido y no sólo aquellas fracciones armónicas simples. De hecho, el instrumento continuó las tradiciones pitagóricas y medievales, al considerar la cuerda sonora como una línea geométrica; pero en el transcurso de Ramos de Pareja a Mersenne, la línea ganó en longitud, y por ello, en resolución y precisión. En un monocordio como el de Ramos de Pareja, los séptimos de coma podrían manifestarse con tan sólo un mínimo movimiento de apoyo del dedo, pero no eran discernibles visualmente como marcas en su superficie, mientras que en los casos de Zarlino y Mersenne, eran del todo visibles y mensurables. Puede concluirse que, conforme la matemática musical operó con fracciones más complejas, asimismo el monocordio creció en tamaño hasta nuevas dimensiones que permitieron ubicar y experimentar con las mínimas diferencias –discernibles ahora al oído natural–, provenientes de la aritmética de los irracionales.

Esta evolución que ha sido lenta y continuada, hundía sus raíces en las tradiciones ya mencionadas; sin embargo, respecto a la hipótesis planteada, este proceso puede leerse como “rupturista”, en el momento en que Mersenne prescindiera, finalmente, del andamiaje musical –caja de resonancia, clavijas, caballetes–, para orientarse hacia el fenómeno físico puro de la vibración. Cuando Mersenne escribiera que

Il n'y a nulle difficulté à trouver le nombre des retours de chaque corde proposée, car si on l'estend de 10 ou 12 toises de long sur vn Monochorde, ou sur quelqu'autre plan, ou si on la suspend de haut en bas [...]<sup>343</sup>

se evidenciaba que ambas experimentaciones rebasaban todo fenómeno auditivo –dadas las lentas vibraciones–, pero seguían gravitando sobre el concepto del monocordio. Es decir, asignar al monocordio cuerdas vibrantes de veinte, o más metros de longitud, o asimilarlo a cuerdas oscilantes a manera de péndulo, muestra una ruptura con los aspectos estético-musicales, para privilegiar tan sólo las variables físicas fundamentales de masa, tiempo y espacio. Pero al no renunciar al término y enmarcar la investigación en conceptos como *Harmonie Universelle*, puede considerarse como una práctica de continuidad cultural con las tradiciones musicales metafísicas. Es por ello que, en el caso especial de estos monocordios, puede hablarse de una “continuidad” que se concilia con la “ruptura” en la medida en que se forjan conceptos afines a la llamada “Revolución Científica”, sin perjuicio de los instrumentos y metodologías de las tradiciones filosóficas antiguas y medievales. Es decir, la ruptura en la ciencia musical, no se ha consolidado sobre la base de nuevos instrumentos que ampliaran los sentidos humanos (como el telescopio o el microscopio) u otros que recrearan condiciones no naturales (como la bomba de vacío), sino sobre *un aparato que desde la Antigüedad relacionaba, de manera simple, un hecho físico, con su correspondiente modelización matemática, y todo ello envuelto en un manto estético*. A través de él, pudo entonces conocerse, con mayor penetración, la realidad natural, conforme fue recreada y sometida a la observación, la medida y la experimentación, cada vez con mayor control: ya sea por la dimensión y características morfológicas del objeto, ya por los métodos utilizados y los desarrollos matemáticos que acompañaron dichas experimentaciones.

En este proceso histórico, estuvo siempre presente el problema teórico-práctico de la consonancia –junto al placer funcional y cualificativo que la justificaba–, pero, como ha

---

<sup>343</sup> “No hay ninguna dificultad en hallar el número de vibraciones de cada cuerda propuesta, pues si se extiende unas 10 o 12 *toises* [60 o 72 pies] a lo largo sobre un Monocordio, o sobre cualquier otra superficie plana, o si se le suspende de arriba abajo [...] MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Troisième des Instruments*, p. 150.

podido demostrarse en esta investigación, fue cediendo paso hacia un interés formal y cuantitativo, que, finalmente, prescindiría de toda estética *a priori* como fundamento de la investigación musical. Este proceso, iniciado a mediados del siglo XV, avanzó tanto de manos de músicos prácticos, como de los especulativos, y para mediados del siglo XVII, la música terminó escindiéndose –como es sabido–, en acústica y música propiamente dicha; es decir, en *ciencia física* y *arte musical*. Esta suerte de “difracción epistémica”, tiene, sin duda, su metáfora de luz blanca en la ciencia musical de los siglos XV, XVI y XVII, vista ésta como un saber indiferenciado. El monocordio ha sido el prisma que reveló el espectro.

#### 4.4 Apostilla final

Sobre la base del monocordio entendido como instrumento científico, se ha podido describir, calcular y predecir, a través de observaciones, medidas y experimentos, un fenómeno físico y su respectivo correlato matemático. Los tres autores objeto de estudio, conectaron su obra científico musical, con el paciente y sistemático trabajo de monasterios y catedrales, que mantuvieron a la música como una ciencia que habría heredado el sentido moral de los antiguos griegos. A la vez, abrieron camino hacia la construcción de un juicio científico liberado de constricciones estéticas deterministas. Pero tanto aquél sentido moral como este juicio científico, se transmutaba siempre en una fe que, según Ramos de Pareja, servía para dar gracias a un Dios que estableció las artes liberales “ad hominum perfectionem delectationem”<sup>344</sup>; que según Zarlino haría regresar la vista a Dios, para comprender cómo la *imperfettione* coexistía con la *perfetta e Ottima* sapiencia divina; y que, finalmente, según Mersenne, nos haría conocer nuevos mecanismos para honrar al Creador. En otras palabras, dado que

[...] les Musiciens cognoissent combien il faut de battemens d’air pour faire toutes sortes de sons, par le moyen des propositions precedentes, il est raisonnable qu’ils offrent autant de

---

<sup>344</sup> “para perfección y deleite del hombre” RAMOS, 1482 [1990] p. 128.

mouuemens de leur coeur, et autant d'actes de reuerence et d'adoration à Dieu, qui est le premier moteur [...]<sup>345</sup>

Es decir, el movimiento transita aire, corazón y alma espiritual, poniendo en contacto materia, hombre y Dios. La ruta que han transitado los monocordios de Ramos de Pareja, Zarlino y Mersenne, a través de la retórica, la lógica y lo que se ha denominado *an-aesthesis*, no hacía sino inflamar la devoción religiosa de sus filosofías. Aunque el naciente científico quedara “hipnotizado” por los mecanismos de funcionamiento de la realidad natural, y hubiera olvidado la belleza en ellos, Dios permanecía como suprema voluntad de todo conocimiento. Resumiendo: si bien el juicio filosófico natural pudiera haberse liberado de sus compromisos estéticos, la experiencia ético-religiosa seguía siendo la meta de la investigación. Cuando Mersenne escribiera que

[...] la perfection consiste particulièrement à toucher de certains tons, et de certaines chordes si a propos que l'esprit de l'auditeur en soit charmé et rauy, et qu'il ne desire plus autre chose que d'aller au Ciel pour iouyr des plaisirs inexplicables que l'on a de voir Dieu tres-clairement, et pour ioindre l'harmonie de ses chants à celle des bien-heureux [...]<sup>346</sup>,

no hizo sino confirmar que aquellos monocordios seguían siendo instrumentos científicos, cuyo fin último eran el gozo piadoso y la contemplación misteriosa. En este sentido, la secularización o liberación en este naciente juicio científico de algún yugo teológico, no sería (todavía) tarea del siglo XVII, ni de la llamada “Revolución Científica”.

---

<sup>345</sup> “[...] los Músicos conocen cuantos batidos de aire pueden hacer todo tipo de sonidos [...] es razonable que se les ofrezcan también, en los movimientos de sus corazones y por lo tanto en los actos de reverencia y de adoración a Dios, que es el primer motor [...]” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Troisième des Instruments*, p. 148.

<sup>346</sup> “La perfección consiste, particularmente, en ejecutar ciertos sonidos y ciertas cuerdas tan a propósito, de manera que el espíritu del oyente quedase encantado y feliz, y que no deseara otra cosa que ir al Cielo para gozar de los placeres inexplicables que se tienen al contemplar a Dios tan claramente, y así pueda fundirse con la armonía de los cantos de aquellos bienaventurados [...]” MERSENNE [1636] 1965, Vol. III, *Livre Troisième des Instruments*, p.164.



## 5 APÉNDICES

### 5.1 Sobre la teoría de las *razones* o *proporciones* y su terminología

La Teoría de las *razones* o *proporciones* es un ámbito de la aritmética que se retrotrae a los inicios de la propia matemática griega.<sup>347</sup> Se intentará en este Apéndice exponer, brevemente, aquello que compete a la ciencia musical y, en especial, al cálculo de intervalos musicales en los monocordios estudiados y la nomenclatura utilizada por sus autores.

Se entiende por *razón* (λογος) o *proporción* (*proportio*), la relación que existe entre dos cantidades: números o magnitudes, comparables entre sí, y que se expresa así: “ $a : b$ ” y que puede leerse: “la razón de  $a$  a  $b$ ”, o “la proporción de  $a$  con  $b$ ”, “ $a$  es a  $b$ ”. En una razón o proporción, el primer término, “ $a$ ”, se denomina *antecedente* y el segundo “ $b$ ”, *consecuente*. Dependiendo de cuál de los dos números es mayor, los pitagóricos, clasificaron las razones o proporciones según dos grandes grupos:

- Mayores: cuando el *antecedente* es mayor que el *consecuente*:  $a > b$
- Menores: cuando el *antecedente* es menor que el *consecuente*:  $a < b$

---

<sup>347</sup> La etimología de este concepto matemático, sea *razón* o *proporción* alude, respectivamente, a λογος y su posterior latinización, *ratio* y, después, a la manera en que se escribió en la Edad Media y el Renacimiento: *proportio*. Estos tres términos deben considerarse, en el marco de esta investigación, como sinónimos. Boecio, utilizó ambos términos como sinónimos y así expresaba, en su tratado *De Institutione Arithmetica*, tanto *sesquitertia ratio* (Cap. XXIV Libro I) como *sesquitertia proportio* (Cap. XXXIII Libro II. [Puede verse una versión digitalizada en el enlace del *Thesaurus Musicarum Latinarum* [http://www.chmtl.indiana.edu/tml/6th-8th/6TH-8TH\\_INDEX.html](http://www.chmtl.indiana.edu/tml/6th-8th/6TH-8TH_INDEX.html)]. Posteriormente, autores como Ramos de Pareja, Salinas y Zarlino utilizaron tan sólo el término *proportio*; *proportione*, para referirse a esta relación o comparación entre dos números o magnitudes, mientras que Mersenne utilizó, indistintamente, el término *raison* y *proportion* para referirse, también, a lo mismo.

A partir del siglo XVII, con la aceptación de los números fraccionarios y decimales, se acostumbraría representar, también, las *razones* o *proporciones*, en forma de *cociente*:

$$a / b \quad \text{ó, también,} \quad \frac{a}{b}$$

No obstante, no debe confundirse una *razón* o *proporción* con una *fracción*, pues aquella es una *relación* de números naturales, mientras que ésta es un *número fraccionario*, que resulta de dividir cualquier número entre otro.<sup>348</sup> En todo caso, en cualquiera de las maneras de expresarse, toda *razón* o *proporción* indica cuántas veces el antecedente contiene al consecuente (en caso de  $a > b$ ) o, viceversa, cuántas veces el antecedente es contenido en el consecuente (en caso de  $a < b$ ).<sup>349</sup>

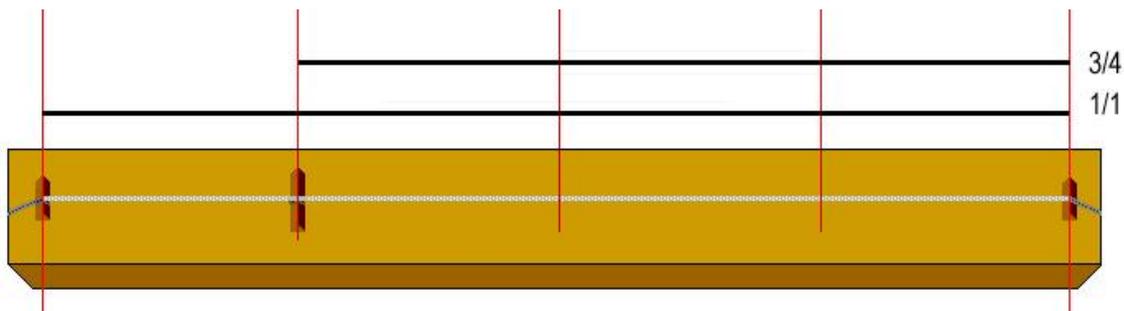
---

<sup>348</sup> Sean enteros, fraccionarios, racionales, irracionales, reales o complejos.

