

Música y astronomía

Púlsares, viajeras, musas, planetas,
espaciotiempo y la armonía de las esferas

Por
José A. Caballero,
Centro de Astrobio-
logía, CSIC-INTA

*Aus des Weltalls Ferne
Funken Radiosterne
Pulsare und Quasare*

Las grandes obras de la literatura en castellano comienzan con hidalgos de los de lanza en astillero, adarga antigua, rocín flaco y galgo corredor o con recuerdos de tardes remotas en que un padre llevó a su hijo a conocer el hielo. Así empecé una serie de artículos breves sobre música y astrofísica, bautizada *Musica universalis*, para la revista *Astronomía*. Esos extraños versos en alemán se traducen más o menos por:

*Desde las profundidades del espacio
emiten las radioestrellas,
púlsares y cuásares*

Los púlsares son estrellas de neutrones, el destino final tras explotar como supernovas de las estrellas que al nacer poseen masas de entre 8 y 20 masas solares. Los polos de los púlsares emiten chorros de radiación electromagnética como los haces de luz de un faro, pero con periodos de rotación tan rápidos como un milisegundo. Los astrofísicos solemos detectar esta radiación desde tierra y satélites en órbita en forma de rayos X y, sobre todo, radioondas. Por ello, a finales de los 60, a los primeros púlsares los llamamos radioestrellas. Y esos intrigantes versos son precisamente la letra de *Radiosterne* (radioestrellas), un tema del álbum conceptual *Radioaktivität* de los alemanes Kraftwerk, el grupo más pionero, influyente y revolucionario de la historia de la música electrónica.

En su álbum *Albedo 0.39*, Vangelis (pronúnciese /ban-gué-lis/), otro referente de la música electrónica y compositor de bandas sonoras muy conocidas (*Chariots of Fire*, *Blade Runner*, *1492: Conquest of Paradise*, *Cosmos*), mezcló música electrónica, blues, jazz y astrofísica. *Pulstar* («pulse+star») era el primer tema del álbum. El grupo de rock granadino Lagartija Nick, con temas dedicados a la selenografía (cartografía lunar), la contaminación lumínica o las estrellas de la secuencia principal, tampoco se olvidaron de cantar a los púlsares en *Lagartijanick*. Pero el púlsar más famoso en música es, con mucho, CP 1919 (PSR J1921+2153), también llamado «Little Green Men-1».

Seguro que habéis visto la dichosa camiseta negra... Donde unos ven montañas, olas o la fosa de las Marianas, otros ven la portada del famoso álbum *Unknown Pleasures* de Joy Division. Pero los astrofísicos vemos los pulsos de CP 1919 medidos con el radioobservatorio de Arecibo por primera vez por Jocelyn Bell Burnell (a la que le robaron el premio Nobel por ser mujer) y que después han

sido publicados, republicados, copiados, utilizados y plagiados con multitud de propósitos (véase la Fig. 1).

