

El fractal: ¿una noción útil para la antropología americanista?

DANIÈLE DEHOUE

La noción de fractal, introducida en la década de 1970 por Benoît Mandelbrot para designar conjuntos con ciertas propiedades geométricas —en particular, la autosimilitud y la invariancia por cambio de escala—, hizo su aparición en antropología en el decenio de 1990 y fue objeto de debates más recientes entre los mesoamericanistas. El presente artículo revisa la literatura para contestar varias preguntas: ¿adaptaron los antropólogos la definición matemática? ¿Qué tipo de producciones humanas calificaron como fractales? ¿Es útil esta noción para el estudio de los amerindios? Tras definir de manera precisa la geometría fractal, se examinan dos grupos de estudios antropológicos —los que tratan de las producciones geométricas culturales y el fractal por analogía— para concluir sobre las posibles aplicaciones de la noción en el México antiguo y contemporáneo.

PALABRAS CLAVE: fractal, escala, cosmograma, espiral, ontología

The Fractal: A Useful Notion for the Americanist Anthropology?

The notion of fractal, introduced in the 1970s by Benoît Mandelbrot to designate sets possessing particular geometrical properties as self-similarity and invariance by change of scale, was introduced in anthropology from 1991. Since that date, it has been the object of debates on the part of the specialists of Mesoamerica. The present article settles for purpose to review the literature to answer several questions: did the anthropologists take back the mathematical definition? What kind of human productions did they qualify of fractal? Is this notion useful for the study of the American Indians? Having defined the notion of fractal geometry, the article distinguishes two uses of the notion: the fractal in the social geometrical productions and the fractal by analogy, to conclude on the possible applications of the notion to the ancient and contemporary Mexico.

DANIÈLE DEHOUE

Centre national de la recherche scientifique,
Université Paris Ouest Nanterre La Défense/
École Pratique des Hautes Études, Paris, Francia
daniele.dehouve@gmail.com

KEYWORDS: fractal, scale, cosmogram, spiral, ontology

Una vigorosa crítica de Carlos Reynoso (2015) contra la antropología perspectivista puso recientemente en tela de juicio ciertos casos de aplicación de la noción matemática de “fractal” en antropología. El fractal hizo su aparición en nuestra disciplina en la década de 1990 (Wagner, 1991; Strathern, 2004; Gell, 1998; Eglash, 1999), es decir, más tarde que en otras ciencias humanas, como la economía y la geografía. El mismo Reynoso (2006) demostró que la noción no estaba desprovista de interés. En lo personal, hice un uso limitado del término fractal en mi análisis de los usos numéricos de los pueblos mesoamericanos de ayer y hoy (Dehouve, 2015a). Frente a posiciones diversas, sino explícitamente contradictorias, pensé que era necesario retomar el problema desde la base y considerar cómo ha sido usada la noción de fractal en la literatura antropológica. ¿Adaptaron los antropólogos la definición matemática? ¿Qué tipo de producciones humanas calificaron como fractales? Y por último, ¿es útil esta noción para el estudio de los amerindios? Este artículo presenta una reflexión sobre los principales usos del fractal en la antropología y sus posibles aplicaciones al México antiguo y contemporáneo. Empezaré por definir de manera precisa lo que es la geometría fractal antes de examinar dos grupos de estudios antropológicos, los que consideran el fractal en las producciones geométricas culturales y el fractal por analogía.

Definición de fractal

La noción de fractal fue introducida en los años setenta del siglo pasado por el matemático francoestadounidense Benoît Mandelbrot para designar conjuntos con propiedades geométricas específicas que se pueden resumir rápidamente por los conceptos de similitud interna e invariancia de escala: una estructura fractal es la misma tanto “de cerca como de lejos”. Cualquiera que sea la escala en la que se considere la col romanesco, mantiene la misma estructura: un tronco común se amplía en una “subcol”, cada “subcol” se abre en una “sub-subcol”. Este tipo de estructura es muy común en la naturaleza y es característica de los copos de nieve, las nubes, los árboles, las esponjas, las costas, las montañas, la propagación de los fuegos de bosque y la distribución de las galaxias. La biología, a su vez, demostró que una

organización fractal controlaba estructuras del cuerpo humano, como los bronquios, el sistema circulatorio, el sistema urinario y muchos más. La teoría no deja de encontrar nuevos campos de aplicación en geología, biología, física, diseño y cinematografía (Gleick, 2008).

La historia del descubrimiento de la geometría fractal muestra que las formas de este tipo fueron puestas en evidencia antes de elaborar la definición que les correspondía. Uno de los primeros artículos de Mandelbrot (1967), titulado “¿Cuánto mide la costa de Bretaña?”, hoy clásico, retomado y comentado por el autor (Mandelbrot, 1975; 1982), demuestra que para medir la costa a partir de fotografías aéreas es posible usar una regla —*ruler*— de gran tamaño, que proporciona una longitud aproximativa que no toma en cuenta las convoluciones pequeñas. Utilizar una regla más corta, tendrá como resultado producir una longitud mayor, y de esta manera se prosigue hasta el infinito. Así, la longitud obtenida depende de la unidad de medida escogida y crece indefinidamente conforme disminuye la regla. Mandelbrot propuso una nueva forma de medición que pone el tamaño de la regla en relación con las diferentes longitudes de la costa. Ésta exhibe la rapidez con la cual aumenta la longitud cuando disminuye la unidad de medida. Esta proporción —*rate*— es una “diferencia de nivel” —*slope*— y lo que revela es el grado de anfractuosidad de la costa.

Mandelbrot llamó “fractal” a objetos matemáticos del tipo de la franja costera. Es un neologismo que proviene del latín *fractus*, “que fue roto en pedazos”, del verbo *frangere*, “romper”. Se distingue de las formas de la geometría euclidiana, que son rectas y planos, círculos y esferas, triángulos y conos. En efecto, las formas naturales son más complejas. Como aseguró Mandelbrot en una frase célebre, las nubes no son esferas, las montañas no son conos y el relámpago no traza una línea recta. La geometría fractal “da del universo una imagen angular y no redonda, áspera y no lisa. Es una geometría del

picado, del acribillado, del dislocado, del retorcido, del enredado, del entrelazado” (Gleick, 2008: 139).¹

La dimensión de las formas euclidianas se expresa por medio de un número entero: la línea recta es de dimensión 1; una superficie plana, de dimensión 2; el espacio en el cual nos movemos, de dimensión 3. Al revés, la “dimensión fractal” designa dimensiones no enteras. Así, la costa de África del Sur, poco tortuosa, tiene una dimensión fractal de 1.00, la de Gran Bretaña de 1.25, y la de Noruega, muy irregular, de 1.52 (Eglish, 1999: 15). Por lo tanto, la dimensión fractal es un número que cuantifica el grado de irregularidad y fragmentación de un objeto o la aspereza de una superficie.

Para obtener una definición más precisa de fractal, es necesario detallar el proceso de su obtención. Se escoge un objeto gráfico al cual se aplica cierta transformación que le añade un elemento de complejidad. Luego se aplica la misma transformación al objeto que se acaba de obtener, lo que incrementa su complejidad. Se reproduce *ad infinitum* este proceso de iteración. Los modelos que permitieron a Mandelbrot elaborar su teoría ya existían en forma de “aberraciones” o “paradojas” matemáticas. Así, el primer fractal es el Conjunto de Cantor (1845-1918) y encontramos un modelo cercano en la Curva de Helge von Koch (1904).

La Curva de Koch se crea así: al principio, en la iteración 0, disponemos de un “iniciador” —estado inicial— que es un segmento de recta L . En la primera iteración (véase la figura 1a), este segmento se reemplaza por una línea rota, constituida por cuatro segmentos de longitud $L/3$, que reciben el nombre de “generador” —*starting shape* o *seed shape*—. En la segunda iteración, se reemplaza cada uno de los cuatro segmentos por el generador, de manera que cada nuevo segmento mida $L/9$. Al final de cada

1 Todas las traducciones de las citas textuales, en el presente artículo, son mías.

etapa, la forma resultante —*output*— se reporta al comienzo de una nueva etapa —*input*—: el procedimiento se llama “recursividad” —*recursion*—. En la tercera iteración, continúa el reemplazo de cada segmento por una versión reducida del generador. Al proseguir de esta manera, se obtiene una forma cada vez más compleja, hasta el infinito.

Esto nos ayuda a precisar la definición de fractal. Eglash (1999: 17-18) enunció claramente los cinco criterios que permiten determinar si un motivo plástico elaborado en alguna población remite o no a una estructura en fractal:

1. La recursividad —*recursion*—. Los fractales se generan mediante un proceso circular, un *feedback* o *loop* en el cual el punto de salida —*output*— de un nivel se convierte en el comienzo —*input*— del nivel siguiente. En el caso de la Curva de Koch, la recursividad se obtiene por iteración (véase la figura 1b).