<sup>349</sup> Las proporciones podían ser *commensurables* si ambos números o magnitudes poseían una unidad común y, caso contrario, *incommensurables* – $\alpha\lambda\omicron\gamma\omicron\sigma$  (alogos) o  $\alpha\rho\rho\eta\tau\omicron\sigma$  (arretos)–. Así, la proporción 5:3 – que a ojos del lector moderno es el número 1,6666... con sus infinitos decimales–, posee, de hecho, una medida común: el 1, la unidad, que permite a ambos números, ser comparados y pertenecer al conjunto de los números racionales. Por el contrario, la proporción entre la diagonal de un cuadrado y su lado –representable hoy día como  $\sqrt{2}$  ó 1,4142135623...–, no posee una medida común. Igualmente, la proporción entre el diámetro de una circunferencia con su perímetro, tampoco posee una medida común, lo que se representa con el número  $\pi = 3,141592...$  Ambas proporciones son entendidas por el lector moderno como números pertenecientes al conjunto de los irracionales. Así, en la matemática griega se planteó una diferencia muy perceptible entre los números naturales, entendidos como cantidades discretas, y las magnitudes continuas de la geometría o la música –afines a las realidades físicas como la línea, la cuerda o el sonido–, acarreado consigo una supuesta “crisis” de la secta pitagórica. El papel que pudo haber tenido en la música griega esta dicotomía *commensurable/incommensurable* es tratada en TANNERY, Paul: “Du role de la musique grecque dans le developpement de la mathematique pure”, en *Memoire Scientifique III*. Johan Heiberg y Hyeronimus Zeuthen (eds.). Toulouse, Édouard Privat y París, Gauthier-Villars, 1915, pp. 68-89. También en SZABO, Arpad: *The Beginnings of Greek Mathematics*. Dohrdrecht, D. Reidel, 1978. Para una revisión reciente de este tema véase BORZACCHINI, Luigi: “Incommensurability, Music and Continuum: A Cognitive Approach”, en *Archive for History of Exact Sciences*. 61/3 (2007), pp. 273-302.

La teoría de las proporciones reconoce la diferencia entre las proporciones donde  $a > b$ , en comparación con aquellas del tipo  $a < b$ . Para ello, utiliza el prefijo *super* y el prefijo *sub*; no obstante, son las primeras, en las que el antecedente *a* es mayor que el consecuente *b*, las que más utilización han tenido en los tratados musicales. Así hacían, tanto Boecio, como Ramos de Pareja y Zarlino. Por otro lado, Mersenne intercambió los términos en diversas ocasiones para referirse siempre a la misma proporción y al mismo intervalo. Esto último, es del todo posible si se atiende a la proporción como una *relación comparativa*; por ello, la comparación, por ejemplo, del 2 con el 3, puede considerarse igual que comparar el 3 con el 2. La comparación es, si se quiere, “atemporal”, y por ello, la proporción que se enuncia “3 es a 2” puede considerarse igual que “2 es a 3”, siendo sólo importante que hay una cantidad mayor y otra menor, es decir: una desigualdad. No obstante, en esta investigación se ha optado por escribir las proporciones siempre colocando  $a > b$  y con la forma  $a : b$  para ser consistente con los tratadistas estudiados.

Un aspecto también a tener en cuenta en esta teoría, consiste en aceptar que también es posible entender la *razón* o *proporción* como una relación entre una *parte*, un *todo* y un *resto*. Así, en la expresión 4:3, puede entenderse que hay un todo de 7 *partes* en el cual se comparan 4 *partes* con las 3 partes de *resto*. Pero también, la expresión 4:3 (si se entiende en forma de *razón* inversa 3:4), puede enunciarse como si 3 *partes* fueran comparadas con un *todo* de 4 partes, quedando entonces un *resto* de 1 *parte*. Esta última opción es susceptible de expresarse en forma de cociente  $3/4$ , puesto que se ha tomado una *fracción* del *todo* visto como *unidad*. Así, en esta investigación se ha optado por utilizar, especialmente en los diagramas de los monocordios, la expresión “ $a / b$ ”, dada la evidente operación físico-matemático-sonora de tomar, de un *todo* (la cuerda entera como unidad), unas *partes*, y dejar un *resto*. En este sentido, proporciones del tipo 2:1; 3:2; 4:3 (y sus inversas 1:2; 2:3; 3:4) son del todo homologables con las expresiones  $1/2$ ;  $2/3$ ;  $3/4$ , y con los términos: *diapason*, *diapente*, *diatessaron*, y sus respectivos *octava*, *quinta justa* y *cuarta justa*; y con sus abreviaturas  $8^a$  J;  $5^a$  J;  $4^a$  J, respectivamente. Por ello, los diagramas se muestran de la siguiente manera:



**Fig. 65. Monocordio esquemático señalando la fracción 3/4 de cuerda, homologable a la proporción 4:3 y 3:4, al igual que al término *sesquicuarta*, *diatessaron*, cuarta justa y 4ª J.**

Como ya se mencionó, cada grupo de razones o proporciones estaba dividido en dos grandes grupos:

- Mayores (prefijo *super*) donde  $a > b$
- Menores (prefijo *sub*) donde  $a < b$

A su vez, dentro de cada grupo se distinguían cinco tipos, los cuales poseían una terminología que definía lo *general* y lo *particular*, de la siguiente manera:

- Multiplex (*dupla*, *tripla*, *quadrupla*, etc.)
- Particularis (*sesquialtera*, *sesquitercia*, *sequiquarta*, etc.)
- Partiens (*bipartiens*, *tripartiens*, *quadripartiens*, etc.)
- Mutliplex particularis (*duplasesquialtera*, *triplasesquialtera*, etc.)
- Múltiplex partients (*duplabipartiens*, *triplabipartiens*, etc.)

A continuación se presenta una tabla con el tipo de *razón* o *proporción* que sistematizara Boecio y que serían utilizadas en la teoría musical, por lo menos, hasta el siglo XVII.

**Mayores** (Prefijo *super*)  
con  $a > b$

Grupo I <b>n:1</b> con $n > 1$	Término general: <b>Múltiple</b>
	Término particular: <b>Doble, triple, cuádruple, quintuple...</b>
	Ejemplo: <b>2:1 = Múltiple doble, o doble</b> <b>3:1 = Múltiple triple, o triple</b>

Grupo II <b>n+1:n</b> con $n > 1$	Término general: <b>Superparticular</b>
	Término particular: <b>Sesquiáltera, sesquitercia, sequicuarta, sesquiquinta...</b>
	Ejemplo: <b>3:2 = Sesquiáltera</b> <b>9:8 = Sesquioctava</b>

Grupo III <b>n+m:n</b> con $n > 1$ y $1 < m < n$	Término general: <b>Superpartiente</b>
	Término particular: <b>Super-m-partiente-n-</b>
	Ejemplo: <b>5:3 = Superbipartientetercia</b> <b>8:5 = Supertripartientequinta</b>

Grupo IV <b>cn+1:n</b> con $n > 1$ y $c > 1$	Término general: <b>Múltiple superparticular</b>
	Término particular: <b>Doblesesquiáltera, doblesesquitercia...</b>
	Ejemplo: <b>5:2 = Doblesesquiáltera</b> <b>17:8 = Doblesesquioctava</b>

Grupo V <b>cn+m:n</b> con $n > 1$ ; $1 < m < n$ y $c > 1$	Término general: <b>Múltiple superpartiente</b>
	Término particular: <b>c-super-n-partiente-m-</b>
	Ejemplo: <b>8:3=Doblesuperbipartientetercia</b> <b>13:5=Doblesupertripartientequinta</b>

**Menores** (prefijo *sub*)  
con  $a < b$

Grupo I <b>1:n</b> con $n > 1$	Término general: <b>Submúltiple</b>
	Término particular: <b>Subdoble, subtriple, subcuádruple, subquintuple...</b>
	Ejemplo: <b>1:2 = Subdoble</b> <b>3:1 = Subtriple</b>

Grupo II <b>n:n+1</b> con $n > 1$	Término general: <b>Subparticular</b>
	Término particular: <b>Subsesquiáltera, subsesquitercia, subsesquicuarta, subsesquiquinta...</b>
	Ejemplo: <b>2:3 = Subsesquiáltera</b> <b>8:9 = Subsesquioctava</b>

Grupo III <b>n:n+m</b> con $n > 1$ y $m < n$	Término general: <b>Subpartiente</b>
	Término particular: <b>Sub-m-partiente-n-</b>
	Ejemplo: <b>3:5 = Subbipartientetercia</b> <b>5:8 = Subtripartientequinta</b>

Grupo IV <b>n:cn+1</b> con $n > 1$ y $c > 1$	Término general: <b>Múltiple subparticular</b>
	Término particular: <b>Doblesubsesquiáltera, Doblesubsesquitercia...</b>
	Ejemplo: <b>2:5 = Doblesubsesquiáltera</b> <b>8:17 = Doblesubsesquioctava</b>

Grupo V <b>n:cn+m</b> con $n > 1$ ; $1 < m < n$ y $c > 1$	Término general: <b>Múltiple subpartiente</b>
	Término particular: <b>c-sub-n-partiente-m-</b>
	Ejemplo: <b>3:8=Doblesubbipartientetercia</b> <b>5:13=Doblesubtripartientequinta</b>

Tabla 5. Relación de razones o proporciones.

Como se observa, no aparece la proporción del tipo  $n : n$  o *igualdad*. De hecho, Boecio no la consideraba una proporción, pues,

Sed in his uocibus quae nulla inaequalitate discordant: nulla omnino consonantia est. Est enim consonantia dissimilium inter se uocum in unum redacta concordia.<sup>350</sup>

No obstante, tanto Ramos de Pareja como Zarlino y Mersenne, aceptaron la proporción 1:1 como consonancia y la denominaban, respectivamente, *unisonus*, *unisono*, *unisson*.

Cada idioma se refiere a estas proporciones y sus intervalos respectivos de variadas maneras: mientras en Ramos de Pareja prevalece la tradición griega –*diapason*, *ditonus*, etc.– puede verse cómo comenzaba a instaurarse la nomenclatura actual –*octava*, *tertia maior*, etc.–. Zarlino, mantuvo la tradición griega, pero términos como *ottava*, *terza maggiore*, etc., se usaron “siguiendo in ciò l' uso delli Prattici”<sup>351</sup>. En el caso de Mersenne, la terminología coincidía, en la mayoría de los casos, con la moderna actual, y así, se habla de *Sexte majeure*, *Neufiesme majeure* y *Quinziesme*, para los casos de la sexta mayor, la novena mayor y la quincena o décimoquinta (doble octava).<sup>352</sup>

A continuación se presenta otra tabla con una lista de los intervalos musicales –dentro del marco de dos octavas– de cada autor analizado, atendiendo a su proporción y nomenclatura, junto a los términos en cada idioma y, en la última columna, una abreviatura.

---

<sup>350</sup> “Pero ninguna consonancia se da en absoluto entre sonidos que no discuerden con alguna desigualdad. Así pues, la consonancia es la concordia de voces desiguales entre sí, reducida a un único fenómeno.” Traducción extraída de BOECIO, Anicius Manlius Severinus: *Tratado de Música*. Salvador Villegas, (trad.). Madrid, Ediciones Clásicas, 2005, p. 32.

<sup>351</sup> “siguiendo aquí el uso de los Prácticos” ZARLINO [1558-1588] p. 174.

<sup>352</sup> Como ya se dijo, la terminología de estos intervalos, tanto en castellano como en catalán, posee abundantes sinónimos. Se recuerda el ejemplo de la proporción triple 3:1 –denominada *diapasondiapente*, conocida también como: *docena*, *dotzena*, *dosena*, *dozava*, *doce*, *decimosegunda*, *duodécima* y otros. Una relación de dichas nomenclaturas y sus sinónimos, puede verse en SAURA BUI, Joaquín: *Diccionario técnico-histórico del órgano en España*. Barcelona, CSIC, 2001.



## 5.2 Breve reflexión sobre los arcos gráficos de Zarlino

Zarlino colocó ejemplos gráficos en donde, a través de grandes arcos, dibujaba y remarcaba los intervalos como una relación entre las *partes* y el *todo* en una línea. El siguiente ejemplo, ofrecía la consonancia *diapente* o 5ªJ, intervalo de proporción 3:2.

