



Revista de Artes y Humanidades UNICA

ISSN: 1317-102X

revista@unica.edu.ve

Universidad Católica Cecilio Acosta

Venezuela

Vargas, Fredy

Los fractales y su relación con la creación sonora

Revista de Artes y Humanidades UNICA, vol. 6, núm. 12, enero-abril, 2005, pp. 65-88

Universidad Católica Cecilio Acosta

Maracaibo, Venezuela

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=170121560004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



Los fractales y su relación con la creación sonora

VARGAS, Fredy

*Universidad Católica Cecilio Acosta
Facultad de Artes y Música
Maracaibo, Venezuela
varfred@hotmail.com*

Resumen

El propósito es indagar lo concerniente a ciertos “entes” geométricos denominados fractales y su relación con la creación sonora. Esta investigación se basó en los aportes teóricos de Francisca Muñoz y Rodrigo Meza, así como en la revisión documental de fuentes especializadas. Se analizan algunas consideraciones y aspectos inherentes a los fractales y su aplicación en el campo de la creación musical. Los resultados obtenidos enfatizan la similitud en cuanto a los métodos y medios utilizados para la elaboración, tanto de fractales como de música fractal. Se concluye que el proceso de generación de fractales por medios tecnológicos e informáticos, inspiró a muchos músicos a experimentar novedosas técnicas de composición que, a la postre, dieron origen a una nueva manera de expresión musical, la cual pretende ampliar los senderos de la creación sonora, haciendo uso de la iteración, el cálculo de probabilidades y la matemática compleja.

Palabras clave: Fractales, música fractal, algoritmo, iteración, creación sonora.

Fractals and their relationship with sonoral creation

Abstract

The purpose of this paper is to investigate certain geometric entities called fractals and their relationship with sonorous creation. The research is based on theoretical observations by Francisca Muñoz and Rhodrigo Meza, and on a documentary review from specialized sources. Certain considerations and aspects inherent to fractals and their applications in the field of musical creation are made. The results obtained emphasize the similarity in relation to methods and materials utilized in the elaboration of both fractals and fractal music. The conclusion is that the process of generating fractals by technological and computational means inspires musicians to experiment with innovative compositional techniques which will give way to the origin of new musical expressions which will amplify paths towards sonorous creation, making use of iteration, the calculation of probabilities, and complex math.

Key words: Fractals, musical fractals, algorithm, iteration, sonorous creation.

Introducción

El término fractal puede ser para el común de las personas un concepto vago y rodeado de ese halo de misterio que caracteriza al lenguaje rigurosamente científico. Basta tan sólo con introducir la palabra en cualquiera de los buscadores de la red cibernética, para descubrir una cantidad impresionante de material escrito por numerosos investigadores en múltiples idiomas. Para muchos, las implicaciones suscitadas por las aplicaciones prácticas de este vocablo —apenas introducido en la década de 1970—, podrían estar relacionadas directa o indirectamente con muchos aspectos de nuestra existencia. Tal es el caso de la denominada “geometría fractal” y su inherencia en diversos campos de la ciencia, hecho que está muy lejos de quedarse en una simple idea abstracta. Por ello, para la comunidad científica, el término fractal no pasa desapercibido y tampoco para aquellos individuos que, por curiosidad o fascinación, se han sentido atraídos por estos objetos geométricos de incomparable belleza estética.

En los últimos cuarenta años hemos sido testigos de cómo las alternativas para componer música se han multiplicado, casi exponencialmente. Esta diversidad de posibilidades debido, en gran medida, al flujo de continuos avances tecnológicos, ha permitido a los compositores de hoy día extender cada vez más lejos los límites de la creación sonora. Pero, si bien es cierto que las nuevas herramientas tecnológicas propician y facilitan como nunca antes la labor de los compositores, también es cierto que el ingenio netamente humano continúa siendo el eje primordial en el que se sustenta la organización y concreción de las ideas musicales.

Al margen de todo esto, nuevos planteamientos referentes a la creación musical también se han venido exponiendo en el escenario internacional. Estos combinan —de manera extraordinaria y prácticamente indisoluble— el amplio campo de la ciencia y la tecnología con el talento creador humano. Un ejemplo de ello es lo que se ha dado en llamar *música fractal* o *música de los fractales*, relacionada con un lenguaje que utiliza ciertos algoritmos reiterados; reglas y procedimientos repetitivos que se emplean hasta lograr una estructura límite resultante o fractal. Este tipo de música también está muy relacionada con los medios informáticos y de simulación sonora, en cuanto a su proceso de creación y de producción.

Para analizar el tema de los fractales y su relación con la creación musical, es necesario abordar una serie de argumentos y consideraciones técnicas, como las siguientes:

1. Los fractales
2. La dimensión fractal
3. Los fractales y el caos
4. Los fractales en la naturaleza, ¿son posibles?
5. Los fractales: generación y representación
6. Áreas de aplicación
7. Relación con la creación sonora
8. Creación de la música fractal
9. Programas para producir música fractal

A continuación pasamos a desarrollar cada uno de los puntos, según el orden que hemos establecido.

1. Los fractales

En 1982 el matemático polaco —luego nacionalizado francés— Benoît B. Mandelbrot, considerado el padre de la Geometría Fractal, publicó un libro titulado *The Fractal Geometry of Nature*. En la obra se podían contemplar ciertas imágenes de una belleza increíble, creadas con la más avanzada tecnología informática con la que se podía contar entonces; Mandelbrot (1982:15) propone el siguiente concepto: “Un fractal es, por definición, un conjunto cuya dimensión de Hausdorff-Besicovitch es estrictamente mayor que su dimensión topológica”.

