

## VIALIDAD, CONECTIVIDAD Y FRACTALES

**Eduardo Pineda Paz, Alejandro Guerrero Torrenegra**

Universidad del Zulia, División de estudios para graduados – Doctorado en Arquitectura

E-mail: eppven@gmail.com

ajguerrero81@hotmail.com

### RESUMEN

La morfología urbana es posible analizarla mediante ecuaciones no lineales que aparentemente reflejan el comportamiento del hombre. La teoría del caos, la incertidumbre y los fractales, aportan nuevas posibilidades al planificador urbano. El estudio es descriptivo y analítico, siguiendo pautas fenomenológicas, combinando teoría y práctica urbanística, con matemática sencilla. La parroquia Olegario Villalobos de Maracaibo es el caso de estudio. La investigación abordó la dimensión longitudinal, representada por la Vialidad. Se aplicó a las vías principales, teoría y factor de escala para develar posibles patrones fractales que indiquen conectividad. Este método es el primer paso de un proceso de indagación que permitirá aplicar en próximas investigaciones, la ley de potencias mediante ecuaciones diferenciales y el uso del computador. Estas teorías no demostradas aún, pueden verificarse, comparando la realidad observada con los resultados cuantitativos. Es un método distinto para planificar, diseñar y realizar intervenciones urbanísticas.

**Palabras clave:** fractal, morfología, planificación, vialidad

### ABSTRAC

Urban morphology is apparently possible by analyzing human behavior reflect nonlinear equations. Chaos theory , the uncertainty and fractals , bring new opportunities to the urban planner. The study is descriptive and analytical, phenomenological following patterns , combining theory and practice of urban development , with simple mathematics. The parish Olegario Villalobos from Maracaibo is the case study. The research addressed the longitudinal dimension , represented by the Roads . Was applied to the main roads , and scale factor theory to uncover possible fractal patterns that indicate connectivity. This method is the first step in a process of inquiry that will apply in future research , the power law with differential equations and computer use . Have not yet proven , theories can be verified by comparing the observed reality with the quantitative results . It is a different approach to plan, design and carry out urban interventions method.

**Keywords:** fractal, morphology , planning , roads

## 1 INTRODUCCIÓN

La ciudad por multidimensional, puede abordarse mediante aproximaciones. La escala y su factor (FE); permiten a Eames (1982), presentar la visión del espacio urbano con tamaños en progresión geométrica.

El FE, es un tamaño promedio "a", parecido a un tamaño "fa", siendo "f" el FE. La geometría euclidiana utiliza "f" con números enteros, donde el "punto" es cero; la "recta" 1, "superficie" 2 y, "volumen" 3. Teóricamente una fracción puede ser FE. Hausdorff (1919), descubrió figuras con dimensiones no enteras, con valores entre 1 y 2, cuyo promedio 1,5 es número fraccionario y expresión de curva, que no tiende al infinito, porque su longitud entre dos puntos es finita. Esto es geometría fractal. Al trabajar con fractales, el FE es número fraccionario fijo, y la distancia de observación puede oscilar entre  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{1}{10}$ .

Los tamaños que contempla el plan urbano son entre otros: las vías, veredas, manzanas, parcelas, áreas libres, verdes, edificaciones residenciales, comerciales, recreacionales. Relacionarlos y jerarquizarlos identifica la estructura urbana. El proceso implica leer planos, observar la realidad y analizarla. Precizando el tamaño y figura de los componentes urbanos.

Salingeros (2005) afirma que la distribución de tamaños es continua y sin restricciones. Premisa que al aplicar la regla de la escala, genera distribución discreta. La investigación identifica y cuantifica los tamaños viales, para aplicarles el FE, y así, develar distancias o tramos que puedan estar dispuestos o no, en progresión geométrica, para de esta manera, orientan al planificador y diseñador urbano en sus propuestas.

