

Fractales en Arqueología: aplicación en la pintura rupestre de sitios del México prehispánico.

Aline Lara Galicia

Doctorante en Arqueología. Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.
École des Hautes Études, en Sciences Sociales, Paris IV.

Resumen. Este trabajo expone el análisis fractal en pintura rupestre por medio de la dimensión D. Los fractales es una herramienta en la aplicación con software y fotografía digital para el reconocimiento de materias primas, el estudio de su forma, su degradación, partes específicas de la misma, y favorecer la reconstrucción virtual.

Los análisis se centraron en diversos conjuntos pictóricos de la región "Valle del Mezquital, Hidalgo, México; región donde se concentran más de 100 conjuntos rupestres agrupados en barrancas, siendo comparados 10 abrigos con 74 figuras para localizar las distintas tradiciones pictóricas.

La dimensión fractal describe la dimensión de los objetos representados, no sólo de acuerdo a su espacio donde se sitúa la figura, sino la posibilidad de ser un número fraccionario en el cual se pueden observar todas las superficies posibles.

Palabras clave: PINTURA RUPESTRE, ANÁLISIS FRACTAL, ARQUEOLOGÍA PREHISPÁNICA.

Abstract. This study exposed analysis fractal by the dimension D in the rock art. The Fractals is a new tool in the software application and digital photography for the recognition of raw materials, the study of its form, degradation, specific parts of paint, and providing new data the virtual reconstruction.

The analyzes focus on various pictorial sets of the region Mezquital Valley, Hidalgo, Mexico; region where are concentrated more than 100 caves, comparing 74 images to analyze the various pictorial traditions.

The structure fractal describes the dimension of the represented objects, not only according to its space where the figure is placed, but the possibility of being a fraction in which all the surfaces can be observed (rock, paint).

Key words: ROCK ART, ANALYSIS FRACTAL, PREHISPANIC ARCHAEOLOGY.

1. Introducción

Las investigaciones arqueológicas han intentado reconocer características claves de las manifestaciones rupestres, sobre todo en cómo fueron pintadas, sus técnicas y sus modelos. Pero la limitación de los resultados, sólo han tenido un éxito limitado en describir, modelar y predecir ciertos patrones de las manifestaciones pictóricas, cuando no se tiene la posibilidad de la aplicación de estudios caros y muy especializados y sobre todo por métodos intrusivos, que dañan la pintura.

En los contextos rupestres siempre surgen las mismas inquietudes más allá de su interpretación: ¿Cómo registrarlas sin dañarlas y realizar su registro de manera práctica? ¿Cuál es la posibilidad de analizar su conservación sin tener muestra de la misma? ¿Qué cantidad de información obtenemos de dicho registro para poder reconstruir su contexto y su procedencia cultural? y ¿Cuál es la estrategia para poder conservarlas? Ante tales inquietudes, la aplicación de los fractales ha tenido buenos resultados. Se han generado diversas investigaciones arqueológicas incluyendo la teoría de la complejidad y el caos, para medir la dimensión fractal en diversos materiales y espacios antiguos (ALCADE *et al.*, 1995; BROWN y WITSCHHEY, 2002; CASTREJÓN *et al.*, 2008; DEAN *et al.*, 2000; KENNEDY y LIN, 1988; LAXTON y CAVANAGH, 1992; LÓPEZ, 2005, 2010; LEHNER, 2000; MARCUS y FEINMAN, 1998; REES *et al.*, 1991; REYNOLDS *et al.* 2003; STEMP y STEMP, 2003). Estos estudios se han desarrollado sobre todo en patrones de asentamiento y algunos en materiales

líticos, aunque en los diseños, en especial los diseños textiles, las geometrías de cerámicas y las manifestaciones rupestres, han sido poco estudiados a pesar de ser susceptibles de describirse y sintetizarse.

