

# **“ANÁLISIS DEL PROCESO DE CONURBACIÓN DE LA CIUDAD DE TLAXCALA Y SU ÁREA DE INFLUENCIA. IMPACTOS ECOLÓGICOS DESDE EL ENFOQUE FRACTAL”**

*Delia Patricia López Araiza Hernández<sup>i</sup>  
Ramos Montalvo Vargas<sup>ii</sup>*

## **Planteamiento del Problema**

El fenómeno urbano de conurbación (unión de dos o más entidades), día con día va integrando en nuestro país regiones más extensas, como la actual mancha de la Zona conurbada de la Ciudad de Tlaxcala, que para este caso analizaremos únicamente una porción del aérea conformada por Tlaxcala, Panotla, Totolac, Chiautempan, Tlatelulco y San Pablo Apetatitlan, la tecnificación de la movilidad de bienes y personas ha llevado a pavimentar grandes extensiones del país, la construcción en general es un elemento con el que podemos identificar como liga entre dos entidades, esto a su vez es lo que daña la mayoría de las veces el entorno en que se desarrollan los asentamientos humanos, por la devastación y transformación de los recursos naturales.

Cada vez que se cubre con materiales impermeables un nuevo espacio, por las necesidades de la modernidad; los involucrados perderán no sólo recursos naturales sino hasta la posibilidad de tener abasto suficiente de agua para las generaciones futuras, se debe lograr que este fenómeno (la pavimentación) se lleve a cabo en una forma leve y constructiva, donde los involucrados ganen en mejorar su entorno, si permitimos que se siga manejando como hasta ahora, de forma arbitraria y devastadora, difícilmente se recuperará lo perdido.

El presente análisis se realiza para la zona conurbada de Tlaxcala, con la intención de situar los municipios en una zona metropolitana, dentro de las consideradas como altamente urbanizadas con alta densidad en vialidades y construcciones. Para tal efecto, se eligieron las teorías relacionadas con la dinámica de sistemas; porque con base en ellas, en 1970 se estudiaron las variables que alarmaron al mundo en 1968, viendo el efecto del hombre sobre el medio ambiente, en la reunión de la Organización de las Naciones Unidas de Estocolmo, Suecia. La dinámica de sistemas, fue precursora de otras teorías con las que se analiza el comportamiento de los sistemas como es el caso del caos, en el que se encuentran hechos tan

importantes como *el efecto mariposa*, *el efecto del ruido dentro del sistema* y los objetos formados por estructuras repetitivas, llamadas *fractales*, también se utiliza *la teoría de la auto-organización* para ver como se reorganizan los nuevos sistemas que se conforman después del caos.

Un punto de partida importante es el aumento tanto la población, para ver como impacta sobre la superficie natural al convertirse en urbana, de cada uno de los municipios que forman parte de la región de estudio, en ella se verá cómo se invade con materiales impermeables el sistema formado por suelo natural-rural, para dar paso al sistema urbano, esto trae como consecuencia que se reduzcan las áreas libres del suelo natural-rural, esto provoca que se formen dos sistemas auto organizados; para quedar un sistema urbano impermeable en donde se cubren cada vez más espacios, y llegar a alcanzar otros asentamientos, bajo la carpeta asfáltica donde se ve interrumpida la evapotranspiración y otro en donde se cumplen las condiciones medio ambientales normales para que se desarrollen los elementos que dan soporte a la ciudad, por que de seguirse incrementando las vialidades y construcciones impermeables, puede tener graves consecuencias para la humanidad.

Palabras claves: Fractales, conurbación, impacto ecológico

## **Objetivos**

Analizar mediante la dimensión fractal, la transformación de los usos del suelo natural-rural a urbanos, por el incremento de los asentamientos humanos que al ocupar el suelo natural-rural con construcciones y vialidades se genera la obstrucción de la infiltración del agua al subsuelo en la región conurbada de Tlaxcala capital. Particularmente se analiza la influencia del incremento de los asentamientos humanos en la región conurbada de Tlaxcala, que han cambiado el uso de suelo natural-rural a urbano, mediante la pavimentación de la superficie permeable.