## 2 NUEVA CIENCIA. Y FRACTALES

Fractal, caos, incertidumbre... significan nueva ciencia .Representada por ecuaciones no lineales, que geometrizadas, pueden aplicarse en el plan.

Caos es la interconexión subyacente de acontecimientos aparentemente aleatorios. Maneja modelos ocultos, matices, sensibilidad y, reglas de lo impredecible hacia lo nuevo (Briggs y Peat, 1999). Caos es: control, creatividad, sutileza (Prigogine, 1999).

La incertidumbre indica que los sistemas sociales son impredecibles, a mediano y largo plazo. Los sistemas viables son naturalmente, indescriptibles en su totalidad: la suma de las partes no siempre es el todo.

Iterar es repetir, en matemáticas es operar con dinámica no lineal. El computador logra morfologías complejas, repitiendo expresiones algebraicas simples. Este proceso aparentemente caótico, no lineal, determina aleatoriedad de clase restringida, vinculándose con geometría fractal. Según Briggs (1992), las ecuaciones matemáticas son en esencia, formulaciones simbólicas de lógica humana.

Biomédicos, Mikiten y Yu (2000), de Texas University, aseguran que la mente, tiene grabado un modelo fractal que genera intuitivamente estructuras de este tipo.

El crecimiento urbano según la teoría del caos, es similar al de los seres vivos, sus códigos de desarrollo están en su parte más local: la parcela. Por tanto, la morfología urbana comienza con la parcela, nivel más descentralizado, local y dinámico (Batty, 1996).

Conceptos como: "morphological frames", "patterns", "urban micro-scale", contribuyen a definir ciudad. Batty (1996), teoriza demostrando los orígenes de los fractales urbanos, directamente relacionados con estos modelos. Siendo la ciudad un artefacto, se vincula a la matemática de sistemas dinámicos no lineales. Batty y Longley (1994), al observar la ciudad desde diferentes alturas, descubrieron autosemejanza. Si la morfología vista en una escala, es similar en otra escala, revela simetría interna. Entonces entre partes, hay partes de partes y así sucesivamente. La imagen fractal es una estructura con jerarquía de escalas con subestructuras decrecientes La fractalidad es demostrada utilizando el factor fraccionario, donde el fractal decrece:  $fa, f^2a, f^3a, f^4a, \dots, f^na$ .

Salingeros (2005), afirma que la ciudad hasta inicios del siglo XX, creció por adiciones espontáneas, con redes peatonales orgánicas de estructura fractal.

Según Batty y Longley (1994), la regularidad geométrica es útil en planta como principio organizativo, pero no garantiza conectividad y funcionamiento. La multiplicidad de conexiones entre nodos no se logra con la retícula cartesiana.

Buscando subestructuras, se observó in situ, se leyeron planos, realizaron mediciones a Esc: 1:5.000. El método develó la estructura morfológica de la parroquia Olegario Villalobos (OV): vialidad, sectores,

manzanas, lotes. Una vez identificada la estructura urbana, se midió la longitud vial, para compararla con los valores obtenidos de aplicar FE a la mayor longitud. Se constató, la coincidencia<sup>1</sup> y/o aproximación<sup>2</sup> entre longitudes reales y resultados de cálculo. El ejercicio evidenció que algunas partes de la vialidad de OV, poseen cierta estructura jerárquica fractal.

### 3 MARACAIBO Y OLEGARIO VILLALOBOS. MORFOLOGÍA.

Maracaibo y la parroquia Olegario Villalobos (OV), son objeto de la investigación. Según el Instituto Nacional de Estadística (2006), su tamaño es 642KM<sup>2</sup>. La ciudad morfológicamente es un semi-abanico alrededor del centro histórico. Contiene dos municipios: Maracaibo, área: 478KM<sup>2</sup> y San Francisco: 164KM<sup>2</sup>. Los municipios se organizan en parroquias. Maracaibo contiene 18 parroquias.