En este estudio, la propuesta inicial fue identificar las huellas o patrones al ser pintadas, existiendo así, una tradición pictórica similar conforme a la forma y disposición de las composiciones. Sin embargo, la técnica fractal generó otras posibilidades: Estudiar la rugosidad de la pintura distinta al soporte rocoso, la distinción de las capas que formaron cada una de las pinturas, la creación de parámetros de evaluación para un estudio de conservación, así como la reconstrucción de la imagen. Todo esto fue posible con un solo elemento, la fotografía digital en formato .raw de tonos de grises convertida en binaria.

2. ¿Qué son los fractales?

Fractus, fracta, fractum- su palabra en latín que hace la referencia a las piezas irregulares que se logran al lanzar una piedra al desquebrarse. Mandelbrot demostró que las formas como las nubes, las plantas y vegetales tienen características autosimilares, es decir que contenían patrones que se repetían infinitamente. Define los fractales como un objeto o una estructura que consta de fragmentos con orientación y tamaño variable pero de aspecto similar. Éstos cuentan con características geométricas en cuanto a su longitud y la relación entre la superficie y el volumen (MANDELBROT, 1985). Barnsley (1993) fue otro de los precursores de la creación de fractales. A diferencia de Mandelbrot, un fractal se designa y se

construye de modo arbitrario a partir de un punto inicial, transformando reiteradamente la afinidad, como un *collage* a través de “funciones iteradas” Así, un fractal representaba la posibilidad de generar imágenes a través de la matemática, creado a través de un software en el cual se podían codificar las imágenes en conjuntos muy pequeños.

Para que algo sea fractal debe de contar con ciertas características: Primero, una irregularidad; segundo, una misma escala y tercero, una autosemejanza. Estas tres particularidades se asocian a la dimensión fractal, descrita a toda dimensión de los objetos representados, no sólo de acuerdo a su espacio donde se sitúa la figura, sino la posibilidad de ser un número fraccionario en el cual se pueden observar todas las superficies posibles. El logro de mediar las figuras con la dimensión fractal es utilizar soportes logarítmicos de la representación de lo visualizado. Un fractal en las tradiciones rupestres se refiere “a una sucesión de patrones que se repiten estadísticamente de modo similar, conforme a su dimensión fraccionaria y la técnica con la que es realizada. Estos fractales pueden ser buscados en una sucesión de obras del pintor o pintores que ejerzan dicha actividad y dentro de conjuntos y espacios bien definidos” (LARA, 2012: 267).

3. Metodología

A través de la dimensión fractal por medio del software *Fractal Researches On Geosciences (FROG)* creado por Parrot (2010), los tratamientos se elaboraron en más de 50 figuras rupestres, con el objetivo que pudieran ser comparadas e identificadas de acuerdo a los trazos (Lara, 2012). La técnica utilizada para medir la dimensión fractal en estructuras irregulares, fue el método de caja (*Box counting*), por el cual es posible deducir algoritmos para su estimación numérica. Los resultados a nivel arqueológico, nos acerca a la capacidad real de un objeto para cubrir el espacio en el que está inmerso y así compararlos en diversos contextos.

El tratamiento fractal inició con la binarización de la imagen en tonos de gris, tomando el valor de 1 y el fondo con valor de 255. El tema variado corresponde a un fractal xy , es decir, $f(x, y)$ es estadísticamente similar al $f(x, y)$, donde r es un factor de escala (PARROT, ídem). De tal manera que se preserven las propiedades esenciales de la imagen por separado del soporte rocoso. Posteriormente dentro del tratamiento de conteo de cajas, La dimensión fractal se midió a partir de la fórmula:

$$D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\epsilon)}{\log \frac{1}{\epsilon}}$$

donde el valor de D puede ser un número no entero y es usado como indicador de la complejidad de las superficies. Después se construyó una tabla en la que se registró el número de cajas que caben a lo largo del segmento L (L/ϵ) y el total de cajas en toda la red sólo cuántas de ellas (N) atraviesan la figura. Con esto es posible ajustar sobre los datos una línea recta cuya pendiente es la dimensión fractal de la figura. Esto indica que hay una relación del tipo $N = (L/\epsilon)^D$, (PARROT, ídem).