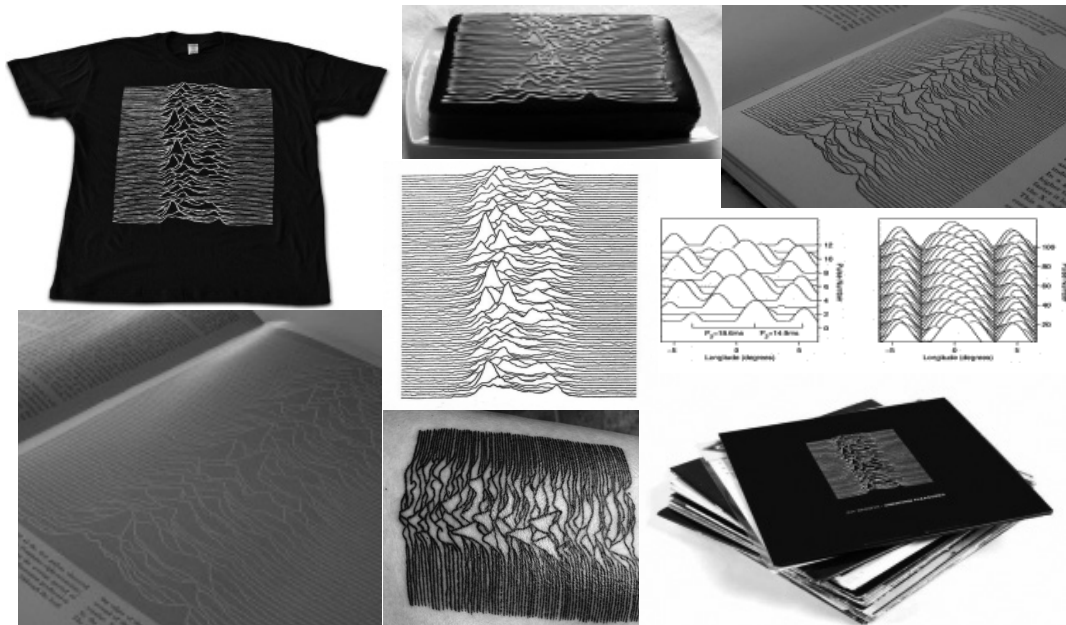


FIGURA 1: «A veces veo púlsares» (fotocomposición realizada por el autor). En el centro, el diagrama de sucesión de pulsos de CP 1919 que vio Stephen Morris, el batería de Joy de Division, en la Cambridge Encyclopedia of Astronomy (1977), arriba a la derecha, basado en el diagrama publicado por Scientific American (1971), abajo a la derecha, a su vez basado en los datos originales de Backer (1970, Nature). El diagrama ha sido utilizado en la portada de Unknown Pleasures de Joy Division (abajo a la derecha), camisetas (arriba a la izquierda), tartas de chocolate (arriba en el centro) o incluso tatuajes (abajo en el centro). Clemens & Roser (2004, ApJ) rehicieron un diagrama de pulsos simétrico y sin ruido con un modelo sintético (a la derecha en el centro).

Tras comenzar *Musica universalis* para la revista Astronomía con Púlsares, continué con Viajeras (la música que al final *no* fue en el disco de oro de las Voyager 1 y 2 — «dos botellas lanzadas a la inmensidad del océano cósmico», «cápsulas del tiempo ente-

rradas en el espacio», «emisarios de la Tierra en el reino de las estrellas»...), Musas (Euterpe, la musa de la música, y Urania, la musa de la astronomía, también asteroides del Cinturón Principal, MUSE, el multiespectrógrafo de campo integral para el Very Large Telescope, y Muse, el grupo británico de los memorables temas rock *Supermassive Black Hole* -agujero negro supermasivo- y *Knights of Cydonia* - la región donde está la «cara de Marte») y Euromir 95 (con la lista de canciones que el astronauta alemán Thomas Reiter se llevó en un minidisc a la estación espacial soviética Mir — por supuesto, la lista incluía *Space Oddity* de David Bowie).

Tras cinco años enumerando mensualmente ejemplos de música astronómica y astronomía musical, creé una escala, como la de Richter para cuantificar la intensidad de un terremoto, pero para cuantificar la intensidad de «frikismo astronómico» de una composición musical. Así, *An der schönen blauen Donau* (El Danubio azul) de Richard Strauss en la banda sonora de *2001: A Space Odyssey*, *Shooting Star* (Estrella fugaz) de Bob Dylan, *Despierta en el Planeta Diario* de Ilegales («Olvida el radiotelescopio / y mira con tus ojos / astros y cuerpos celestes»), o incluso el *Shine On You Crazy Diamond (Part IV)* de Pink Floyd, que supuestamente trata sobre evolución estelar, tienen valores bajos en la escala, por debajo de *Fly and Collision of Comas Sola* de Tangerine Dream (Josep Comas Solà fue un importante astrónomo español de comienzos del s. XX que dio nombre a varios cometas) o *Alpha* de Vangelis (banda sonora de infinitas noticias televisadas y documentales ochenteros sobre el espacio). Los valores más altos de la escala los tienen, por ejemplo, *El ordenador simula el nacimiento de las estrellas*, un tema del granadino Antonio Arias, alma mater de Lagartija Nick, en su álbum conceptual *Multiverso*, y *Juno*, un

single de Trent Reznor, líder de Nine Inch Nails, y Atticus Ross, Óscar a mejor banda sonora, compuesto para celebrar la inserción orbital en el sistema de Júpiter y sus lunas de la misión *Juno* de la NASA.