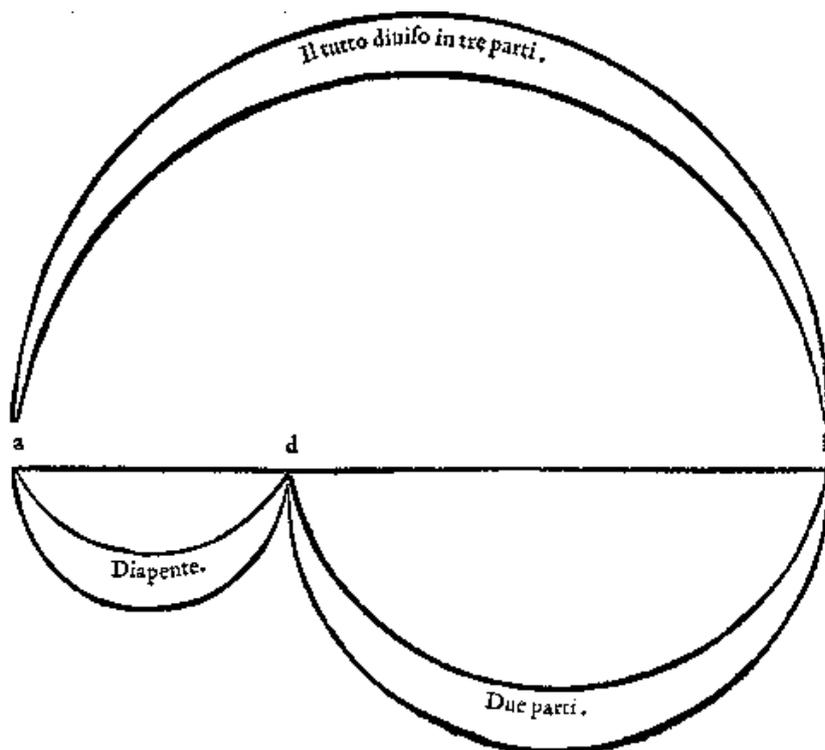


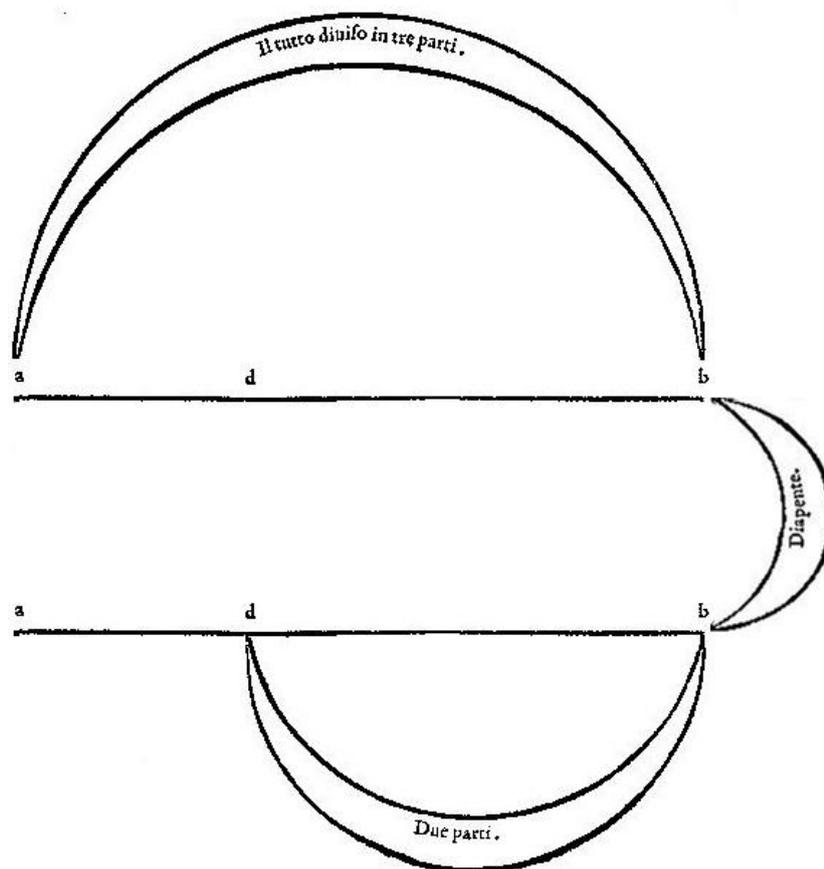
Fig. 66. ZARLINO [1558] 1966 p. 104.

Con este método Zarlino afirmaba que el arco con el título *Il tutto diviso in tre parti* medía una magnitud, en este caso el “todo”, dividido éste, en tres partes (aunque sólo haya una marca –la letra d–). Igualmente, el arco *Due parti* medía también una magnitud en la línea, en este caso dos partes. Zarlino indicaba en el segmento *ad* un arco que señalaba la “Diapente” de proporción 3:2 y cuya magnitud, como es fácil notar, era una parte, es decir, 1/3.

Debe concluirse que este arco *ad* no mide una magnitud, ni señala una distancia, ni tampoco un número; y ni siquiera señala la resta de los dos segmentos *ab - ad*, sino que

señala una *relación* sensible sonora. Ese texto “Diapente” –en el arco–, significaba una *relación auditiva* entre dos sonidos que se ejecutan, sea en secuencia (intervalo melódico), o simultáneamente (intervalo armónico). Ese arco remarcaba otro tipo de “distancia”, es decir, una percepción sonora de una proporción: un intervalo musical. Así, el intervalo musical no era ni *ab*, ni *db*, ni tampoco *ad*, sino, justamente, la relación: la sensación psicoacústica que crea la ejecución melódica o la simultaneidad armónica entre un valor y el otro.

En todo caso, una lectura más acorde pudiera ser la siguiente, donde “Diapente” es, justamente, esa relación entre los dos segmentos o sonidos expresados por la longitud de su segmento.



**Fig. 67.** Redibujo de las representaciones de consonancias de Zarlino. Los arcos en sentido horizontal representarían magnitudes (todo o partes) y el arco vertical representa un “número sonoro”, es decir, la proporción o intervalo musical perceptible auditivamente.

### 5.3 El mesolabio y su fundamentación histórica y geométrica

*Mesolabium* es el término latino que se refiere, en la geometría clásica griega, al instrumento que servía para construir medias geoméricamente proporcionales, entre dos términos de una serie  $a, b$  de manera que:

$$a : x :: x : b$$

El método geométrico que utilizaba regla y compás para hallar esta media estaba dado en Euclides, Libro VI, Proposición XIII<sup>353</sup>, pero resultaba irresoluble cuando se intentaban hallar dos o más medias entre dos términos de la forma:

$$a : x_0 :: x_0 : x_1 :: x_1 : x_2 :: \dots :: x_{n-1} : x_n :: x_n : b$$

Tradicionalmente, la resolución de este tipo de problema se asociaba al célebre problema de la geometría clásica griega denominado: “la duplicación del cubo.”<sup>354</sup> Históricamente, el problema quedó recogido en los comentarios sobre matemáticas y matemáticos que el matemático griego Teón de Esmirna en el siglo I, hiciera sobre la vida y obra del célebre Eratóstenes.<sup>355</sup> Teón se refería al relato de Eratóstenes, que

---

<sup>353</sup> EUCLIDES: *Elementos*. Vol.2. Madrid, Gredos, 1991, pp. 74-75.

<sup>354</sup> Los otros clásicos problemas de la geometría griega eran: la trisección del ángulo y la cuadratura del círculo. El mencionado problema de “la duplicación del cubo” consistía en, dado un cubo, hallar otro cubo cuyo volumen fuera el doble. En términos algebraicos, sería como sigue: si se tiene un segmento  $a$  cuyo cubo es  $a^3$ , se debe hallar un segmento  $x$ , cuyo cubo,  $x^3$ , sea igual a  $2a^3$ . De donde, es fácil deducir, que la solución incluía el cálculo del número  $\sqrt[3]{2}$ , lo cual, a su vez, presuponía un problema de índole numérico irracional que, al ser abordado con los tradicionales métodos de regla y compás, conllevaban una serie de complejidades difíciles de resolver.

<sup>355</sup> ESMIRNA, Teón: *Expositio rerum mathematicarum ad legendum Platonem utilium*. París, Ludovicum de Hevqueville, 1644, pp. 3-12. [Puede descargarse de Google Books en el enlace [http://books.google.es/books?id=QkwoAAAAYAAJ&dq=inauthor:%22Theon+%28of+Smyrna.%29%22&source=gbs\\_navlinks\\_s](http://books.google.es/books?id=QkwoAAAAYAAJ&dq=inauthor:%22Theon+%28of+Smyrna.%29%22&source=gbs_navlinks_s)]. Eratóstenes (\*Cirene, 276 a. C. ;†Alejandría, 194 a. C.). Considerado como uno de los más grandes matemáticos de su época, su obra *Platonicus* (actualmente perdida) fue comentada por Teón de Esmirna y gracias a ello se conocen parte de sus logros en definiciones básicas de

contaba que, para deshacerse de una plaga, el oráculo había pedido la construcción de un altar del doble de volumen, con respecto al que ya había. Los artesanos quedaron desconcertados al intentar descubrir cómo podía calcularse un sólido cuyo volumen fuera el doble de otro sólido similar. Igualmente, las narraciones griegas cuentan que Eratóstenes ofreció un medio mecánico –el mesolabio–, para resolver el problema, que según las anécdotas históricas, fue inscrito en una columna en Alejandría que el propio Eratóstenes erigió al Rey Ptolomeo III. Aunque no se tiene noticia, ni rastros o restos del aparato mecánico que construyera Eratóstenes, si se sabe que, esquemáticamente, el aparato incorporaba una serie de triángulos o paralelogramos deslizantes. Independiente de la veracidad de las narraciones, los historiadores de la matemática han podido ubicar los orígenes del problema hacia el 420 a.C., con una primera solución propuesta por Arquitas (\*Tarento, c. 430 a.C.; †Apulia, c. 360 a.C.). Sin embargo el matemático bizantino Eutocio de Ascalon (\*Ascalon (Israel)?, 480?; †Alejandría?, 540?), en su comentario a *Sobre la esfera y el cilindro* de Arquímedes, ofrecía otra versión que involucraba orígenes mitológicos, retrotrayendo el problema hasta el Rey Minos y a las oscuras fuentes de la mitología. Los orígenes de este problema, como se ve, no son nada claros.<sup>356</sup>

No obstante, cuando se dice que el mesolabio es un “instrumento”, hay que referirse a una doble condición: por un lado, el mesolabio es, como se ha dicho, un objeto material mecánico que mediante el uso de triángulos o paralelogramos de madera o metal desplazables sobre piezas guías, permitía construir, de manera aproximada y con

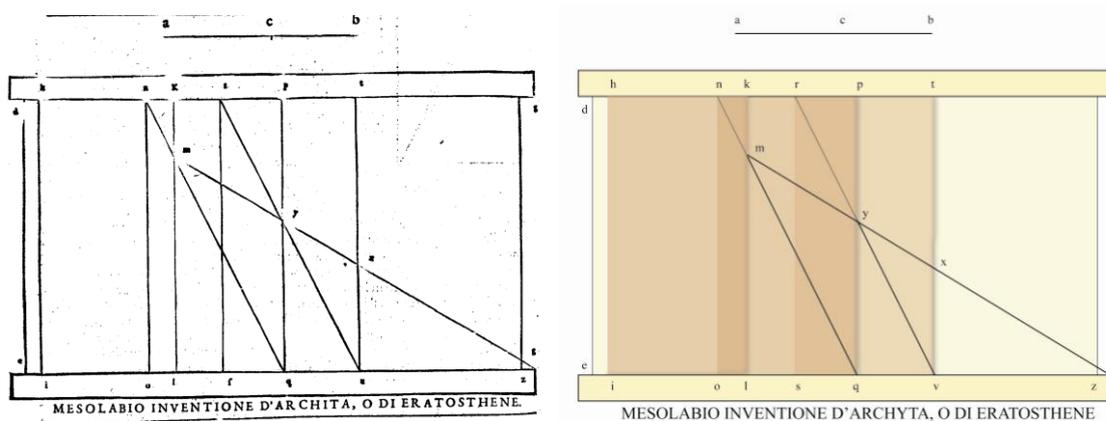
---

geometría, aritmética, astronomía y música. De Teón de Esmirna (\*Esmirna?, 70?; †132?), poco se sabe de su vida, pero destaca, justamente, la obra citada, que fue concebida como un compendio de teoremas matemáticos que, además, contenía buena cantidad de comentarios y citas históricas a las principales autoridades matemáticas.

