

FRACTALIDAD TERRITORIAL

*Delia Patricia López Araiza Hernández**

Resumen

El antecedente histórico de la fractalidad es la teoría general de sistemas, con la cual analizaremos las características de los sistemas abiertos en las ciudades que son un tipo de sistemas abierto, porque intercambian materia y energía con su entorno físico y natural, con el avance y desarrollo de la informática, las teorías físicas se vieron en posibilidades de crear nuevos enfoques mas allá de lo fractal entre las que se encuentran la teoría de la auto-organización.

Esta es importante para el análisis regional, porque después del caos generado en las ciudades con su medio ambiente circundante, los efectos que esto provoca, son lo que se denomina como ruido (alteración mínima dentro del sistema) produciendo una nueva situación, está en la ciudad puede establecerse por los crecimientos sobre las vías de comunicación, en las zonas conurbadas esto a su vez genera nuevas conformaciones, esto es a lo que denominaremos fractalidad territorial.

Palabras clave: sistemas, Teoría General de Sistemas, caos, fractal, auto-organización, conurbación.

Muchos se preguntaran que tiene que ver la teoría general de sistemas, con la fractalidad territorial. Tal parece que cuando el biólogo Ludwing Von Bertalanffy (1950) cuando desarrollo la Teoría General de Sistemas (TGS), se dio cuenta de que no existía conceptos ni elementos para explicar las comunidades de seres vivos que conformaban lo que hoy podemos denominar sistemas vivos, en los que se generaban relaciones sociales complejas. En dicha teoría, se establecen principios generales tanto de las ciencias naturales y sociales, para explicar las relaciones e interrelaciones que se dan entre las partes de un sistema.

* Doctora en Desarrollo Regional, SEPI-ESIA Tecamachalco IPN / Av. Fuente de los Leones 28, Fuentes de Tecamachalco, Naucalpan de Juárez, 53950 Edo. Mex. / draendra@yahoo.com.mx / 56 97 4294, 57 29 6000 ext. 68020

Pero por otro lado, la teoría de los sistemas puede tomarse como un principio unidad científica, ya que ha propiciado el desarrollo de nuevos lenguajes y nuevos paradigmas (Gabriel, 2010), de explicación entre los distintas áreas científicas.

Paralelo a esto en la década de los sesentas, El Club de Roma, le solicito al físico Jay Forrester (1968), quién trabajaba en el MIT (Massachusetts Technological Institute) que realizará un estudio para determinar el paso del hombre por la tierra, bajo la óptica de la teoría de los sistemas dinámicos, para la operacionalización de las variables, tanto sociales, como económicas y ambientales se utilizo el sistema informático *World 3*. Los resultados obtenidos escandalizaron a los mandatarios que participaban en la reunión, donde fueron presentados, por Donella Meadow (1972), en la publicación denominada “los límites del crecimiento”, ahí se establece que en las ciudades se concentran grandes cantidades de población donde se producían diferentes tipos de alteración del medio ambiente tanto como en el agua, como en el aire y la tierra, es por ello, que hemos determinado iniciar el artículo con la relación entre las teorías de física, con el desarrollo de las regiones y ciudades en México.

En México la teoría se aplicó a partir de 1980's y la entonces Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), la utilizo para interpretar el desarrollo de las regiones, las actividades económicas que se establecen entre ellas, la relación con otras regiones circundantes, así como los intercambios entre la población con su periferia, a través de las carreteras y caminos más utilizados.

Este análisis es importante para interpretar y distinguir los diferentes niveles territoriales que conforman el territorio nacional, los cuales sirven para tener una mejor comprensión de la administración pública de cada entidad, y diagnosticar cuales son las ciudades con mayor influencia en cada una de las regiones, en donde hay mayores desigualdades y cuáles son las interrelaciones entre ellas.

De acuerdo con el segundo principio de la teoría de sistemas, la cual nos sirve para explicar algunos de los fenómenos regionales, dice que: “un sistema no puede ser entendido por si solo a menos que se haga el estudio de una de sus partes, para comprenderlo debe de entenderse el todo globalmente” (Bertalanffy, 1950). La cita anterior destaca la importancia del todo, sobre la

parte y en este sentido los ecosistemas urbanos rurales deben ser estudiados como una parte del todo, que pueden ser analizados bajo el tipo de sistema que menciona Bertalanffy.

Teoría General de Sistemas y Medio Ambiente

Ahora debemos hablar un poco de nuestro planeta, porque es a raíz de su estudio que se empezaron a explicar los fenómenos que hoy podemos ver reflejados en las cuestiones urbano-ambientales, por tanto territoriales. La Tierra, es el único planeta del sistema en el que sabemos existen la vida, y en él, intercambio de materia y energía.