## **Metodología**

Para realizar este trabajo, se hizo trabajo en gabinete, con el fin de obtener la información necesaria para realizar el análisis de las consecuencias ambientales, por la ocupación del suelo, revisando detenidamente las condiciones ambientales en que se encuentran las localidades a analizar, se elaboró un catálogo de los puntos críticos ambientales afectados

por la carencia de agua, particularmente la subterránea, también se ubicaron las zonas con más alta densidad de construcción y se identificaron los tipos de vialidades existentes, los materiales de recubrimiento de las mismas y la densidad de estas dentro de cada una de las entidades de estudio, así como las respectivas conformaciones de este tipo de organización espacial; con lo anterior, se puede tener una zonificación por puntos en común para conformar una nueva estructura producto de la conurbación.

### **Importancia del enfoque de fractales**

El Club de Roma organización formada por algunos científicos, economistas, políticos, solicitaron al Instituto Tecnológico de Massachusetts analizará el impacto que podría tener del crecimiento de población sobre los recursos naturales con que se contaba en 1968, el resultado de este fue el importante informe conocido como “los límites del crecimiento”, y que fuera presentado en la conferencia de 1972 de la Organización de las Naciones Unidas en la que el tema central era el Medio Ambiente Humano, el análisis fue realizado con los principios de la Teoría General de Sistemas desarrollada Jay Forrester e implementada Donella Meadow.

Como antecedente de esta encontramos que dentro de las teorías de la complejidad, al margen de las ciencias hoy llamadas duras una forma de analizar lo inexplicable de la entropía y la resonancia, la primera, acuñada por el físico austriaco Boltzmann en 1884, encontró su sitio en la termodinámica, por estas mismas fechas el francés Henri Poncairé logra elaborar una descripción del comportamiento dinámico de los sistemas a partir de la ley de la termodinámica de la conservación de la energía (Pérez-Taylor, 2002), junto con las ecuaciones de Hamilton, referentes a la suma de las energías potencial y cinética, de la que Poncairé señalaba que existe una interacción recíproca de las partículas en un trayecto dinámico, de aquí es que se obtiene el mapa que lleva el nombre de este mismo científico y que al seguir la trayectoria de estas partículas, van formando lo que en términos de desarrollo urbano regional, sería el proceso de conurbación, primeramente con asentamientos dispersos, más tarde conglomerados aun alejados de las ciudades hasta conformar corredores que van uniendo a las localidades y así hasta llegar a unirse en un todo dos entidades federativas o más, dependiendo de las direcciones que tomen estos crecimientos.

Otro científico importante en el tema es: Ilya Prigogine, científico físico ruso (1977) en (Torres, 2008) quien centró sus investigaciones sobre el estudio de los sistemas termodinámicamente abiertos, que intercambian materia y energía con el mundo exterior, de manera que adquieren y mantienen estructuras. Lo anterior permite inferir que el término general de la entropía puede dividirse en dos partes: la primera que refleja los intercambios entre el sistema y el mundo exterior; y la segunda, que describe qué cantidad de entropía se produce dentro del mismo sistema, donde se exige que la suma de estas dos partes sea positiva, excepto en el estado de equilibrio. Además, el primer término será positivo, aun cuando resulta negativo el segundo término y por tanto la suma será positiva. Esto significa que, sin violar la segunda ley de la termodinámica, los sistemas que se encuentran muy alejados del equilibrio pueden experimentar una disminución de la entropía local.

Para los sistemas, esta disminución se manifiesta como un impresionante aumento de organización interna. Donde destaca la conexión entre los procesos autoorganizativos y la gran producción de entropía, Prigogine llama a tales relaciones sistemas disipativos (Ilya Prigogine, 1977) en (Torres, 2008). Al utilizarlos sé hacer notar la aparición espontánea de la estructura organizada, Prigogine destacó el importante papel positivo que puede desarrollar la producción de entropía en distintos procesos de intercambio (Hayles, 1993) que nos conduce a los sistemas impredecibles o en caos.

El caos, se encarga de analizar el comportamiento de los sistemas *per se* impredecibles y aparentemente aleatorios; por tanto, se requiere una metodología especial para entender su dinámica y el análisis de estos sistemas se hace al representar todas las variables dinámicas del sistema, en donde se presenta una movilidad irregular, a cada instante de la evolución del sistema, corresponde un punto en el espacio, estos se sitúan en las llamadas "trayectorias", que crecen rápida y exponencialmente en corto tiempo, (Haken, 1984) produciendo trayectorias absolutamente diversas por causa del atractor.

