

## Bach y el cosmos

*Conferencia ofrecida el 30 Septiembre 2016 en el Conservatorio de Córdoba para el evento especial 'Bach y el Cosmos', con Emanuela Piemonti (pianoforte) y Toni Millán (clave), en el contexto de la Séptima Edición del Festival Internacional de Piano Guadalquivir*

### MUSICA Y FISICA

El tema de esta noche es música y ciencia, en particular física, que ha sido y en un sentido aún es mi campo de trabajo. ¿Qué tiene que ver la música con la física? Si le preguntamos a Pitágoras, mucho. Para Pitágoras la proporción matemática, que se identificaba con la armonía musical, era el constituyente último de la materia. Los científicos contemporáneos no están lejos de la misma idea. La física busca el orden matemático subyacente a la infinita variedad de los fenómenos; en la música el orden matemático se hace experiencia sonora.

### BACH Y EL CONCIERTO DE ESTA NOCHE

Este orden matemático está admirablemente expresado en la música de Bach, y esta noche vamos a regalarnos la experiencia sonora de ese orden, gracias a Emanuela y a Tony que van a interpretar las *Variaciones Goldberg*.



Esta imagen es un buen punto desde el que empezar. Es un grabado del Renacimiento que representa un hombre penetrando a través de la esfera del cielo visible para contemplar las ruedas cósmicas que mueven las esferas celestes.

## MUSICA DE LAS ESFERAS

Esta imagen alude con inmediatez a la teoría cosmológica tradicional en la que la Tierra era el centro del universo y los astros, el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas, se representaban como fijos, en esferas concéntricas rotantes alrededor de la Tierra. En el pensamiento pitagórico el movimiento de esas esferas producía un sonido, no físicamente audible, sino perceptible para el oído del alma, que se definía como 'música de las esferas' o 'música cósmica' o 'armonía universal'. El tono asociado a cada planeta en ese sistema dependía de su periodo de revolución orbital.

## EL ORDEN SUBYACENTE

En un sentido un poco más abstracto, el hombre deja atrás la maravilla del mundo sensible (representado por la rica campiña en el lado derecho de la imagen) para buscar el no menos maravilloso, aunque más abstracto, orden escondido subyacente, las ruedas que mueven las esferas celestes y por tanto en un sentido último también la totalidad del mundo sensible – una elección en la cual creo que muchos científicos se reconocen.

## VIBRACIONES

El orden matemático subyacente a la estructura de la materia se puede describir en términos de vibraciones: el mundo es un gran concierto de frecuencias inaudibles al oído. En este sentido la música de las esferas no se encuentra solo en el cielo, sino también en el corazón de la materia, en el mundo microscópico de la física cuántica.