Y hay más ejemplos de música astronómica y astronomía musical: famosos astrónomos que comenzaron su carrera profesional como músicos, al igual que F. Wilhelm (William) Herschel, oboísta, violinista, organista, compositor de 24 sinfonías, descubridor de Urano, cuatro lunas, centenares de sistemas estelares binarios, miles de nebulosas y galaxias, y de la radiación infrarroja; músicos que comenzaron su carrera profesional como astrónomos, al igual que Brian H. May, que comenzó su tesis doctoral a principios de los 70 en el Observatorio del Teide, en Tenerife, sobre luz zodiacal (la nube de polvo en el plano de la eclíptica del Sistema Solar) y que terminó defendiendo décadas después en el Imperial College London tras haber compuesto e interpretado éxitos musicales a escala planetaria como *Bohemian Rhapsody*, *We Will Rock You* o *The Show Must Go On* con su grupo de rock, Queen; planetas clásicos, como *The Planets* de Gustav Holst, que tristemente estaba influenciado por la astrología; planetas rockeros, como Los Planetas de Granada (*Manchas Solares*, *La guerra de las galaxias*, *Canción del científico triste*, *Ciencia ficción*, *Ondas del espacio exterior*, *Cielo del norte*, *Corrientes circulares en el tiempo*, *Toxicosmos*, *La leyenda del espacio* y, por supuesto, *De viaje*); planetas flamencos, como *El Planeta*, Antonio Monge Rivero, «El rey de los bravos cantaores», tatarabuelo de Manolo Caracol y primer cantaor y guitarrista flamenco documentado; ondas sonoras en el espaciotiempo, como *La leyenda del tiempo* de Camarón, *La leyenda del espacio* de Los Planetas (bis), y *No Time, No Space* de Franco Battiato; cráteres de Mercurio, como

Beethoven (643 km), Rachmaninoff (290 km), Mozart (270 km), Haydn (270 km), Bach (214 km) o Vivaldi (213 km); asteroides del Cinturón Principal, como 555 Norma, 1405 Sibelius, 2055 Dvorak, 2205 Glinka, 3955 Bruckner, 4305 Clapton... o 110393 Rammstein.

Hasta yo mismo he aportado mi granito de arena en algunas composiciones musicales. Ejemplos de estas aportaciones son *Viajera 1 (Introversión)* y, sobre todo, *Viajera 2 (Extroversión)*, temas del grupo madrileño Fario en los que Montse Sánchez, Javi Luengo y María Schultz cantan a las misiones Voyager 1 y 2, que portan discos de oro con saludos en 55 idiomas y una ecléctica selección musical para que lo escuchen, dentro de millones de años, los habitantes de otros sistemas planetarios; *Eclíptica*, álbum de la Maria Rodés dedicado a su tío-abuelo Lluís Rodés, astrónomo gerundense e internacional de mediados del s. XX; y *Gaia DR1*, *Bolero de Cassini-Huygens* y *Villafranca/Cebreros/New Norcia/Malargüe (también brilla la materia)*, singles de Antonio Arias, JJ Machuca y el autor que fueron las bandas sonoras de la primera liberación de datos de la misión espacial *Gaia*, el cartógrafo tridimensional de la Galaxia, el «grand finale» de *Cassini*, cuando se zambulló en la atmósfera de Saturno, y de *Estrack*, la red de estaciones de seguimiento de satélites de la Agencia Espacial Europea.

Más implicado aún estuve en Longitud de Onda, el programa más escuchado de Radio Clásica, y los temas *CARMENES* y *QUI Joint Tenerife* de los álbumes Multiverso 2 y 3 de Antonio Arias. En Longitud de Onda, con una periodicidad quincenal o mensual durante dos temporadas, expuse aún más ejemplos de música astronómica y astronomía musical, pero circunscritos exclusivamente a la música clásica. Por ejemplo, una vez Fernando

Blázquez, Yolanda Criado, presentadores de Radio Clásica, y yo fuimos capaces de preparar un programa dedicado a Júpiter sin que sonaran *Jupiter, the Bringer of Jollity* de Gustav Holst ni la Sinfonía nº41 «Júpiter» de Mozart. En *CARMENES* y *QUI Joint Tenerife*, por otro lado, di rienda suelta a mi vena rockera y ayudé a Antonio Arias, Soleá Morente y el resto de artistas de Lagartija Nick a crear las bandas sonoras de dos instrumentos astronómicos españoles que estudian dos de los temas más candentes de la astrofísica mundial actual: el descubrimiento de planetas como nuestra Tierra alrededor de las estrellas más cercanas al Sol (el primero) y la medida de la polarización de la radiación cósmica de fondo de microondas (el segundo).