Mandelbrot reconoció que este concepto está muy lejos de ser definitivo, pues no contiene algunos grupos que, por diversos motivos, pudieran incluirse en la categoría de fractales. Dentro de su trabajo, Mandelbrot también indicó una inobjetable similitud existente entre los fractales y ciertos fenómenos naturales como montañas, nubes, rocas de agregación e incluso galaxias.

La contribución más substancial de Mandelbrot en el campo de la teoría de los fractales está cimentada en su labor intelectual, orientada a enlazar toda la literatura existente sobre el tema para, luego, desarrollarla hasta constituir un área completamente inédita de la matemática. De hecho, el término *autorreferencia* (*self-similarity*), muy a menudo relacionado con los fractales, es mencionado por vez primera en un informe interno de la IBM —empresa en donde Mandelbrot realizaba su investigación— fechado en 1964, y luego en un trabajo suyo publicado en 1965. Diez años más tarde, en 1975, el término *autorreferencia* se generalizó ampliamente con la publicación de la primera edición de su libro *Les objets fractals*.

No todos los méritos en el descubrimiento de los Fractales pueden ser atribuidos a Benoît Mandelbrot. El argelino Gaston Maurice Julia —quien en su momento también se radicó en Francia— fue el precursor de la Teoría de Sistemas Dinámicos, lo que,

sin duda, fue determinante para el desarrollo de la teoría de los fractales¹.

Volviendo al concepto de fractal, son muchos los motivos que nos impulsan a buscar más referencias respecto este término. Nuestra intención es aproximarnos a un concepto que satisfaga, no sólo a un público altamente especializado, sino también a aquellos lectores que están fuera del ámbito estrictamente tecnológico.

Desde el punto de vista etimológico la palabra fractal proviene del latín *fractus*, que significa “romper”, y más específicamente, “dividir” para crear fragmentos irregulares. Como señalan Muñoz y Mesa (2002a:2), “Básicamente, un fractal es una figura geométrica fragmentada, donde cada una de las partes conserva una relación de similaridad con la figura completa”. Con la intención de ahondar un poco más en el término fractal, nos remitiremos a la próxima referencia:

...figura geométrica o un objeto natural que combina las características siguientes: a) sus partes tienen la misma forma o estructura del conjunto, excepto que están en una escala diferente y pueden ser deformadas levemente; b) su forma es extremadamente irregular o fragmentada, sin embargo sus partes pueden ser examinadas con los mismos criterios; c) contiene “elementos distintivos” cuyas escalas son muy variadas y cubren una amplia gama (Munafa, 2001:1).

Al estudiar la vinculación implícita entre los fractales y algunas creaciones de la naturaleza propuesta por Benoît Mandelbrot, resulta muy ilustrativo referir también las reflexiones de Gil-Fournier (2004:1):

Lo que en un principio comenzó como una observación sobre la repetición indefinida de una misma estructura, ha acabado dando lugar a imágenes de increíble belleza, que han caracte-

1 Con tan sólo 25 años de edad, Julia publicó, en 1918, su obra maestra, titulada *Mémoire sur l'iteration des fonctions rationnelles*, relativa a la iteración de una función racional, que luego le hace merecedor de un meritorio reconocimiento en el ámbito matemático.

rizado especialmente a esta ciencia matemática, alejándola de la frialdad con que se suele tratar al resto de las matemáticas. Pero no es solamente la belleza el motivo del estudio de los fractales (motivo ya de por sí suficiente). Al contemplar un fractal, inevitablemente recordamos alguna forma de la naturaleza, parece que la esencia de la geometría de la realidad, y con ella su atractivo, halla una simulación, o una explicación, en la geometría fractal.

Lo expuesto da una idea bastante clara de lo que es un fractal, a no ser por una desconcertante reflexión de Gil-Fournier, quien atribuye a los fractales la cualidad de repetirse indefinidamente. Si esta aseveración es del todo cierta, nos encontramos ante un objeto (o figuras) cuya superficie sería finita, pero que —paradójicamente— su longitud resultaría infinita. Esto nos coloca —aparentemente— en presencia de una incongruencia, sólo posible en el campo de la especulación. Toca preguntarnos, ¿es acaso imposible una figura con estas propiedades: área finita y longitud infinita? He aquí una posible solución a este acertijo:

...Un fractal puede ser una serie de circunferencias que se coloquen una sobre el radio de la otra como si fuera su diámetro y así infinitamente. El área sería siempre semejante o aproximada a la de la circunferencia mayor, pero su longitud (considerándolas no como figuras independientes, sino como todas una sola), sería infinita (Pérez, 1998:1).

Los fractales son, en consecuencia, objetos geométricos que se caracterizan por proyectarse en una ramificación infinita. El resultado de este proceso de complejidad constante se traduce en infinitos “entes” idénticos o autosemejantes. Una pequeña sección de un fractal puede ser observada a menor escala como una réplica exacta y más pequeña de sí misma. También podríamos agregar que la complejidad aparente de los fractales, se debe a un proceso de repetición extraordinario de su factor inicial, y lo que subsiste, es precisamente su imagen de área o superficie “finita”, pero de longitud potencialmente “infinita”.