2. La invariancia por cambio de escala —*scaling*—. Los fractales poseen la misma configuración en las distintas escalas, dentro de un campo considerado.

3. La autosimilitud —*self-similarity*—. La configuración existente en las distintas escalas es la manifestación de la autosimilitud. Ésta es exacta en el caso de un fractal “determinista” o “exacto”, como la Curva de Koch. En cambio, los fractales “estadísticos” poseen una autosimilitud estadística: son las más frecuentes en la naturaleza, por ejemplo, una franja costera. Algunos fractales tienen partes que no replican la imagen de la totalidad, como los árboles y el pulmón (Eglash, 1999: 16, fig. 1.7). En ese caso, las líneas “activas” son las que se reemplazan en cada iteración por una versión más pequeña de ellas, mientras las líneas “pasivas” no cambian de tamaño.

4. El infinito —*infinity*—. Según numerosos matemáticos, no existe posibilidad de conectar el fractal con la idea de dimensión sin convocar al infinito. Se considera que un fractal, como la Curva de

Koch, es indefinidamente autosimilar. En cambio, en los hechos, ningún fractal natural descrito posee un número infinito de escalas. Por ejemplo, la sucesión de las escalas en una costa termina al llegar al nivel subatómico. Un objeto natural es autosimilar sólo en cierta gama de escalas.

5. La dimensión fractal —*fractional dimension*—. Una Curva de Koch o cualquier otro fractal contiene una longitud infinita dentro de un espacio finito. Por lo tanto, es necesario cuantificar la dimensión de manera distinta a la expresada en los números enteros —1 para la línea recta, 2 para la superficie, etc.—. Un fractal extiende la noción de dimensión a las dimensiones no enteras.

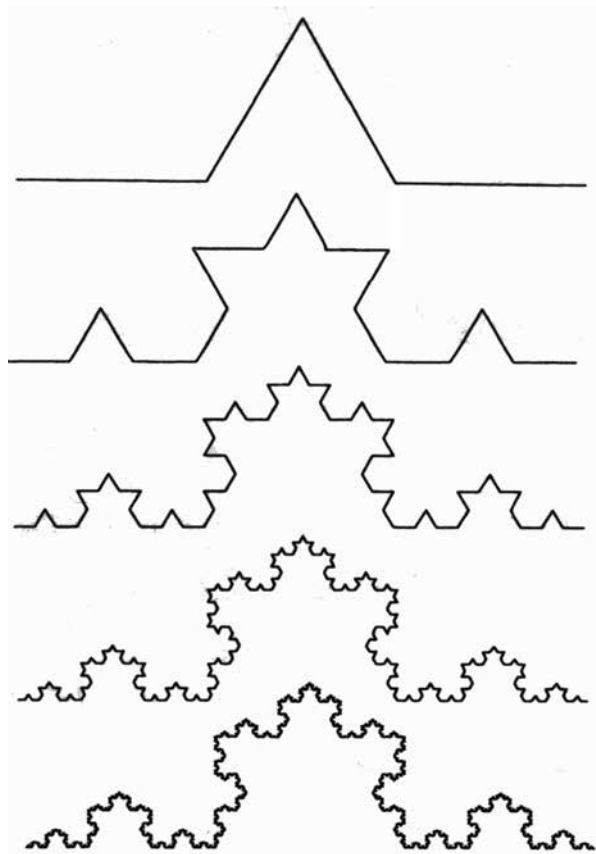


Figura 1a. La Curva de Koch, según Eglash (1999).

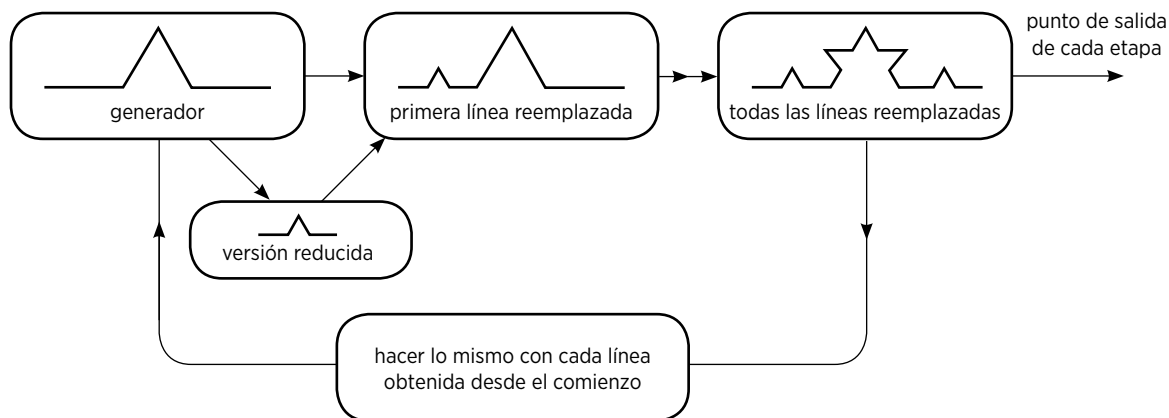


Figura 1b. Esquema de la recursividad o *feedback*.

Un fractal matemático posee el conjunto de estos atributos. En el campo social y cultural, la existencia de estas cinco características proporciona criterios para determinar en qué medida las producciones humanas pueden ser calificadas como fractales.

El fractal en las producciones geométricas culturales

Dado que el fractal es una construcción geométrica, es decir, una forma en el espacio, lo pondremos en evidencia en las producciones geométricas humanas, en particular, los asentamientos de poblaciones, la arquitectura y el arte.

EL FRACTAL GEOMÉTRICO CULTURAL INTENCIONAL: EL CASO AFRICANO

El único estudio sistemático de una producción fractal geométrica en un área cultural es, según mi conocimiento, el de Eglash (1999). El autor demostró la presencia de fractales en el África subsahariana, que pienso poder calificar de “geométricas”, pues captó “formas en el espacio” en los asentamientos

humanos y los motivos artísticos. En un simple nivel descriptivo, estas formas poseen una autosimilitud en varias escalas. No es posible demostrar que existe la conciencia de la recursividad y del infinito en todos los casos, pero sí en cierto número de ellos. En cambio, la dimensión fractal no ha sido objeto de cálculos por parte de los artistas africanos.

Dicho fractal también puede calificarse de “cultural”, pues Eglash no ha basado su investigación en ejemplos aislados, sino en un estudio sistemático desarrollado en un área cultural en la que el procedimiento matemático figura como un verdadero “estilo”. Igualmente, es “intencional”, pero el empleo del término requiere ciertas precauciones. Según Eglash (1999: 49), la intencionalidad se capta en una gama o un abanico. En una extremidad, se encuentran los modelos no intencionales que fueron creados por accidente. Un ejemplo de este caso se distingue en la red urbana de Londres, cuya estructura fractal resulta, no de una manera voluntaria de construir la ciudad, sino de la “acumulación inconsciente de las dinámicas de la población urbana” (Eglash, 1999: 50). El fractal resultante sólo aparece en las fotografías aéreas tomadas desde lo alto, es decir, a escala muy grande.

Los fractales africanos estudiados por el autor no corresponden a este modelo, pues sus formas han sido objeto de una búsqueda consciente. Sin embargo, surgen ahí dos posibilidades: los fractales intencionales e implícitos —por ejemplo, cuando los artistas elaboran formas estéticas sencillamente porque les parecen bonitas—, y los intencionales y explícitos, cuando las técnicas de producción se basan en “reglas explícitas que estamos acostumbrados a relacionar con las matemáticas” (Eglash, 1999: 49).

Eglash se percató de la existencia de estructuras fractales al mirar fotografías aéreas de los pueblos africanos. Más tarde, confirmó su observación por medio de la simulación en computadora y del cálculo de la dimensión fractal de las imágenes. Al principio, el autor pensaba que estas formas resultaban de una autoorganización inconsciente, pero después de un año de investigación se convenció de que se trataba del producto de una actividad consciente.

A título de ejemplo arquitectónico, presentaremos el fractal circular que dibuja un pueblo de ganaderos Ba-ila del sur de Zambia. El asentamiento se presenta como un círculo de círculos. El círculo más pequeño es un corral que alberga a una familia con su rebaño. En cada corral, la parte más cercana a la entrada está ocupada por el ganado que entra y sale continuamente, mientras la parte de atrás está destinada a la vivienda humana. De ahí se desprende el principio según el cual la entrada de cada corral es de bajo estatus comparado con la parte de atrás. Así, los dos elementos geométricos de la estructura serán la forma circular y el crecimiento del prestigio social entre la entrada y la parte de atrás.