La vida, es el resultado de varios procesos a través de los cuales la materia fue evolucionando hasta formar y organizar estructuras cada vez más complejas, esta circunstancia abrió nuevas posibilidades al desarrollo de nuevas y diversas relaciones, que permitieron el surgimiento organizaciones o colonias de células, hasta que esto dio origen a nuevas formas de vida localizadas en la biosfera, formando los primeros ecosistemas, Oparin decía en el *Origen de la Vida*, que “Todo organismo no vive, no existe, sino en el tiempo durante el que pasan a través de él en una oleada continua, partículas de sustancia siempre nuevas y la energía que les es propia” (cit en Equihua,1990). Con esto podemos comprender que las organizaciones vivas son sistemas termodinámicamente abiertos, donde la materia y la energía se encuentran íntimamente relacionadas con este proceso evolutivo.

Aunado a esto, tenemos que a principios del siglo XIX, el médico francés Lamarck especializado en botánica escribió un libro sobre los invertebrados, donde se explicaba y analizaban las relaciones existentes entre su medio y las especies (Sherman, 1987). Del mismo modo el biólogo alemán Ernest Haeckel (1869), después de leer las teorías de Darwin y Lamarck, se lanzó a construir su propia opinión sobre la evolución de las especies, para ello empezó a estudiar la relación que existe entre los seres vivos y el medio ambiente en el que se desarrollan, creando el término “Ecología” del griego *ecos* (casa) y *logos* (estudio) “estudio de la casa”. Sin saberlo Haeckel y Lamark habían realizado un análisis de los sistemas vivos y su relación con el resto del o los sistemas donde se desarrollan e interactúan, formando así diversos tipos de relaciones entre los diferentes ecosistemas, poniendo énfasis en las condiciones físicas naturales que caracterizan y determinan la flora y fauna de cada región; los procesos y los ciclos de intercambio de energía en el sistema como el carbono, oxígeno, hidrógeno y el nitrógeno, forman parte del sistema abierto, de la misma forma que es el ciclo del

agua o las cadenas tróficas, estudiadas por Ludwig Von Bertalanffy, perciben que no puede ser analizada la vida en general, sin estudiar los componentes que la conforman, de ahí surge la idea de los sistemas y la creación de la teoría de sistemas, como se ha dicho.

Sistemas Dinámicos

Las leyes de la transformación iniciando por la termodinámica, antecedente de la Teoría General de Sistemas (TGS), con la que en 1968 se hicieron los primeros modelos de análisis de la influencia del hombre sobre el medio ambiente, con el propósito de simular las posibles consecuencias que tendrían las mismas acciones y actitudes sobre nuestro planeta.

Un sistema dinámico es por sus características un sistema complejo, donde los procesos tienen una magnitud que varía en el tiempo, la (TGS) se considera un poderoso método que sirve para describir, simular y modelar los problemas complejos multidisciplinarios, como en este caso las ciudades y sus regiones los que son alimentados por ciertas variables que al medirlas en el tiempo se retroalimentan, y si se mide el valor inicial y la diferencia entre los flujos de entrada con los de salida; la interpretación de los resultados y de la combinación de los mismos (en un sistema abierto o cerrado), nos da una idea de cómo entender las repercusiones que en el futuro tendrá cada variable y del conjunto en general, estos resultados corresponden a la movilidad de cierta variable, mientras que los niveles pueden referirse a la cantidad de los indicadores que la componen, por ejemplo: la población, los alimentos, la disponibilidad de agua o a los balances entre egresos e ingresos de una entidad federativa, así los flujos equivalen a la actividad mientras que los niveles miden el resultado al cual el sistema ha sido elevado por esta actividad (Loaiza 2006).

Sistemas Urbanos Complejos

Al hablar de la complejidad urbana es descubrir que las teorías referentes al Desarrollo Urbano y Regional, como las de Max Weber quien en 1909, explica cómo van cambiando de lugar de residencia los distintos grupos sociales, o la de Christaller (1930) quien habla de la teoría del lugar central, por su parte August Lösh ha tomando como base de su análisis lo planteado por Christaller, quien elabora su teoría de la economía de la localización, para llegar a la del lingüista Zipf (1935) quien crea una ley empírica con la que él analizó la frecuencia de utilización de ciertas palabras, con base en esta se han generado teorías en economía urbana la cual se relaciona con los trabajos sobre caos de Shannon y Mandelbrot, íntimamente

relacionadas, porque en si todas nos hablan de los sistemas urbanos y de que subsistemas o sistemas están relacionados en su interior.