2. La dimensión fractal

Un componente esencial de la teoría de los fractales es la geometría fractal, o como el mismo Mandelbrot sugirió: “dimensión fractal”. Él sugiere utilizar la superficie de un fractal como un factor para medir su tamaño; debido a la dificultad que supone considerar rigurosamente la presencia de los fractales en una, en dos o en un número entero de dimensiones, lo que nos indica que estos entes geométricos han de considerarse desde una perspectiva matemática como si poseyeran dimensión fraccionaria o decimal.

Dentro de la dialéctica de lo concreto, esta concepción podría aplicarse a objetos con tendencia a una longitud infinita, tal es el caso de una línea costera, siempre y cuando se tomen en cuenta sus irregularidades más pequeñas. Mandelbrot también insinuó incluir en esta categoría a algunos accidentes geográficos y fenómenos naturales tales como montañas, nubes, rocas de agregación e incluso galaxias.

El concepto natural de dimensión es que un punto tiene dimensión 0, una recta dimensión 1, una superficie dimensión dos, etc. Sin embargo, era necesario encontrar una forma más sofisticada de definir dimensión, conservando el concepto euclidiano, pero adaptándose a estos nuevos entes matemáticos. Fue entonces que se echó mano a trabajos anteriores, en especial a uno hecho por Hausdorff en 1919 y modificado por Besicovitch en 1935. El concepto de dimensión más usado en el área de los fractales es por tanto llamado de Hausdorff-Besicovitch. Con este método, se obtienen adecuadamente las dimensiones de las figuras conocidas. Sin embargo, sorprendentemente, la dimensión de los fractales son números fraccionarios. Es así como la curva de Koch, por ejemplo, la dimensión obtenida es 1.2628, para el polvo de cantor (otro fractal lineal) se obtiene 0.6309, etc. (Muñoz y Mesa, 2002a:3).

3. Los fractales y el caos

La teoría del caos hace referencia a ciertos sistemas determinísticos que muestran una conducta impredecible y aparentemente

casual, lo que crea un vínculo muy cercano entre los fractales y el caos. Esto se debe a que muchos fenómenos caóticos exhiben estructuras fractalizadas, igualmente muchos fractales se crean a partir del caos. Pero considerar que estos dos términos son semejantes, sería como pensar que el intrincado proceso creativo en el que se involucra un artista para producir su obra, y ésta ya terminada, son la misma cosa. El estudio de los procesos caóticos —muy afines a la teoría de las catástrofes— nos demuestra cómo estos sistemas desencadenan en resultados muy desiguales, atendiendo al cambio de las condiciones iniciales. Los fenómenos naturales presentes en nuestro planeta muestran una marcada propensión a lo caótico. Tomemos como ejemplo la comúnmente citada imposibilidad de realizar predicciones meteorológicas a largo plazo, por ser precisamente muy sensibles a las condiciones iniciales. Refiriéndose a la diatriba surgida de la relación existente entre los fractales y el caos, Francisca Muñoz y Rhodrigo Meza (2002a:7), agregan lo siguiente:

Caos no es sinónimo de fractal, aunque a veces se hable de los temas conjuntamente, o se ilustren trabajos de caos con imágenes fractales. La geometría fractal es la geometría que describe los sistemas caóticos que encontramos en la naturaleza. Los fractales son un lenguaje, una manera de describir una geometría. La geometría fractal describe en algoritmos, cómo crear el fractal. Los computadores traducen estas instrucciones a los magníficos patrones que vemos como imágenes fractales. Las palabras claves del caos son: impredecibilidad, sensibilidad a las condiciones iniciales, en tanto que el grupo de ecuaciones determinístico describe el fenómeno. Las palabras claves de los fractales son: autorreferencia e invarianza en la escala. Muchos fractales no son caóticos como el Triángulo de Sierpinski, o las curvas de Koch.

4. Los fractales en la naturaleza, ¿son posibles?

Desde su primera formulación los fractales —entendidos como entes que cumplen ciertas condiciones matemáticas— tuvieron como fin práctico, servir como modelos para explicar

ciertos objetos y fenómenos naturales, pero ¿con qué grado de certeza podemos afirmar que los fractales en la naturaleza son posibles? Un repertorio bastante amplio de ejemplos pudieran ser citados de diferentes escenarios académicos; debemos subrayar que formalmente no se trata de fractales auténticos, puesto que en el mundo real no pueden darse objetos —ya sean animales, vegetales o minerales— que cumplan con las condiciones de autosemejanza rigurosa en cada uno de sus componentes y que, asimismo, muestren una longitud infinita. Es cierto que en el medio natural podemos encontrar formas con tendencia a extensión infinita que, desde nuestra percepción visual, lucen como fractales, entre las cuales podemos mencionar las que presentan las hojas de los helechos, los copos de nieve, las costas de los países, las ramificaciones de los bronquios y las montañas, entre otras. Se trata, sin duda, de estructuras que tienen un límite; la exactitud matemática del concepto de autosemejanza se rompe en un momento dado, lo que las categoriza inexorablemente como entes finitos; razón por la cual nos hemos inclinado a pensar que no hay verdaderos fractales en la naturaleza.