La simulación en computadora muestra que el fractal se construye a partir del generador —*seed shape*— constituido por el corral de un solo grupo doméstico en vista aérea: los muros son circulares y la línea figura un altar. La segunda iteración presenta la vivienda de una familia extendida compuesta por varios grupos domésticos: la forma circular es replicada y la parte más cercana a la salida está ocupada

por los hogares de más bajo estatus. La tercera iteración construye la estructura completa del pueblo. El estatus y el tamaño de las familias extendidas crecen entre la entrada y la parte posterior del círculo mayor.

Además, en el fondo del círculo mayor se divisa un “pueblo en el pueblo”, constituido por el corral de la familia extendida del jefe. Es interesante señalar que éste ocupa la parte en la que se sitúa el altar en un corral de base —en la iteración 1—. Así se expresa la visión local de la religión y del poder del jefe. En efecto, “ejercer el poder” se dice *kulela*, de *lela*, “cuidar, querer, nutrir”. Las tres iteraciones sucesivas representan, según Eglash (1999: 29), las iteraciones sucesivas de *lela*, por lo que deduce su intencionalidad, es decir, de acuerdo con su definición, el hecho de que son producidas de manera consciente y reciben un simbolismo. De esa manera, concluye que la correspondencia “entre las nociones espirituales de renacimiento sin fin, los modelos matemáticos de la autorreplicación y la estructura física” es frecuente en numerosos pueblos africanos (Eglash y Odumosu, 2005: 104).

El aspecto que despierta el mayor interés de un antropólogo descansa en el uso simbólico de la forma fractal por los africanos. Así, la manta de boda Fulani, de Malí, contiene un motivo en fractal que expresa el crecimiento de la energía (Eglash, 1999: 119; fig. 8.3). Además de esta noción, las construcciones iterativas pueden expresar el prestigio, la sucesión de los reyes, la suerte, las iniciaciones en el sistema de clases de edad, la descendencia, etc. En África, los procedimientos fractales representan unas formas matemáticas particularmente productivas de simbolismos.

Por su precisión y minuciosidad, el libro de Eglash representa el punto de partida obligatorio de cualquier reflexión sobre los fractales culturales, pero no resuelve todas las incógnitas ni responde a todas las objeciones. Una de ellas concierne al infinito. Hemos visto que los objetos matemáticos, como la Curva de Koch, son los únicos que poseen un

número infinito de iteraciones, mientras en la naturaleza, las estructuras descritas se replican en un número de escalas, muy grande pero finito. Ahora bien, en el campo cultural, el número de iteraciones sucesivas se reduce por lo general a tres o cuatro y es difícil comprobar que siguen un movimiento hacia el infinito. Es verosímil que la mayoría de los matemáticos no acepte caracterizar como fractal a un objeto que no plantea la cuestión del infinito. Por lo tanto, para respetar la definición matemática de fractal, y por otra parte, aprovechar los avances de Eglash, propongo calificar los objetos culturales como “tipo fractal”. A partir de ahí proseguiremos la reflexión sobre la geometría “tipo fractal” en varias culturas amerindias, lo que nos llevará a plantear problemas teóricos más generales.

INTENCIONALIDAD Y NO INTENCIONALIDAD

Eglash subraya que la intencionalidad se reconoce en la búsqueda consciente de arquitectos y artistas de formas fractales a las cuales atribuyen varios simbolismos. Antes de proseguir la reflexión, es necesario hacer notar que estas características se oponen de manera drástica a todo lo que se sabe de los fractales naturales. En efecto, éstos manifiestan un desorden aparente que los matemáticos han tratado de superar para mostrar que responden a un orden subyacente, el fractal. Además, se considera que muchos fractales naturales son el resultado de procesos de autoorganización. Por el contrario, los fractales culturales proceden de un ordenamiento voluntario de los humanos. Esto significa que no es suficiente calificar un objeto como fractal y que es necesario determinar qué tipo de fractal estamos considerando.

Este ejercicio es particularmente difícil cuando se trata de asentamientos humanos, pues hemos visto que una estructura en fractal puede ser resultado de una acumulación inconsciente de dinámicas, como en la ciudad de Londres, o de la búsqueda consciente de simbolismos, como en el pueblo de

Zambia. El ejemplo de los antiguos mayas representaría otro caso de figura, pues la estructura en fractal de su hábitat, aunque no intencional, reflejaría su organización social en réplicas, porque la unidad doméstica, el linaje y el clan mayas siguen el mismo modelo (Brown y Witschey, 2003: 1627-1628; Sandoval y Vilanova, 2007: 61-63). Esto demuestra que el análisis debe contemplar una amplia gama de posibilidades.

Si bien existen diferentes clases de estructuras en fractal en los asentamientos humanos, ¿qué decir de otras producciones humanas? Brown y sus colaboradores piensan que las sociedades mayas de México y Guatemala eran construcciones fractales. Afirman que el simple hecho de poner a la luz un fractal en algún ámbito de la sociedad maya refuerza su tesis. Quisieron demostrarlo con el ejemplo de un vaso funerario cilíndrico de cerámica policroma exhumado en Guatemala (Brown, Witschey y Liebovitch, 2005) adornado con una escena narrativa y figurativa que comprende seis figuras humanas y varios jeroglíficos (véase la figura 2).

Los autores precisan que se trata de un fractal estadístico, del cual “no se pueden descifrar las reglas de construcción” (Brown, Witschey y Liebovitch, 2005: 54-55). Argumentan que, como resulta imposible trazar las etapas de la generación de un fractal estadístico, en este caso basta con calcular su dimensión fractal. Con este objetivo, utilizaron la versión 1.3 del programa Benoit publicado por TruSoft International Inc., que opera a partir del formato de mapa de bits —*bitmap*— y se basa en los píxeles blancos. Un dibujo del vaso, preparado por Montgomery (2000), fue convertido en mapa de bits en Adobe Photoshop y luego analizado por el programa Benoit. El resultado se obtuvo como una dimensión fractal — $D = 1.67$ — que permitió a los autores concluir: “podemos asegurar que cuando menos unos ejemplos de arte maya clásico poseen una estructura en fractal” (Brown, Witschey y Liebovitch, 2005: 57).



Figura 2. Vaso de cerámica policroma, Altar de Sacrificios, Guatemala (Montgomery, 2000).

Para darse cuenta del error contenido en esta afirmación, es necesario comentar en qué consiste el programa Benoit, con el cual se calculó la dimensión fractal del ornamento del vaso maya. Es un programa basado en el sistema de funciones iteradas —*iterated function systems* (IFS)—, inspirado en una publicación de Michael Barnsley (1988), cuyo título significativo proclama *Fractals Everywhere* —fractales donde quiera—. Se trata de un procedimiento tan potente de análisis electrónico de los fractales que permitió crear un proceso de compresión de las imágenes llamada “compresión fractal”:

La estructura de un fractal IFS es descrita mediante un conjunto de funciones afines (transformaciones o reglas) que calcula las transformaciones aplicadas a cada punto por homotecia, traslación y rotación. Una probabilidad está asociada a cada transformación. Dichas transformaciones se reducen a combinaciones de rotaciones y aplanamientos en el eje horizontal y vertical, distorsiones verticales u horizontales. Lo único exigido es que la transformación sea una contracción, es decir, que la distancia

entre dos puntos disminuya (o cuando menos no aumente) en el curso de la transformación (Bonhomme y Bettinger, 2008: 12).

En otras palabras, la dimensión fractal obtenida con el programa Benoit es el resultado de miles de iteraciones calculadas por una computadora muy potente que incluyen distorsiones de forma. Sería imposible poner este carácter fractal en evidencia sin recurrir a este procedimiento moderno. Más aún, el programa Benoit ha sido elaborado como un medio de compresión universal de ilustraciones, es decir, puede aplicarse a cualquier imagen, por lo tanto, no revela nada sobre el vaso maya ni sobre la sociedad que lo produjo.

En resumen, pienso en la importancia de que los investigadores no se contenten con invocar la naturaleza fractal de un objeto social. Es esencial que pongan atención en la manera de comprobar su carácter fractal: existe una gran diferencia entre un fractal cuyo procedimiento de generación e iteraciones sucesivas se detallan y una dimensión fractal calculada por un programa de compresión de las

imágenes. Es indispensable distinguir entre los tipos de fractales, y en particular, entre los naturales, que proceden de la autoorganización, y los culturales, que resultan de la voluntad humana.

¿FORMAS EUCLIDIANAS VERSUS FORMAS FRACTALES?