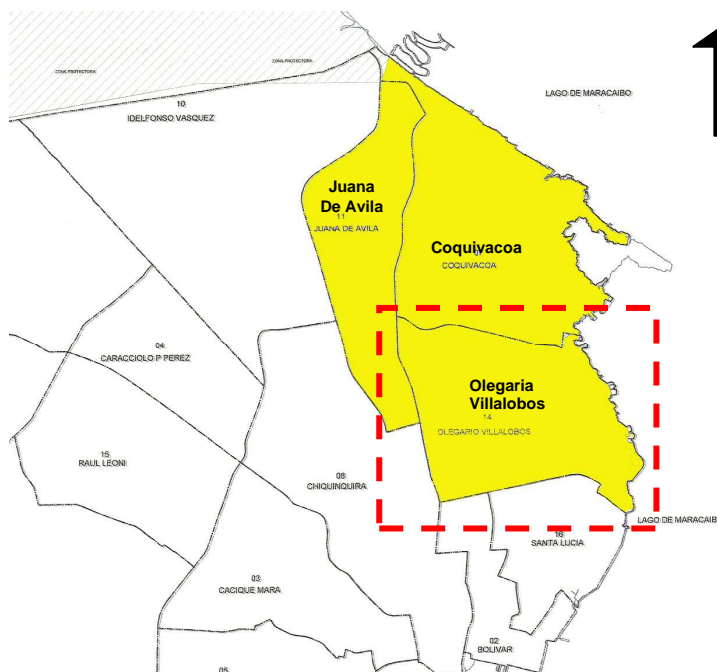
El análisis morfológico, contempló como opción, tres parroquias: Olegario Villalobos, Coquivacoa y Juana de Ávila. OV, es el caso de estudio, por concentrar intereses urbano-arquitectónicos: Trama heterogénea, centralidad, cantidad de población, equipamientos de calidad, capacidad infraestructural y, diferentes discursos urbanos. Confinada entre importantes ejes viales: Av. 5 de Julio, Av. El Milagro, Av. Delicias y Av. Universidad. Su geografía surcada por cañadas tiene borde costero. OV, inició el ensanche de Maracaibo hacia el norte, a través de la Av. Bella Vista como eje principal.

OV tiene por el este al borde costero. Al oeste la Av. Delicias. Al norte, la Circunvalación N° 2. Por el sur, la Av. Cecilio Acosta. El tamaño de OV es 18 KM<sup>2</sup> que representa el 3,76% del área municipal.

Leyendo el tejido urbano de OV, se identifican cinco sectores:

- 1.) Ensanche con retícula cartesiana. Representa 50% del área de OV.
- 2.) Antiguos campamentos petroleros, ocupa el 7% área de OV.
- 3.) Barrios, ubicados en una franja norte-sur, al este de OV. Trama irregular y aparentemente desordenada. Representa el 30% del área de OV.
- 4.) Borde costero, tiene como eje Av. El Milagro, ocupa el 11% área parroquial.
- 5.) Conjuntos cerrados, solución habitacional reciente en Maracaibo, representa el 2% de OV.

### 4 OLEGARIO VILLALOBOS .VIALIDAD Y CONECTIVIDAD



**Grafico 01: Localización de la parroquia**  
Elaboración propia (2013).

<sup>1</sup> Aproximación: Máxima diferencia posible entre un valor obtenido en una medición y el exacto desconocido. DRAE (2002).

La investigación reconoce aproximación, cuando la diferencia entre dos valores, es igual o menor al 10% del mayor.

<sup>2</sup> Coincidencia: Ajustarse una cosa con otra; confundirse con ella, ya por superposición u otro medio cualquiera. DRAE (2002).