5. Los fractales: generación y representación

Existen varias formas de obtener este tipo de figuras e igualmente maneras para representarlas. Desde la perspectiva de las matemáticas, la generación propiamente dicha de un fractal se logra mediante la repetición constante de un cálculo simple (Iteración). Su visualización se puede llevar a efecto a través de diversos métodos, pero la vía más expedita es la utilización de computadoras de alto rendimiento, capaces de efectuar complejos cálculos matemáticos. A esto debe sumarse el empleo de un software adecuado, luego se alimenta el programa con parámetros a manera de “semilla” aleatoria, el cual responderá disparando una imagen con un considerable contenido de píxeles (cada punto de la imagen).

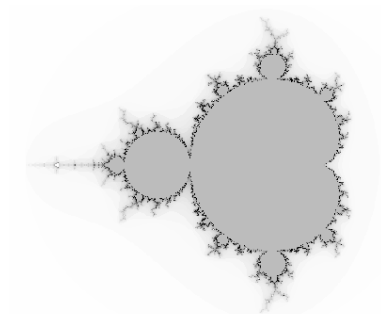
La apariencia de la imagen del fractal, el color de cada uno de los píxeles que la constituyen, así como la delicadeza o rigi-

dez de la imagen, dependerán de la serie de números seleccionados para cargar el programa. Otro de los atributos de este tipo de software es permitir al usuario agregar ciertos niveles de desorden o de caos al sistema creado. Un ejemplo lo tenemos en el denominado “Conjunto de Mandelbrot”, el cual se forma mediante un número complejo ($a + bi$: a y b son números reales; i = unidad imaginaria) que se dice “especial”. Para ello, tomamos el número complejo $Z = a + bi$, y lo elevamos al cuadrado, sumádoselo después al mismo Z . Luego, elevamos ese resultado al cuadrado, sumádoselo nuevamente a Z . Para crear el efecto “fractal”, dicha operación deberá repetirse infinitamente, como se muestra en el siguiente esquema:

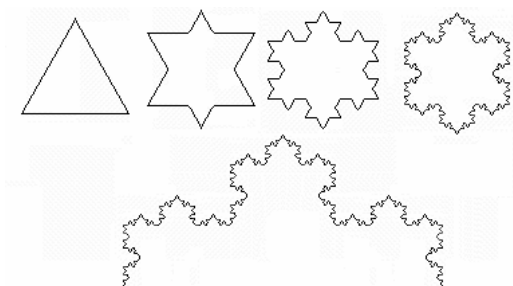
NÚMERO = $a + bi$ (complejo).	
Primera iteración	$Z^2 + Z$
Segunda iteración	$(Z^2 + Z)^2 + Z$
Tercera iteración	$((Z^2 + Z)^2 + Z)^2 + Z$
(Tomado de Pérez, 1998:1).	

Como puede apreciarse, un número complejo fue sometido a un proceso matemático “simple”, elevándolo al cuadrado y sumándolo luego consigo mismo. Si este proceso de “iteración” se llevara a efecto de manera indefinida, con toda seguridad transformaría de forma definitiva, a ese número complejo “simple” en uno infinitamente más complicado.

Es probable que para las personas que no están familiarizadas con este tipo de cálculos matemáticos, el procedimiento continuo de iteración ciertamente pudiera resultarles un lenguaje un tanto lejano. El complejo “Conjunto de Mandelbrot” fue generado a través de un software informático especializado para tal fin. Para reforzar visualmente lo expuesto, se observa la representación del gráfico resultante del denominado “Conjunto de Mandelbrot”.



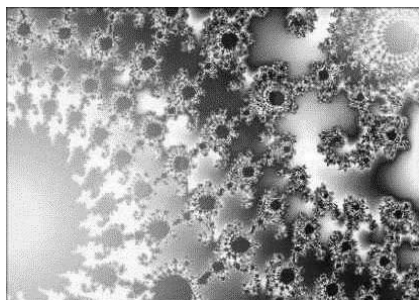
Otro ejemplo que pudiera considerarse como, clásico relacionado con la esencia y la manera en que son generados los fractales, es el denominado “copo de nieve de Koch”, también conocido como la *curva Koch*, llamado así en homenaje al matemático suizo Helge Von Koch. Se trata, nuevamente, de la aplicación del concepto de iteración a un algoritmo matemático que da como resultado una curva continua y no diferenciable en ningún punto.



Como se puede apreciar el producto final se obtuvo al agregar —de manera reiterada— nuevos triángulos a un triángulo equilátero, derivando en una figura geométrica que se torna cada vez más complicada y con un infinito número de vértices. Como era de esperarse y a medida que el proceso sigue su curso, la curva que va delineando la imagen se proyecta indefinidamente; que su perímetro de longitud se vuelve perenne. También se puede observar que los triángulos que la conforman son completamente idénticos al primero, pero a una escala menor.

VARGAS, Fredy

Antes de seguir adelante, veamos algunos ejemplos de lo que se puede lograr aplicando ecuaciones fractales para crear imágenes generadas por computadora, que pueden ser apreciadas —junto con el resto— en una galería de arte virtual: “Música”, http://www.oni.es-cuelas.edu.ar/2002/buenos_aires/infinito/musica.htm



Es factible conseguir resultados muy similares a los gráficos antes expuestos, siempre y cuando se utilicen programas informáticos adecuados para tal fin. Ejemplo de ello es el “Fractint”, un programa de tipo “Freeware” creado por el Stone Soap Group, elaborado para desarrollar imágenes fractales².