El análisis del atractor, es pues, una indicación del carácter caótico del fenómeno, mediante el exponente de Lyapunov, se puede cuantificar la velocidad con que se separan dos trayectorias inicialmente próximas en el espacio (Martínez Pons 2002), este podemos utilizarlo para determinar el tiempo en que llegan a unirse dos entidades que tienden a formar, una conurbación, en este caso, es el núcleo de la ciudad y conforme va alejándose del centro, se va generando la unió a la similar ampliación del otro centro urbano.

Mientras que el movimiento caótico se puede solucionar con el modelo de Poincaré, el estudio de este movimiento encontró un renacimiento después de la publicación del modelo de Lorenz, para la turbulencia (Haken, 1984), este modelo contiene tres diferentes ecuaciones de primer orden. Aun cuando Lorenz se concentró en el clima, es posible utilizar sus demostraciones térmicas para explicar otro tipo de sistema caótico (Otto 2002), ya que cada orbita es periódica y el período depende de la energía de cada partícula, este resultado es mejor conocido como efecto mariposa, cuya trayectoria numérica, diverge exponencialmente de la trayectoria verdadera con la misma condición inicial, para algunos 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, las maneras de estudiar el caos por medio de 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 e inician el cambio en aspectos mínimos, que con el tiempo se hacen mayores.

### **Impactos ecológicos en la ciudad capital desde el enfoque de fractales**

Las ciudades son una fuente importante de energía, porque dentro de ellas hay una gran generación de movimiento por los vehículos y las personas, como se mencionó cuando se habló de la termodinámica, la energía no se crea ni se destruye sólo se transforma y es lo mismo que sucede con estos elementos fundamentales de los asentamientos humanos y su entorno, no se crean ni se destruyen solo se transforman.

En las concentraciones humanas, se tiene que el intercambio de energías se da de manera similar a la que se genera entre los sistemas abiertos, en el plano del desarrollo regional se tiene al campo y a la ciudad donde se tiene un intercambio de bienes, vehículos y personas, que al moverse a través de las carreteras generan una gran cantidad de energía, así se van asentando a lo largo de estas vías entre las localidades, para finalmente unirse a los

asentamientos antes dispersos y cuando lo hacen entre dos o más entidades forman una conurbación

A través de la interacción en la región, los sistemas urbanos abiertos restauran su propia energía y reparan sus cambios con su propia organización, este concepto puede ser aplicado también para el agua, con la que la ciudad tiene una fuerte relación. Los sistemas como se ha visto son un todo organizado y complejo, un conjunto de partes que forman una totalidad heterogénea, por eso en la ciudad es tan importante considerar todas estas divisiones que interactúan y forman un todo, según Bertalanffy (1976), un sistema es un conjunto de unidades que interrelacionan de adentro hacia afuera y viceversa.

Todos los sistemas tienen uno o más elementos que se relacionan entre sí, para definir una distribución que trata siempre de alcanzar un orden, la totalidad es un cambio entre las unidades del sistema, que probablemente producirá cambios en las otras, el efecto total se presenta como un ajuste a todo el sistema. De la relación causa-efecto de estos cambios y ajustes, se derivan dos fenómenos: uno la entropía, tendencia de los sistemas a desgastarse o desintegrarse, para el relajamiento de los estándares, y un aumento de la aleatoriedad. El otro, la homeostasis que es el equilibrio dinámico entre las partes del sistema (Berrull, 2006).

Se puede observar cómo ha aumentado la superficie pavimentada, esto significa que conforme crece la población, se requiere de mayor superficie para vivienda en estos municipios, se puede ver que este es el uso del suelo, que pavimenta mayores extensiones de terreno natural; las fuentes de trabajo como se observa son de vital importancia para el desarrollo de una región, los servicios y los servicios de infraestructura, siendo estas interacciones de los usos del suelo, más el aumento en la cantidad de transporte público y particular que transita por la zona de estudio, lo que genera una alta cantidad de energía, y que la intercambia con su entorno próximo como cualquier otro sistema abierto; sin embargo, los efectos del calor que se producen dentro de este tipo de sistemas, pero solo haremos mención de este fenómeno.