De igual manera se han utilizado algunas ecuaciones para explicar el medio ambiente y su comportamiento como las utilizadas por Edward Lorenz, formulas que tienen su origen en la teoría el caos, la que tiene como precedente a la teoría de los sistemas, y como consecuencia surge la teoría de la auto-organización de los conjuntos. La auto-organización de los conjuntos, nos ayudará a comprender lo que sucede en un territorio que se ve sometido a agentes externos fuera de su condición; produciendo una nueva forma, resultado del efecto sostenido de las alteraciones en su organización original, ya sea social, territorial, económica entre otras. Al analizar cada uno de estos sistemas se puede comprender como se desarrolla el todo, en el caso del desarrollo urbano puede llegar entender cómo se conformar las zonas conurbadas.

La complejidad de cómo cada uno de los elementos que conforman la ciudad (el todo), se va entrelazando y complejizando con el entorno que la rodea, si logramos comprender esto podemos entender como tener ciudades realmente sustentables. Siendo esta, una de las finalidades del presente artículo, las repercusiones de la concentración de la población en los centros urbanos, como lo decía Marx, no solo es de poder, si no los problemas que traen consigo la gran degradación económica, ambiental y territorial sobre la que van estableciéndose los asentamientos humanos.

Caos, Territorio y Sociedad

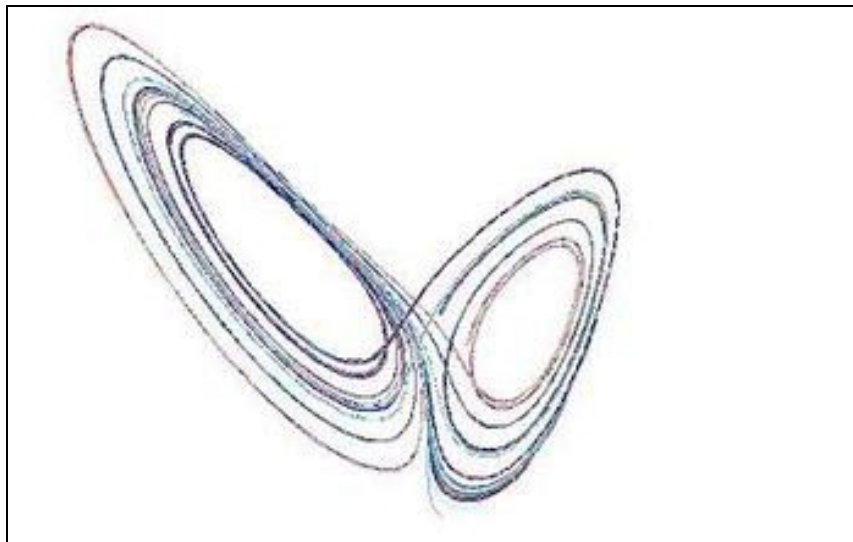
El caos, nos permite analizar el comportamiento de los sistemas *per se* impredecibles, aparentemente aleatorios; por tanto, se requiere de una metodología especial para entender su dinámica y el análisis de estos procesos cambiantes se hace al conjugarse todas y cada una de las variables dinámicas del sistema.

El caos representa una movilidad irregular, donde cada instante en la evolución del sistema, le corresponde un punto en el territorio, llamadas "trayectorias", que crecen rápida y exponencialmente en corto tiempo, como un proceso pendular (Haken, 1984). Este comportamiento temporal es muy sensible a las condiciones iniciales y puede desarrollarse en trayectorias absolutamente diversas, de igual manera se van gestando los asentamientos humanos, que crecen rápida y exponencialmente en el tiempo y el territorio que ocupan.

Un ejemplo de un sistema caótico, es una entidad cambiante e impredecible, con el medio ambiente, como el tráfico vehicular que es un sistema dinámico basado en las decisiones individuales de los conductores, pero desde el auto se ve un sistema ordenado. El caos, se puede simular en diagramas de fases, relacionadas generalmente con una determinada figura geométrica, en función al tipo de atractor que esté presente.

Con el análisis de los atractores, queda de manifiesto el carácter caótico del fenómeno, Lyapunov (ver figura 1) con el que se cuantifica la velocidad de separación entre dos trayectorias inicialmente próximas en el espacio (Martínez Pons 2002), mostrando con esto lo que sucede en dos entidades que se unen a través de la dispersión de viviendas, conformando lo que se denomina conurbación. Mediante el exponente de Lyapunov es cómo podemos llegar a determinar el origen de este fenómeno; es decir, mientras que la ciudad se aleja más de su núcleo central, integra nuevos territorios al sistema.