6. Áreas de aplicación

Las posibles aplicaciones de la técnica fractal no se limitan exclusivamente a las ciencias exactas, la cualidad autosemejante que presenta la estructura de estos entes geométricos esta siendo usada de muchas maneras. Prueba de ello es que tanto artistas como científicos están reconociendo su enorme potencial.

Los fractales son de gran utilidad para explicar ciertos resultados de la teoría del caos y del estudio de los sistemas dinámicos (estudio de poblaciones), así como del modelado de fenómenos y formas naturales semejantes a sí mismas. Su faceta más extendida es la relacionada con la creación de sorprendentes imágenes artísticas, cuyo código estético no puede ser leído utilizando los criterios del arte hecho en el pasado, debido a la falta de elementos de transición entre uno y otro.

La dimensión fractal también esta siendo utilizada en áreas tan disímiles como las finanzas, la geología, las comunicaciones y las ciencias de la computación.

Aunque han sido estudiados principalmente en el mundo de la matemática, los fractales también pueden ser usados en áreas menos abstractas, como el modelamiento de árboles, nubes, montañas, medición de longitud de las líneas costeras, y en general, cualquier hecho que no sea posible de representar mediante variables geométricas clásicas o euclidianas (como sí lo son los conos de helado, los dados, las pirámides egipcias, etc.). (Muñoz y Mesa, 2002a:2).

² Este programa ocupa poco espacio de memoria en el disco duro y se encuentra disponible gratuitamente en <http://spanky.fractint.org/www/fractint/fractint.html>.

En Geografía, las técnicas fractales se utilizan para la elaboración de mapas en tres dimensiones con detalles topográficos muy precisos. También están siendo introducidos en el ámbito de la medicina, específicamente en la detección de la osteoporosis ya que mediante técnicas fractales se puede hacer una aproximación a cómo evolucionaría la textura de muestras tomadas a pacientes y observar qué tanto se acerca a la estructura de un hueso enfermo.

A todo esto habría que agregar la compresión fractal de imágenes fotográficas digitalizadas y de video, concebida para capturar una imagen y proyectarla como un Sistema de Funciones Iteradas (SFI). Un SFI es conocido como un procedimiento que implica una serie de funciones, adecuadas para describir fragmentos de un fractal. Estos fragmentos, una vez reunidos, despliegan en su totalidad la imagen fractal a cualquier grado de magnificación. La idea de comprimir imágenes proviene de la necesidad de reducir los costos que genera el almacenamiento de información de una imagen³.

Después de asomar sólo algunas de las muchas aplicaciones posibles de la metodología fractal —orientada a modelar determinados procesos—, pudiera pensarse que tiene un límite. Cada día siguen encontrándose aplicaciones que cambian nuestra opinión, pensamiento y forma de percibir e interactuar con el mundo que nos rodea, una de ellas —insospechada hasta hace muy poco tiempo— se refiere, concretamente, a su participación en la creación de un tipo de arte sonoro, conocido en ciertas esferas como “música fractal”. Esta modalidad es hoy investigada muy detalladamente en todo el mundo, aspecto que desarrollaremos en el siguiente punto.

7. Relación con la creación sonora

La imagen virtual de un objeto fractal generado por computadora a través de programas especiales está representada por un número infinito de puntos en un plano bidimensional, constituido

3 Esto en Internet adquiere una relevante importancia, ya que el tiempo de envío de un archivo es directamente proporcional a los costos de dicho proceso.

por dos líneas o ejes, conocido en el lenguaje matemático como “plano complejo”. Como ya hemos dicho anteriormente, los fractales son el resultado de operaciones matemáticas precisas que conllevan un proceso de iteración constante. Pensemos, por un momento, qué ocurriría si nos diéramos a la tarea de asignar un sonido determinado a cada punto de una imagen fractal cualquiera. El resultado de esta abstracción nos conduciría a un tipo de música compuesta por un número finito de notas musicales, pero cuya melodía resultaría infinita, semejante a la curva que va delineando una imagen fractal.

Después de reflexionar detenidamente sobre lo expresado en el párrafo anterior, ¿cómo definir acertadamente la música fractal, sin caer en el ámbito de la especulación? Para dar un concepto bastante aproximado debemos entender cómo se produce. Esta novedosa tendencia, en el campo de la creación sonora, bien pudiera catalogarse como un ejemplo de composición algorítmica, ya que requiere de una fórmula numérica o algoritmo para ser creada. También habría que señalar que —dentro de sus fundamentos— se incluye un proceso de recursión o iteración algebraica, lo que decididamente la relaciona, de manera muy estrecha, con los cuerpos fractales.

...La música fractal intenta establecer los potenciales usos de la recursión, la iteración y las matemáticas complejas como una extensión de la composición musical. Los fractales proveen una inesperada conexión entre las artes musicales y muchos procesos naturales, ya que mezclan cualidades determinísticas y estocásticas para producir naturalmente un agradable y no-estético balance entre predecibilidad y novedad. La estructura jerárquica del fractal autorreferente es análoga a la repetición y desarrollo de motivos musicales usados para crear unidad y coherencia en la música. Una enorme cantidad de fractales puede ser fácilmente creada con un computador para ser usado como fuente inagotable de ideas musicales (Muñoz y Mesa, 2002a:13).