Otro tema de discusión es la oposición entre las formas euclidianas y fractales, admitida por Mandelbrot.² Esta oposición es la que utiliza Eglash en su capítulo sobre la presencia y ausencia de fractales en varias culturas (1999: 39–48). Para demostrar que la mayor parte de América desconoce la geometría fractal, Eglash asegura que sus arquitecturas recurren a dos formas euclidianas: el círculo y el cuadrilátero. Según él, una fotografía aérea de un asentamiento de los indios pueblo de Nuevo México, hecho de casas cuadrangulares dispuestas en óvalo, proporciona un caso ejemplar de su “geometría euclidiana”. Tras mencionar el caso de las pirámides mesoamericanas, concluye que la mayor parte de la América indígena privilegia las formas euclidianas y desconoce los fractales.

A continuación, discutiremos si las formas euclidianas y los fractales son excluyentes. Los especialistas en Mesoamérica están, por supuesto, muy familiarizados con el “cosmograma” (Dehouve, 2015a: 113–143), una forma geométrica que ofrece un caso adecuado para reflexionar sobre la realidad de la oposición entre las formas euclidiana y fractal. A toda vista, el cosmograma es una forma euclidiana —un cuadrilátero o un círculo—, cerrada sobre sí misma, justo porque representa, en primera instancia, el mundo limitado por los movimientos repetitivos del sol. Esta forma se originó en la contemplación del “calendario de horizonte”, antes de prestarse para encerrar varias duraciones (Dehouve, 2015a: 113–143; véase la figura 3).

Si el cosmograma es una forma euclidiana, cerrada y cargada del simbolismo de la finitud,

¿significa esto que el fractal está ausente de las representaciones mexicas? En lo personal, pienso que no. He calificado como representación de “tipo fractal” escasos episodios míticos y rituales, en los cuales las cuatro esquinas del cosmograma se replican una vez cada una (véanse las figuras 4a y 4b). En efecto, sabemos que estas esquinas representan los cuadrantes del universo. Como demostró Thompson (1934: 220), “cada dirección podía subdividirse entre el Norte, el Oeste, el Sur, el Este y el Centro”.³ De manera semejante, un ritual dirigido a las cuatro esquinas del mundo sigue una réplica en fractal: durante una ceremonia, los mercaderes que salían de expedición cortaban tiras de papel por múltiplos de cuatro y las mojaban con la sangre extraída de su lengua u orejas; en lugar de presentar las tiras una vez a cada uno de los cuatro puntos, las presentaban cuatro veces a cada uno de los cuatro puntos (Sahagún, 1956: IX-3, 494, citado en Dehouve, 2015a: 264). He calificado dicha repetición como “tipo fractal”, aunque es forzoso admitir que el número de réplicas del cosmograma quedaba siempre limitado a dos o tres iteraciones.

Puede concluirse de esta exposición que, de manera general, las formas plásticas de tipo fractal no son muy difundidas en Mesoamérica. Es mucho más fácil presentar evidencias de juegos sobre formas “euclidianas” —círculos, cuadriláteros, diamantes— y simétricas que “miniaturizan” de manera simbólica un referente externo. Cuando ocurre, la duplicación concierne principalmente a formas euclidianas y finitas. Seguramente, esto limita el recurso a la geometría “tipo fractal”, que está poco desarrollada comparada con África, pero no la impide.

2 Véase *supra*: “las nubes no son esferas”, etc. (p. 132).

3 Para explicaciones más detalladas, véase Dehouve (2015a: 134).

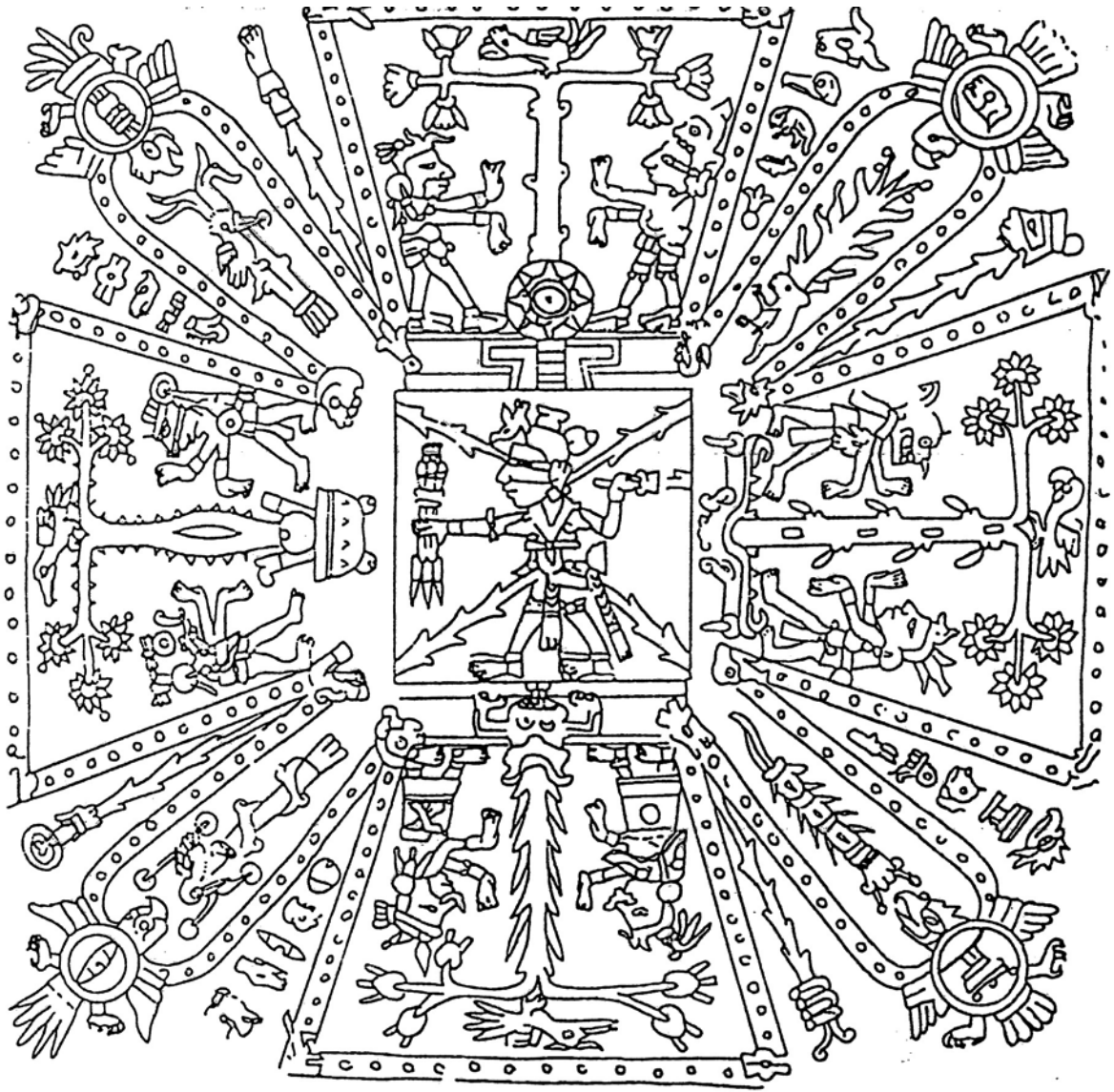


Figura 3. El cosmograma del *Códice Fejerváry-Mayer*, lámina 1 (León-Portilla, 1992; según Dehouve y Vié-Wohrer, 2008: 240, dibujo de Vié-Wohrer).

El último caso mesoamericano que consideraremos es un motivo en forma de fractal natural que, por lo tanto, dista mucho de las formas euclidianas evocadas anteriormente. Se trata del corte transversal de la concha marina. Este motivo caracteriza a Quetzalcóatl —serpiente de plumas— en su advocación de Ehécatl —dios del viento—. La concha marina

dibuja una espiral en la cual la distancia crece entre cada revolución (véase la figura 5b), lo que la distingue de la espiral de Arquímedes, que respeta una distancia constante entre cada revolución (véase la figura 5a). La concha es una espiral logarítmica, es decir, un fractal, porque inscribe un número infinito de revoluciones en un espacio finito (Eglash,

1999: 77). El dios lleva esta espiral en varios adornos: el pectoral en joya de viento —*ehcacozcatl*—; los pendientes de orejas —*epcololli*—, cuya curva representa el principio de la espiral (véanse las figuras 5c y 5d), y el escudo en joya de viento —*ehcacozcachimalli*—.