La lista de parámetros puede hacer referencia a un número y los valores determinan la apariencia de la figura. Así, la imagen

puede ser referida a un tipo, comparando los diferentes valores de otras formas (LARA, 2010: 65).

El resultado de la gráfica de la dimensión fractal, proporciona el tono de la imagen. Esta compara y reconoce el patrón de las figuras a través de un número fraccionario. Posteriormente se aplican un sinnúmero de tratamientos donde se puede analizar la textura de la imagen desde distintos modos de observación.

4. Resultados

Los resultados de los fractales detallaron una relación de la multiescala de las imágenes digitales, sobre todo dando nuevas posibilidades de su estudio. Se definieron:

1. Una dimensión fractal similar en conjuntos pictóricos de distintos lugares pictóricos. El comportamiento para la dinámica de D de las huellas fractales con relación a las líneas de referencia o dimensión local, fueron similares en casi todas las figuras. La estimación D en las pinturas presentó un comportamiento consistente asociando dos firmas fractales: Los íconos de menores dimensiones, son conjuntos de pinturas con una misma técnica y con un trabajo muy preciso. Mientras que a dimensiones superiores, los elementos pictóricos se sitúan en perfiles altos, aislados y en algunos casos son muy grandes con respecto a los anteriores. Al parecer se trata de otro tipo de forma de pintar mucho menos trabajada, sobre todo en los elementos donde se tuvo la intención de “sacralizar” o restituir el espacio y/o continuidad de conjuntos de pinturas más elaboradas (Figura 1).

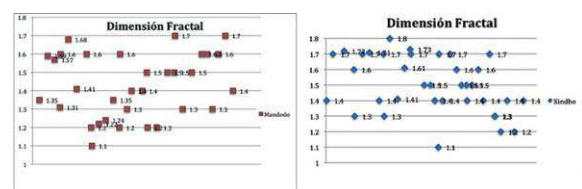


Figura 1. Gráfico de dispersión de la dimensión fractal

2. El análisis de la rugosidad. Con el exponente de Hurst (EH), las correlaciones entre los conjuntos expuso que la aspereza de la superficie de la pintura está fuertemente correlacionada con la naturaleza del material con la que fue hecha. Con el uso de la geometría fractal se pudieron describir a detalle la rugosidad superficial de la figura y su número de capas. Esta fue posible mediante el tratamiento de rugosidad de una imagen ya tratada o en tonos de grises (Figura 2).

La rugosidad de la textura se entiende como la irregularidad de las estructuras de los materiales estudiada en la geometría fractal. Dicha anomalía, se puede cuantificar mediante el coeficiente de rugosidad o coeficiente de Hurst, donde la diferencia de los tonos provoca una amplitud en la textura equivalente a una dimensión fractal (Figura 3).

2.1. Técnicas particulares, en la que se definieron la destreza para la creación de las grafías. a través de la segmentación de los píxeles en la imagen (thresholding) del FROG, se incrementó la dinámica de la figura para separar la pintura y observar su cualidades estéticas. Los resultados favorecieron a la firma de la utilización de dos técnicas en su elaboración (Figura 4).

2.2. El recubrimiento de varias capas en las figuras y una estratigrafía en figuras que fueron pintadas en distintos momentos, a manera de yuxtaposición.