Pareciera que, nuevamente, la creación artística, tanto visual como sonora, fluye con ímpetu y determinación en el intrincado dominio de la ciencia. Aunque superficialmente pareciese contra-

dictorio, las matemáticas y el arte siempre han estado ligados, particularmente con el arte musical. Esto es un hecho que no debería extrañarnos, pues música y matemáticas siempre han mantenido puntos de coincidencia durante el largo perfeccionamiento de lo que pudiéramos proclamar como nuestra herencia musical occidental. Recordemos que un poco más de cinco siglos antes de Cristo, Pitágoras ya hacía referencia a la vinculación existente entre la armonía de tono y la frecuencia numeral.

Durante el desarrollo de la teoría musical a través de la historia, siempre se ha llegado a una relación ineludible entre la matemática y la música, dada fundamentalmente porque la música en sí está compuesta por la unión de sonidos, cada uno con una frecuencia determinada. De esta forma, que un conjunto de notas nos resulte ‘armónico’ no es más que descubrir si existe algún factor común entre las frecuencias de los sonidos que estamos comparando (Muñoz y Mesa, 2002c:12).

Algunos estudiosos de las artes musicales han descubierto una similitud entre la técnica de composición que aplican algunos autores y la manera en que se generan los fractales, tal es el caso de una pieza atribuida nada menos que a Ludwig van Beethoven, titulada la “Primera Escossaien”, en la que claramente se aprecian propiedades fractales de construcción. Esta pieza tiene un total de 32 compases que se dividen en 2 secciones (A y B) de 16 compases (los números de los compases están encerrados en rectángulos): (1 a 16), (17 a 32). Ambas secciones se dividen en 2 períodos: A = (1 y 2) y B = (3 y 4), que se fraccionan a su vez en 2 partes, compuestas por 4 unidades (1,2,3,4) que concentran dos compases cada una (a1, b1, c1, d1), que serán definidas y diferenciadas con las letras m y n..

Esta pieza presenta un balance simétrico de 2 partes. Cada sucesiva subdivisión de 32 unidades es una unidad binaria y una réplica más pequeña de la unidad más larga que la contiene. Sus divisiones forman motivos y pequeñas unidades de estructuras binarias autosimilares. “Períodos” y “Secciones” son construcciones de pequeñas unidades acumuladas dentro de un gran grupo binario (AB).

The image displays a musical score for Beethoven's Piano Sonata No. 29, Op. 106, specifically the first movement. The score is presented in a system of four systems, each labeled with a number (1, 2, 3, 4) and a letter (A, B). The notation includes various musical symbols such as notes, rests, and dynamic markings. Some notes are labeled with letters like 'a1', 'b1', 'c1', 'd1', which likely correspond to the fractal-like structures mentioned in the text. The score is written for piano (p) and includes a bass line (Eb) and a treble line (I).

(Tomado de Solomon, 2002:5-6)

Está claro que Beethoven no tenía conocimiento alguno acerca de la existencia de los fractales, lo que sugiere que el ordenamiento de ciertas ideas musicales, en ocasiones, presenta una forma o estructura similar a la que exhiben estas singulares entidades geométricas. Hasta ahora la relación existente entre los fractales y la música fractal parece obvia, pero antes de emitir un juicio definitivo observemos cuáles son los procedimientos a seguir para su creación.

8. Creación de la música fractal

Después de advertir la relación existente entre los fractales y la música fractal, podemos afirmar que se trata de una nueva manera de concebir el arte sonoro, cuyos resultados pueden llegar a ser extremadamente interesantes, puesto que se desligan, en cierto grado, de la intención puramente subjetiva del creador, para situarse a mitad de camino entre lo estético y lo predecible. Entonces, ¿qué es la música fractal?

En un intento por sintetizar todo lo que hemos expuesto, diremos que la música fractal es el resultado de un proceso recurrente aplicado a un algoritmo. Éste pudo haber sido concebido con anterioridad para generar una imagen con dimensión fractal o, específicamente, para producir una música completamente original, mediante la asignación de valores numéricos a parámetros y criterios musicales (la mayoría de las veces haciendo uso de programas de software especializados).

Pasando ahora a examinar de qué manera se produce esta novísima alternativa de creación musical, diremos que, en principio, resultaría comprensible deducir que toda la música fractal procede de los fractales. Son muchas las maneras que se emplean para generarla. Así como los dígitos de los fractales pueden ser aprovechados para constituir imágenes inéditas —asignando a los píxel colores y una ubicación determinada—, estos también pueden ser implementados para representar los sonidos, el encadenamiento de las notas, la duración de las mismas, la velocidad, el tiempo, la tonalidad o cualquier otro aspecto de la música. Tal virtud se debe a que la elaboración de música fractal está condicionada al uso total o parcial de aquellos procesos iterativos o recurrentes destinados a generar las imágenes fractales.

Si bien es cierto que para componer música fractal no es estrictamente necesaria la participación de medios informáticos, se puede advertir que la gran mayoría de los músicos o investigadores que están incursionando en este género emplean, habitualmente, algunos de los numerosos programas disponibles de manera gratuita en la red. Estos programas han sido creados con el propósito

convertir fractales en música mediante operaciones formales, lo que resulta mucho más viable que crear un programa propio. Los resultados son, a menudo, más interesantes. Es necesario subrayar que cada programa tiene sus características y procedimientos propios, nos referimos concretamente a la forma de hacer la música. Este proceso único puede ser personalizado mediante el uso de parámetros musicales para crear melodías, armonías, ritmos, texturas, etc.; lo que le otorga, sin duda, rasgos muy específicos al producto final. Cada programa aporta suficientes particularidades que, unidas a la inspiración del compositor garantizan, un resultado que pudiera catalogarse de original.