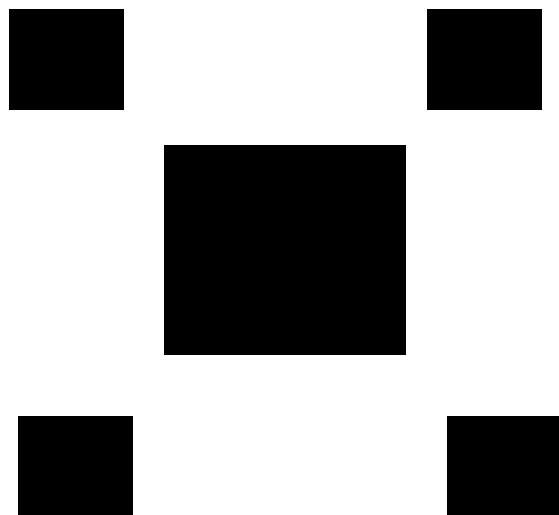


Figura 4a. El cosmograma replicado (esquema de Dehouve). El centro y las cuatro esquinas.

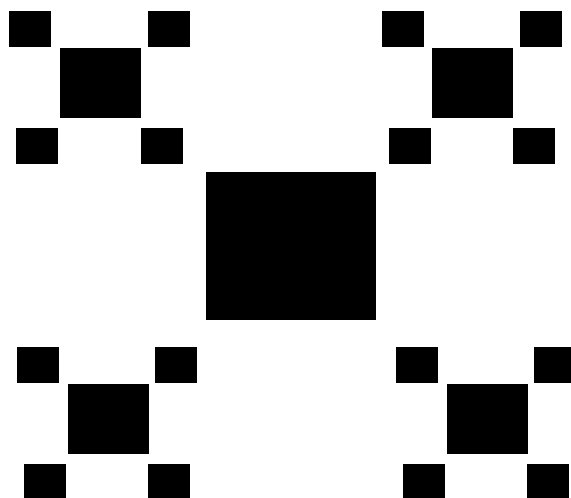


Figura 4b. El centro y las esquinas duplicadas.

El motivo que distingue a Quetzalcóatl-Ehécatl presenta varias características dignas de ser notadas. Según mi conocimiento, es el único fractal verdadero presente en el arte mexica y proviene de la imitación de formas naturales, no de una sola, sino de dos. En efecto, la espiral de la concha representaba otra espiral logarítmica: la del ciclón y el remolino de viento, atributos del dios del viento. Estos fenómenos naturales también son fractales porque la distancia crece entre cada una de sus revoluciones hasta el infinito. Sin embargo, su tamaño es tan considerable que no puede ser representado en los rituales. Por eso, el corte transversal de la concha aparece como la miniaturización natural del fenómeno de los ciclones, que se expresa en la naturaleza en una escala fuera del alcance de los seres humanos.

Además, la espiral de la concha ofreció el símbolo que muy a propósito los mexicas escogieron para expresar las nociones de dinamismo y creación. En efecto, el viento desempeñó en los mitos un papel dinámico y creador. Como Ehécatl, puso los astros en movimiento en la leyenda de la creación del Quinto Sol en Teotihuacan (Sahagún, 1953: VII-8). La espiral remite también al motivo en greca, frecuente en la arqueología mesoamericana y bien conocido desde Ortiz (1984).

Este caso demuestra que la presencia masiva de objetos euclidianos en la geometría de los mexicas no impidió que descubrieran las capacidades simbólicas ofrecidas por los fractales naturales. Para concluir, responderé a la pregunta de si los fractales existen en todas las culturas humanas. Mientras Eglash contesta que no, yo me inclino por una respuesta positiva. Sin embargo, los objetos replicados difieren mucho, así como su simbología. Aquí se desliza un tema de investigación por desarrollar en el futuro en el ámbito comparativo. Sería necesario emplear un método de identificación de las formas fractales más preciso que los usados hasta la fecha y desarrollar investigaciones

sistemáticas sobre las formas geométricas en los asentamientos humanos y las formas plásticas, en áreas culturales definidas.

FRACTALES Y ONTOLOGÍAS

Otra manera de ver el fractal, como una forma culturalmente determinada, se debe a Descola (2005; 2010) y a su clasificación de las sociedades por “ontologías”. El autor pone en el centro de la fábrica social al “yo frente al otro” y afirma que para las sociedades existen cuatro maneras de pensar en la relación entre la cultura y la naturaleza —naturalismo, totemismo, animismo y analogismo— y de “identificar las entidades del mundo”, es decir, “ontologías”. Sólo la última se caracteriza por el recurso de las formas fractales. El analogismo sería una ontología de la atomización y recomposición, presente en Europa desde la Antigüedad hasta el Renacimiento, en África occidental y en las comunidades indígenas de México y los Andes. Tomando como ejemplo la cultura mexicana, en la que los componentes de la persona migran entre hombres y animales en una especie de vagabundeo incesante, el autor afirma que, amenazado de anomia por la pluralidad de la personalidad de sus habitantes, este mundo tendría que recurrir a la analogía “como un procedimiento compensatorio de integración tendiendo a crear en todos sentidos trenzas de solidaridad y vínculos de continuidad” (Descola, 2005: 280–301). De manera complementaria, esta ontología recurriría al fractal con la finalidad de establecer correspondencias entre los “existentes” por dos medios: llamar la atención sobre la estructura que organiza el conjunto y poner en evidencia las redes de relaciones representables (Descola, 2010: 182).

A la inversa, la ontología animista, presente entre los indios de la Amazonía, en el norte de América, el área ártica, sureste de Asia y Melanesia, se definiría por la atribución de “una intencionalidad y

affects análogos a los de los humanos” a una multitud de seres provistos de una cobertura animal o vegetal (Descola, 2010: 23). Las sociedades animistas estarían desprovistas de fractales.

Estas afirmaciones parecen un poco rápidas. Los indios de Norteamérica, clasificados por Descola como animistas, no deberían poseer fractales según este autor. Sin embargo, de acuerdo con

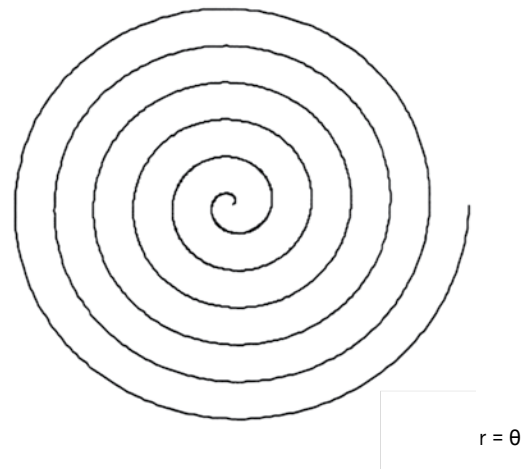


Figura 5a. La espiral del dios del Viento. Espiral lineal de Arquímedes, según Eglash (1999).

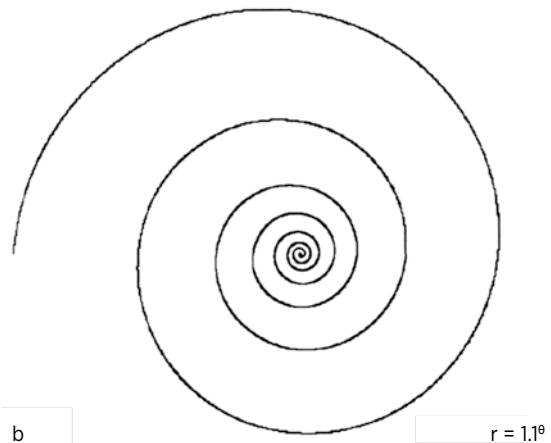


Figura 5b. La espiral logarítmica, según Eglash (1999).

Eglash (1999: 44-45), los kwakiutl de Columbia Británica, en el noroeste del continente, son los únicos amerindios cuyo arte plástico presenta “la clase de autosimilitud global y no lineal necesaria para calificar los fractales y ostenta claramente la invariancia por cambio de escala recursiva hasta tres o cuatro iteraciones” (Eglash, 1999: 44-45), como queda comprobado en la figura 6.

Por otra parte, hemos visto que la presencia de estructuras fractales entre los mesoamericanos, calificados por Descola como “analogistas”, no es tan evidente. Nuestra discusión anterior ha mostrado que ahí las réplicas en fractal sólo conciernen a formas euclidianas y no rebasan tres iteraciones. Dichas contradicciones muestran que no se puede comprobar todavía la correlación postulada entre ciertas ontologías y el fractal. Para completar el argumento, podría desarrollarse una crítica de la noción misma de ontología, pero el presente artículo no ofrece el lugar adecuado para ello (Dehouve, 2015b).

El fractal por analogía

Seguimos con la recensión de los usos de la noción de fractal en antropología. Ahora hablaremos del fractal por analogía. Por definición, el fractal es una geometría, es decir, una forma en el espacio. Sin embargo, ciertos antropólogos utilizan el término “fractal” para designar una idea, noción o representación, replicada en varias escalas. Esta forma ideal no se expresa de manera material ni geométrica, es una imagen mental *como* un fractal. En sentido estricto, se trata de una analogía o metáfora.