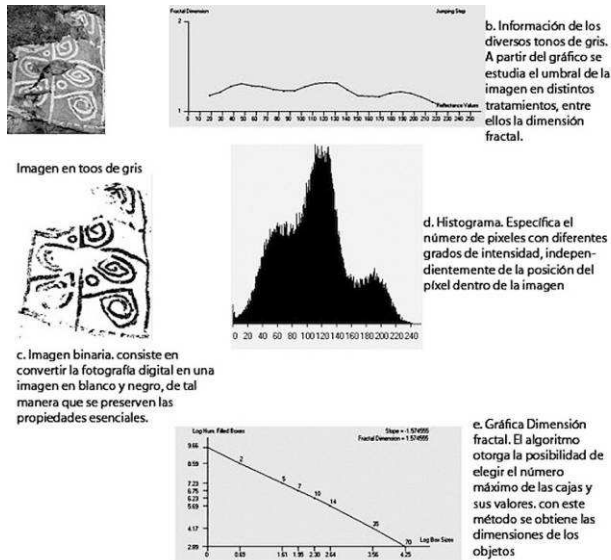


Figura 2. Imágenes del proceso fractal en la pintura



Figura 3. Transformación de la imagen binaria al tratamiento fractal de rugosidad

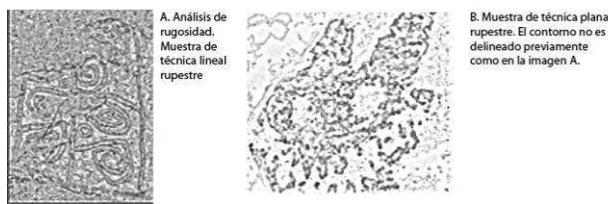


Figura 4. Comparación de dos técnicas rupestres a través del análisis de la rugosidad

Un dato relevante que ofreció el tratamiento de binarización y la rugosidad fue el repintado y la yuxtaposición de algunas de las figuras como lo que muestran los rayos X. La técnica de repintado es un modo de fabricación de pintura no muy mencionado en la literatura arqueológica, debido a que es casi imposible de percibir. Está técnica, mediante los resultados en la escala de grises, se diferencia de la preparación preliminar, debido a que existe una imagen fuera del delineado de la técnica de tinta plana. A través de la rugosidad y la asociación de píxeles se contemplan las diferenciaciones de cada cubierta (Figura 5).



Figura 4. Evidencia de capas específicas de pintura, observadas por la dimensión fractal

3. A partir de la creación de parámetros de estimación para proponer una escala de grado para la degradación de las pinturas y, con ello, una asociación tanto a la técnica como a la elección del espacio y el soporte rocoso. Para caracterizar la textura se introduce un nuevo enfoque que describe los parámetros y una estimación de escalas múltiples y, con ello, una clasificación de la textura en las pictografías a partir de la dimensión fractal.

Observando los patrones de grises en las pinturas rupestres, las imágenes y la asociación con los resultados de la dimensión fractal, se puede realizar un sistema de clasificación de series de tiempo en términos de previsibilidad, es decir, dar cuenta de una degradación al tiempo de las figuras (Figura 6).

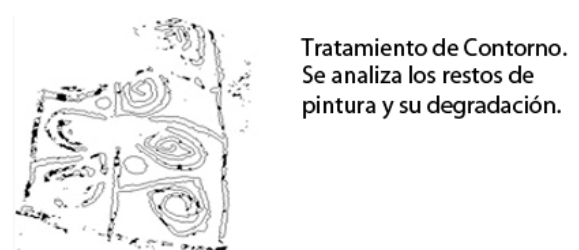


Figura 6. Análisis y reconstrucción de la pintura

4. A partir de la reconstrucción de las imágenes, es posible una modelización de los conjuntos con evidencias borradas por el tiempo. El tratamiento de Pins, o estiramiento de píxeles, proporciona una nueva posibilidad de reestablecer y restaurar conjuntos ya desaparecidos. Los fractales consiguieron relucir elementos pictóricos no vistos por el ojo humano. Sobresalen figuras humanas, animales y elementos que se desvanecieron y que dan idea de cómo era el esquema pictórico. Con la utilización de dichos tratamientos se traspasa la imagen a 3D (Figura 7).

5. Inferencias

Con todos estos resultados, fue posible realizar una comparación entre los lugares y a la vez una propuesta de una tradición pictórica de las barrancas del Mezquital. Asimismo, se determinó el valor de cada índice correspondiente a las pinturas como suma o media de los valores estimados en figuras de distinta dimensión fractal. Ello permitió estimar las variaciones en los valores de las series, su división de la información y una determinada extensión de los resultados.