La idea sería transformar los puntos a medida que se van calculando, y generar distintas bandas con cierta codificación para la altura y la duración. Así, por cada nivel, la banda tendría más notas, y más agudas. La idea es, al final, superponer algunas de estas bandas, pasarlas a midi, y luego transformarlas en música más agradable (Muñoz y Mesa, 2002b:14).

Con respecto a la discusión que ha surgido en torno al papel protagonista que algunos detractores de los procesos automatizados otorgan a estos programas, nos inclinamos a pensar que —al igual que sucede con otras disciplinas tales como la arquitectura, la medicina, el diseño, la cinematografía—, la inclusión de estas nuevas herramientas tecnológicas hacen posible que el proceso de producción se lleve a efecto de manera acelerada. Nos parece mucho más significativo, responder a la pregunta ¿quién hace la música?, por cuanto ésta hace referencia al creador del algoritmo y al que sólo se dedica a darle uso.

Aquella persona que sólo se dedica a utilizar un algoritmo —creado, de antemano, para generar una imagen fractal, para cargar, a su vez, un programa orientado a la producción de música fractal y ver qué sucede—, ciertamente no va a merecer ningún mérito artístico; salvo la iniciativa de quien busca experimentar o simplemente satisfacer su curiosidad por este tipo de procedimientos especializados. No es este el caso del compositor creador del algoritmo.

Para algunos, la composición algorítmica es tan antigua como la composición misma y, aunque frecuentemente se le considera una manera de solventar la falta de inspiración, está claro que se trata de una técnica utilizada por muchísimos compositores. Producir un algoritmo sujeto a un proceso de iteración con miras a un resultado estético musical, implica alimentar un programa del que se tomarán en cuenta ciertos parámetros mezclados con criterios personales para hacerlo más interesante y agradable al oído. Esto no es precisamente una labor que incumbe únicamente a la computadora; creemos que mejor pudiera afirmarse que se trata de un trabajo creativo y, a la vez, novedoso asistido por ella.

Entre los fractales y la creación sonora, que deriva de ellos, existe una correspondencia evidente en cuanto a la metodología para llegar a los resultados deseados. Esto, debido a que los medios técnicos utilizados para su producción, gravitan en torno a un condicionamiento basado en un proceso de iteración constante y al cálculo de probabilidades. El resultado final —en ocasiones fuera de los cánones estéticos establecidos—, se desliga completamente de un hecho que pudiese catalogarse como casual; pero, al mismo tiempo y aunque nos resulte paradójico, está provisto de una significativa dosis de predecibilidad.

9. Programas para producir música fractal

En años recientes, el campo científico se ha visto desbordado con nuevos y fascinantes elementos tales como la teoría del caos y los fractales, los cuales no sólo han afectado a muchas disciplinas, sino que también han influenciado la manera de editar la música. He aquí una pequeña muestra de algunos programas frecuentemente utilizados para producir música fractal.

- MUSINUM: Es un programa gratuito de sonificación que convierte números dentro de la generativa música fractal. Éste suma los dígitos en números binarios y cada una de las sumas es una nota musical.
- FRACTAL TUNE SMITHY: Permite al usuario crear música fractal a partir de una secuencia numérica, elegir algu-

nas de las consonancias que ofrece el programa, desarrollar complicadas melodías incorporando cortas frases musicales, seleccionar como punto de partida la habitual escala occidental de siete tonos o, si lo desea, hacer uso de escalas exóticas propias de otras culturas (incluyendo las denominadas microtonales). El programa también ofrece explorar los efectos de la instrumentación y jugar con las melodías y los acordes utilizando el teclado de su P.C.

- K*OS: Para componer una pieza musical en este programa se deben crear, por lo menos, tres fractales con la finalidad de ser usados para la elaboración del ritmo, la estructura armónica y la melodía. Si está siendo utilizado para producir la melodía, permite al usuario elegir de el archivo de instrumentos que más le convenga.
- THE WELL TEMPERED FRACTAL v3.0: Se trata de una herramienta de composición para la derivación de adornos musicales. Es posible crear frases melódicas y ritmos a partir de la simetría de los fractales, los “attractors” caóticos y otras funciones matemáticas.
- MUSICA GA: Es un programa que resulta muy comprensible para aquellos operarios que utilicen un algoritmo genético. El paso interactivo, la frecuencia de variación y recombinación (operadores genéticos), son todas controladas por el operador. Cada encadenamiento de notas musicales es representada en forma binaria en una disposición de 128 elementos de largo, tolerando un máximo de 30 notas por melodía. El MUSICA GA está creado para concebir una melodía estéticamente aceptable en muy poco tiempo.

Conclusiones

Lo que se destacó en un comienzo como una indagación orientada al estudio de ciertas estructuras que se despliegan en una proyección infinita, ha dado lugar a un área completamente nueva de la ciencia, exhortándonos a replantear los conocimientos alcanzados en el campo de la geometría. Sus aplicaciones en diferentes ámbitos del

quehacer humano, están contribuyendo de manera decisiva a crear los nuevos fundamentos y paradigmas de estos tiempos. De forma inesperada vemos surgir de un proceso de iteración constante —aplicado a un algoritmo matemático—, imágenes de increíble belleza, otorgándole a las ciencias exactas ese toque estético que las aleja considerablemente del aspecto de frialdad que las caracterizaba.