Figura 1. A tractor de Lorenz modelado con las fórmulas de turbulencia y el exponente de Lyapunov

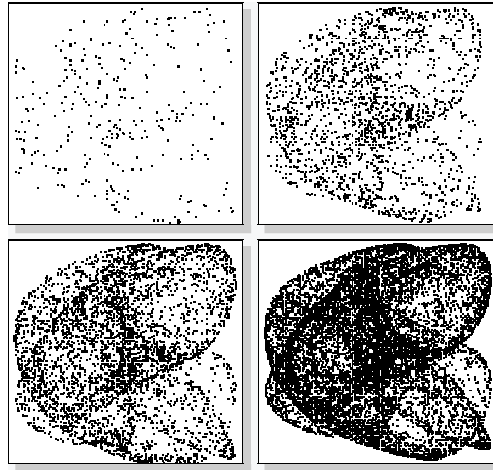


Fuente: www.fractales.org 2009

Las trayectorias son otra manera de estudiar el caos, una vez que las ecuaciones diferenciales se puedan utilizar con este fin, se considera la dimensionalidad requerida para el caos, donde se debe distinguir entre el mapa invertible y noninvertible (ver figura 1). Las trayectorias que producen los sistemas dinámicos autónomos, con todas las variables al azar son impredecibles; sin embargo, también se puede considerar un esquema con dos dimensiones, el mapa de Poincaré (ver figura 2), ilustra la representación de dos dimensiones invertibles (Haken, 1984),

con lo que se puede simular el tiempo en el que se unirán dos o más entidades urbanas, porque cuentan con las mismas variables, movimiento, tiempo y un centro de origen.

Figura 2 Mapa de Poincaré,



Fuente: imágenes de google 2011

Mientras que el movimiento caótico se puede solucionar con el modelo de Poincaré (ver figura 2), en el que la dispersión se puede graficar, el caos va dejando de existir con el tiempo, el mapa de Poincaré podemos utilizarlo para determinar el tiempo que tardan los asentamientos humanos en ocupar el territorio. El estudio de este movimiento encontró su renacimiento después de la publicación del modelo de Lorenz, utilizado para determinar la turbulencia climática (Haken, 1984), este modelo contiene tres diferentes ecuaciones de primer orden y se leen así:

$$X = sy - sx \quad \text{fórmula 1}$$

$$Y = -xz + rx - y \quad \text{fórmula 2}$$

$$Z = xy - bz \quad \text{fórmula 3}$$

Donde:

X, Y, Z = planos en donde se realiza la acción de análisis

s=número de Prandtl¹

r=número de Rayleigh²,

¹ Es adimensional, representa la relación que existe entre la difusividad molecular de la cantidad de movimiento y la difusividad térmica o entre el espesor de la capa límite de velocidad y la capa límite térmica.

² Es adimensional y está asociado a la transferencia de calor en el interior del fluido y dependiendo de este el calor es producido por conducción o por convección.

-xy y xz son términos cuadráticos, en donde se da la simetría entre ellos de la siguiente manera (x,y,z) igual a $(-x,-y,-z)$ siendo el eje z invariante
b= no tiene nombre.

Con las demostraciones térmicas utilizadas por Lorenz, se pueden explicar otro tipo de sistemas caóticos, el afectado por la más mínima perturbación, como podría ser el movimiento generado por las alas de una mariposa, quien producen un gran efecto a larga distancia, en las predicciones de largo tiempo (Otto 2002), ya que cada orbita es periódica y donde el período depende de la energía de cada partícula (hoy conocido como efecto mariposa). El movimiento caótico fue apreciado especialmente por un número de matemáticos quienes demostraron que el movimiento irregular puede causar efectos a larga distancia de una manera enteramente determinista, a otros científicos les pareció absurda la idea, cuando comenzaron a estudiar el movimiento caótico bajo el impacto de ruido.

Fue evidente que el ruido, (cualquier diminuta situación que hace variar la situación inicial) abrió maneras de estudiar el caos por medio de los métodos elegantes de física teórica. En el caso del impacto del ruido, cuando una variable es elegida al azar, se hace a través de la estadística donde el tiempo es una variable continua. Además, se sabe que las ecuaciones de Fokker-Plank describen, el cambio de la probabilidad de encontrar el intervalo al que se mueve la partícula, donde resaltan la cooperación no lineal y las fluctuaciones como lo más importante del análisis (Haken 1984).