El Plan Urbano de Maracaibo – PDUM (2005) clasifica la vialidad en: Corredores urbanos de servicios y Vías estructurantes de conexión. Los Corredores urbanos son vías principales, sus áreas de influencia permiten funciones de alcance metropolitano: administrativas, financieras, comerciales, educacionales, recreacionales, deportivas. Maracaibo tiene nueve corredores, dos pertenecen a OV. Las vías estructurantes de conexión tienen perfil para desarrollar velocidades, e interconectar sectores distantes. Permiten en sus adyacencias usos vecinales.

Se analizó la vialidad y sus relaciones exterior-interior-exterior y, el transporte público. El eje central vial norte-sur de OV es la Av. Delicias, cuya cobertura como corredor urbano de servicios, se extiende a las áreas aledañas. Complementan a Delicias, de norte a sur, la Av. Santa Rita y la histórica Av. Bella Vista, cuyo tramo mayor se desarrolla en OV. Completa el sistema norte-sur, la Av. El Milagro, estructurante de conexión, que es una vía tangencial, rápida, accesible y sub utilizada.

OV tiene cinco vías principales este-oeste. Al sur con limitando con Santa Lucía, está el corredor sistema Av. 5 de julio. Después hacia el norte y paralelas, calle 72 y prolongación, hasta el sector la Lago y, la Av. Cecilio Acosta; que empalma con la calle. 61 (Av. Universidad). En el extremo norte de OV, limitando con Coquivacoa, se ubica la Circunvalación N° 2. La vialidad, proporciona a OV continuidad y fluidez entre este y oeste. El corredor sistema calle 77 (Av. 5 de Julio) es un eje importante de Maracaibo y de las parroquias OV, Bolívar y Santa Lucía; siendo ruta obligada del transporte colectivo interurbano. Desarrolla en sus márgenes usos variados: edificios residenciales, comerciales, bancarios, administrativos, educativos. Se relaciona con Plaza República, hito urbano y espacio público importante. Dispone de un Boulevard entre Bella Vista y Delicias (ver gráfico 2).



**Gráfico 02: OV. Estructura de la parroquia.**  
Elaboración propia (2013).

En calle 72 predomina uso comercial-recreativo (restaurantes, cafés, licorerías y el Club Comercio. La calle 67 es eje comercial de repuestos automotores, combinado con edificios residenciales y servicios. Conecta indirectamente con el Hospital Coromoto. La Calle 61, de circulación rápida, en sus márgenes están ubicadas edificaciones residenciales. La Circunvalación N° 2 es vía rápida con uso residencial y actividades comerciales en sus bordes.

Las comunicaciones norte-sur de OV, disponen de cinco vías distribuidas entre Av. 5 de Julio y Circunvalación N° 2:

La Av. Delicias límite con Chiquinquirá, en sus márgenes desarrolla uso comercial. En Av. Delicias se identifican cinco nodos principales, compartidos con Juana de Ávila y Chiquinquirá, en las intersecciones con Av. 5 de Julio (comercial-administrativo); calle 72 (comercial); calle 67 (institucional); calle 61 (comercial) y Circunvalación N° 2 (comercial). Todas servidas por el transporte colectivo.

La Avenida 10, conecta directamente con servicios importantes como ENELVEN, la UE Claret, Clínica Madre María de San José, la Unidad Educativa Lucila Palacios y Clínica Paraíso. La Av. 8 presenta en sus márgenes una mezcla de usos residenciales, comerciales y de servicios.

La Av. Bella Vista, eje central de OV, transcurre norte-sur. A pesar de su perfil insuficiente para la demanda vehicular, es el eje estructurador de OV y asiento del transporte colectivo. Entre la Av. Bella vista y su paralela la Av. 3F, hay usos variados: residencial, comercial, administrativo, salud y educacional, culmina su recorrido en el mirador lacustre del Buen Maestro. Entre Av.3F y Av. Milagro se encuentra el barrio Cerros de Marín (bajos ingresos), que por la irregularidad topográfica presenta trama sin continuidad vial. En este sector y, en las adyacencias de la Av. La Lago (prolongación calle 72) se asienta la Urbanización Virginia (altos ingresos).