<sup>356</sup> Para una revisión más en detalle de los aspectos históricos de este problema, junto a las soluciones – en orden cronológico– que se le han dado, véase HEATH, Thomas: “The duplication of Cube, or the problem of the two mean proportionals”, en *A history of Greek mathematics*. Vol.I. Oxford, Oxford University Press, 1931, pp. 244-270. [Puede leerse o descargarse –en diversos formatos– desde el enlace <http://archive.org/details/ahistorygreekma00heatgoog>].

bastante exactitud, las medias proporcionales. Por otro lado, el mesolabio alude a todo método matemático-geométrico que permitía hallar medias proporcionales con el uso exclusivo de la regla y compás, o con intersecciones de rectas, círculos o curvas cónicas y parábolas. Así pues, podemos encontrar tratados matemáticos destinados al mesolabio donde no se halla indicación para la construcción de aparato mecánico alguno –v.g. el *Mesolabum* de Sluse de 1659<sup>357</sup>– y, a la inversa, hay tratados donde se exponen las instrucciones de construcción y realización de un aparato con madera, hilos y pliegos de latón, sin hacer referencia a cálculo o demostraciones geométricas o matemáticas (v.g., el mesolabio de Zarlino, tal y como se expone, por primera vez, en *Le Istitutioni Harmoniche* de 1558).<sup>358</sup>

El aparato mecánico de Zarlino, incorporaba una serie de triángulos o paralelogramos, que, esquemáticamente se presenta en esta investigación en el Apartado, titulado: “Resolución del problema: el *mesolabium* según Zarlino” y se colocan aquí, de nuevo, las figuras como referencia:

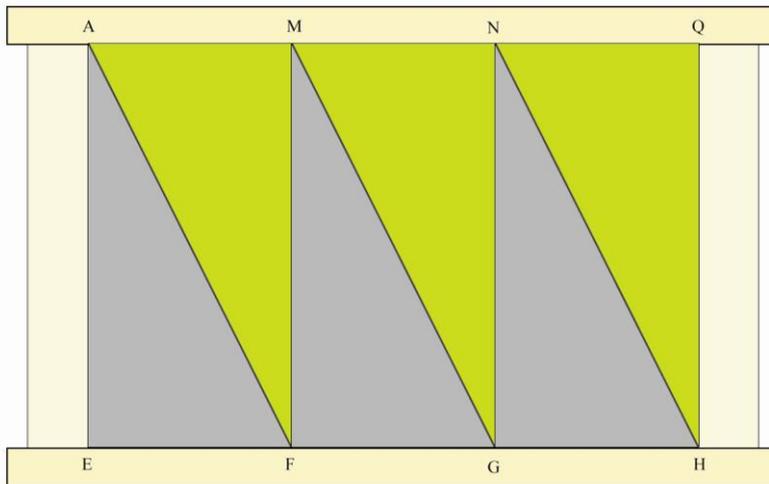


**Fig. 68 Ilustración del mesolabio según Zarlino, y redibujo.**

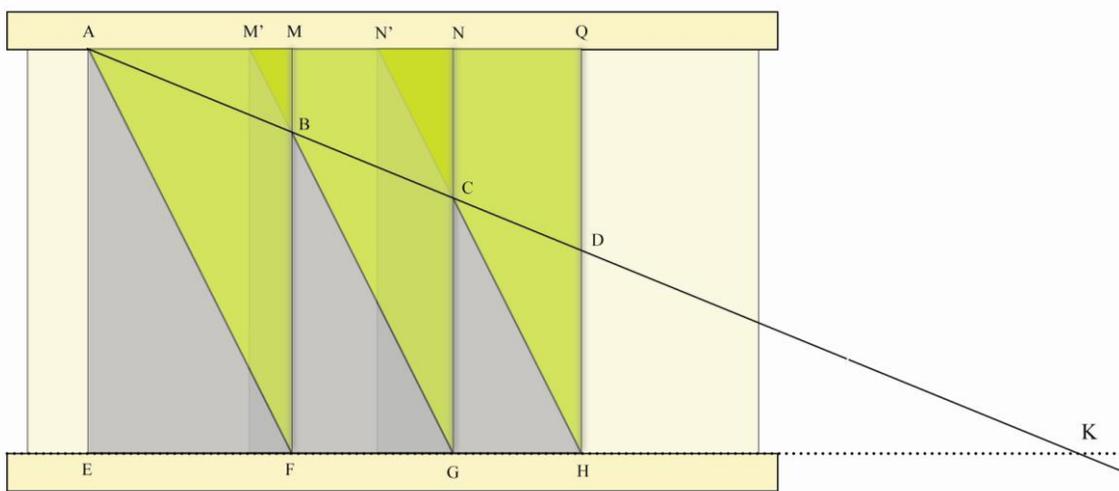
<sup>357</sup> SLUSE, Rene François: *Mesolabum seu duae mediae proportionales inter extremas datas per circulum et per infinitas hyperbolas, vel ellipses et per quamlibet exhibitae, ac problematum omnium solidorum effectio per easdem curvas. Accessit pars altera de analysi, et miscellanea*. Lieja, F. van Milst, 1659.

<sup>358</sup> ZARLINO [1558-1588] pp. 116-117 y ZARLINO, Gioseffo: *Sopplimenti Musicali*, Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1588-1589, p. 209.

Esquemáticamente, el mesolabio puede asumirse como una serie de triángulos que, en una primera instancia, si se pretendiera hallar dos medias proporcionales, se presentarían así:

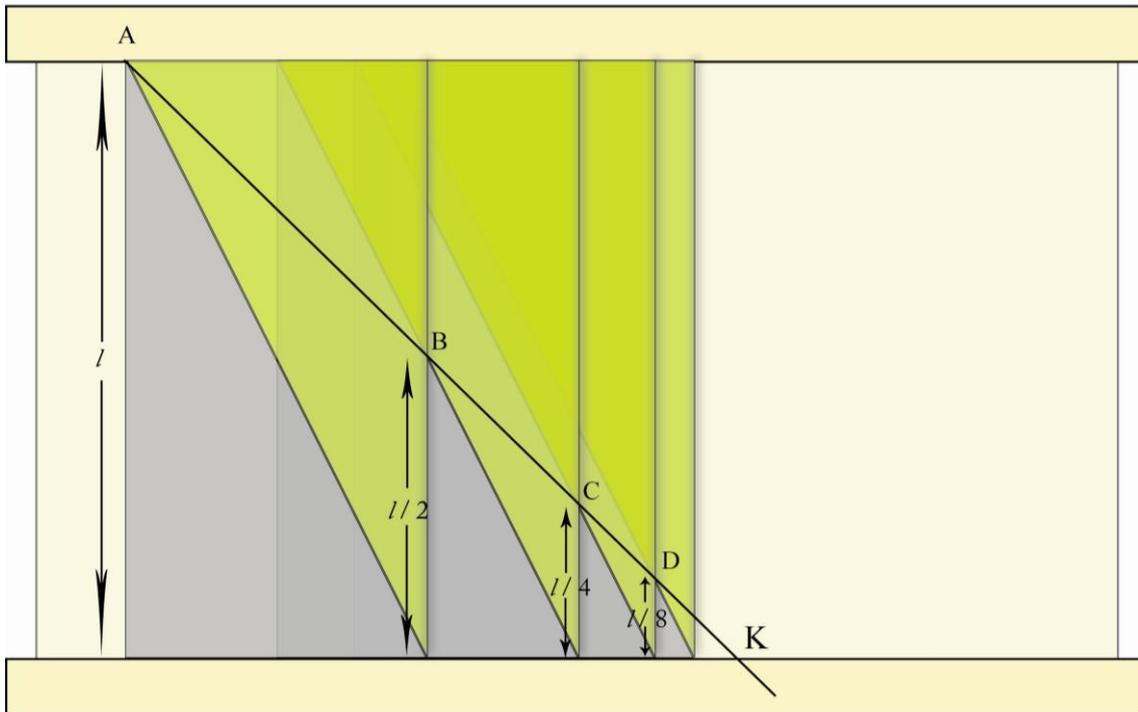


El instrumento permitiría hallar dos medias proporcionales entre el segmento AE y una parte del segmento QH. Los triángulos o paralelogramos, podían desplazarse sobre las guías –solapándose unos sobre otros–, resultando de la siguiente manera:



Siendo BF y CG las medias proporcionales entre el valor dado AE y otro valor DH colocado sobre el segmento HQ.

Una mirada intuitiva al funcionamiento del aparato –para el caso de una media proporcional geométrica ya conocida, como la proporción doble 2:1 (octavas consecutivas)–, se observa al colocar fácilmente cuatro paralelogramos de la siguiente manera:



En la figura anterior, el “hilo” sería necesariamente recto, si los paralelogramos fueran colocados siguiendo las dimensiones ya conocidas – $l$ ,  $l/2$ ,  $l/4$ ,  $l/8$ –, y que guardan una progresión con media geométrica igual a 2.

La demostración geométrica de que los segmentos en un mesolabio están en proporción geométrica la expuso Heath basándose en la versión de Eratóstenes que permitía la consecución de dos medias proporcionales.<sup>359</sup>

<sup>359</sup> HEATH, Thomas: *A history of Greek mathematics*. Vol.I. Oxford, Oxford University Press, 1931, p. 259. Puede verse una discusión más amplia (con inferencias en el marco de la música antigua griega) en el ya mencionado libro: CREESE, David: *The Monochord in Ancient Greek Harmonic Science* (2010), pp. 196-199; y otro tipo de demostración, en GARCÍA PÉREZ, Sara Amaya: *El número sonoro. La matemática en las teorías armónicas de Salinas y Zarlino*. Salamanca, Caja Duero, 2003, pp. 98-100.

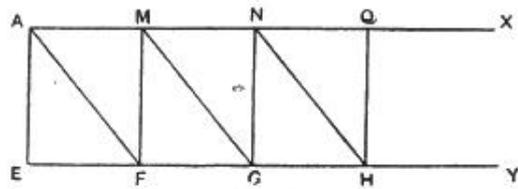


FIG. 1.

Siguiendo a Heath, supóngase la estructura formada por las paralelas AX, EY. La posición inicial de los triángulos es la que se muestra en la primera figura, donde los triángulos son AMF, MNG, NQH.

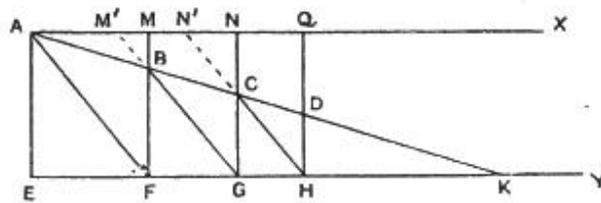


FIG. 2.

En la segunda figura, las líneas rectas AE, DH, que son paralelas entre sí, son aquellas entre las que deben hallarse dos medias proporcionales.

Si AD, EH se encuentran en K, entonces

$$EK : KF = AK : KB \text{ [puesto que AE y BF son paralelas]} \quad (1)$$

$$EK : Kf = FK : KG \text{ [puesto que AF y BG son paralelas]} \quad (2)$$

Y si se tiene que

$$EK : KF = AE : BF \text{ [puesto que son triángulos semejantes]} \quad (3)$$

al igual que

$$FK : KG = BF : CG \text{ [puesto que son triángulos semejantes]} \quad (4)$$

Entonces al combinar (1) (2) y (3) se tiene

$$AE : BF = BF : CG \quad (5)$$

El mismo razonamiento puede aplicarse para demostrar que

$$BF : CG = CG : DH \quad (6)$$

De manera que AE, BF, CG, DH están en continua proporción y BF, CG son las medias proporcionales requeridas.

Puede entonces escribirse:

$AE : BF = BF : CG = CG : DH$  que tiene la forma  $a : b :: b : c :: c : d$ , propia de las medias geoméricamente proporcionales.

En caso de que AE fuera el doble de DH, y si se denominara con el término  $m$  a la proporción geométrica común, se tendría:

○  $AE : BF = m$  de donde  $BF = AE : m$  (7)

○  $BF : CG = m$  de donde  $CG = BF : m$  (8)

Al combinar (7) con (8) y sustituir BF en (8), se tiene,  $CG = AE : m^2$  (9)

Como, a su vez,  $CG : DH = m$ , al combinar con (9), se tiene:

○  $DH = AE : m^3$

Para el caso de la proporción doble 2:1, si  $AE = 2$  y  $DH = 1$  se tiene,  $1 = 2 : m^3$ , de donde, finalmente,

$$m^3=2, \text{ es decir, } m= \sqrt[3]{2}, \text{ la raíz cúbica de 2, número irracional.}$$

El razonamiento anterior es fácil extrapolarlo a una mayor cantidad de paralelogramos para demostrar que, si se tienen dos segmentos en proporción  $a : b$ , y se buscan  $n$  medias geoméricamente proporcionales, la proporción  $m$  es la raíz  $n$ -ésima de  $a : b$ .

## 6 BIBLIOGRAFÍA

### 6.1 Fuentes primarias investigadas

En este apartado se colocan las fuentes bibliográficas primarias que hacen referencia, en particular, a los tres monocordios investigados, según el orden cronológico de sus autores. Asimismo, también se colocan aquí otras obras consultadas de los mismos autores, que hacen referencia a la música, la filosofía natural y la ciencia, en general. Se ha dividido cada sub-apartado según se trate de: impresos, facsímiles, transcripciones o traducciones, tanto en formato impreso como digital. Todos los enlaces a páginas web de este apartado, así como en la investigación y el resto de la Bibliografía General, han sido corroborados en diversas ocasiones desde el inicio de esta investigación y, como último acceso, durante marzo de 2013. Al hacer esta mención –en esta breve introducción–, se prescinde aquí de su colocación como acotación bibliográfica, salvo que se indique lo contrario, en cuyo caso se colocará la fecha exacta de dicho acceso.