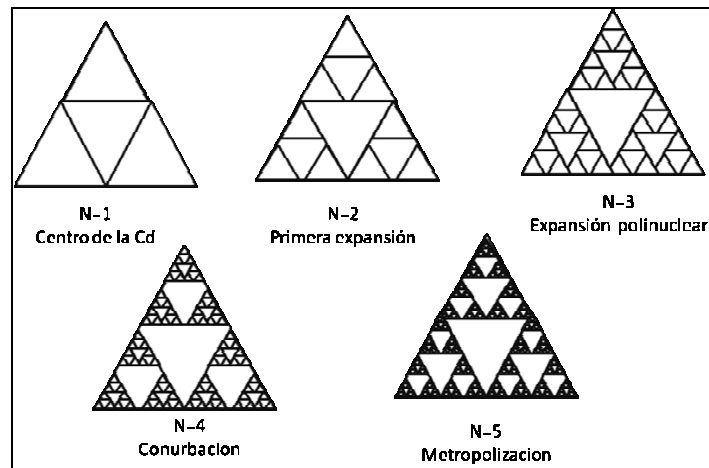
En el caso del desarrollo regional, son las carreteras o equipamientos que se instalan en el medio natural rural, los que generan ruido o perturbación, e inician el cambio de uso del suelo en el territorio, que con el tiempo se hacen más complejo. Ejemplo de ello, es cuando el proceso de urbanización se inicia de manera simple con la construcción de una vivienda (comunicada por alguna terracería o carretera), a la cual se anexan más casas y algunos giros comerciales o de servicios como restaurantes, tiendas, reparación de llantas o cambio de aceite, para finalmente consolidar un núcleo alargado y extenso, que va uniendo una localidad con otra.

Fractales

Una característica de la dinámica del caos, son los fractales, estos a menudo tienen una estructura geométrica mucho más compleja en el espacio. Según la terminología de Mandelbrot (1975) o en (Palezzei, 2009), a los objetos con tal geometría se les denomina fractales (Otto, 2002). Se dice, que la dinámica de un atractor es caótica, si hay sensibilidad exponencial a las condiciones iniciales; y se puede decir, que un atractor es extraño es "fractal", como lo denominó Mandelbrot (1975) se le dio el término fractal por la palabra "fractus" basada en un adjetivo latino, el autor elige esta palabra porque el verbo latino, correspondiente es "frangere" que significa "romperse," " crear fragmentos irregulares", los cuales se generan a partir de una estructura básica, resultado de las ecuaciones de origen según las cuales se tendrá como producto diferentes geometrías, en el caso de los asentamientos humanos se tomo como base, el centro económico administrativo, representado por la plaza cívica, la iglesia, las oficinas de gobierno (juntas auxiliares, presidencia municipal, palacio de gobierno, palacio nacional), los cuales se reproducen en varias ciudades del país.

Las características que debe cumplir todo fractal son tres: dimensión, recursividad y autosemejanza perfecta; que es el fenómeno de algo que se define en términos de sí mismo, ya que cada porción de un objeto tiene las mismas características del objeto completo. El fractal del triángulo de Sierpinski, se tomo como referencia para explicar un nuevo modelo de ciudades, iniciando por una iteración=1 lo que quiere decir que su recursividad es 1 y es la base de las formas que más adelante se auto repetirán para cumplir con el principio de autosemejanza, y que la dimensión de estas ira de menor a mayor, hasta llegar a donde la formación por iteración $n=5$ da la noción fractal del crecimiento de las ciudades, hasta llegar a las metrópolis como la Ciudad de México. En el caso de estar analizando un país como el nuestro, la interpretación de esto se presenta en la gráfica se encuentra en la figura 3.

Figura 3. Triángulo fractal de Sierpinski aplicado al desarrollo urbano.



Fuente: Elaboración propia con base en: Peitgen,HO.1992

Fractalidad Territorial en México

Como mencionamos anteriormente, una de las características principales de la naturaleza fractal, es la repetición de la estructura de origen, la cual se denomina recursividad o auto-similitud, recurso teórico que se considera útil para el estudio de la ciudad. La auto-similitud quiere decir que tiene una estructura similar, para este estudio tomaremos el patrón de organización que maneja la planeación inglesa *Central Business District* (CBD), (Stainer, 2006) traída a América del Norte se convierte en el *Down Town* y en América Latina este patrón está representado por el centro económico administrativo, con su templo religioso, las oficinas de gobierno ya sea palacio de gobierno, presidencia municipal o juntas auxiliares y los edificios de comercio. En este trabajo se considera a las dos últimas como la estructura fractal de origen, donde sin importar el tamaño de la ciudad, el efecto siempre se repite o reproduce a distintas escalas con la misma similitud (orientación).