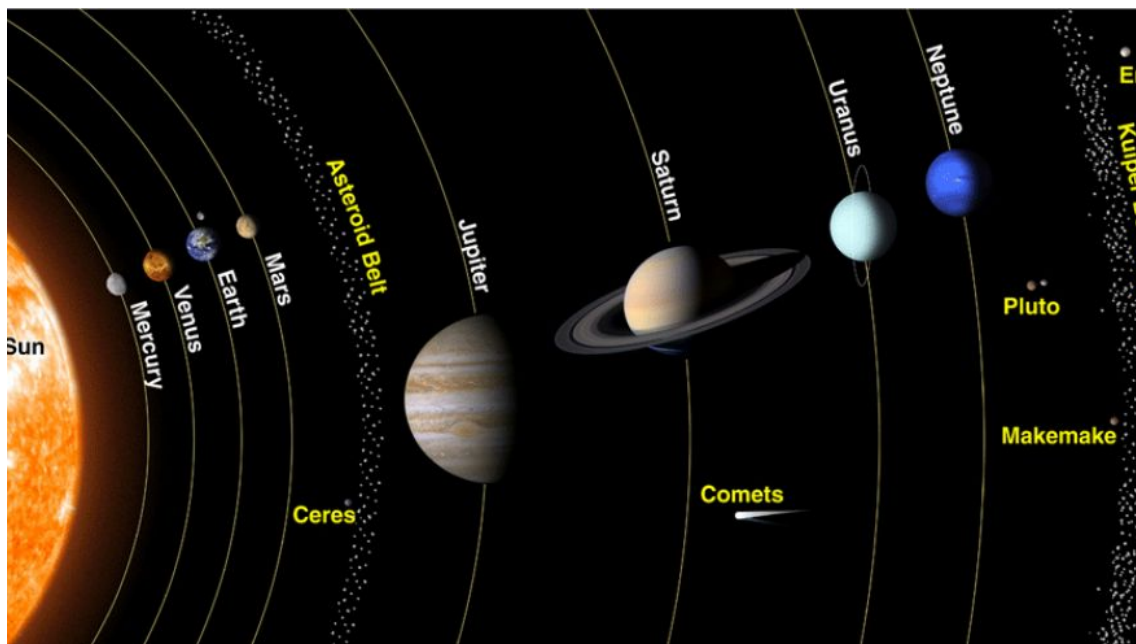
## OM

La idea de que la esencia de la realidad es vibración se encuentra también en las tradiciones hindúes, que identifican en el sonido OM el origen del universo, la base de toda manifestación. Y absorbiéndose en la vibración del OM cósmico, el yogui trasciende el velo de Maya, el mundo de las apariencias, y se sumerge en Brahman, la consciencia universal.

## DESDE EL SISTEMA GEOCENTRICO...

La raíz del término sánscrito 'Brahman', *brh*, significa 'expansión', y cierto es que sabemos hoy que el universo entero se expande. Hace poco nos hemos dado cuenta de la inmensidad del universo en que vivimos. Hace quinientos años la Tierra era el centro de la creación y Sol, Luna, planetas y estrellas, todos iban rodando alrededor de la Tierra.

## A LA REVOLUCION COPERNICANA...



Luego vino Copérnico que desplazó la tierra de su posición central en el cosmos. Su propuesta radical no fue motivada por nuevos datos, por nuevos descubrimientos astronómicos. Simplemente Copérnico se dio cuenta que los movimientos de los planetas eran mucho más sencillos si los miraba desde el punto de vista del Sol, en lugar del de la Tierra. El Sol era un centro del universo mucho más natural.

## Y MAS ALLÁ

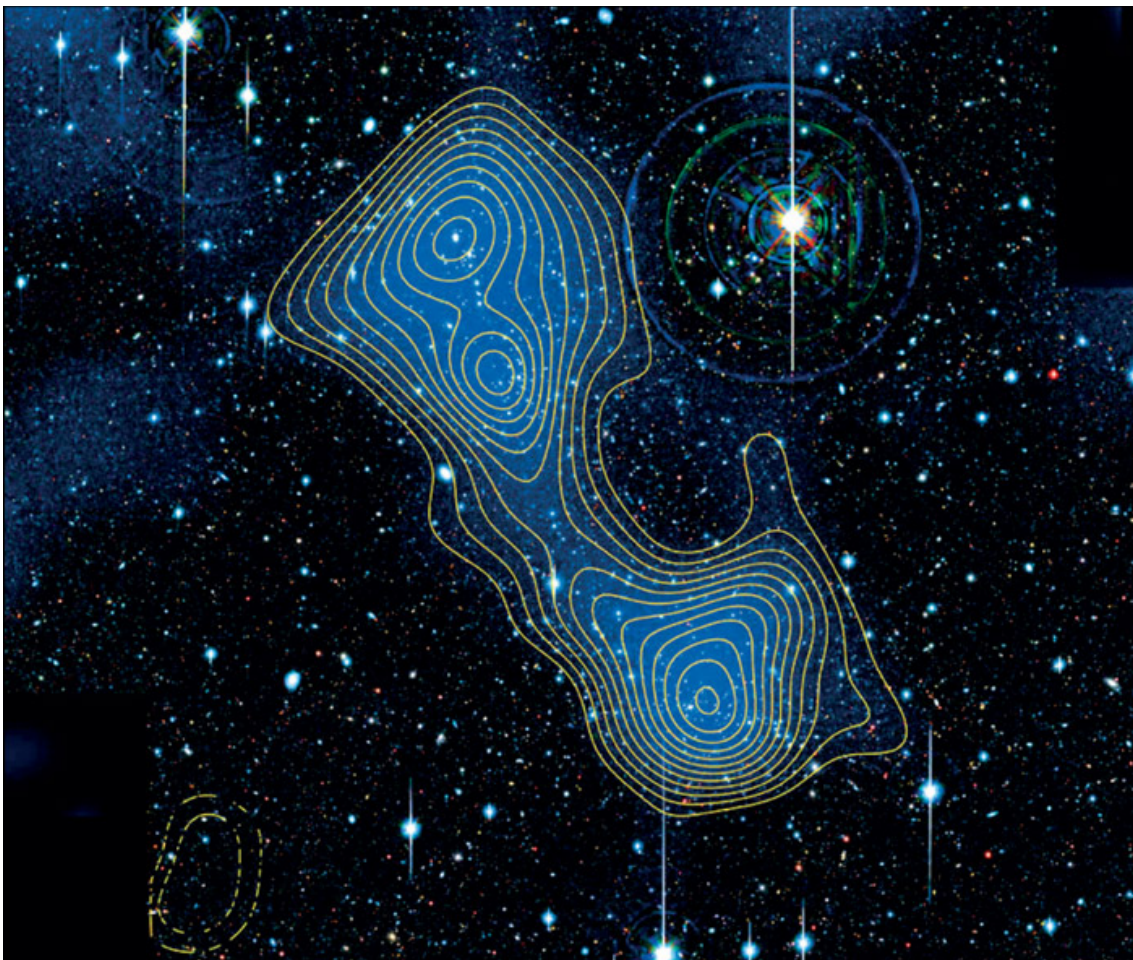
La revolución copernicana es tal vez el cambio más radical que ha habido en la comprensión de nuestro lugar en el orden de las cosas en la historia de nuestra especie. Y ese cambio fue solo el principio. Porque pronto tuvimos que darnos cuenta que el Sol mismo tampoco es el centro del universo. Es una estrella media, ni muy grande ni muy pequeña, ni muy joven ni muy vieja, entre miles de millones de otras estrellas que componen nuestra