Cualquier cambio que se da en el ambiente y sus componentes, afecta al todo aledaño por más insignificante que parezca, lo importante es interpretarlo adecuadamente y no pasarlo por alto por falta de atención. Así también cualquier innovación desarrollada en la organización afecta al resto, puesto que aquella organización que se adelanta y crea el

cambio tiene una influencia predominante en la modificación del entorno, por que como decía Prigogine (1977) cuando se da la auto organización en estructuras disipativas que son las que establecen la energía que logra el cambio de un estado de orden a otro (idem), se reparten como un rayo por todo el sistema, para unirlo en un todo. Según algunos estudiosos de los sistemas como Von Bertalanffy, Prigogine, Lorenz, entre otros, estos no asimilan estructuras desde el medio ambiente, sino que solamente utilizan lo que les llega del exterior para realizar modificaciones, pero que conservan sus propias estructuras y procesos fundamentales.

Todo fractal debe cumplir con tres conceptos: 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, por ejemplo, sirve para explicar los modelos de ciudades donde la formación por iteración  $n=5$  da la noción fractal del crecimiento de las ciudades, en donde la iteración  $n=1$  es equivalente al centro de la ciudad; la  $n=2$  se refiere la primera expansión de la ciudad; la  $n=3$  se trataría de la expansión polinuclear; la  $n=4$  corresponde a cuando se da la conurbación y el  $n=5$  es para cuando tenemos un fenómeno de metropolización.

En el caso de las entidades con grado de conurbación 4, en estas se puede observar que hay una diferencia entre las zonas pavimentadas con cifras de miles en el periodo de 1970 a 2000, porque la diferencia entre las áreas urbanas para este mismo lapso son también de miles y ya no de cientos; es decir, se manejan cifras mayores a tres dígitos y en cuanto a la población las variaciones son similares a las de las entidades de estudio y grado de conurbación 3.

Una característica de la dinámica caótica, es la que resulta de los atractores, que a menudo tienen una estructura geométrica mucho más intrincada en el espacio. En la terminología de Mandelbrot (1975) en (Palezzei, 2009), los objetos con tal geometría son fractales; es decir, cuando un atractor es fractal este se llama atractor extraño (Otto 2002) y cómo se puede ver en las fotografías satelitales de las ciudades estudiadas, se determinan algunos fractales urbanos, los cuales se reproducen en varias poblaciones del país.

Con la cinética o auto-organización de los conjuntos, ocurre cuando se dan las transiciones del desorden al orden, las fluctuaciones juegan un papel importante, al delinear el desarrollo

de sistemas compuestos por muchas unidades. Si se ocupan sistemas auto-organizados, el siguiente nivel conduce a problemas del comportamiento de grupos de individuos, como fue 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.

### **Conurbación y concentración de la población**

Aunque la conurbación está referida más el fenómeno de contigüidad física de los centros de población y le concentración poblacional al fenómeno de densificación y no necesariamente al acercamiento de los espacios habitables; lo cierto, es que hay una estrecha relación ineludible y casi siempre obligada.

El estado de Tlaxcala ha tenido un crecimiento demográfico y económico que ha ocasionado la expansión de sus centros de población y por consiguiente el crecimiento de las áreas urbanas de las principales ciudades como es el caso de la capital Tlaxcala y Apizaco entre otras, estas expansiones de áreas urbanas han rebasando incluso sus propios límites político-administrativos, lo que ha dado origen al fenómeno de la conurbación que se presenta cuando dos o más centros de población formen o tiendan a formar una unidad geográfica, económica y social; en este mismo sentido, el área conurbada se expresa a través de la continuidad física y demográfica que forman o tienden a formar dos o más centros de población. Esta integración puede ocurrir entre dos o más municipios de una misma entidad federativa o, si es el caso, entre centros de población de municipios que pertenezcan a dos o más entidades diferentes.