También existen otros fractales que no cumplen con esta condición, sin embargo, para comprender el número de veces que se repite el CBD, se ha convertido la fracción resultante en números enteros (ver cuadro 1), para hacer más comprensible la relación que se busca con la figura resultante de la iteración (significa la repetición de una secuencia que conforma la estructura evolutiva del fractal), base de lo que se menciona más adelante (Lawson, 1997).

Otra situación importante sobre los fractales es la dimensión; estos son dimensionales, lo cual significa que difícilmente pueden ser expresados con un número entero, esto es lo que le

da su nombre, por ser una fracción. La mayoría de las veces los fractales se apegan a la definición anterior, pero otras no, en vez de observarse la misma estructura en porciones menores de la figura de origen, serán evidentes rasgos y patrones nuevos, ello dependerá del tipo de fractal que se examina y de cómo se analice.

Para explicar las ciudades y como se unen para conformar nuevas y más complejas estructuras, se utiliza el Triángulo de Sierpinski que como ya se mencionó es un triángulo fractal, el cual parte de un triángulo equilátero que tiene de lado a la unidad, a este se le recorta el centro con otro de base invertida pero que tenga de lado la $\frac{1}{2}$ de la unidad, este en este caso se referirá al centro económico administrativo al que se le denomina (CBD), resultante de la iteración anterior, la primera iteración será de lado la unidad y que en el caso será la siguiente (N = número de iteración):

- N= 1 Centro de la ciudad, donde sólo se cuenta con un centro económico administrativo
- N= 2 Primera expansión, cuando se han unido espacialmente más de 2 CBDs
- N= 3 Expansión polinuclear, aquí se refiere a la unión de más de 5 CBDs pero todavía pertenecen a la misma entidad federativa
- N= 4 Conurbación, cuando se da la suma de centros administrativos en torno de uno mayor, que es lo que se llamo en la sección anterior el atractor y varios CBDs de menor tamaño y que pertenecen o pueden ser de diferente entidad federativa
- N= 5 Metropolización, esta se da cuando se tienen varios centros económico-administrativos de carácter estatal que se han unido.
- Se podría de hablar de la N= 6 para la Megalopolización, cuando son varias conformaciones de metropolización las que se unen. En este caso no se ha considerado a la Megalópolis de Ciudad de México.

En el siguiente cuadro, se observa cómo fue que se utilizó el triángulo de Sierpinski, para determinar el número de iteración, que corresponde a cada una de las ciudades que se consideraron para ejemplificar esta relación con la suma de los datos del Cuadro 1 que son San Martín Texmelucan, Pue (SMT) y Tepetitla de Lardizábal .

Cuadro 1. Evolución histórica de al urbanización en la zona de estudio

Año	GRADOS DE URBANIZACIÓN		SUELO URBANO Hectareas		CRECIMIENTO URBANO Hectareas 80-70		GRADO DE CONURBACION	
	SMT	Tepetitla de Lardizabal	SMT	Tepetitla de Lardizabal	SMT	Tepetitla de Lardizabal	SMT	Tepetitla de Lardizabal
1970	1	2	179.67	34.04	43.71	107.14	2	2
1980	1	2	286.81	77.74	48.57	189.64	2	2
1990	1	2	476.45	126.31	157.96	340.89	3	2
2000	1	2	1018.5	387.13	93.86	201.16	3	3

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI 2005 * San Martín Texmelucan.

Con base en lo anterior, se llega al grado de conurbación el cual se relaciona directamente con el triángulo fractal de Sierpinski; después de realizar la sumatoria de la proporción del territorio municipal ocupada por el área urbana, el grado de urbanización de acuerdo a la CEPAL, que es el resultado de obtener el porcentaje de la población residente en áreas urbanas, respecto del total de población (CLADE, 1995).

La dirección que toma el crecimiento urbano se establece a partir de las principales carreteras y vialidades que comunican con la mayor concentración urbana del municipio. y de ellas se obtiene, la proporción correspondiente a las que presentan crecimientos tendientes a unir dos o más centros de población; de igual manera se obtuvieron los datos correspondientes a los centros de localidades que se han unido a la cabecera municipal. El resultado obtenido de esta suma, si da un resultado con decimales menores a 0.5 se iguala al número menor, pero si el resultado es mayor a 0.5 se iguala al número mayor.