Este nuevo desarrollo de la fractalidad en las manifestaciones rupestres es un avance importante. La dimensión fractal proporciona una caracterización cuantitativa de un patrón que ha sido difícil de describir de manera eficiente. El valor de D ha logrado que se diferencien los tipos de íconos en distintos conjuntos. Logrando así patrones de autosimilares cuando fueron pintados.

La dimensión fractal ofrece de manera sencilla resultados que sólo se pudieran identificar con grandes presupuestos y complejos análisis, o por el contrario, métodos de cuantificar y clasificar las pinturas conforme a la teoría del arte, que si bien ha beneficiado en los llamados “estilos” estos no pueden ser dirigidos a patrones correctos



Figura 7. Sitio rupestre (Mandado, Hidalgo, México)

Agradecimientos

Esta investigación fue posible gracias al apoyo e instrucción del Dr. François Parrot de la Universidad Autónoma de México, creador del software FROG; y el registro de lugares pictóricos del Proyecto Valle del Mezquital, coordinado por el Dr. Fernando López Aguilar de la Escuela Nacional de Antropología e Historia.

Bibliografía

- RODRÍGUEZ, A., ALONSO, C. & VELÁZQUEZ J. (1995): “Fractales para la arqueología: un nuevo lenguaje”, *Trabajos de prehistoria*, vol. 52, n° 1, pp. 13-24.
- BROWN, Clifford et al. (2002): “The fractal geometry of ancient maya settlement.” *Journal of archaeological science*, n° 30. Estados Unidos, pp. 1619–1632.
- DEAN Jeffrey, et al. (2000): “Understanding anasazi culture through agent-based modeling” ,*Dynamics in human and primate societies*, Timothy Kohler y George Gumerman (compiladores), Oxford, Oxford University Press, pp. 179-205.
- KENNEDY, Stephen & LIN, Wei- Hsiung (1988): “A fractal technique for the classification of projectile point shapes”, Estados Unidos, *Geoarchaeology*, n° 3, vol. 4, pp. 297-301.
- LARA, Aline (2010): “Estado del arte en las manifestaciones rupestres del Valle del Mezquital”, *PEH, NMAM, AE H*, pp.145-173.
- LARA, Aline (2012): *Las firmas fractales en las manifestaciones rupestres del Valle del Mezquital*, México, Tesis de doctorado, Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- LAXTON, R. R. & CAVANAGH W. G. (1992): “The Rank-Size Dimension and the History of Site Structure from Survey Data”, en *Journal of quantitative anthropology*, vol. 5, pp. 327-358.
- MANDELBROT, Benoit B (1985): “Self-Affine Fractals and Fractal Dimension”, en *Physica Scripta*, vol. 32, n° 4.
- MARCUS Joyce y FEINMAN Gary (1998): “Introduction”, *Archaic states*, Gary Feinman y Joyce Marcus (eds.), Estados Unidos, pp. 3-13.
- PARROT François (2009): *Fractal researches on geosciences*, México, UNAM.
- REES Anna, et al. (1991): “An investigation of the fractal properties of flint microwear images”, *Journal of archaeological science*, v. 18, pp. 629-640.

REYNOLDS, Robert et al. (2003): “The effects of generalized reciprocal exchange on the resilience of social networks: An example from the prehispanic mesa verde region”. *Computational & mathematical organization theory*, n° 9, pp. 227–254.

SCHLOEN, David (2001): *The house of the father as fact and symbol: patrimonialism in ugarit and the ancient near east*, Studies in the archaeology and history of the Levant 2, Eisenbrauns, pp. 414.

STEMP James y Michael Stemp (2003): “Documenting stages of polish development on experimental stone tools: surface characterization by fractal geometry using UBM laser profilometry”, *Journal of archaeological science*, vol. 30, Academic Press, pp. 287-296.