El estudio del fractal por analogía se caracteriza por una ambigüedad fundamental. Mientras algunos investigadores lo utilizan para dar testimonio de la realidad estudiada, otros —a veces los mismos— piensan en descubrir una estructura subyacente, un mecanismo de funcionamiento social e intelectual. La historia del fractal por analogía, es



Figura 5c. Quetzalcóatl-Ehécatl (*Primeros memoriales*, 1958, fol. 261 v.).

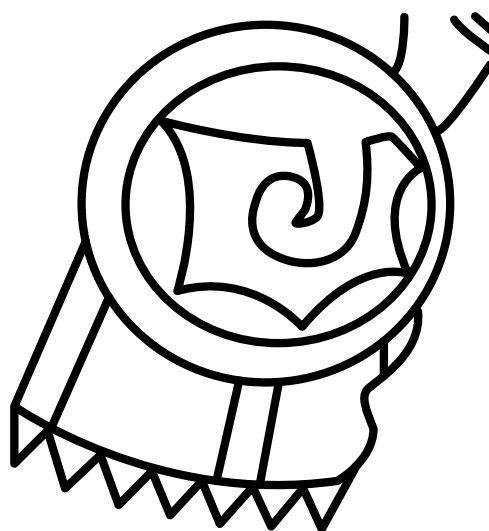


Figura 5d. Detalle de la joya de viento.

decir, el que no responde a la definición matemática del término, está marcada por este equívoco: ¿se trata de una metáfora o de un mecanismo presente en la naturaleza?

LA PERSONA FRACTAL

Cuenta Marilyn Strathern que los departamentos del Reino Unido fueron impactados por la publicación del libro de James Gleick en 1988: “los gráficos en fractal que habían permanecido durante años como una provincia preservada para la ciencia teórica del caos adquirieron de repente permeabilidad cultural” (Strathern, 2004: xx). Tres años más tarde, salió a la luz el artículo del estadounidense Roy Wagner (1991) sobre la persona fractal en Melanesia, que introducía la noción en la antropología de esta área cultural.

Lo que Wagner buscaba era una manera de expresar la concepción melanesiana de la persona sin mezclar en su descripción las visiones europeas que, supone, son muy distintas. En efecto, los antropólogos oponen el individuo al grupo. A la inversa, los melanesianos no establecen una diferencia entre la parte y el todo. En un hombre se expresa su genealogía, su grupo, sus redes sociales. Una persona no es ni una ni varias: es una totalidad cuya existencia remite al grupo, a todos sus antecesores y su descendencia futura. Para explicar esta concepción autóctona, Wagner propone dos términos, fractalidad y holografía, que le ofrecen las metáforas que busca para expresar la especificidad de la representación de la persona en Melanesia, y con este objetivo, los utiliza como sinónimos.

Sin embargo, podemos objetar que el fractal y la holografía no tienen nada en común. El primero es un concepto matemático, la segunda es una técnica de fotografía en tres dimensiones. “Holografía”, de raíz griega, quiere decir “representar todo”; consiste en crear imágenes tridimensionales del objeto:

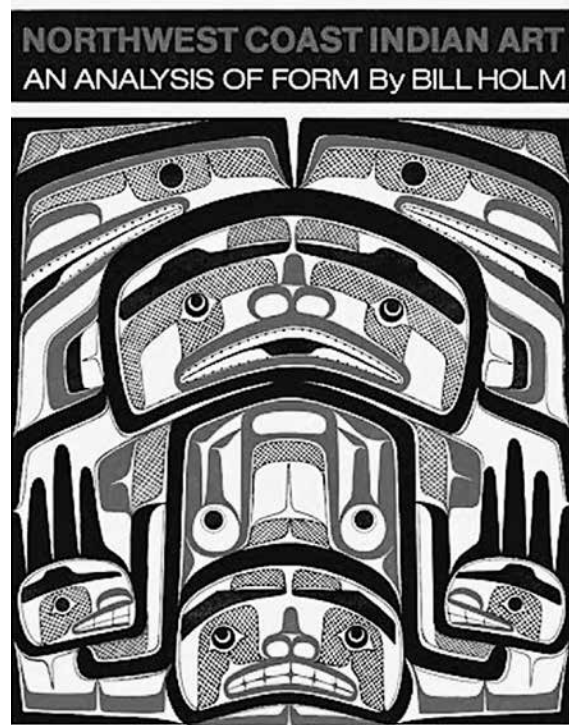


Figura 6. Los fractales en el arte de los indios del noroeste de América (portada de Bill Holm, *Northwest Coast Indian Art: An Analysis of Form* © 1965, reproducida con la autorización de University of Washington Press).

el holograma. La técnica se basa en el empleo de la luz y presenta una característica particular: cada pedazo del holograma restituye la misma imagen que el holograma entero visto desde cierto ángulo (Wikipedia, 2016a; 2016b). Sin duda, este aspecto llamó la atención de Wagner. Para explicar las “formas generales del concepto y de personas que no son ni en singular ni en plural”, el antropólogo asimila las dos nociones:

Esto implicaría la dimensionalidad fractal de Benoît Mandelbrot, y quizá el caso general de la holografía como dimensión fraccional o resta dimensional que replica su figura como parte de la fábrica del campo, por medio de todos los cambios de escala (Wagner, 1991: 166).

El autor concluye: “si la holografía tiene un sentido en esta discusión, no es tanto como fenómeno etnográfico, sino mejor dicho como forma de entendimiento” (Wagner, 1991: 170).

En los hechos, la propuesta de Wagner, que al comienzo tendía a subrayar el carácter holista de las sociedades melanesias, terminó transformada en una reja de lectura de los fenómenos sociales que resumiré así: el etnólogo aísla un “motivo” —un término lingüístico o una metáfora— que encuentra en distintas escalas —individuo, grupo, familia, asentamientos, cosmos— y lo denomina fractal y holografía. Lo que al principio era simple analogía, adquiere con el tiempo el estatus de una forma de pensamiento. Dicha metodología produce graves errores, como veremos.

En efecto, un artículo de Mosko (1995) retoma algunos datos antaño recopilados en las islas Trobriand, analizados por Malinowski. Según Mosko, los jefes trobriandeses se consideran “padres” metafóricos: “la agentividad de los líderes y los jefes en las islas Trobriand es análoga al hecho de alimentar [...], procrear, cuidar a los niños, proveer de comida, intercambiar tubérculos, practicar la magia y gestionar la muerte” (Mosko, 1995: 479). Afirma que la distinción entre los padres, los líderes de paraje y los jefes es, por consiguiente, principalmente una cuestión de escala, lo que lo lleva a pensar que no existe una diferencia fundamental entre la sociedad trobriandesa, que tiene jefes, y otras sociedades *massim*, que carecen de ellos. Como se aprecia, Mosko aísla un “motivo” —la paternidad— y afirma que se replica en varias escalas —familia, paraje, jefatura—, lo que constituye un fractal.

Sin embargo, es falso equiparar el fractal, es decir, la duplicación del mismo motivo, y la metáfora, que no expresa una identidad sino una analogía. Los trobriandeses dan cierta definición de la paternidad, pero al aplicarla a la jefatura, utilizan un procedimiento de tipo metafórico: el padre es un padre, pero el jefe es *como* un padre. De esa manera,

Mosko establece una equivalencia errónea entre una cosa, su designación y la extensión metafórica del término. En su tiempo, su análisis fue criticado por uno de sus colegas, Per Hage (Hage y Mosko, 1998), para quien la metáfora de la paternidad está muy difundida en Micronesia, donde sirve para describir aspectos y niveles muy distintos de la realidad social. Sin embargo, “las sociedades de Micronesia, a la inversa de las costas de Bretaña o del sistema circulatorio, no son autosimilares en ningún sentido” (Hage y Mosko, 1998: 788).

Mosko contestó a Hage y su respuesta puso a la luz el objetivo de su uso del fractal: “la noción fractal de autosimilitud o *self-scaling* deriva de la teoría del caos (o de la complejidad) que fue desarrollada en un amplio abanico de ciencias” (Hage y Mosko, 1998: 791). Por lo tanto, ya no sería necesario justificar su empleo. Esta idea lo conducirá a una última etapa de reflexión, que presentaré brevemente.