galaxia, la colección de puntitos luminosos de la Vía Láctea, la débil banda luminosa que vemos en el cielo en una noche clara, cuando tenemos la suerte de estar lejos de fuentes de contaminación lumínica.

## INMENSIDAD DEL UNIVERSO

La luz de esas estrellas nos llega después de un largo viaje. La velocidad de la luz, que según la teoría de la relatividad es la máxima velocidad posible de cualquier señal, es grande, 300.000 km por segundo, pero no infinita, así que la luz de las estrellas de las partes más lejanas de nuestra galaxia necesita 100.000 años para llegar a nosotros. Es decir, hoy vemos esas estrellas tal como eran hace 100.000 años.

Y nuestra galaxia no es sino una entre aproximadamente de cien mil millones de galaxias que pueblan el universo visible, la mayoría de ellas en una jerarquía de agregados, llamados cúmulos, y estos a su vez en supercúmulos, dispuestos en hojas o en filamentos rodeados de inmensas zonas de vacío.



*Filamento de materia oscura*

Las galaxias más alejadas que podemos ver están a diez mil millones de años-luz de nosotros. Y, si nuestra comprensión actual del universo no falla demasiado, el último horizonte potencialmente accesible a nuestras observaciones es una distancia en el tiempo, no en el espacio: la distancia que nos separa del *Big Bang*, el evento inimaginable que fue el origen del universo en una explosión gigantesca surgida desde un punto singular hace 14 mil millones de años.

## EINSTEIN

La idea científica de que el universo tuvo un inicio es una consecuencia de la teoría de la relatividad general, que Einstein publicó en 1915. En 1917 Einstein aplicó su nueva teoría al universo en su conjunto. Con gran sorpresa se dio cuenta que sus ecuaciones no admitían soluciones estáticas: podían describir solo universos en expansión o en contracción. La idea parecía en esa época bastante absurda: era dogma universal que el universo existía así como lo vemos desde siempre. Para remediar ese inconveniente y permitir una solución estática, Einstein añadió un término extra a sus ecuaciones, la *constante cosmológica*.