Para comprobar el grado de conurbación alcanzado, se eligieron además de los dos municipios de San Martín Texmelucan (SMT) y Tepetitla de Lardizabal (TP), como se muestra en el cuadro 2, las dos ciudades capitales de los estados a los que pertenecen los municipios analizados: Puebla y Tlaxcala y a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

Si consideramos a la ZMCM, es la región que tiene una iteración correspondiente al N=5, que para nosotros está representado como el máximo grado de urbanización, con una superficie cubierta al 100%, lo que equivale a 1% de la suma general; el porcentaje de suelo urbano, por otro lado, también es cercano al 100%, y lo que se iguala a 1, es el grado de urbanización

de acuerdo con la CEPAL que equivale también a 1, consideramos únicamente a la unidad para trabajar con números pequeños, que al sumarse no excedan de 5, que será la máxima iteración con la que trabajaremos. En el caso de la ZMCM, fueron consideradas para su análisis, las cuatro principales vías de acceso a la ciudad, quienes en su momento fueron ejes detonadores del crecimiento de la periferia de la ciudad de México.

Como fueron las rutas de salida a Cuernavaca en el estado de Morelos, donde aún se percibe un lento crecimiento, hacia Toluca, Puebla y Querétaro que ya presentan desde algunas décadas atrás, ocupaciones importantes de la vía y el territorio, cuyo total da, es esta perspectiva nuevamente 1. Por último se tiene el número de CBDs que se ha unido a la cabecera municipal de los que conforman la entidad (juntas auxiliares), en el caso del Distrito Federal, que cuenta con 16 delegaciones (y como las 16 se encuentran) física y funcionalmente conurbadas, el resultado de esta proporción es nuevamente, por que se han unido todos centros delegacionales que en este caso conforman el Distrito Federal. La suma de las proporciones, resultado de cada una de las cinco variables analizadas da en el caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, equivalen al número de iteración 5, que se ve en el triángulo de Sierpinski, este tiene un número de repeticiones de los CBDs, que se han conurbado física y funcionalmente con el centro económico-administrativo cabecera municipal o capital de la entidad como en este caso.

La “unidad” que tiene como resultado, puede estar relacionada con otras conformaciones físicas, que relacionadas al triángulo fractal tienen otro número de iteraciones menor o mayor, según sus tendencias hacia la conurbación, como los casos que a continuación se mencionan.

En el caso de la región Puebla y Tlaxcala, a la que se reconoce como una zona metropolitana común, cuenta con dos capitales de estado, por esto se les analiza de diferente manera para conocer el número de iteración que le corresponde a esta conformación territorial, para ello como en el caso anterior se obtuvo lo siguiente:

Para Puebla, la proporción del suelo del área conurbada de la ciudad corresponde al 0.05% de la superficie del estado, los municipios conurbados tienen el 80% del suelo ocupado por área urbana, para la suma de los elementos considerados que nos llevarán a determinar el

grado de iteración, se conto como 0.8% el grado de urbanización de acuerdo a la CEPAL lo que cerrando cifras nos da como resultado la unidad.

Para determinar las direcciones de crecimiento urbano, se consideraron las carreteras libre a Tlaxcala, libre a México, la libre a Atlixco y la vía a hacia la ciudad de Tehuacán. Sobre estas cuatro vías se dieron las expansiones, las cuatro fueron vías detonadoras de la conurbación con los municipios aledaños a las ciudades. Para la operacionalización se toma como 1, ya que el total para el Área conurbada de Puebla es de 3.85 al sintetizarla a un digito de iteración el resultado será cuatro.

La proporción municipal en Zona Conurbada de Tlaxcala, es de 0.66 % correspondiente al área urbana de esos municipios es de 0.75, el grado de urbanización es de 1 y a las direcciones de crecimiento les correspondió el 0.75, donde la proporción de CBDs correspondientes es de 0.75, con lo que el total da 3.91 lo que al reducirlo a una cifra, tenemos el digito inmediato superior de iteración 4. Al estar tan cerca espacialmente del área conurbada de Puebla, tienen el mismo número de iteración y tienden a conurbarse, debido a que las ciudades capitales han mantenido históricamente un estrecho vínculo e intercambio de bienes y fuerza de trabajo.

Auto-organización en el Desarrollo Sustentable

La auto-organización en los territorios, ocurre cuando se da una transición del orden y el desorden. Las fluctuaciones juegan un papel importante al delinear el desarrollo de los sistemas, compuestos de muchas unidades. Si como en este caso, en que se ha perdido del orden, se vive actualmente una situación de desorden y se tiende a un nuevo orden, teniendo como resultado sistemas auto-organizados, el siguiente nivel de estudio conduce a la explicación de los problemas del comportamiento de grupos de individuos, como fué el estudio realizado por Weidlich (1983) en el cual se analizó bajo la dinámica de la población, el movimiento y el establecimiento de diversos grupos sociales en una ciudad.