El crecimiento urbano explosivo que tienen las ciudades, generalmente se encuentra vinculado con el modelo de desarrollo que ha tendido siempre a privilegiar a las ciudades con potencial de crecimiento; y por supuesto, es donde se concentran una gran parte de actividades industriales, comerciales, administrativas y de servicios, hay además un acelerado crecimiento demográfico, la ausencia de un desarrollo rural en las áreas circundantes a las ciudades, y esto mismo propicia el desplazamiento de los habitantes hacia las grandes urbes y una inevitable expansión urbana desordenada de las ciudades, a este respecto, las ciudades son obstáculos al desarrollo por absorber en su crecimiento recursos del interior al incurrir en elevados costos sociales de urbanización, y de ser el centro a través del cual ejercen los controles del sistema capitalista mundial sobre los subsistemas nacionales. Por otro lado se les justifica como una forma de alcanzar niveles de eficiencia económica acorde con los que exhiben las ciudades en los países



desarrollados. Generalmente con el crecimiento insostenible de las ciudades se presentan los grandes contrastes en los que pobreza y desigualdad conviven con situaciones de elevados niveles de bienestar, la depredación de los recursos naturales y la degradación del suelo, aire y tierra son extremos; asimismo, se incrementan enormemente los problemas de seguridad pública, transporte y vivienda, entre otras.

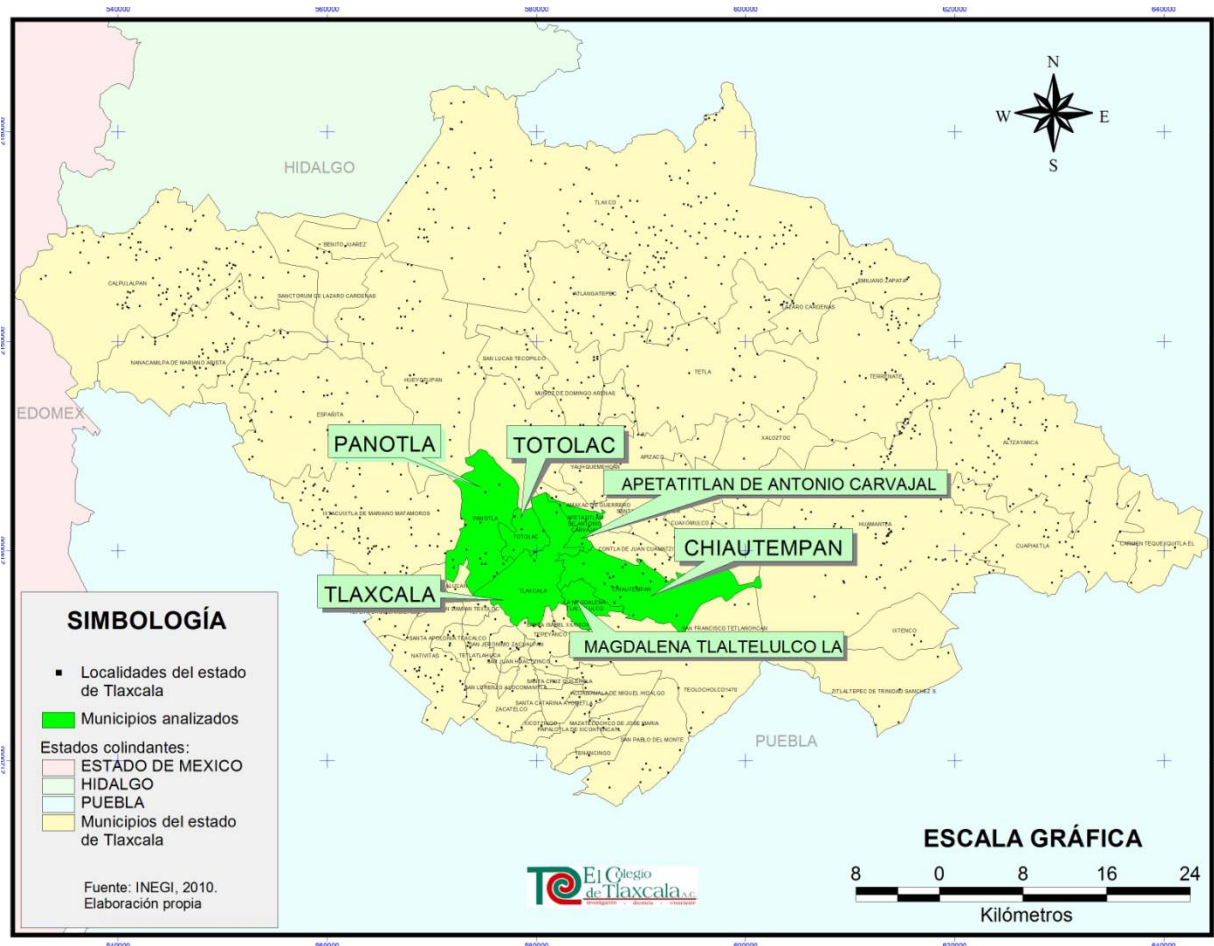