Doce años después, en 1929, las observaciones de los astrónomos Henrietta Leavitt y Edwin Hubble demostraron que las galaxias van alejándose uniformemente entre ellas, es decir que el espacio va expandiéndose, exactamente como las ecuaciones de Einstein preveían en su forma originaria. Mas tarde Einstein vino a declarar que la constante cosmológica había sido el "peor error de su vida".

## EL BIG BANG

En 1927 un joven físico y sacerdote católico belga, Georges Lemaître, fue el primero en darse cuenta de una consecuencia esencial de la expansión del universo. Lemaître comprendió que, si el universo ha estado continuamente expandiéndose, yendo atrás en el tiempo es inevitable llegar a un momento en que el éste fue extremadamente pequeño y compacto, desde el que tuvo que comenzar su expansión con una gigantesca explosión. Lemaître llamó este inicio del universo "el Átomo Primordial" o "el Huevo Cósmico": hoy lo conocemos como "el Big Bang".

## HISTORIA DEL UNIVERSO

Las estimaciones más recientes sitúan ese extraordinario evento hace 13,7 mil millones de años. La materia así como la conocemos, es decir los

átomos, empezaron a formarse cuando el universo tenía aproximadamente 400.000 años. Las estrellas y las galaxias a la edad de 400 millones de años, nuestro planeta a los 9,2 mil millones de años, y las primeras trazas de vida en la Tierra a los 9,8 mil millones de años.

## LA ENERGIA OSCURA

Recientemente se ha añadido a esta historia un capítulo interesante y aún hoy misterioso. Contra toda expectación, se ha encontrado que la expansión del universo va acelerándose. Ya que la gravitación tiende a ralentizar la expansión, así como hace que una piedra lanzada hacia arriba ralentice su subida y al final caiga al suelo, la aceleración de la expansión es un fenómeno inesperado, y sugiere la existencia de una fuerza anti-gravitacional hasta ahora desconocida. Los físicos hablan de una *energía oscura*, que, en función de la aceleración observada, tiene que ser del orden del 70% de la masa/energía total del universo. Y esta energía desconocida está representada en las ecuaciones de Einstein precisamente por la constante cosmológica! Finalmente, el peor error en la vida de Einstein puede ser que no haya sido para nada un error, sino una anticipación de algo que estaba por venir...

Este vasto, estupendo, misterioso universo aún tiene un buen suministro de secretos...

## DESDE EL COSMOS A NUESTRO NIVEL

Bajando del nivel cósmico, del aliento del universo, a nuestro orden de magnitud, encontramos que la estructura de la realidad consiste en vibraciones de distintas naturalezas y frecuencias. La luz, por ejemplo, es una vibración del campo electromagnético. El sonido es una vibración de las moléculas del aire. Y en un cuerpo sólido, que se nos aparece como algo estático, si pudiéramos mirarlo a un nivel más fino, se manifestaría como todo un baile de vibraciones.

## Y A UN NIVEL AUN MAS PROFUNDO

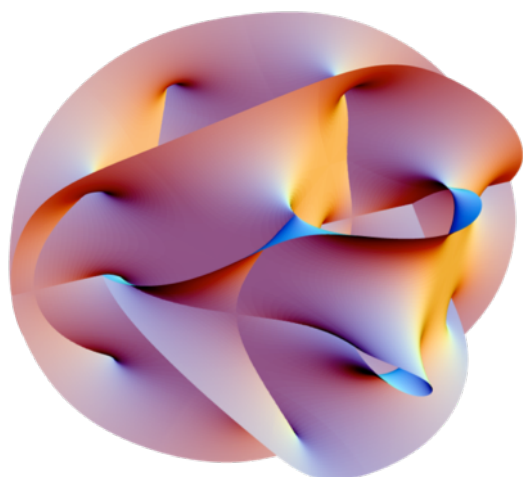
Los físicos están hoy convencidos que a un nivel aún más profundo, bajo todas estas múltiples y variadas vibraciones, hay vibraciones fundamentales más pequeñas, del orden de magnitud de una longitud de Planck, es decir un centímetro dividido por un uno seguido por 35 ceros. En estas vibraciones no hay nada substancial que vibra, sino la estructura misma del espacio-tiempo, así que a este nivel fundamental no queda más

que música: no música producida por algo, sino que la sustancia misma es música.