La Av. 2 (Milagro) se desarrolla al este de OV, su trazado y, la diferencia de cota con los cerros del Milagro, provoca en el borde costero un efecto espacial contrastante. La Av. 2 de circulación rápida, suaviza la congestión vehicular en Bolívar y Santa Lucía. En uno de sus tramos está ubicado el paseo del Lago, área verde recreacional y cultural, bordeada por usos, residencial multifamiliar y recreacional. El transporte colectivo recorre esta vía fluidamente entre el Centro y el Norte de la ciudad, relacionándose con las rutas de transporte del oeste.

El perímetro de las manzanas es de uso peatonal, aceras sin equipamiento ni seguridad. Las intersecciones entre peatón y vehículo no están definidas. En los barrios: Cerros de Marín y Valles Fríos, los peatones y vehículos coinciden en vías con perfil angosto. La topografía del terreno, el trazado irregular y los perfiles, favorecen al peatón. Existe fluidez en las conexiones, lo que indica fractalidad. La disposición, cuantía y variedad de vías y sendas peatonales, facilitan la relación vivienda-trabajo-recreación.

## **5 BUSCANDO RELACIÓN FRACTAL EN LA VIALIDAD DE LA PARROQUIA OLEGARIO VILLALOBOS**

Una particularidad del fractal además de la iteración, es la conectividad. En este caso, se abordó el estudio de la morfología vial, mediante la observación de la realidad, determinando sus longitudes totales y parciales, para luego compararlas con los resultados de aplicar una progresión geométrica, de mayores a menores longitudes, utilizando el FE fraccionario. Al efecto, seguimos el método fenomenológico, solicitando la opinión de los usuarios y su experiencia sensible, a través de manifestaciones orales, escritas y gráficas. Se pretende trasladar ideas abstractas a la realidad. Es un primero y modesto paso, en pro de superar esquemas geométricos cartesianos, mediante la ley de potencias que permite distribuir tamaños, aplicando la regla de la escala. El método es descriptivo, mediante la observación, la experiencia propia y la información de terceros. La investigación no pretende desechar teorías. Se experimenta invirtiendo el proceso teoría-práctica por búsqueda-observación-reflexión, exploración y construcción. Maracaibo, ciudad dispersa, fragmentada, necesita reordenar sus parroquias aprovechando el espacio, con máxima calidad de vida,

La necesidad de cambios en el plan urbano con respecto a la estructura parroquial, se direcciona hacia la morfología urbana en su expresión vial

En la investigación se analiza la parroquia OV en su morfología, revisando la cartografía, fotos aéreas, satelitales de Maracaibo (2013). Se utilizaron planos escala: 1:25.000; 1:15.000 y 1:5000. verificando in situ la información obtenida. Se precisó la dimensión y tamaño (área) de OV y, sus longitudes viales, reconociéndose la vialidad, su estructura, nodos, intersecciones, trama, tejido, hitos y equipamientos. Esta experiencia permitió detectar su origen, crecimiento, morfología, bordes y sectores. El *cómo hacer*, se apoyó en experiencias de Moisset (1998); Sempere (2002) y Salingeros (2005).

El objetivo del trabajo fue conocer la morfología vial, para después investigar y detectar la posible fractalidad, en la relación entre la longitud total de las principales arterias viales en su recorrido por OV, con las longitudes entre intersecciones y nodos. Se escogió aleatoriamente 1/3 como FE, para ser aplicado a la longitud mayor real, obteniendo una longitud menor y, así sucesivamente. Los resultados se compararon con las longitudes reales de los tramos entre intersecciones y nodos.

Para el análisis, se escogen dos avenidas por su longitud, fluidez y cobertura geográfica: Av. Bella Vista, eje del ensanche y referente histórico y, la Av. Delicias como eje de mayor longitud de la ciudad.