FRACTALES Y CAOS EN ANTROPOLOGÍA

En la introducción del libro colectivo editado por Damon y Mosko, este último desarrolla lo que presenta como una teoría ambiciosa que permite considerar a las sociedades humanas como sistemas complejos análogos a los estudiados por las ciencias físicas (Mosko, 2005). Del mismo modo que la teoría del caos rebasó el sistema de Newton y revolucionó las ciencias físicas, la “ciencia del caos en antropología” está a punto de terminar con el marxismo, el funcionalismo, el estructuralismo y el posmodernismo. De esa manera, será evidente que:

Con la llegada de la teoría del caos en la teoría en antropología social, se ofrece al analista la posibilidad de tratar de explicar las similitudes interculturales observadas, como consecuencias de la característica de no linealidad inherente a los sistemas complejos,

y dejar de especular sobre cualidades, como la unidad psíquica de la humanidad o las estructuras profundas del Espíritu Humano (Mosko, 2005: 17).

Con este objetivo, Mosko considera que el fractal es una de las características de los sistemas complejos, junto con la dependencia sensitiva a las condiciones iniciales, las relaciones inestables entre las variables, las transformaciones no lineales y las constantes numéricas. En su pensamiento, la identificación del fractal en antropología tiene el interés principal de comprobar la existencia de un sistema complejo:

Para la antropología y las otras ciencias sociales, la implicación es que, cuando se pueden identificar relaciones de autosimilitud fractal, aunque sea sólo de manera intuitiva, existen razones para sospechar de la presencia de una no linealidad dinámica (Mosko, 2005: 25).

Sin embargo, Mosko comienza su presentación de los fractales con una definición poco precisa: “la geometría fractal u holografía [...] es mucho más amplia y eficiente en el nivel teórico que las imágenes visuales deslumbrantes [...] del Conjunto de Mandelbrot” (Mosko, 2005: 24). Así, a pesar de sus pretensiones teóricas, preservó la sinonimia inicial entre fractal y holografía.

A continuación, el autor procura demostrar que todas las teorías antropológicas “preaóticas” descubrieron manifestaciones de autosimilitud, sin darse cuenta de ello. Así, la teoría funcionalista consideraba que la sociedad funcionaba a imagen del cuerpo humano, pero utilizaba esta comparación como simple analogía, en lugar de darse cuenta de que se trataba de una homología fractal, es decir, una réplica autosimilar entre la sociedad y el cuerpo humano. Cuando Durkheim establecía una relación entre la especie totémica y la colectividad totémica, ignoraba que estaba descubriendo otro fractal. De esa manera, Mosko hace una revisión

de muchos autores conocidos: Hubert y Mauss, Hertz, Evans-Pritchard, Lévi-Strauss. Incluso habla de Marx, pues la teoría marxista de la “alienación” habría descubierto un fractal en el hecho de que los hombres adquieren las características de las cosas que produjeron, mientras en el “fetichismo”, las cosas son las que adquieren los atributos mistificados de las relaciones interpersonales (Mosko, 2005: 27).

Ya en esta etapa, el lector se preguntará cómo explicar que todos estos autores hayan descubierto el fractal sin darse cuenta de ello. La respuesta es: “las propias nociones de ‘símbolo’ y ‘signo’, ‘representación’, ‘metonimia’ y ‘metáfora’ [...] pueden verse como una autosimilitud fractal” (Mosko, 2005: 28). En una palabra, Mosko ha redescubierto la noción de símbolo y la ha bautizado “fractal”. Pero, al hacerlo, ha arrojado a la basura lo que nos enseñaron siglos de reflexión. A saber, que un signo, un símbolo o una metáfora no constituyen la réplica idéntica de lo que designan. De tal manera que el argumento de Mosko está tan alejado de las definiciones matemáticas iniciales y sus aplicaciones en las ciencias “duras” como de la totalidad de la tradición antropológica, sociológica y lingüística.

LA REPETICIÓN CULTURAL DEL MISMO MOTIVO SIMBÓLICO

A pesar de su carácter caricaturesco, las propuestas de Mosko fueron retomadas por algunos antropólogos. De modo más general, se desarrolló en la disciplina una tendencia a calificar de fractal la repetición de un mismo “motivo” en el seno de una sociedad dada. Consideremos algunos casos.

Gil Daryn (2006) aplica este argumento al pueblo de Thamghar, en Nepal central. Según este autor, la imagen mental abstracta de la “inclusión matrimonial” —*matrimonial encompassment*— representa un fractal que domina la vida de esta comunidad hindú de alta casta. En efecto, la encontramos en

varios ámbitos: la vida doméstica, el corral en el que se realizan los rituales de vida, así como en la concepción del cosmos y del ciclo agrícola. Todo, desde el más pequeño de los granos de arroz hasta la unión del marido con su mujer y la estructura ritual, se presenta como la réplica de la misma imagen. En este argumento, el fractal es una noción que designa una construcción simbólica elaborada por los habitantes de un pueblo y que éstos aplican de manera sistemática a los aspectos básicos de su vida social.

Quentin Gausset (2010), por su parte, utiliza el fractal para dar coherencia a su monografía sobre los kwanja de Camerún. La diversidad cultural de esta población de 10 000 habitantes se suma a la dificultad de encontrar homogeneidad entre los grupos sociales y sus rituales. Así, el autor encontró en el fractal la manera de establecer congruencia entre sus datos y asentar que:

[Las estructuras subyacentes] a los rituales, las terminologías de parentesco, la historia, la brujería o la identidad colectiva [...] se replican a menudo en varios niveles [...]. Hablemos de conflicto, alianzas, desgracias, rituales, intercambios o identidades colectivas, la complejidad aparente encontrada en los niveles superiores es, en última instancia, semejante en el aspecto cualitativo a lo que pasa en los niveles inferiores de la interacción social (Gausset, 2010: 267-298).

En este caso, sin embargo, las “réplicas” no se refieren a concepciones *emic* como en el caso que precede, sino a los análisis elaborados por el etnólogo.

Lo que plantea un problema es el hecho de recurrir a la noción de fractal para hablar de casos tan distintos. La definición de fractal de estos autores se basa en dos términos, “motivo” y “escala”, que no corresponden a definiciones precisas. Según el caso, el “motivo” es una forma simbólica o cualquier rasgo cultural. La “escala” remite, de acuerdo con algunos investigadores, a ciertos niveles de la organización

político-territorial, como el paraje y el pueblo, y según otros, a campos de la vida social, como el parentesco, la política y el ritual. Por último, cabe mencionar que si bien hace 20 años los antropólogos utilizaban el término fractal de manera metafórica, hoy en día muchos están convencidos de que descubrieron un verdadero mecanismo de funcionamiento que se aplica tanto a las sociedades humanas como a las formas naturales. Entonces, surge el riesgo de que el fractal reemplace, por su sencillez aparente, los cuestionamientos antropológicos sobre los fundamentos del vínculo social que sería más adecuado seguir buscando en el poder, la jerarquía y el intercambio.

Conclusión

Al término de este recorrido, podemos concluir que, aunque la noción de fractal sea de reciente aparición en antropología, ya ha producido una variedad de construcciones teóricas. Acerca de las motivaciones de los autores para buscar fractales en las sociedades que estudian y su manera de definir las, hemos encontrado las siguientes propuestas:

- Los fractales como un procedimiento geométrico desarrollado en ciertas culturas (Eglash, 1999). En lo personal, me situó en esta categoría.
- Los fractales como un procedimiento asociado con una cierta ontología (Descola, 2010).
- Los fractales como una analogía que permite expresar representaciones provenientes de sociedades no europeas o de una forma de entendimiento en dichas sociedades (Wagner, 1991).
- Los fractales como una característica de las sociedades humanas consideradas sistemas complejos (Mosko, 2005).
- Los fractales como repetición de ciertos motivos en distintas escalas, fenómeno que se reproduce en cualquier cultura (Daryn, 2006; Gausset, 2010).

Aunque mi revisión bibliográfica esté lejos de ser completa, pienso que el conjunto de los trabajos examinados pone en evidencia la mayoría de las posturas existentes. Por mi parte, distingo dos maneras de usar el fractal. La primera consiste en buscar los fractales en las producciones geométricas culturales. Me parece apta para convertirse en un tema clásico de las etnomatemáticas, para lo cual, sería necesario continuar la reflexión sobre los criterios de identificación de las formas fractales y desarrollar estudios sistemáticos en varias áreas culturales. Por el momento, prevalece cierta confusión respecto a las implicaciones teóricas y prácticas de mostrar que un objeto —como un objeto de arte— posee una estructura fractal. El problema principal reside en las consecuencias del carácter intencional de dichas construcciones. En efecto, si es intencional, la construcción geométrica de tipo fractal procede de la voluntad humana consciente, lo que se opone drásticamente a los fractales naturales que manifiestan un desorden aparente y son muchas veces el resultado de procesos de autoorganización. El ejemplo típico de los fractales culturales intencionales dotados de simbolismos explícitos son los casos africanos, ampliamente tratados por Eglash. Sin embargo, la simple revisión de algunos de los ejemplos mencionados hace que parezca que la distinción entre fractal natural y cultural no es tan clara. Así, los mexicas utilizaban una forma fractal natural —la espiral de la concha— para expresar las nociones de dinamismo y creación, mientras, por otro lado, es muy cuestionable la intencionalidad en el caso kwakiutl (véase la figura 6), si la elaboración de figuras totémicas en fractal es producto de la competencia exacerbada entre artistas, como sugieren Eglash y Odumosu (2005: 45). Entonces, sería difícil

determinar si el resultado proviene de una decisión humana o de un fenómeno de dinámica natural. Tal imprecisión es de lo más frecuente cuando se trata de fractales en asentamientos humanos. En un extremo del abanico, encontramos los fractales que resultan de la acumulación inconsciente de las dinámicas de la población, y en el otro, la elaboración intencional de planes dotados de simbolismo. Entre los dos extremos se encontrarían los asentamientos mayas, cuyo hábitat representaría la forma visual de la organización social estructurada por las réplicas. En todo caso, puede concluirse que sería un error pensar que la presencia de la geometría fractal en las producciones humanas procede automáticamente de las dinámicas de los sistemas complejos tal como fueron conceptualizados por la teoría del caos.