## TEORIA DE LAS CUERDAS

En la teoría de las cuerdas, por ejemplo – una de las teorías principales con la que los físicos teóricos intentan construir un puente entre la descripción del mundo extremadamente pequeño de la física cuántica y la descripción del mundo extremadamente grande de la relatividad general de Einstein – toda la materia/energía consiste en minúsculas cuerdas vibrantes. Los distintos patrones de vibración de esas cuerdas generan, a un nivel superior, lo que nos aparece como "partículas elementales" de materia y energía, y a un nivel aún superior la infinita variedad de las formas del mundo, incluidos los extraordinarios fenómenos que somos nosotros.

Además, la teoría de las cuerdas conjetura que el universo se compone de múltiples dimensiones espaciales, la mayor parte de las cuales están compactadas y sólo son perceptibles a la escala de la longitud de Planck.



### *Dimensiones compactas del espacio*

Estamos familiarizados con la altura, la anchura y la longitud, las tres dimensiones del espacio, que junto al tiempo hacen un total de cuatro dimensiones observables. Sin embargo, la teoría de las cuerdas se desarrolla en once dimensiones, siete de las cuales están tan finamente envueltas en sí mismas que no las podemos detectar directamente. No obstante, las cuerdas vibran en las once dimensiones, y en función de la forma en que vibran, pueden ser percibidas en las cuatro dimensiones del

espacio-tiempo ordinario como materia, como luz, o como gravitación. La vibración de la cuerda determina su apariencia de materia o energía – y toda forma de materia o energía es el resultado de la vibración de las cuerdas.

## EL MUNDO ES UN PIANOFORTE

El mundo es un gigantesco pianoforte con cuerdas inmensamente pequeñas...

Como transición a Emanuela y a Toni, que primero van a presentarnos y luego van a tocar las *Variaciones Goldberg* de Johann Sebastian Bach, quiero contaros una anécdota de la vida de Bach, tal como nos la cuenta uno de mis autores favoritos, Douglas Hofstadter, en el libro *Gödel, Escher, Bach*.

## BUCLES EXTRAÑOS

El tema fundamental del libro es lo que Hofstadter llama *strange loops*, bucles extraños. ¿Qué es un bucle extraño? Hofstadter lo define así: "hay un bucle extraño cuando, subiendo o bajando de nivel en algún sistema jerárquico, inesperadamente nos encontramos de vuelta allí en donde hemos empezado".

El primer ejemplo de bucle extraño que Hofstadter nos ofrece en el libro es una pieza de Bach, el *Canon per tonos* de la *Ofrenda Musical*. La historia de esta pieza tiene que ver con la difusión del pianoforte en el siglo XVIII y por tanto parece apropiada para esta ocasión, en el Festival Internacional de Piano Guadalquivir.

## FEDERICO II

La obra tiene su origen en el encuentro entre Johann Sebastian Bach (1685-1750) y Federico II de Prusia (1712-1786), Federico el Grande, en 1747. Federico, además de ser un extraordinario estratega, era un patrón de las artes y de las ciencias y un músico apasionado y competente.





*Concierto de flauta en Sanssouci, Adolph von Menzel (1852)*

En su palacio de Sanssouci en Potsdam se hacían regularmente conciertos de cámara y a menudo el rey mismo tocaba la flauta como solista en esos conciertos. Federico fue además de los primeros en darse cuenta de las grandes posibilidades de un nuevo instrumento, el "forte-piano" o "piano-forte", creado en Italia pocas décadas antes por Bartolomeo Cristofori (1655-1731). El nuevo instrumento era una modificación del clavicémbalo que permitía una gama de volumen mucho más ancha. (Aquí esta noche tenemos el privilegio de escuchar ambos instrumentos en dialogo, gracias a Tony y Emanuela!) El rey estaba tan encantado con el nuevo instrumento que poseía nada menos que quince ejemplares en las distintas salas de su palacio.