La expansión de la ciudad por tanto, se manifiesta físicamente como resultado de la combinación de una serie de procesos económicos que sumando las comunicaciones y los transportes intra e Inter-urbanos, permite que la población, particularmente la de altos ingresos, se desparrame hacia la periferia. Los estratos sociales de mayores ingresos se movilizan hacia las áreas de la ciudad donde pueden segregarse en áreas residenciales que satisfacen sus necesidades de clase social. A su vez la población de bajos ingresos nativa o migrante se ve obligada, ante la falta de alternativas, a segregarse en zonas periféricas cuya dotación de servicios municipales son escasos y deficientes. Este patrón de asentamientos polarizados, encabezados por la ciudad nodal dominante y la acumulación de asentamientos humanos de menor tamaño y jerarquía alrededor de la ciudad, es un fenómeno contemporáneo que expresa tanto la urbanización creciente de la sociedad, como la transformación de las ligas tradicionales que articulaban los grupos sociales que las constituyen. En la actualidad, hablar de los procesos de expansión urbana de las ciudades significa hablar de una población urbana que se extiende más allá de los límites político administrativos de los municipios, estados o inclusive de las mismas naciones, pues bien a este fenómeno se le conoce como conurbación. El área conurbada se expresa a través de la continuidad física y demográfica que forman o tienden a formar dos o más centros de población. Esta integración puede ocurrir entre dos o más municipios de una misma entidad federativa o, si es el caso, entre centros de población de municipios que pertenezcan a dos o más entidades diferentes. Para el caso aquí analizado, se corresponde con la primera, misma que se revisa brevemente a continuación.