Los fractales —esos objetos de longitud infinita en los que se aprecia que una pequeña sección de su estructura puede ser observada a menor escala como una réplica exacta y más pequeña de sí mismo—, no pueden ser explicados haciendo uso de la tradicional geometría euclidiana. Esto se debe a la dificultad que supone considerar rigurosamente su presencia en una, en dos o en un número entero de dimensiones; induciendo a la comunidad científica a proponer la denominada geometría fractal (también conocida como “dimensión fractal”), que contempla a esos entes geométricos de aspecto fragmentado desde una nueva perspectiva, advirtiendo que poseen una dimensión matemática fraccionaria o decimal.

Aunque muchos objetos naturales lucen como fractales y presentan tendencia a la extensión infinita, formalmente no pueden ser catalogados como auténticos fractales, pues se trata de estructuras cuya complejidad no es perenne. Si bien es cierto que la geometría fractal es un área nueva de las matemáticas, y aún un tanto incomprendida, también lo es el hecho de que posee una variedad de usos y potenciales aplicaciones en distintos campos de la vida contemporánea. El proceso de generación de fractales ha inspirado a muchos músicos a experimentar novedosas técnicas de composición que, a la postre, han dado origen a una nueva manera de expresión musical. Un número no cuantificable de fractales pudieran ser generados mediante un computador y software apropiados, para servir como fuente de inspiración de ideas musicales, que luego pueden ser desarrolladas con mayor o menor nivel estético, dependiendo, por supuesto, de la capacidad creativa de quien las utilice.

Por último, existe una relación incuestionable entre los fractales y la creación sonora. Esto se hace evidente en la llamada mú-

sica fractal, la cual se erige como una novedosa forma de expresión musical, que pretende ampliar los senderos de la composición haciendo uso de la iteración, el cálculo de probabilidades y la matemática compleja. Todo esto sin olvidar que tanto la generación de fractales como los métodos de creación de música fractal incluyen, en la mayoría de los casos, medios tecnológicos e informáticos en sus procesos de producción.

Recomendaciones

1. Basándonos en el argumento de que los fractales proporcionan patrones que favorecen la percepción del espacio, así como las propiedades geométricas de ciertos objetos y procesos naturales, nos sumamos a la iniciativa de numerosos pedagogos (entre los cuales se cuenta Miguel Zapata Ros, Profesor Asociado de la Universidad de Murcia, en el Área de Formación del Profesorado del Instituto de Ciencias de la Educación), de incluir conceptos y procedimientos de Geometría Fractal, dentro de los contenidos programáticos de Educación Secundaria.
2. Toda la información que pueda conseguirse en torno a la música fractal, siempre será provechosa si se desea obtener una idea aproximada del término, quizás la mejor manera de conocer a fondo las posibilidades que ofrece este tipo de música, apunta a experimentar con alguno de los diversos programas actualmente disponibles en la red.
3. Por tratarse de una manifestación musical para algunos controvertida, debido a ciertos cuestionamientos, que implican procedimientos creativos que escapan al control absoluto del compositor; es necesario ahondar un poco más no solamente lo que concierne a los fundamentos de la música fractal —muy relacionada con la música algorítmica—, sino también lo que se refiere a su valor estético. Sin duda, una investigación en este sentido aportaría resultados interesantes, en pro de una mejor comprensión de esta manifestación artística signada, en gran medida, por los aportes de la ciencia y de la tecnología de la actualidad.

Referencias

- GIL-FOURNIER, Abelardo (2004). *Fractales: ¿formas de la naturaleza?* Consulta: Diciembre, 2003. Disponible: <http://www.redcientifica.com/doc/doc199903310021.html>
- MANDELBROT, Benoit (1982). *The fractal geometry of nature*. New York. W.H. Freeman & Co.
- MUNAFO, Robert P. (2000). *Fractal, definition Of*. Consulta: febrero, 2004. Disponible: <http://www.mrob.com/pub/muency/fractaldefinitionof.html>
- MUÑOZ, Francisca y MEZA, Rhodrigo (2002a). *Descubriendo los fractales...* (Informe Número 1). Consulta: Agosto, 2003. Disponible: http://www.dcc.uchile.cl/~rmeza/proyectos/Nubes_Fractales/Nube1
- MUÑOZ, Francisca y MEZA, Rhodrigo (2002b). *Nubes fractales* (Informe Número 2). Consulta: Septiembre, 2003. Disponible: http://www.dcc.uchile.cl/~rmeza/proyectos/Nubes_Fractales/Nube2/
- MUÑOZ, Francisca y MEZA, Rhodrigo (2002c). *El fractal, la nube aleatoria, el algoritmo del punto medio y su música* (Informe Número 3). Consulta: Noviembre, 2003. Disponible: http://www.dcc.uchile.cl/~rmeza/proyectos/Nubes_Fractales/Nube3/
- PÉREZ P., Rodrigo (1998). *Fractales - "Matemática de Belleza Infinita"*. Consulta: Agosto, 2003. Disponible: <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Cockpit/5889/>
- SOLOMON, Larry (2002). *The fractal nature of music*. Consulta: Febrero, 2004. Disponible: <http://music.theory.home.att.net/fracmus.htm>.