Se midieron las avenidas Delicias y Bella Vista a Esc.1:5.000. La longitud de Delicias, ubicada al Oeste de OV, resultó en 3.370M, como tramo mayor y, la Av. Bella Vista, eje central de OV, midió 2.995M. Luego se midió la vialidad relacionadora de sectores ubicados entre Av. Bella Vista y Av. Delicias. El sector Ensanche, contiene tramos entre 900M y 400M. Los conjuntos petroleros, cuenta con tramos entre 350M y 200M. Los desarrollos espontáneos, entre 100M y 300M. El borde costero no se midió por atípico. En los conjuntos cerrados, los tramos no superan los 200M (ver gráfico 3).



Identificada e identificada la vialidad de OV, se aplicó el FE a las avenidas seleccionadas, para conocer la secuencia decreciente (teórica), y luego compararlos con los tamaños reales medidos en el plano. Los resultados de aplicar la regla de la escala, se presentan a continuación

**Muestra 1. (Av. Delicias Norte).**

A los 3.370M de longitud de la Av. Delicias, en su trayectoria por OV). Se aplicó 1/3 como FE, obteniéndose las siguientes longitudes decrecientes:

$3.370,00M \times (1/3) = 1.123,33M$  = longitud tramo mayor sector (Ensanche)  
 $1.123,33M \times (1/3) = 374,44M$  = longitud tramo mayor Urb. Barrios y Villas  
 $374,33M \times (1/3) = 124,81M$  = longitud tramo mayor de Comunidad.

Estos resultados (teóricos) fueron comparados con las mediciones en plano (reales), de los tramos internos continuos de los sectores: Ensanche, conjuntos petroleros y desarrollos espontáneos. La comparación tiene como objeto determinar una de tres posibilidades: no aproximación, aproximación y coincidencia. De existir coincidencia o aproximación entre las cantidades, se puede identificar como comportamiento fractal entre las longitudes.

Sector	Medición/plano tramo	Resultado / FE
Ensanche	900M	1.123,33M
Conjuntos. Petroleros	Entre 350M y 200M	374,44M
Desarrollos Espontáneos	100M	374,44M

**Gráfico 04: Parroquia OV. Tierra Negra. Comparación entre longitud real vía y el valor de aplicar el Factor de Escala. FE.**  
Elaboración propia (2013).

En el sector el ensanche, el resultado de aplicar FE a la dimensión vial mayor de OV 3.370M (Av. Delicias), resulta en 1.123,33M, al compararse con la longitud del eje vial interno mayor (900M), no revela aproximación (1). Develando ausencia de patrón fractal. Aplicando el FE a la mayor longitud medida en el plano (350M) de los conjuntos petroleros, arroja 374,44M, resultado que se aproxima. En los desarrollos espontáneos, no hay aproximación entre el tramo vial interno (100M), y el resultado de aplicar FE a 1.123,33M, que arrojó 374,44M.

## Muestra 2. (Av. Bella Vista)

A los 2.995,00M de la Av. Bella Vista en su recorrido por OV, se aplicó 1/3 como FE.

$2.995,00M \times (1/3) = 998,33M$  = longitud tramo mayor sector (ensanche)  
 $998,33M \times (1/3) = 332,77M$  = longitud tramo mayor Urb. Barrios. Conjuntos y Villas  
 $332,77M \times (1/3) = 110,92M$  = longitud del tramo mayor de una Comunidades.

Resultados que se compararon con las mediciones de los tramos continuos de sectores como el ensanche, conjuntos petroleros y desarrollos espontáneos.

Sector	Medición/plano tramo	Resultado / FE
Ensanche	830-900 M	998,33M
Conjuntos Petroleros	Entre 350M y 200 M	332,77M
Desarrollos Espontáneos	300M	332,77M

**Gráfico 05: Parroquia OV. Ensanche. Comparación entre la longitud real de la vía y el valor resultante al aplicar el Factor de Escala. FE.**  
Elaboración propia (2013).