Pero el ejemplo de música astronómica o astronomía musical por excelencia es la música de las esferas, la armonía del mundo, la música universal, el *harmonices mundi*, la *harmonia tou kosmou*.

*Como hogueras en la noche
una por segundo la última en ejecutar
su danza de combustión en la Galaxia
provocó el éxtasis de Johannes Kepler
por siempre geométrica [...]*

(Desde una estrella enana, Natalia Carbajosa/
Antonio Arias, *Multiverso* 2009)

Pitágoras definió tres músicas: la instrumental, la humana y la celestial. En palabras de David Byrne (Talking Heads): «*La música celestial, la que tratamos de imitar –de donde emanan las armonías divinas– existe realmente y tiene su origen en las esferas que sostienen los planetas. Pitágoras creía que los planetas estaban sujetos a esferas*

de cristal giratorias y que cada planeta, junto con su esfera de cristal, producía su propia y singular nota al silbar a través del éter cósmico. De ahí la Armonía de las Esferas... Este grandioso acorde cósmico era tan perfecto que la gente corriente no lo podía oír, excepto algunos elegidos: Adán y Eva, Moisés, Pitágoras y sus seguidores acusmáticos, los zoroástricos... Según San Agustín, todos los hombres oirán ese sonido justo antes de morir, en cuyo momento se les revelará el secreto del cosmos...».

En las últimas décadas ha habido varios intentos de hacer sonar de nuevo las esferas de cristal de los planetas. Sin ir más lejos, la última pista del álbum *Multiverso* de Antonio Arias se titulaba *Harmonia Mundi 2009* y se quedó cerca de revelarnos el secreto del cosmos. No tan cerca se quedaron Mike Oldfield y su *Music of the Spheres* y Depeche Mode y su *Sounds of the Universe* (¡los tres álbumes publicados en 2009!). Quizá el intento más cercano de revelarnos tal secreto fue el de Laurie Spiegel con su *Harmonices Mundi* de 1975, que abrió el disco de oro de las Voyager.

Sin embargo, todos estos últimos acercamientos a la *Musica Universalis* han sido incorrectos. A continuación presento un nuevo planteamiento solfeístico-matemático-astrofísico que extrapola con datos actuales lo planteado hace siglos por filósofos platónico-aristotélicos, medievales y renacentistas, pero desarrollado en profundidad por el matemático, astrónomo y astrólogo alemán Johannes Kepler en su libro *Harmonices mundi* (*La armonía del mundo*, 1619).

En el quinto y último capítulo de *Harmonices mundi*, Kepler enunció su tercera ley del movimiento planetario (la de que el cubo del semieje mayor es proporcional al producto del cuadrado del periodo orbital por la suma de las masas). Kepler enunció en ese mismo capítulo que «*la diferencia entre las velocidades*

angulares máximas y mínimas de un planeta en su órbita se aproxima a una proporción armónica». El ejemplo más manido de esta teoría, y expuesto en profundidad en el *Harmonices mundi*, es el del cociente entre las velocidades de la Tierra en el perihelio (máximo acercamiento al Sol, máxima velocidad orbital, a principios de enero) y el afelio (máximo alejamiento del Sol, mínima velocidad orbital, a principios de julio). Ese cociente era 16:15 con los datos que disponía Kepler en su época. Resulta que esta variación es un semitono diatónico, que es el intervalo musical que hay entre las notas *mi* y *fa*. Por eso la Tierra suena *mi, fa, mi* según Kepler. La música de Marte y Júpiter suena en un intervalo 19:18. Y así para el resto de planetas del Sistema Solar conocidos por entonces... La frecuencia asignada a un planeta no depende de su periodo orbital, sino de otro parámetro de su órbita. Para entenderlo, necesitamos aclarar antes ciertos conceptos astronómicos y musicales:

- El Sistema Solar tiene ocho planetas. En la época de Kepler, Herschel no había descubierto aún Urano, ni Galle/d'Arrest/Le Verrier habían descubierto aún Neptuno. Ceres y Plutón, ambos considerados planetas en algún momento de la historia, son solo planetas enanos, al igual que Eris, Haumea y Makemake.
- La velocidad orbital de un planeta v depende de la masa del Sol M , el semieje mayor a , y la separación física en cierto momento r a través de la ecuación $v^2 = GM (2/r - 1/a)$, donde G es la constante de la gravitación universal.
- Por simple geometría y definición de variables, la separación física entre el Sol y un planeta es $r_{\text{per}} = (1 - e) a$ en el perihelio, y $r_{\text{ap}} = (1 + e) a$ en el afelio, donde e es la excentricidad orbital.

- Sustituyendo y desarrollando, el cociente entre velocidades en el perihelio y el afelio resulta un valor muy sencillo que solo depende de la excentricidad: $v_{\text{per}}/v_{\text{ap}} = (1 + e) / (1 - e)$. Para hacerse una idea, con los valores de las excentricidades conocidas hoy en día, este cociente varía aproximadamente entre 1.014 de Venus (el menos excéntrico, i.e. con la órbita más circular) y 1.5177 de Mercurio (el más excéntrico, i.e. con la órbita más elíptica).
- A cada nota musical le corresponde una frecuencia. Así, a la_3 (A_4) le corresponden 440 Hz, que se considera el patrón de afinación desde mediados del siglo XX (diapasón). A do_3 (C_4), el primer «do» que estudiamos en el colegio (do central), le corresponden 261.626 Hz, aproximadamente. A do_4 (C_5), el último «do» cuando cantamos «*do-re-mi-fa-sol-la-si-do*», le corresponden unos 523.251 Hz, que es justo el doble que la frecuencia de do_3 . Entonces, el intervalo musical entre dos sonidos cuyas frecuencias tienen una relación 2:1 es una octava. En otras palabras, una octava superior a un sonido es la que tiene el doble de frecuencia y una inferior la que tiene la mitad.
- En el sistema temperado, una octava completa contiene seis tonos o doce semitonos, que es el menor de los intervalos entre notas consecutivas en una escala diatónica (p.e., entre *mi* y *fa*). Una octava completa contiene también 1200 cents exactamente. Un semitono en la escala temperada contiene 100 cents. El cent es la unidad para cuantificar intervalos y compararlos en distintos sistemas de afinación. Entre dos sonidos separados por 1 cent (idénticos para el sonido humano), sus frecuencias tienen una relación aproximada $1+1/1731:1$. Para calcular exactamente cuántos cents n hay entre dos frecuencias a y b , se usan las fórmulas $n = 1200 \log_2 (b/a) \approx 3986 \log_{10} (b/a)$.

- Entre la octava y el cent hay multitud de intervalos musicales definidos bajo distintos sistemas de afinación. En la época de Kepler, los sistemas más usados eran el pitagórico y el justo, mientras que en la actualidad se usa sobre todo el temperado de 12 semitonos. Al final, todo es física, y los intervalos actuales son la evolución natural del cociente del número de ondas estacionarias que Pitágoras y Euclides generaban en su monocordio, que era un instrumento antiguo con caja armónica y una sola cuerda.

En la Tabla, he intentado resumir y actualizar los valores de Kepler con los datos más actuales de excentricidad orbital de los ocho planetas (él sólo lo hizo con seis), cociente de velocidades en perihelio y afelio, número de cents que corresponderían a este cociente al equiparar velocidades orbitales con frecuencias y el intervalo musical sencillo más parecido. En realidad, hay otros intervalos aún más parecidos, pero más complicados; p.e. para Mercurio, que tiene la órbita más excéntrica del Sistema Solar ($e = 0.206$), una «sexta disminuida estrecha» de 1024:675 ($n = 721.51$ cent) ajusta mejor que una quinta. También, Kepler usó un intervalo unísono (1:1) para Venus, mientras que una coma pitagórica (uno de los intervalos más pequeños, apenas perceptible por el oído humano) parece sonar mejor. Como comparación, el intervalo más pequeño «tocable» en un piano es una segunda menor (un semitono).