\* \* \*

#### a) El monocordio según Bartolomé Ramos de Pareja

Obra principal investigada:

RAMOS DE PAREJA, Bartolomé: *De musica tractatus*.

[RISM B/VI/2 = LESURE, François (dir.): *Écrits imprimés concernant la musique*. 2 vols. Múnich, G.. Henle Verlag, 1971, p. 687.]

Impreso como:

- *De musica tractatus*. Johann Schriber y Enrico de Colonia?, Bolonia, 11 mayo 1482. [Un único ejemplar al que le falta la página 1 en el *Museo internazionale e biblioteca della musica di Bologna*].

- *De musica tractatus*. Baltasar de Hiriberia, Bolonia, 5 junio 1482. [2 ejemplares: Ratisbona (Regensburg), Biblioteca musical Proske (incompleto); y en el *Museo internazionale e biblioteca della musica di Bologna* (faltan los folios 1 y 23)].

#### Facsimil:

- *Música Práctica*. Gaetano Chiappini, (trad.); y Clemente Terni, (int. y notas). Madrid, Joyas Bibliográficas, 1983.
- Biblioteca Digital del *Museo internazionale e biblioteca della musica di Bologna*.  
<http://www.bibliotecamusica.it/cmbm/viewschedatwbca.asp?path=/cmbm/images/ripro/gaspari/A/A080/>
- Petrucci Music Library, International Music Score Library Project (IMSLP)  
[http://imslp.org/wiki/Musica\\_practica\\_\(Ramos\\_de\\_Pareja,\\_Bartolomeo\)](http://imslp.org/wiki/Musica_practica_(Ramos_de_Pareja,_Bartolomeo))

#### Transcripciones:

- WOLF, Johannes: *Musica practica Bartolomei Rami de Pareia, Bononiae impressa*, Leipzig, Breikopf & Härtel, 1901. [Versión digital facsimil, en <http://bdh.bne.es/bnearch/biblioteca/Ramos%20de%20Pareja,%20Bartolom%C3%A9>]; [Versión en texto ASCII, en *Thesaurus Musicarum Latinarum*. Thomas J. Mathiesen (dir.). Bloomington, Universidad de Indiana. [http://www.chmtl.indiana.edu/tml/15th/15TH\\_INDEX.html](http://www.chmtl.indiana.edu/tml/15th/15TH_INDEX.html)].
- CHIAPPINI, Gaetano (trad.); y TERNI Clemente, (int. y notas): *Bartolomé Ramos de Pareja: Música Práctica*. Madrid, Joyas Bibliográficas, 1983.

#### Traducciones al castellano:

- *Música Práctica*: Gaetano Chiappini, (trad.); y Clemente Terni, (int. y notas). Madrid, Joyas Bibliográficas, 1983.
- *Música Práctica*: José Luis Moralejo, (trad.); Rodrigo Zayas, (rev.) y Enrique Sánchez Pedrote, (int.) Madrid, Alpuerto, (1977), 1990.

#### Traducciones íntegras a otros idiomas:

- FOSE, Luanne Eris: *The Musica Practica of Bartolomeo Ramos de Pareia: A Critical Translation and Commentary*. Tesis doctoral. Denton, University of North Texas, 1992.

- TORSELLI, Elisabetta: *Musica practica di Bartolomeo Ramos de Pareja*. Nuova edizione, traduzione in italiano, studio e commento. Tesis doctoral. Pavia, Università di Pavia, Scuola di paleografia musicale di Cremona, 1992.
- MILLER, Clement: *Musica practica*. Neuhausen-Stuttgart, American Institute of Musicology, 1993.

Traducciones parciales:

- STRUNK, Oliver; y TREITLER, Leo: *Source readings in music history*. New York, W. W. Norton, (1950) 1998, pp.407-414.

## b) El monocordio según Gioseffo Zarlino

Obra principal investigada:

ZARLINO, Gioseffo: *Le Istitutioni Harmoniche*. [RISM B/VI/2 = LESURE, François (dir.): *Écrits imprimés concernant la musique*. 2 vols. Múnich, G.. Henle Verlag, 1971, pp. 907-908.]

Impreso:

- *Le Istitutioni Harmoniche*. Venecia, Da Fino?, 1558.
- *Le Istitutioni Harmoniche*. Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1561, 1562, 1572.
- *Istitutioni Harmoniche*. Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1573.
- *L'Istitutioni Harmoniche en De Tutte l'opere del R. M. Gioseffo Zarlino da Chioggia*. 4 vols. Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1588-1589, vol. 1.

Facsimil:

- *Monuments of Music and Music Literature in Facsimile, Le Istitutioni Harmoniche. Facsimile of the Venice, 1558 edition*. New York, Broude Brothers, 1965.
- *Le istituzioni harmoniche. Venecia, 1561*. Iain Fenlon y Paolo Da Col Int.). Bologna, Bibliotheca Musica Bononiensis, (1999) 2008.
- *Istitutioni Harmoniche*. New Jersey, The Gregg Press Incorporated, 1966.

- *Le Istitutioni Harmoniche*. Venecia, Da Fino?, 1558, en *Gallica*, Bibliothèque Nationale de France, <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k58227h>.
- *Le Istitutioni Harmoniche*. Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1562, en *Internet Culturale, Cataloghi e Collezioni digitali delle biblioteche italiane*, <http://iccu01e.caspur.it/ms/internetCulturale.php?id=oai%3Awww.internetculturale.sbn.it%2Fteca%3A20%3ANT0000%3AIT%5C%5CICCU%5C%5CVEAE%5C%5C009413>
- *Le Istitutioni Harmoniche*. Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1571, en *Internet Culturale, Cataloghi e Collezioni digitali delle biblioteche italiane*, <http://iccu01e.caspur.it/ms/internetCulturale.php?id=oai%3Abncf.firenze.sbn.it%3A21%3AFI0098%3AMagliabechi%3ARLZE016363&teca=Bncf>
- *Istitutioni Harmoniche*. Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1573, en *Internet Culturale, Cataloghi e Collezioni digitali delle biblioteche italiane*, <http://iccu01e.caspur.it/ms/internetCulturale.php?id=oai%3Awww.internetculturale.sbn.it%2Fteca%3A20%3ANT0000%3AIT%5C%5CICCU%5C%5CMILE%5C%5C009916>
- *L'Istitutioni Harmoniche*, en *De Tutte l'opere del R. M. Gioseffo Zarlino da Chioggia*. 4 vols. Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1588-1589, vol. 1, en *Internet Culturale, Cataloghi e Collezioni digitali delle biblioteche italiane*, <http://iccu01e.caspur.it/ms/internetCulturale.php?id=oai%3Awww.internetculturale.sbn.it%2Fteca%3A20%3ANT0000%3AIT%5C%5CICCU%5C%5CCFIE%5C%5C003064>

#### Transcripción digital:

- *Le Istitutioni Harmoniche*. Venecia, Da Fino?, 1558, en *Saggi musicali italiani*. Thomas J. Mathiesen (dir.). Bloomington, Universidad de Indiana, <http://www.chmtl.indiana.edu/smi/16th.html>; *Thesaurum Musicarum Italicarum*. Frans Wiering (dir.) Utrecht, Institute for Information and Computing Sciences, [Hasta febrero de 2013 el sitio web <http://euromusicology.cs.uu.nl/index.html> estaba totalmente operativo junto a su mecanismo de indexación electrónica, actualmente pueden leerse sus líneas editoriales y se está a la espera de una solución operativa].

#### Traducciones parciales en otros idiomas:

- MARCO, Guy: *Zarlino on Counterpoint: an indexed annotated translation of the Institutioni harmoniche, book III, with a glossary and commentary*. Tesis doctoral. Chicago, The University of Chicago, 1956. Edición revisada y reimpresa como: PALISCA, Claude, (ed.): *The Art of Counterpoint, Part Three of "Le institutioni harmoniche" 1558*. New Haven, Yale University Press, "Music Theory Translation Series, 2", 1968.

- COHEN, Vered: *Zarlino on Modes: An Annotated, Indexed Translation, with Introduction and Commentary, of Part IV of Le istituzioni harmoniche*. Tesis doctoral. New York, The City University of New York, 1977. Publicada por PALISCA, Claude, (int. y ed.), New Haven, Yale Univesity Press, 1983.

Otras obras consultadas del mismo autor:

ZARLINO, Gioseffo. *Dimostrations Harmoniche*, Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1571. [RISM B/VI/2 = LESURE, François (dir.): *Écrits imprimés concernant la musique*. 2 vols. Múnich, G.. Henle Verlag, 1971, p. 907].

- Reimpreso como *Dimostrations Harmoniche* en *De Tutte l'opere del R. M. Gioseffo Zarlino da Chioggia*. 4 vols. Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1588-1589, vol. 2.
- Facsímil impreso en *Monuments of Music and Music Literature in Facsimile. Dimostrations harmoniche. A Facsimile of the 1571 edition*. New York, Broude Brothers, 1965.
- Facsímil digital en *Internet Culturale, Cataloghi e Collezioni digitali delle biblioteche italiane*,  
<http://iccu01e.caspur.it/ms/internetCulturale.php?id=oai%3Abncf.firenze.sbn.it%3A21%3AFI0098%3AMagliabechi%3ARLZE016363&teca=Bncf>
- Facsímil digital en *Gallica*, Bibliothèque Nationale de France,  
<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k582265>.

ZARLINO, Gioseffo. *Sopplimenti Musicali*, Venecia, Francesco Franceschi, 1589.

- Facsímil impreso en *Monuments of Music and Music Literature in Facsimile series. Sopplimenti Musicali. Facsimile of the Venice, 1588 edition*. New York, Broude Brothers, 1979.
- Facsímil digital en *Internet Culturale, Cataloghi e Collezioni digitali delle biblioteche italiane*,  
<http://iccu01e.caspur.it/ms/internetCulturale.php?id=oai%3Awww.internetculturale.sbn.it%2FTeca%3A20%3ANT0000%3AIT%5C%5CICCU%5C%5CCFIE%5C%5C003067&teca=MagTeca+-+ICCU>
- Facsímil digital en *Gallica*, Bibliothèque Nationale de France,  
<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k582296>.

ZARLINO, Gioseffo: *De Tutte l'opere del R. M. Gioseffo Zarlino da Chioggia*. 4 vols. Venecia, Francesco dei Franceschi Senese, 1589. [RISM B/VI/2 = LESURE, François (dir.): *Écrits imprimés concernant la musique*. 2 vols. Múnich, G.. Henle Verlag, 1971, pp. 906-907].

- Facsímil digital en *Internet Culturale, Cataloghi e Collezioni digitali delle biblioteche italiane* (véase, *supra*, vols. 1, 2 y 3). El cuarto volumen es una colección de obras no musicales que incluyen: *il Trattato della patientia, il Discorso del vero anno, & giorno della morte di Christo, l'Origine de i r.p. Cappuccini et le Risolutioni d'alcune dimande fatte intorno la correctione del calendario di Giulio Cesare. Con due tauole, l'una posta nel principio, che serue al Trattato della Patientia; l'altra nel fine del libro, che serue A tutte le nominate opere*. Facsímil digital en, <http://www.internetculturale.it/opencms/opencms/it/viewItemMag.jsp?id=oai%3Awww.internetculturale.sbn.it%2FTeca%3A20%3ANT0000%3AIT%5C%5CICCU%5C%5CCFIE%5C%5C003068&teca=mag+iccu>
- Facsímil impreso Hildesheim, Georg Olms, 1986 - En preparación.

### c) El monocordio según Marin Mersenne

Obra principal investigada:

MERSENNE, Marin: *Harmonie Universelle, contenant La Théorie et la Pratique de la Musique*. [[RISM B/VI/2 = LESURE, François (dir.): *Écrits imprimés concernant la musique*. 2 vols. Múnich, G.. Henle Verlag, 1971, p. 573.]

Impreso en tres tirajes diferentes como:

- *Harmonie Universelle, contenant La Théorie et la Pratique de la Musique*. París, Sebastien Cramoisy, 1636, [vol. 2, Pierre Ballard, 1637].
- *Harmonie Universelle, contenant La Théorie et la Pratique de la Musique*. París, Pierre Ballard, 1636.
- *Harmonie Universelle, contenant La Théorie et la Pratique de la Musique*. París, Richard Charlemagne, 1636, [vol. 2, Pierre Ballard, 1637].

Facsímil:

- *Harmonie Universelle, contenant La Théorie et la Pratique de la Musique*. 3 vols. París, Sebastien Cramoisy, 1636. Francois Lesure, (int.). París, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), 1965. Facsímil a partir del ejemplar conservado en la biblioteca del *Conservatoire des Arts et Métiers* de París, con anotaciones del autor.
- *Harmonie Universelle, contenant La Théorie et la Pratique de la Musique*. 3 vols. París, Sebastien Cramoisy, 1636. En “Gallica”, Bibliothèque Nationale de France, <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5471093v>.