En el ensanche al aplicar el FE a 2.995,00M, resulta una longitud (998,33M) valor casi coincidente (2) con el tramo mayor Tierra Negra (900M), lo que puede considerarse como relación fractal. Conjuntos Petroleros, el tramo vial interno medido en el plano (350M) se aproxima a 332,77M, resultado de aplicar FE a 998,33M. Por tanto es indicio de patrón fractal decreciente. Desarrollos espontáneos, el tramo vial mayor medido del barrio Don Bosco (300M), al compararlo con el resultado de aplicar el (FE) a 998,33M, resulta en 332,77M, que se aproxima al valor real indicando patrón fractal.

## 6 CONCLUSIONES

Esta primera y elemental experiencia en el análisis morfológico de la parroquia Olegario Villalobos de la ciudad de Maracaibo en su versión de la vialidad, permite las siguientes reflexiones.

1. Este tipo de investigación es una interesante manera de abordar el estudio de la ciudad, por ser una alternativa que no descarta el método tradicional, sino por el contrario lo complementa

2. Muchas de las afirmaciones de connotados investigadores y estudiosos del tema (citados en el texto), aún están por corroborarse. Las hipótesis formuladas solo podrán confirmarse parcialmente, dada la magnitud del problema urbano.
3. Nuestra investigación aborda una, de las tres dimensiones que compone el tema morfológico. Y esto de manera parcial, porque el caso de estudio es una, de las dieciocho parroquias de la ciudad.
4. Los indicios de fractalidad detectados en ciertos tramos de la histórica Av. Bella Vista en Olegario Villalobos, al compararlos con la realidad funcional observada en la vía, permite concluir que su conectividad y relación con nodos importantes de la parroquia, está bien lograda. Por tanto es un punto a favor de la teoría fractal.
5. La aplicación sería programar, siguiendo los patrones de fractalidad, la ubicación de paradas para el transporte colectivo, relacionadas en progresión geométrica, con una nueva red peatonal complementada con áreas verdes.
6. La recomendación es seguir profundizando las posibilidades que brinda la nueva ciencia, abordando en conjunto, las tres dimensiones: longitud, área y volumen. Esto implica adicionar al manejo de la escala y la progresión geométrica, la ley de potencias y el empleo de ecuaciones diferenciales con el apoyo del computador.

## **BIBLIOGRAFIA**

BATTY, L. Michael, P. (1994). *Fractals Cities*. London: Academic. Press.

BATTY, L. Michael, P. Xie, Y. (1996). *Preliminary Evidence for Theory of the Fractal City*. London: Environment and Planning A.

BRIGGS, John. (1992). *Fractals: The pattern of chaos*. New York: Simon & Schuster.

EAMES, Ch. (1982). *Potencias de diez*. Scientifican American.

MIKITEN, T. Yu, H. (2000). *Pavements as Embodiment of Meaning for fractal Mind*. Nexus Network Journal.

PRIGOGINE, Il. (1999). *Las leyes del Caos*. Barcelona: Editorial Crítica.

PANIAGUA, P. (2007). Palabras Fractales. Editorial: literatura Indie. Mexico.

Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá. (2013). Decreto 364 por el cual se modifica excepcionalmente las normas urbanísticas.

PINEDA, E. FERRER, M. (2012). Plan urbano, morfología y fractales. Universidad del Zulia

## **Revistas**

CORDIVIOLA, A. LAMEGO, T. (2013). Arquitectura y geometría: perspectivas de la morfología fractal. Revista Fractales y arquitectura digital. Disponible

MOISSET, I. (1998). Complejidad, fractales, arquitectura. Revista de Architectural Design.

SALINGAROS, N. (2005). Principios de Estructura Urbana. Conectando la ciudad Fractal. Universidad de Texas. Texas.