La segunda manera de utilizar la noción de fractal es el “fractal por analogía”, que remite a problemas muy distintos que se refieren al uso de las categorías de análisis en antropología general. En nuestra disciplina, la capacidad de observación etnológica y el rigor del razonamiento dependen estrechamente de dichas categorías. De origen diverso, algunas provienen del vocabulario indoeuropeo —como lo “sagrado”, cuyo origen se encuentra en el *sacer* latino— o no europeo —como tótem, tabú, mana, chamán—. La noción de fractal, por su parte, es un préstamo de las ciencias duras, como en el pasado las teorías termodinámicas, pero esto no le confiere ninguna garantía de objetividad científica, muy al contrario. Al pasar a las ciencias humanas para designar ideas, perdió la precisión de la definición matemática y no ganó ninguna definición antropológica clara, de manera que su uso es generador de ambigüedad y equívocos. **D**

Bibliografía

- Barnsley, Michael, 1988, *Fractals Everywhere*, Academic Press, Boston.
- Bonhomme, Cédric y Jean-Charles Bettinger, 2008, *Les paysages fractals*, Université Paul-Verlaine de Metz, Metz. Disponible en línea: <https://wiki.cedricbonhomme.org/_media/presentationir.pdf>.

- Brown, Clifford T. y Walter R. T. Witschey, 2003, "The Fractal Geometry of Ancient Maya Settlements", en *Journal of Archaeological Science*, vol. 30, núm. 12, pp. 1619-1632.
- Brown, Clifford T., Walter R. T. Witschey y Larry S. Liebovitch, 2005, "The Broken Past: Fractals in Archaeology", en *Journal of Archaeological Method and Theory*, vol. 12, núm. 1, pp. 37-78.
- Codex Magliabechiano, CL. XIII. 3 (B. R. 232)*, 1970, Ferdinand Anders (intr.), Akademische Druck- und Verlagsanstalt, Graz.
- Daryn, Gil, 2006, *Encompassing a Fractal World: The Energetic Female Core in Myth and Everyday Life. A Few Lessons Drawn from the Nepalese Himalaya*, Lexington Books, Lanham.
- Dehouve, Danièle, 2015a, *El imaginario de los números entre los antiguos mexicanos*, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social/Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos, México.
- , 2015b, "Metáforas y metonimias conceptuales en las representaciones antropomórficas del maíz", en Catharine Good y Dominique Raby (eds.), *Múltiples formas de ser nahuas. Miradas antropológicas hacia representaciones, conceptos y prácticas*, El Colegio de Michoacán, Zamora, pp. 37-57.
- Dehouve, Danièle y Anne-Marie Vié-Wohrer, 2008, *Le monde des aztèques*, Riveneuve, París.
- Descola, Philippe, 2005, *Par-delà nature et culture*, Gallimard, París.
- , 2010, "Un monde enchevêtré", en Philippe Descola (ed.), *La fabrique des images. Visions du monde et formes de la représentation*, Somogy/Musée du Quai Branly, París, pp. 165-182.
- Eglash, Ron, 1999, *African Fractals. Modern Computing and Indigenous Design*, Rutgers University Press, New Brunswick.
- Eglash, Ron y Toluwalogo B. Odumosu, 2005, "Fractals, Complexity and Connectivity in Africa", en Giandomenico Sica (ed.), *What Mathematics for Africa?*, Polimetrica, Monza, pp. 102-109.
- Gausset, Quentin, 2010, *Constructing the Kwanja of Adamawa (Cameroon). Essay in Fractal Anthropology*, Lit Verlag, Berlin.
- Gell, Alfred, 1998, *Art and Agency*, Clarendon Press, Nueva York.
- Gleick, James, 1988, *Chaos. Making a New Science*, Penguin, Nueva York.
- , 2008 [1989], *La théorie du chaos*, Flammarion, París.
- Gouyet, Jean-François, 1992, *Physique et structures fractales*, Masson, París.
- Hage, Per y Mark Mosko, 1998, "Austronesian Chiefs: Metaphorical or Fractal Fathers?", en *Journal of the Royal Anthropological Institute*, vol. 4, núm. 4, pp. 786-795.
- Holm, Bill, 1971, *Northwest Coast Indian Art. An Analysis of Form*, University of Washington Press, Seattle.
- León-Portilla, Miguel, 1992, *Le livre astrologique des marchands. Codex Fejérváry-Mayer*, La Différence, París.
- Mandelbrot, Benoît, 1967, "How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension", en *Science*, new series, vol. 156, núm. 3775, pp. 636-638.
- , 1975, *Les objets fractals. Forme, hasard et dimension*, Flammarion, París.
- , 1982, *The Fractal Geometry of Nature*, W. H. Freeman, San Francisco.
- Montgomery, John, 2000, "Altar de Sacrificios, Peten, Guatemala", en Montgomery Drawing Collection, Foundation for the Advancement of Mesoamerican Studies. Disponible en línea: <http://research.famsi.org/montgomery_list.php?_allSearch=Altar%20de%20Sacrificios&tab=montgomery&title=Montgomery%20Drawing%20Collection>.
- Mosko, Mark S., 1995, "Rethinking Trobriand Chieftainship", en *Journal of the Royal Anthropological Institute*, vol. 1, núm. 4, pp. 763-785.
- , 2005, "Introduction: A (Re)turn to Chaos: Chaos Theory, the Sciences and Social Anthropological Theory", en Mark Mosko y Frederick H. Damon (eds.), *On the Order of Chaos. Social Anthropology and the Science of Chaos*, Berghahn Books, Nueva York, pp. 1-46.
- Ortiz, Fernando, 1984, *El huracán: su mitología y sus símbolos*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Reynoso, Carlos, 2006, *Complejidad y caos: una exploración antropológica*, SB (Colección de Complejidad Humana), Buenos Aires.
- , 2015, *Critica de la antropología perspectivista (Viveiros de Castro, Philippe Descola, Bruno Latour)*, SB (Colección de Complejidad Humana), Buenos Aires. Disponible en línea: <<http://carlosreynoso.com.ar/Perspectivismo/>>.
- Sahagún, Bernardino de, 1953, *Florentine Codex. General History of the Things of New Spain by Fray Bernardino de Sahagún*, 12 vols., Arthur J. D. Anderson y Charles E. Dibble (trads.), University of Utah-The School of American Research, Santa Fe.
- , 1956, *Historia general de las cosas de Nueva España*, Porrúa, México.
- Sandoval García, Gustavo y Rodrigo Vilanova de Allende, 2007, "Perspectivas en el uso de herramientas fractales en arqueología", en Fernando López Aguilar y Fernando Brambila Paz (eds.), *Antropología fractal*, Centro de Investigación en Matemáticas-Sociedad Matemática Mexicana, México, pp. 45-71.

- Strathern, Marilyn, 2004 [1991], *Partial Connections*, Rowman & Littlefield Publishers, Savage.
- Thompson, John Eric S., 1934, "Sky Bearers, Colors, and Directions in Maya and Mexican Religion", en *Contributions to American Archaeology* 10, vol. II, Carnegie Institution of Washington, Washington, D. C., pp. 211-242.
- Wagner, Roy, 1991, "The Fractal Person", en Maurice Godelier y Marilyn Strathern (eds.), *Big Men and Great Men: Personifications of Power in Melanesia*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 159-173.
- Wikipedia*, 2016a, "Holografía". Disponible en línea: <<https://es.wikipedia.org/wiki/Holografía>>.
- , 2016b, "Holographie". Disponible en línea: <<http://www.fr.wikipedia.org/wiki/Holographie>>.