#### Transcripción digital:

- *Harmonie Universelle, contenant La Théorie et la Pratique de la Musique*. 3 vols. París, Sebastien Cramoisy, 1636. París, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), 1965 en “Traité français sur la musique”, Bloomington, Universidad de Indiana, [http://www.chmtl.indiana.edu/tfm/17th/17th\\_Index.html](http://www.chmtl.indiana.edu/tfm/17th/17th_Index.html).

#### Traducciones parciales:

- CHAPMAN, Roger: “The Books on Instruments in the *Harmonie Universelle* of Marin Mersenne.” Tesis doctoral. Los Angeles, Universidad de California, 1954. Publicado como *Harmonie Universelle: The Books on Instruments*. La Haya, Martinus Nijhoff, 1957.
- WILLIAMS, Robert Fortson: *Marin Mersenne: an edited translation of the fourth treatise of the Harmonie universelle*. Tesis doctoral, Rochester, University of Rochester, Eastman School of Music, 1972.
- LEROY, Edmund Walter: “Book One of the ‘Traitez de la voix, et des chants’ from Marin Mersenne’s *Harmonie Universelle*: A translation” Tesis doctoral, New York, The Julliard School, 1978.
- KÖHLER, Wolfgang: *Der “Livre cinquieme des instrumens à vent” aus dem “Traité des instruments” der “Harmonie universelle” von Marin Mersenne*. Tesis doctoral, Bochum, The University of Bochum, 1983. Publicado como *Die Blasinstrumente aus der "Harmonie universelle" des Marin Mersenne: Übersetzung und Kommentar des "Livre cinquieme des instrumens à vent" aus dem "Traité des instruments"*. Celle, Moeck, 1987.

#### Otras obras consultadas del mismo autor:

- MERSENNE, Marin: *La vérité des sciences, contre les septiques [sic] ou pyrrhoniens*. Paris, Toussaint du Bray, 1625. En “Gallica”, Bibliothèque Nationale de France: <http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb37242643x>
- MERSENNE, Marin. *Traité de l’harmonie universelle*. Paris, Guillaume Baudry, 1627. En Bayerische Staatsbibliothek Digital, <http://reader.digitale-sammlungen.de/resolve/display/bsb10599500.html>.
- MERSENNE, Marin: *Les Preludes de l’Harmonie Universelle, ou questions curieuses Utiles aux Prédicateurs, aux Théologiens, aux Astrologues, aux Medecins et aux Philosophes*. Paris, Henry Guénon, 1634. En “Gallica”, Bibliothèque Nationale de France: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8620758q>.
- MERSENNE, Marin: *Questions harmoniques: Dans lesquelles sont contenues plusieurs choses pour la Physique, la Morale, & pour les autres sciences*. Paris, Jaques Villery, 1634. En Google Books: <http://books.google.be/books?id=sOpDAAAAcAAJ&dq>
- MERSENNE, Marin: *Harmonicorum libri in quibus agitur de sonorum natura, causis & effectibus: de consonantiis, dissonantiis, rationibus, generibus, modis, cantibus, compositione, orbisque totius harmonicis instrumentis*. Paris, Guillaume Baudry, 1635-1636. En Google Books, <http://books.google.be/books?vid=GENT900000134869>.
- MERSENNE, Marin: *Harmonicorum instromentorum Libri IV*. Paris, Guillaume Baudry, 1636. En “Gallica”, Bibliothèque Nationale de France <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8626832p>.
- MERSENNE, Marin: *Harmonicorum libri XII: in quibus agitur de sonorum natura, causis et effectibus, de consonantiis, dissonantiis, rationibus, generibus, modis, cantibus, compositione, orbisque totius harmonicis instrumentis*. Paris, Guillaume Baudry, 1648. ID. : Editio nova et correcta. Paris, Thomas Jolly, 1652. En Google Books <http://books.google.be/books?id=V8pCAAAAcAAJ&hl>.
- MERSENNE, Marin: *Correspondance du P. Marin Mersenne, religieux minime*. Paul Tannery, (ed.) Paris, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), G. Beauchesne, 1932.

## 6.2 Bibliografía general

AARÓN, Pietro: *Il toscanello in musica*. Venecia, Marchio Sessanelli, 1523. En Google Books [http://books.google.es/books?id=dMZCAAAACAAJ&source=gbs\\_navlinks\\_s](http://books.google.es/books?id=dMZCAAAACAAJ&source=gbs_navlinks_s)

ADKINS, Cecil y DICKINSON, Alis: *A Trumpet by any Other Name: a History of the Trumpet Marine*. Buren, Knuf, 1991.

ADKINS, Cecil: *The theory and practice of the monochord*. Tesis doctoral. Des Moines, State of University of Iowa, 1963.

ANÓNIMO: *De audibilibus*, en BARKER, Andrew: *Greek Musical Writings*. Vol. II: *Harmonic and Acoustic Theory*. Cambridge, Cambridge University Press, 1989, cap. 5.

ANÓNIMO: *Rhetorica ad Herennium*. Harry Caplan, (trad.). Cambridge, Harvard University Press, Cambridge, 1954.

ARÍSTIDES QUINTILIANO: *De musica*, en BARKER, Andrew: *Greek Musical Writings*. Vol. II: *Harmonic and Acoustic Theory*. Cambridge, Cambridge University Press, 1989, cap. 11.

ARISTÓTELES: *Tratados de Lógica (Organon I y II)*. Madrid, Gredos, 1988.

ARISTÓTELES: *Acerca del alma*. Tomás Calvo, (trad.). Madrid, Gredos, 1978.

ARISTÓXENO: *Elementa armonica*, en BARKER, Andrew: *Greek Musical Writings*. Vol. II: *Harmonic and Acoustic Theory*. Cambridge, Cambridge University Press, 1989, cap. 7.

BALDI, Bernardino: *Le vite de' matematici*. Urbino, ed. manuscrita, 1588-1596. En "ECHO – European Cultural Heritage Online", Max Planck Institute for the History of Science, Library, Tomo I: <http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/MPIWG:C2AZYD29>, Tomo II: <http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/MPIWG:6YVAZF9Y>.

BALDI, Bernardino: *Cronica de matematici. Overo epitome dell' istoria delle vite loro*. Urbino, ed. manuscrita, 1596. En "History of Science Collections", Red de Bibliotecas de la Universidad de Oklahoma, <http://hos.ou.edu/galleries/16thCentury/Baldi/1596/>.

BALDI, Bernardino: *Cronica de matematici overo epitome dell'istoria delle vite loro. Cronica de matematici*. Urbino, Angelo Ant. Monticelli, 1707. En Bayerische Staatsbibliothek Digital, <http://reader.digitale-sammlungen.de/resolve/display/bsb10525367.html>.

- BALDI, Bernardino: *Le vite de' matematici*. Franco Angeli, (ed.). Milán, Nenci, 1998.
- BARBERA, André: *The Euclidean Division of the Canon. Greek and Latin Sources*. Lincoln, The University of Nebraska Press, 1991.
- BARBIERI, Patrizio: “Il mesolabio e il compasso di proporzione: le applicazioni musicali di due strumenti matematici (1558-1675)”, en *Musica, scienza e idee nella Serenissima durante il Seicento : atti del convegno internazionale de studi, Venezia-Palazzo Giustinian Lolin, 13-15 dicembre 1993*. Venecia, Edizioni Fondazione Levi, 1996.
- BARBOUR, James Murray: *Tuning and Temperament*. East Lansing, Michigan State College Press, 1951. [Reimp.: New York, Da Capo Press, 1972].
- BARKER, Andrew: *Greek Musical Writings, Vol. I: The Musician and his Art*, Cambridge, Cambridge University Press, 1984.
- BARKER, Andrew: *Greek Musical Writings. Vol. II: Harmonic and Acoustic Theory*. Cambridge, Cambridge University Press, 1989.
- BARKER, Naomi: “Un-discarded images: illustrations of antique musical instruments in 17<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup> century books, their sources and transmission”, en *Early Music*, 35/2 (2007).
- BEDINI, Silvio: “Science and Instruments in Seventeenth-Century Italy”, en *Collected Studies Series*, Cs 448. Aldershot, Variorum, 1994.
- BENEDETTI, Giovanni Battista: *Diversarum speculationum mathematicarum & physicorum liber*. Venecia, Nicolai Bevilacqua, 1585.
- BENNETT, Jim: “Knowing and doing in the sixteenth century: what were instruments for?”, en *The British Journal for the History of Science*, 36/2 (2003), pp. 129-150.
- BERGER, Karol: “The Guidonian Hand”, en *The Medieval Craft of Memory: An Anthology of Texts and Pictures*. Mary Carruthers y Joan M. Ziolkowski, (eds.) Philadelphia, University of Pennsylvania Press, 2002.
- BEYER, Robert: *Sounds of our times, two hundred years of acoustics*. New York, Springer and AIP Press, 1999.
- BLACKBURN, Bonnie; LOWINSKY, Edward y MILLER, Clement, (eds.): *A Correspondence of Renaissance Musicians*. Oxford, Oxford University Press, 1991.

BOECIO, Anicius Manlius Severinus: *De insitutione música libri quinque*. Godofredus Friedlein (ed.), Leipzig, B. G. Teubner, 1867. En *Thesaurus Musicarum Latinarum*, Bloomington, Universidad de Indiana, [http://www.chmtl.indiana.edu/tml/6th-8th/6TH-8TH\\_INDEX.html](http://www.chmtl.indiana.edu/tml/6th-8th/6TH-8TH_INDEX.html); en “Petrucci Music Library”, International Music Score Library Project (IMSLP), [http://imslp.org/wiki/De\\_Institutione\\_musica\\_\(Bo%C3%ABthius,\\_Anicius\\_Manlius\\_Severinus\)](http://imslp.org/wiki/De_Institutione_musica_(Bo%C3%ABthius,_Anicius_Manlius_Severinus)).

BOECIO, Anicius Manlius Severinus: *Tratado de Música*. Salvador Villegas, (trad.). Madrid, Ediciones Clásicas, 2005.

BOECIO, Anicius Manlius Severinus: *Sobre el fundamento de la música*. Jesús Moreno, (trad.). Madrid, Gredos, 2009.

BORZACCHINI, Luigi: “Incommensurability, Music and Continuum: A Cognitive Approach”, en *Archive for History of Exact Sciences*, 61/3 (2007), pp. 273-302.

BOS, Hendrik: “The significance of Sluse’s mesolabum within seventeenth-century geometry and algebra”, en *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 55/1 (1986), pp.145-153.

BOS, Hendrik: *Redefining geometrical exactness: Descartes' transformation of the early modern concept of construction*. New York, Springer, 2001.

BOWER, Calvin; y PALISCA, Claude; (eds.): *Fundamentals of Music*. New Haven, Yale University Press, 1983.

BUSSE, Anne: *Medieval Music and the Art of Memory*. Los Angeles, University of California Press, 1996.

CARRUTHERS, Mary: *The book of memory: a study of memory in medieval culture*. Cambridge, Cambridge University Press, 1996.

BUTTERFIELD, Herbert: *The origins of Modern Science, 1300-1800*. Londres, G. Bell, 1949. (Trad. cast.: *Los orígenes de la ciencia moderna*. Madrid, Taurus, 1992).

CAJORI, Florian: *A history of mathematical notations*. New York, Dover, 1993.

CALVO-MANZANO, Antonio: *Acústica físico-musical*. Madrid, Real Musical, 1991.

CARRUTHERS, Mary: *Rhetoric beyond words: delight and persuasion in the arts of the Middle Ages*. Cambridge, Cambridge University Press, 2010.

CASPAR, Max: *Bibliographia Kepleriana: Ein Führer Durch das Gedruckte Schrifttum von Johannes Kepler*. München. C.H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, 1936. (Trad. cast: *Kepler*. Madrid, Acento Editorial, 2003).

CENSORINO: *De die natali*. Fridericus Hultsch, (ed.), Leipzig, B. G. Teubner, 1867. En *Thesaurus Musicarum Latinarum*, Bloomington, Universidad de Indiana, [http://www.chmtl.indiana.edu/tml/3rd-5th/3RD-5TH\\_INDEX.html](http://www.chmtl.indiana.edu/tml/3rd-5th/3RD-5TH_INDEX.html).

CERONE, Pedro: *El Melopeo y Maestro*. Nápoles, J. B. Gargano y L. Nucci, 1613. Antonio Ezquerro, (ed.) Barcelona, Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC, 2007.

CLEONIDES: *Isagoge harmonica*, en JAN, Karl von: *Musici scriptores graeci*. Leipzig, B. G. Teubner, 1895. [Reimp. Hildesheim, Georg Olms, 1962].

COELHO, Victor (ed.): *Music and Science in the age of Galileo*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1992.