Yendo un paso más allá de lo que fue Kepler, en la última columna de la Tabla he asignado a cada planeta del Sistema Solar una altura o, mejor, una voz, que es femenina para los planetas telúricos o terrestres, y masculina para los planetas jovianos o gaseosos. Cuanto más grande el planeta, más grave la primera nota. La contrapartida a la voz en un piano serían las octavas.

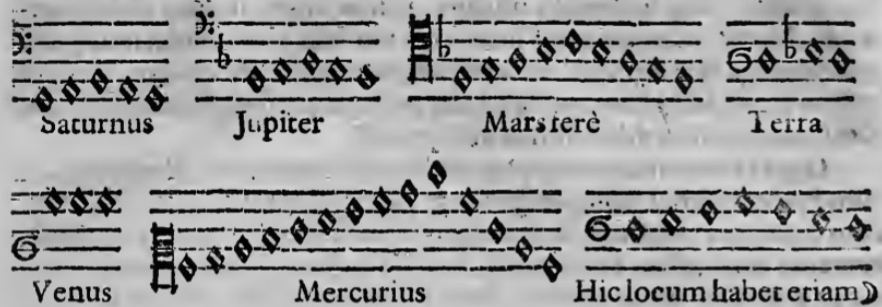
En realidad, cada planeta también tiene su periodo orbital: el más corto para el más cercano (Mercurio, 88 días, 0.24 años), el más largo para el más lejano (Neptuno, 164.8 años). El periodo orbital, o sidéreo, de la Tierra es un año astronómico, que es más o menos 365 $\frac{1}{4}$ días. Por tanto, se puede asignar una duración de cada intervalo aproximadamente proporcional al periodo orbital del planeta. Si a la Tierra le correspondiera la duración de una redonda, a Mercurio le correspondería aproximadamente una negra (un cuarto de la Tierra) y a Neptuno aproximadamente 164 redondas, una blanca y una corchea. Como interpretar varias revoluciones completas de Neptuno llevaría mucho tiempo¹, se pueden otorgar licencias artísticas en la interpretación, como asignar a cada planeta las duraciones clásicas, olvidándose de la semigarrapatea y la garrapatea: Mercurio = semifusa, Venus = fusa, Tierra = semicorchea, Marte = corchea, Júpiter = blanca, Saturno = redonda, Urano = cuadrada, Neptuno = larga, doble cuadrada — la negra no suena porque por la ley de Titius-Bode, que es una ley de potencias como en la definición de los intervalos, le correspondería el Cinturón Principal de Asteroides.

Al terminar de interpretar esta *Musica universalis*, según San Agustín, al oyente se le revelará el secreto del Cosmos. Y morirá.

¹ Aunque no tanto como ORGAN2/ASLSP de John Cage, una pieza que tarda 639 años en interpretarse por completo.

Planeta	e (J2000)	$(1+e)/(1-e) = v_{\text{per}}/v_{\text{ap}}$	n_{orb} [cent]	Intervalo musical	n_{mus} [cent]	Voz
Mercurio	0.20563069	1.5177	722.29	Quinta (3:2)	701.96	Soprano
Venus	0.00677323	1.0136	23.45	Coma pitagórica (3 ¹² :2 ¹⁹)	23.46	Contralto
Tierra	0.01671022	1.0340	57.86	Semitono cromático (25:24)	70.67	Contralto
Marte	0.09341233	1.2061	324.38	Tercera menor (6:5)	315.64	Mezzo-soprano
Júpiter	0.04839266	1.1017	167.69	Segunda neutral (11:10)	165.00	Bajo
Saturno	0.05415060	1.1145	187.68	Segunda mayor o tono (10:9)	182.40	Barítono
Urano	0.04716771	1.0990	163.44	Segunda neutral (11:10)	165.00	Tenor
Neptuno	0.00858587	1.0173	29.73	Coma septimal (64:63)	27.26	Tenor

omnia (infinita in potentiâ) permeantes actu: id quod aliter à me non potuit exprimi, quam per continuam seriem Notarum intermedia-



rum. Venus ferè manet in unisono non æquans tensionis amplitudine vel minimum ex concinnis intervallis.

FIGURA 2: «Hic locum habet etiam». Fragmento de la página del *Harmonices Mundi* de Kepler en la que aparece la partitura coral para Saturno, Júpiter, Marte (aproximado), Tierra, Venus, Mercurio y Luna, para «la que también hay sitio» (archive.org).