La teoría del láser se distribuye en varios aspectos, Haken (1980) analizó el papel que tenía el ruido dentro de la transición del láser y la coherencia mostrada analógicamente entre el láser y sus fases de transición. En este caso las ciudades, van creciendo del centro a la periferia describiendo un esquema similar a las ondas planteadas por el laser con ruido, de tal

manera que al tener dos centros de población, llegan a unirse los crecimientos de ambos centros, para formar lo que se denomina conurbación en donde se da un nuevo orden y organización, como lo que se puede ver en la representación grafica del mapa de Poincaré (ver figura 2).

En términos de Auto-organización, el desarrollo sustentable, viene a ser en esencia, una coordinación sistemática, un proceso en el cual se tiende a mejorar el grado de orden del hombre-tierra como sistema, con la correlación de subsistemas internos que están en conflicto (Haken, 1990). Especialmente los sistemas urbanos, que sostienen relaciones espaciales muy fuertes entre las actividades sociales y económicas, se pueden definir como la integración de un sistema (el de la tierra y de los correspondientes recursos naturales requeridos) con el sistema socio económico, el tipo de variables de las que se obtendrían los datos no espaciales son con los que se alimentaría el modelo: los de infraestructura (calles y carreteras), demográficas (crecimiento de población y movilidad), ecológicos (agua, suelo y vegetación), con esto se puede definir las circunstancias que se obtienen al generar la región, asociadas por el crecimiento de las ciudades y la disminución del entorno natural.

Las técnicas utilizadas para su análisis ayudan a la planeación, de acuerdo con los principios de la Auto-organización y algunos modelos matemáticos también sirven para cuantificar el grado de desorden original del sistema (Haken, 1990), puede llamarse agua o utilización del suelo urbano o rural, simula el efecto que permite determinar el uso óptimo a largo plazo, considerando que en el sistema existe un intercambio de materia y energía a través de sus interfaces, como es el hecho de que la población aumente y requiera de más recursos para su desarrollo integral, ya que hay situaciones en la dinámica de las ciudades que llegan a ser impredecibles.

Conclusiones

La fractalidad territorial se enfoca a una nueva forma de analizar la ciudad, sobre todo la conurbación que tiende a la formación de nuevas zonas metropolitanas y estas a su vez a zonas megalopolitanas, quienes al seguirse uniendo crearan regiones conurbadas, situaciones no contempladas en el esquema del sistema de ciudades, utilizado en México desde los años 80's, sin embargo la evolución de los centros urbanos en nuestro país continua, afectando cada vez más los recursos naturales circundantes de la ciudad, a pesar de la normatividad existente

a nivel federal y en algunas entidades federativas, sin embargo existen grandes vacíos en materia de desarrollo urbano, ordenamiento territorial y medioambientales a nivel municipal. La auto-organización en el nuevo sistema urbano-natural, será la única manera en que se pueda salvar la vida de las poblaciones urbanas y rurales al preservar elementos naturales como son el agua y la vegetación para nosotros los actuales pobladores del mundo y las generaciones futuras.

Referencias:

Equihua Zamora, Miguel y Griselda Benítez Badillo (1990) *Dinámica de las Comunidades ecológicas*, segunda edición, editorial Trillas, México

Gabriel, Marco (2010) *Teoría General de Sistemas*, curso de Informática. <http://informatica-colegiom.foroactivo.net> consultado google abril 2011

Heackel, Ernest (1985) *A theoretical Model of Phase Transition in Human Hand Movements Cybernetics* 51 pags 347-356 Singer-Verlag Berlin Heidelberg New York, USA

Haken, Herman (1980) *Dynamic of synergetic Systems*, Singer-Verlag Berlin Heidelberg New York, USA

Haken, Herman (1984) *Chaos and Order in Nature*, Singer-Verlag Berlin Heidelberg New York, USA

Haken, Herman (1990) *Synergetics introduction and advanced topics*, Series in Synergetics, Singer-Verlag Berlin Heidelberg New York, USA

Forrester, Jay (1969) *Urban Dynamics*, The Massachusetts Institute of Technology

Loaiza Ramirez, Manuel (2006) *Diseño y simulación de un criptosistema caótico para comunicaciones seguras*. <http://catarina.udlap.mx> consultado google abril 2011

Meadow, Donella (1974) *Los límites del crecimiento*, Habitat ONU

Martínez Pons, José Antonio (2002) *La entropía de Kolmogorov: su sentido físico y su aplicación al estudio de los lechos fluidizados*. Dpto de química analítica, Universidad de Alcalá de Henares. España

Otto, Edward (2002) *Chaos in dynamic systems*. Cambridge

Weidlich, Wolfgang (1983). *Concepts and models of a quantitative sociology: the dynamics of interacting*, Springer-Verlag