COHEN, Hendrik Floris: *Quantifying music. The science of music at the first stage of the scientific revolution, 1580-1650*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1986.

COHEN, Hendrik Floris: *The Scientific Revolution. A historiographical inquiry*. Chicago, The University of Chicago Press, 1994.

COHEN, Hendrik Floris: *How modern science came to the world: Four Civilizations, One 17th-Century Breakthrough*. Amsterdam, Amsterdam University Press, 2010.

COLEMAN, Janet: *Ancient medieval memories: studies in the reconstruction of the past*. Cambridge, Cambridge University Press, 1992.

COOK, Tom; y SEAMON, Ron: "Ein Feyerabend, or Who is Feyerabend", en *Pre/Text*, 1/1-2 (1980), pp.124-60.

CREESE, David: *The Monochord in Ancient Greek Harmonic Science*. Cambridge, Cambridge University Press, 2010.

CROMBIE, Allistair: "Science of Music", en *Styles of scientific thinking in the European tradition*. Vol. 2. Londres, Duckworth, 1994.

DAUMAS, Maurice: *Les instruments scientifiques aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles*. París, Presses Universitaires de France, 1953.

DE MATA CARRIAZO, Juan (ed.): *Colección de crónicas españolas III. Hechos del Condestable Don Miguel Lucas de Iranzo. Crónica del siglo XV*. Madrid, Espasa-Calpe, 1940.

DEAR, Peter: “The meanings of experience”, en *The Cambridge History of Science*. Vol. 3: *Early Modern Science*. Cambridge, Cambridge University Press, 2006.

*Diccionario de la Música Española e Hispanoamericana*. 10 vols. Emilio Casares (dir.). Madrid, SGAE, 1999-2002.

*Die Musik in Geschichte und Gegenwart (MGG)*. Kassel, Bärenreiter. Friedrich Blume (dir.) 1949–1968, suppl. 1973–1986); Kurt von Finscher (dir.), 1994–2007, suppl. 2008.

DOSTROVSKY, Sigalia: “Early vibration theory: Physics and music in the Seventeen Century”, en *Archive for History of Exact Sciences*, 14 (1975), pp. 169-218.

DRAKE, Stillman: “Renaissance Music and Experimental Science”, en *Journal of the History of Ideas*, 31 (1970), pp.483-500.

DRAKE, Stillman: *Essays on Galileo and the History and Philosophy of Science*. Toronto, University of Toronto, 1999.

DUGGAN, Mary Kay: *Italian Music Incunabula: Printers and Type*. Berkeley, University of California Press, 1992.

DUHEM, Pierre: *The aim and structure of physical theory*. Princeton, Princeton University Press, 1954.

ELLIS, John Alexander: *Studies in the history of Musical Pitch*. Amsterdam, Frits Knuf, 1968.

*EPACT, Electronic catalogue of medieval and renaissance scientific instruments from four European museums: the Museum of the History of Science, Oxford, the Istituto e Museo di Storia della Scienza, Florence, the British Museum, London, and the Museum Boerhaave, Leiden*. En <http://www.mhs.ox.ac.uk/epact/>.

EUCLIDES: *Elementos*. 3 vols. María Luisa Puerta Castaños, (trad.). Luis Vega, (int.). Madrid, Gredos, 1991.

FELDMANN, Harald: “Das Monochord, sein Weg von der Pythagoräischen Musikwissenschaft zur Prüfung der oberen Hörgrenze”, en *Laryngorhinootologie*, 74/8 (1995), pp. 519-523

FEYERABEND, Paul: *Against Method*. Londres, New Left Books, 1975. (Trad. cast.: *Tratado contra el método*, Madrid, Tecnos, 1986).

FIELD, Judith: "What is Scientific about a Scientific Instrument?", en *Nuncius*, 3/2 (1988), pp. 3-26.

FRACASTORO, Girolamo: *De sympathia et antipathia rerum*. Venecia, Iuntas, 1546.

FRANKLIN, Allan: *The neglect of experiment*. Cambridge, Cambridge University Press, 1986

FRANKLIN, Allan: *Experiments, Righ or Wrong*. Cambridge, Cambridge University Press, 1990.

GAFFURIO, Franchino: *Theorica musicae*. Milán, Filippo Mantegazza para Giovanni Pietro da Lomazzo, 1492. [Reimpreso como facsímil en *Monuments of Music and Music Literature in Facsimile*. New York, Broude Brothers, 1967]. En *Thesaurus Musicarum Latinarum*, Bloomington, Universidad de Indiana, [http://www.chmtl.indiana.edu/tml/15th/15TH\\_INDEX.html](http://www.chmtl.indiana.edu/tml/15th/15TH_INDEX.html). En "Petrucci Music Library", International Music Score Library Project (IMSLP), [http://petrucci.mus.auth.gr/imglnks/usimg/d/d4/IMSLP113566-PMLP231844-theorica\\_musice.pdf](http://petrucci.mus.auth.gr/imglnks/usimg/d/d4/IMSLP113566-PMLP231844-theorica_musice.pdf).

GAFFURIO, Franchino: *Practica musicae*. Milán, Guillaume La Siguerre para Giovanni Pietro da Lomazzo, 1496. En *Thesaurus Musicarum Latinarum*, Bloomington, Universidad de Indiana, [http://www.chmtl.indiana.edu/tml/15th/15TH\\_INDEX.html](http://www.chmtl.indiana.edu/tml/15th/15TH_INDEX.html). En "Petrucci Music Library", International Music Score Library Project (IMSLP), [http://petrucci.mus.auth.gr/imglnks/usimg/c/cc/IMSLP113600-PMLP156833-practica\\_musicae\\_1496.pdf](http://petrucci.mus.auth.gr/imglnks/usimg/c/cc/IMSLP113600-PMLP156833-practica_musicae_1496.pdf).

GAFFURIO, Franchino: *De Harmonia musicorum instrumentorum opus*. Milán, Gottardo Ponzio, 1518. [Reimpreso como facsímil en *Monuments of Music and Music Literature in Facsimile*. New York, Broude Brothers, 1979]. En *Thesaurus Musicarum Latinarum*, Bloomington, Universidad de Indiana, [http://www.chmtl.indiana.edu/tml/15th/15TH\\_INDEX.html](http://www.chmtl.indiana.edu/tml/15th/15TH_INDEX.html)

GALISON, Peter: *How Experiments End*. Chicago, Chicago, University of Chicago Press, 1987.

GARCÍA PÉREZ, Sara Amaya: *El número sonoro. La matemática en las teorías armónicas de Salinas y Zarlino*. Salamanca, Caja Duero, 2003.

GARCÍA PÉREZ, Sara Amaya: *El concepto de consonancia en la Teoría Musical: De la Escuela Pitagórica a la Revolución Científica*. Salamanca, Publicaciones Universidad Pontificia de Salamanca, 2006.

GOLDÁRAZ GAÍNZA, Javier: “La especulación teórica en torno a la aplicación y los temperamentos y su aplicabilidad práctica”, en *Los Instrumentos musicales en el siglo XVI: Actas del I Encuentro Tomás Luis de Victoria y la Música Española del Siglo XVI*. Ávila, Fundación Cultural Santa Teresa, 1997.

GOLDÁRAZ GAÍNZA, Javier: *Afinación y temperamento históricos*. Madrid, Alianza, 2004.

GOLDÁRAZ GAÍNZA, Javier: *Matemáticas y música en los tres primeros libros del De musica de Francisco Salinas*. Tesis doctoral. Madrid, Universidad de Educación a Distancia, 1991.

GOUK, Penelope: *Music, Science and Natural Magic in Seventeenth-Century England*. New Haven, Yale University Press, 1999.

GOZZA, Paolo, (ed.): *Number to Sound: The Musical Way to the Scientific Revolution*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2000.

GREW, Nehemiah: *Musaeum Regalis Societatis: Or a catalogue and description of the natural and artificial rarities belonging to the Royal Society and preserved at Gresham Colledge*. Londres, W. Rawlins, 1681. [http://books.google.es/books?id=kg15-LV0lpMC&dq=Nehemiah+Grew&source=gbs\\_navlinks\\_s](http://books.google.es/books?id=kg15-LV0lpMC&dq=Nehemiah+Grew&source=gbs_navlinks_s).

GROSS, Alan: *The Rhetoric of Science*. Londres, Harvard University Press, 1990.

GROUT, Donald y PALISCA, Claude: *A History of Western Music*. New York, W. W. Norton (1960) 1996. (Trad. Cast.: *Historia de la música occidental*. Madrid, Alianza, 2005).

HACKING, Ian: *Representing and Intervening*. Cambridge, Cambridge University Press, 1983.

HACKING, Ian: “Do We See Through a Microscope?”, en *Pacific Philosophical Quarterly*, 63 (1981). [Reimp.: CHURCHLAND, Paul; y HOOKER, Clifford: *Images of Science*. Chicago, University of Chicago Press, 1985].

HACKMAN, Willem: “Scientific instruments: models of brass and aids to discovery”, en *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*. Cambridge, Cambridge University Press, 1989.

HALL, Alfred Rupert: *The Scientific Revolution, 1500-1800: The formation of the modern attitude*. Londres, Longmans Green, 1954. (Trad. cast.: *La Revolución Científica 1500-1750*. Jordi, Beltrán, (trad.). Barcelona, Crítica, 1985).

HARRIS, Randy: “Rhetoric of Science”, en *College English*, 53/3 (1991), pp. 282-307

HARRIS, Randy: *Landmark essays on rhetoric of science: case studies*. New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, 1997.

HEATH, Thomas: *A history of Greek mathematics*. Oxford, Oxford University Press, 1931. En Internet Archive <http://archive.org/details/ahistorygreekma00heatgoog>.

HEMHOLTZ, Hermann von: *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*. Braunschweig, Vieweg, 1863.

HEMHOLTZ, Herrmann von: *On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music*. Alexander John Ellis, (trad.). Londres, Longmans Green and Co., 1895.

HERLINGER, Jan: “Medieval canonicity”, en *The Cambridge History of Western Music Theory*. Chicago, University of Chicago Press, 2002.

*History of Science Society (HSS)*, <http://www.hssonline.org/>.

*HSTM History of Science, Technology and Medicine Data Base* [Base de datos de la HSS], <https://subfill.uchicago.edu/proxy/login.aspx?s=HSS> [Último acceso durante la redacción final de esta investigación, en 17/05/2013].

HOHENZOLLERN, Johann Georg; PRINZ VON LIEDTKE, Max; *et alii*: *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Wissenskumulation: Geschichtliche Entwicklung und gesellschaftliche Auswirkungen*. Bad Heilbrunn, Klinkhardt, 1988.

HOWARD, David; y ANGUS, Jamie: *Acoustics and psychoacoustics*. Oxford, Focal Press, 2009.

IHDE, Don: *Instrumental realism: the interface between the philosophy of science and the philosophy of technology*. Bloomington, Indiana University Press, 1991.

JUDD, Cristle Collins: *Reading Renaissance Music Theory: Hearing with the Eyes*. Cambridge, Cambridge University Press, 2000.

KAMEOKA, Akio; y KURIYAGAWA, Mamora: “Consonance theory”. Part I y II, en *Journal of the Acoustical Society of America*, 45/6 (1969), pp.1451-1469.

KASSLER, Jamie: *The Honourable Roger North, 1651–1734*. Aldershot, Ashgate Publishing, 2009.

KINSLER, Lawrence; y AUSTIN, Frey: *Fundamentals of Acoustics*. New York, Wiley, 1950.

KOYRÉ, Alexander: *Études Galiléennes*. París, Hermann, 1940 (Trad. cast.: *Estudios Galileanos*. Madrid, Siglo XXI Editores de España, 1980).

KOYRÉ, Alexander: *Études d'histoire de la pensée scientifique*. París, Gallimard, 1973. (Trad. cast.: *Estudios de historia del pensamiento científico*. Madrid, Siglo XXI Editores de España, 1977).

KUHN, Thomas: *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago, University of Chicago Press, 1962. (Trad. cast.: *La estructura de las revoluciones científicas*. Agustín Contin, (trad.). México, Fondo de Cultura Económica, 1971).

LATOUR, Bruno; y WOOLGAR, Steve: *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*. Beverly Hills, Sage Publications, 1979. (Trad. cast.: *La vida en el laboratorio: la construcción de los hechos científicos*. Eulalia Pérez Sedeño, (trad.). Madrid, Alianza, 1995).

LENOBLE, Robert: *Mersenne ou la naissance du mécanisme*. París, J. Vrin, 1943.

MACROBIO: *Commentarium in somnium Scipionis*. Franciscus Eyssenhardt, (ed.) Leipzig, B. G. Teubner, 1868. En *Thesaurus Musicarum Latinarum*, Bloomington, Universidad de Indiana, [http://www.chmtl.indiana.edu/tml/3rd-5th/3RD-5TH\\_INDEX.html](http://www.chmtl.indiana.edu/tml/3rd-5th/3RD-5TH_INDEX.html).