*Bach en 1748*

## ENCUENTRO CON BACH

Federico era también un gran admirador de Bach y hacía mucho tiempo que deseaba encontrarse con él. Ese deseo se quedó inesperadamente satisfecho una noche de mayo de 1747. Federico iba a interpretar un concierto de flauta en Sanssouci, cuando le fue anunciado que Johann Sebastian acababa de llegar a Potsdam. Dejando inmediatamente la flauta y

el concierto, Federico convocó a Bach de urgencia, sin ni siquiera dejarle el tiempo de quitarse el traje de viaje, y quiso hacerle probar sus fortepianos.

Por tanto los músicos siguieron al rey de sala en sala y Bach fue invitado a probar cada pianoforte y a improvisar composiciones sobre temas (secuencias de tonos) propuestos por el rey, que se quedó supremamente admirado y siguió desafiando Bach a componer fugas más y más complejas.

## LA OFRENDA MUSICAL

En julio del siguiente año, de vuelta a Lipsia, Bach envió a Federico un homenaje musical titulado *Ofrenda Musical*, una elaboración en forma de cánones y fugas de uno de los temas propuestos por Federico, que vino a ser conocido como "el Tema Real".

(Amigos competentes me han hecho notar que la complejidad de ese tema hace dudar que sea puramente una invención de Federico. Parece más probable que hay está la mano del mismo Bach...)