MALET, Antoni: "Early Conceptualizations of the Telescope as an Optical Instrument", en *Early Science and Medicine*, 10/2 (2005), pp. 237-262

MALET, Antoni; y COZZOLI, Daniele: "Mersenne and the Mixed Mathematics", en *Perspective of Science*. 18/1 (2010), pp.1-8.

MARTINI, Angelo: *Manuale di metrologia, ossia, Misure, pesi e monete in uso attualmente e anticamente presso tutti i popoli*. Roma, E.R.A., 1976. [Edición digital Guido Mura, (ed.), Milán, Biblioteca Nazionale Braidense, 2003, <http://www.braidense.it/dire/martini/modweb/>].

MATHIESEN, Thomas: "An annotated translation of Euclid's division of a monochord", en *Journal of Music Theory*, 19 (1975), pp. 236-259.

MATHIESEN, Thomas: *Apollo's Lyre: Greek Music and Music Theory in Antiquity and the Middle Ages*. Lincoln, University of Nebraska Press, 1999.

MEYER, Christian: *Mensura Monochordi: la division du monocorde*. París, Société Française de Musicologie, 1996.

MORENO, Jairo: *Musical Representations, Subjects, and Objects: The Construction of Musical Thought in Zarlino, Descartes, Rameau, and Weber*. Bloomington, Indiana University Press, 2004.

MOYER, Ann: *Musica Scientia. Musical scholarship in the Italian Renaissance*. Londres, Cornell University Press, 1992.

NEBRIJA, Antonio de: *Artis rhetoricae compendiosa coaptatio, ex Aristotele, Cicerone et Quintiliano*. Alcalá, Arnao Guillén de Brocar, 1515.

NEBRIJA, Antonio de: *Rhetorica*. Juan Lorenzo, (ed.) Salamanca, Ediciones Universidad Salamanca, 2007.

NEEDHAM, Joseph *et alii*: *Science and civilization in China*. Cambridge, Cambridge University Press, 1954.

NICÓMACO DE GERASA: *Harmonicum enchiridium*, en JAN, Kal von: *Musici scriptores graeci*. Leipzig, B. G. Teubner, 1895. [Reimp.: Hildesheim, Georg Olms, 1962]; [Trad. ing.: BARKER, Andrew: *Greek Musical Writings*. Vol. II: *Harmonic and Acoustic Theory*. Cambridge, Cambridge University Press, 1989, cap. 10].

PALISCA, Claude: "Scientific Empiricism in Musical Thought", en *Studies in the history of Italian music and music theory*. Oxford, Clarendon Press, 1994.

PALUMBO-FOSSATI, Isabella: "La casa veneziana di Gioseffo Zarlino nel testamento e nell'inventario dei beni del grande teorico musicale", en *Nuova Rivista Musicale*, 20 (1986), pp. 633-649.

PEDRELL, Felipe: *Diccionario técnico de la música*. Barcelona, Isidro Torres Oriol, 1897.

PESIC, Peter. "Hearing the Irrational: Music and the Development of the Modern Concept of Number", en *Isis*, 101 (2010), pp. 501-530.

PICKERING, Andrew: "The Hunting of the Quark", en *Isis*. 72 (1981), pp. 216-236.

PIERCE, John Robinson: *The Science Of Musical Sound*. New York, W. H. Freeman & Co., 1983. (Trad. cast.: *Los sonidos de la música*. Barcelona, Prensa Científica, 1985).

PLACK, Christopher: *The sense of Hearing*. New Jersey, Routledge, 2005.

PLATÓN: *Diálogos IV: República*. Conrado Eggers, (trad.). Madrid, Gredos, 1986.

PLATÓN: *Diálogos V: Parménides, Teeteto, Sofista, Político*. María Santa Cruz et alii, trads. Madrid, Gredos, 1988.

PLATÓN: *Diálogos VI: Filebo, Timeo, Critias*. María Durán (trad.). Madrid, Gredos, 1992.

PLOMP, Reinier; y LEVELT, Willem: “Tonal consonance and critical bandwidth”, en *Journal of the Acoustic Society of America*, 38 (1965), pp. 548-560.

PLUTARCO (PSEUDO PLUTARCO): *Obras morales y de costumbres. Sobre la música*. José López, y Alicia Morales, trads. Madrid, Gredos, 2004.

PRAETORIUS, Michael: *Syntagma Musicum, Vol, II, De Organographia*. Wittenberg, Johannes Richter, 1619. En Die Bayerische Staatsbibliothek, <http://reader.digitale-sammlungen.de/resolve/display/bsb10527678.html>.

PRELLI, Lawrence: *A Rhetoric of Science: Inventing Scientific Discourse*. Columbia, University of South Carolina Press, 1989.

PRINZ VON LIEDTKE, Max; et alii: *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Wissenskumulation: Geschichtliche Entwicklung und gesellschaftliche Auswirkungen*. Bad Heilbrunn, Klinkhardt, 1988.

PTOLOMEO, Claudio: *Klaudiu Ptolemaiu Harmonikon biblia 3*. John Wallis, (ed.) Oxford, Sheldon, 1682. En BARKER, Andrew: *Greek Musical Writings*. Vol. II: *Harmonic and Acoustic Theory*. Cambridge, Cambridge University Press, 1989, cap. 11. En *ECHO*, Max Planck Institute, <http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/MPIWG:1VXPHZ2F>. (Trad. cast.: PTOLOMEO, Claudio: *Armónicas*. Demetrio Santos, (trad.). Málaga, Miguel Gómez, 1999).

RAMEAU, Jean Philippe: *Traité de l'harmonie réduite à ses principes naturels*. Paris, Ballard, 1722.

RÁVENA, Pedro de: *Phoenix, sive artificiosa memoria*. Venecia, Bernadinus de Choris, 1491.

RESTLE, Conny: “Organology: The Study of Musical Instruments in the 17th Century”, en SCHRAMM, Helmar; SCHWARTE, Ludger; y LAZARDZIG, Jan,(eds.): *Instruments in Art and Science: On the Architectonics of Cultural Boundaries in the 17th Century*. Berlín, Walter de Gruyter, 2008.

ROBINSON, Trevor: “A Reconstruction of Mersenne's Flute”, en *The Galpin Society Journal*, 26 (1973), pp. 84-85.

ROEDERER, Juan: *The Physics and Psychophysics of Music: An Introduction*. New York, Springer, 1995. (Trad. cast.: *Acústica y Psicoacústica de la música*. Buenos Aires, Ricordi, 1997).

ROMBERCH, Johannes: *Congestorium artificiose memorie*. Venecia, Melchiorem Sessam, 1533. En “Gallica”, Bibliothèque Nationale de France, <http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb37263920r>.

ROSSI, Paolo: *Logic and the Art of Memory: The Quest for a Universal Language*. Chicago, University of Chicago Press, 2000.

ROSSING, Theodor: *The science of sound*. Reading-Massachussets, Addison-Wesley, 1990.

ROSSING, Thomas; y FLETCHER, Neville: *The physics of musical instrument*. New York, Springer, 1998.

SALINAS, Francisco: *De Musica Libri Septem*, Salamanca, Mathias Gastius, 1577. [Reimpreso como facsímil en KASTNER, Macario, (ed.), en “Documenta Musicologica I, 13.” Kassel, Bärenreiter, 1958. En *GREDOS, Repositorio Documental*. Salamanca Universidad de Salamanca, 2011. <http://gredos.usal.es/jspui/handle/10366/19525>. (Trad. cast.: *Siete libros sobre música*. Ismael Fernández, (trad.). Madrid, Alpuerto, 1983).

SANVITO, Paolo: “Le sperimentazioni nelle scienze quadriviali in alcuni epistolari zarliniani inediti”, en *Studi musicali*, 19 (1990), pp. 305-318.

SARGOLINI, Federica: “La critica di Vincenzo Galilei al misticismo numerico di Gioseffo Zarlino”, en *Nuncius. Annali di storia della scienza*. 15/2 (2000), pp.519-550.

SAURA BUIL, Joaquín: *Diccionario técnico-histórico del órgano en España*. Barcelona, CSIC, 2001.

SCHMITT, Charles. B.: *Aristotle and the Renaissance*, Cambridge, Harvard University Press, 1983:

SCHMITT, Charles. B.: “Aristotelianism in the Veneto and the Origins of Modern Science” en *Aristotelismo veneto e scienza moderna*, Luigi Olivieri, (ed.). Padua, Antenore, 1983, pp. 104-123.

SERJEANTSON, Richard: “Proof and Persuasion”, en *The Cambridge History of Science. Vol.3: Early Modern Science*. Cambridge, Cambridge University Press, 2006, pp. 132-175.

SERWAY, Raymond: *Física*. Vol 1. México, International Thompson, 2005.

SHAPIN, Steven; y SHAFFER, Simon: *Leviathan and the air-pump. Hobbes, Boyle and the experimental life*. Princeton, Princeton University Press, 1985.

SHAPIN, Steven: *A Social History of Truth*. Chicago, University of Chicago Press, 1994.

SHAPIN, Steven: *The scientific revolution*. Chicago, University of Chicago Press, 1996. (Trad. cast.: *La Revolución Científica: una interpretación alternativa*. José Romo (trad.). Barcelona, Paidós, 2000).

SLUSE, Rene François: *Mesolabum seu duae mediae proportionales inter extremas datas per circulum et per infinitas hyperbolas, vel ellipses et per quamlibet exhibitae, ac problematum omnium solidorum effectio per easdem curvas. Accessit pars altera de analysi, et miscellanea*. Lieja, F. van Milst, 1659.

SMITH, Pamela: “Laboratories”, en *The Cambridge History of Science*, Vol. 3: *Early Modern Science*. Cambridge, Cambridge University Press, 2006, pp. 290-305.

SNYDER Laura J: *The Philosophical Breakfast Club: Four Remarkable Friends who Transformed Science and Changed the World*. New York, Broadway Books, 2011.

SPATARO, Giovanni: *Honesta defensio in Nicolai Burtii Parmensis opusculum*. Bologna, Forni, 1491. En “*Antiquae Musicae Italicae Studiosi, Monumenta Bononiensi*”. Bologna, Università degli studi di Bologna, 1967.

SPATARO, Giovanni: *Errori di Franchino Gaffurio da Lodi*. Bologna, Benedictum Hectoris, 1521.

STRUNK, Oliver: *Source readings in music history from classical antiquity through the romantic era*. New York, W. W. Norton, 1950.

SZABO, Arpad: *The Beginnings of Greek Mathematics*. Dohrdrecht, D. Reidel, 1978.

TANNERY, Paul: “Du rôle de la musique grecque dans le développement de la mathématique pure”, en *Memoire Scientifique III*. Johan Heiberg y Hyeronimus Zeuthen (eds.). Toulouse, Édouard Privat y París, Gauthier-Villars, 1915, pp. 68-89.

*The Cambridge History of Science, Early Modern Science*, Vol. 3. Lorraine Gaston y Katharine Park (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, 2006.

*The New Grove Dictionary of Music and Musicians*. Stanley Sadie y John Tyrrel (eds.). Londres, Macmillan, 2001.

*The New Oxford Companion to Music*. Denis Arnold (ed.). Oxford, Oxford University Press, 1983,

TURNER, Anthony John: “Interpreting the history of scientific instruments”, en *Making instruments count*. Aldershot, Variorum, 1993.

VAN HELDEN, Albert: “The Birth of the Modern Scientific Instrument, 1550-1700”, en *The Uses of Science in the Age of Newton*. J. G. Burke, (ed.) Los Angeles, University of California Press, 1983.

VINTON HUNT, Frederyck: *Origins of Acoustics*. New York, Yale University, 1978. [Reimp.: New York, Acoustical Society of America, 1992].

WALKER, Daniel Pickering: *Studies in musical science in the late Renaissance*. Londres, The Warburg Institute, 1978.

WANTZLOEBEN, Sigfrid: *Das Monochord als Instrument und als System*. Halle, Ehrhardt Karras, 1911.

WARDHAUGH, Benjamin: *Music, Experiment and Mathematics in England, 1653-1705*. Oxford, All Souls College, 2008.

WARNER, Deborah Jean: “What is a scientific instrument, when did it become one, and why?”, en *The British Journal for the History of Science*, 23 (1990), pp. 83-93.

WHEWELL, William: *The Philosophy of the Inductive Sciences*. Londres, John Parker, 1840.

YATES, Frances: *The art of memory*. Londres, Routledge & Paul, 1966. (Trad. cast.: *El arte de la memoria*. Ignacio Gómez Llano, (trad.). Madrid, Taurus, 1974 y Madrid, Siruela, 2005).

ZWICKER, Eberhard; y FASTL, Hugo: *Psychoacoustics: facts and models*. Berlín, Springer, 1999.