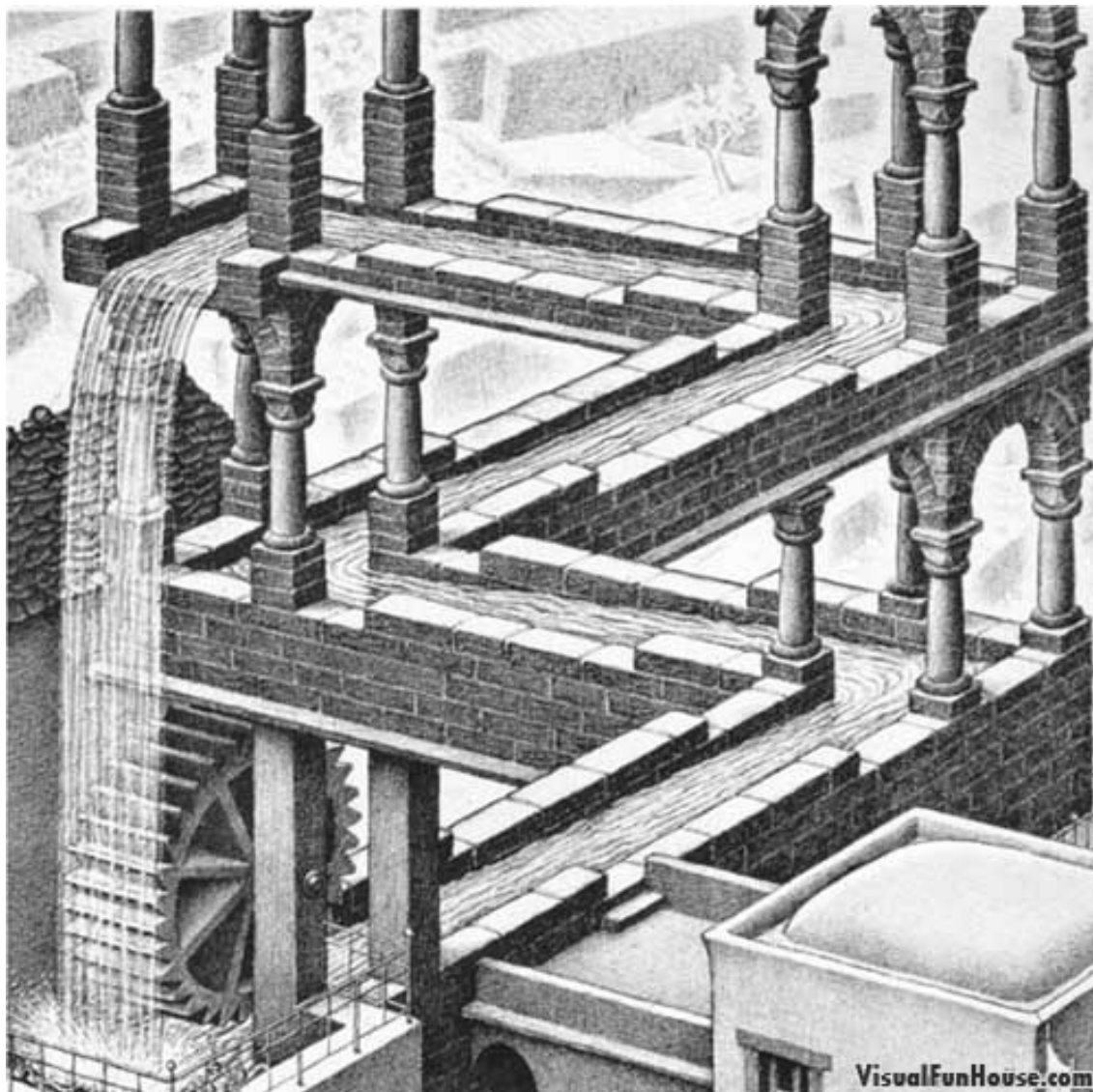
## EL CANON PER TONOS

El *Canon per tonos* de la *Ofrenda Musical* es un canon de tres voces, de las cuales la más alta canta una variación del Tema Real. Hofstadter describe así la peculiaridad de este canon:

Lo que hace a este canon diferente de cualquier otro... es que cuando termina – o parece terminar – no lo hace en la clave de do menor [en la que el canon ha empezado], sino en la de re menor. Bach ha conseguido modular (cambiar de clave) sin que el oyente se dé cuenta. Y el canon está de tal modo construido que este 'final' se conecta de forma plana con el principio, así que Bach puede repetir el proceso y volver en la clave de mi, para juntarse otra vez con el principio. Estas modulaciones progresivas llevan el oído a provincias más y más remotas del tono, así que la pieza parece estar desesperadamente alejada de la clave inicial. Sin embargo, mágicamente, después de exactamente seis de estas modulaciones, nos encontramos en la clave originaria de do menor! Todas las voces están ahora una octava más alta de lo que estaban al principio, y la pieza se puede cerrar aquí de manera musicalmente agradable... Pero sin duda [a Bach] le gustaba también la sugestión de que el proceso podía continuar *ad infinitum*, y por eso tal vez escribió en el margen del manuscrito "Como sube la modulación, así pueda subir la Gloria del Rey".

Y Hofstadter añade:

Para enfatizar su aspecto potencialmente infinito me gusta llamar este canon the *Endlessly Rising Canon*, el *Canon que sube sin fin*.



### LA CASCADA DE ESCHER

Esto es el segundo ejemplo de bucle extraño que Hofstadter nos propone, *La cascada* de Escher (1898-1972), el artista gráfico holandés, creador de figuras fantásticas e imposibles:

Tiene varios paralelos con el *Canon que sube sin fin*. Aquí las modulaciones de subida del canon tienen su análogo en las modulaciones de bajada del agua. Y aquí también la modulación de cada pasaje es casi imperceptible, así que el ojo no descubre ninguna anomalía y la composición tiene una lógica aparentemente perfecta. Y sin embargo... la

rueda del molino sigue girando *motu proprio*, y el agua sigue corriendo en un bucle infinito: "subiendo o bajando de nivel,... inesperadamente nos encontramos de vuelta allí donde hemos empezado".

#### BUCLE EXTRAÑO O ESPIRAL ASCENDENTE?

La comparación entre las dos obras es interesante, tanto por lo que tienen en común, como por lo que las diferencia. Porque, a diferencia de la *Cascada* de Escher, en el *Canon per tonos* no nos encontramos exactamente "de vuelta allí en donde hemos empezado". Nos encontramos una octava más alta, y, lo que es más, en un camino ascendente potencialmente infinito. Bach por su sentimiento de lo divino, se sale del bucle extraño.

Y en su mensaje en el margen del manuscrito, "así pueda subir la Gloria del Rey", sin duda podemos leer "el Rey" como Federico, pero también podemos leerlo como Dios. La ofrenda no es solo al rey prusiano, sino también *ad maiorem Dei gloriam*, un himno infinitamente ascendente al misterio y a la maravilla del universo.

#### PASO LA PALABRA

Y con esto estoy muy contento de pasar la palabra a Emanuela y a Toni, que nos van dar una experiencia de esa misma maravilla, en un lenguaje que trasciende las palabras...