### **La región conurbada de Tlaxcala capital: el aumento del espacio impermeable**

Tlaxcala en los últimos años, ha tenido una fuerte reducción de espacios naturales-agrícolas que se han convertido en espacios habitables, construidos o destinados a servicios, obras y pavimentación consecuencia de la modernidad. Los municipios que más lo han resentido, son aquellos que guardan una posición de conurbación respecto de las ciudades principales del estado de Tlaxcala. En la entidad, pueden resaltar ciudades como Tlaxcala capital, Apizaco,

San Pablo del Monte, Calpulalpan, Huamantla y Zacatelco. Sin embargo, de entre ellas, la de mayor concentración población, relevancia económica y comercial, es la de Tlaxcala, además de ubicarse como eje de la dinámica económica estatal y nodo de conexión entre el resto de las regiones de la entidad.

Mapa 1. Localización de los municipios analizados

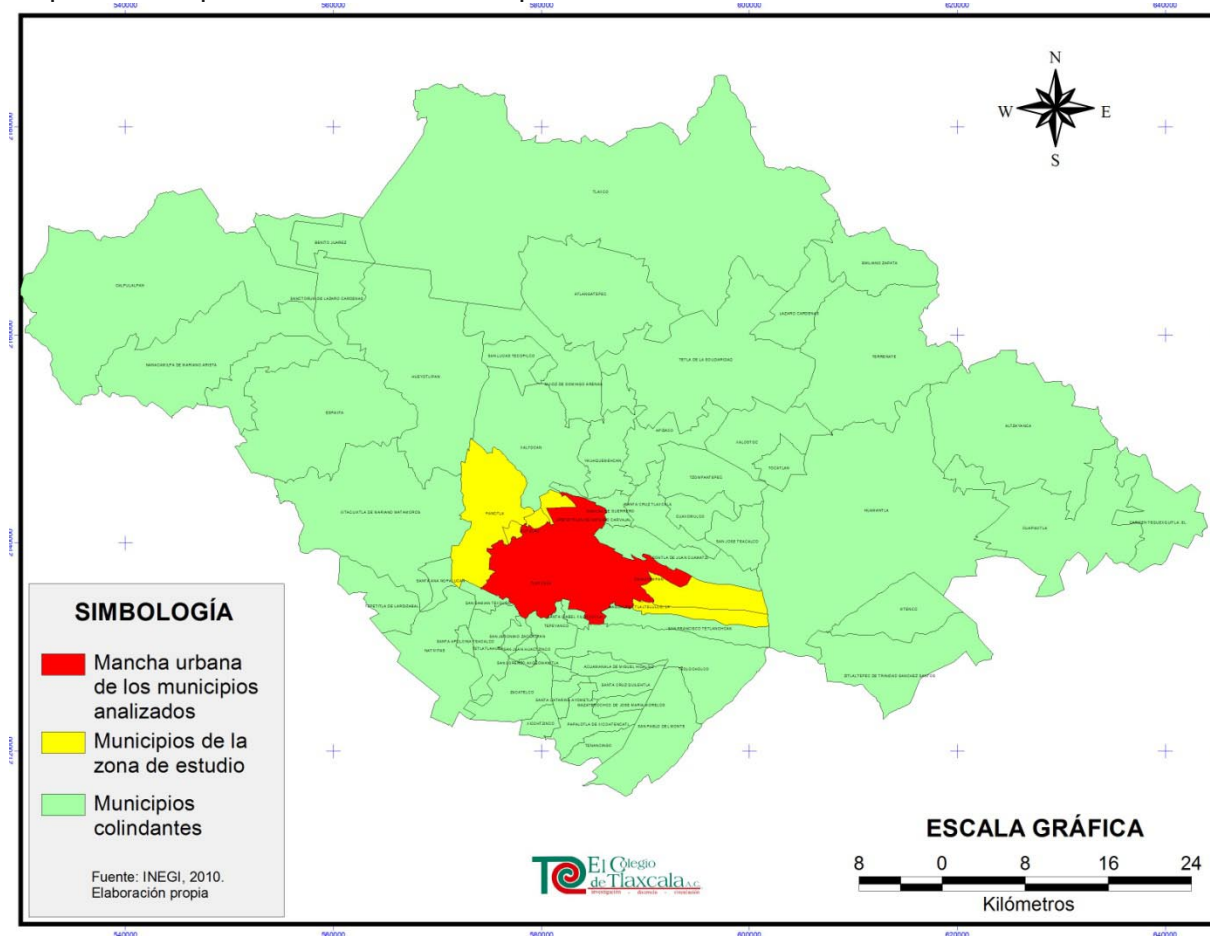


Fuente: elaboración propia, 2011.

Entre estos seis municipios, destacan por su concentración poblacional Tlaxcala y Chiautempan. Sin embargo, el resto de centros urbanos municipales señalados, se articulan con estas ciudades para potencializar el fenómeno de conurbación y sobre todo realizan una fuerte presión sobre el suelo habitable para incrementar el suelo intervenido con material impermeable, sea mediante construcciones, vialidades o nuevas formas de agregar material que evita la infiltración del agua superficial al subsuelo y con ello impedir la recarga de los mantos freáticos.

En el siguiente mapa, se aprecia que más del XXXX de los territorios de estos seis municipios, están cubiertos por vialidades, casas habitación, pavimentos, techumbres, entre otros elementos que impiden una adecuada infiltración del agua al subsuelo. Lo anterior supone una reducción del espacio libre de afectaciones para mantener el ciclo del agua.

Mapa. Área impermeable en los municipios analizados.



Fuente: elaboración propia, 2011.

En consecuencia, el problema se incrementa cuando el abasto de agua potable está determinado por la cantidad de agua disponible en el subsuelo y esta va presentando reducciones progresivas y un aprovechamiento condicionado cada vez mayor y con menos posibilidades de retornar mediante mecanismos efectivos la cantidad de agua necesaria para la recarga en condiciones de sustentabilidad.

En el mapa anterior se aprecia la zona impermeable, mientras que el área total de los seis municipios es de 23,350 hectáreas, la zona impermeable es 12,088 hectáreas; es decir, el 51.76 %, únicamente considerando la zona conurbada que representa esa continuidad física del fenómeno de la urbanización. En promedio, se presenta una densidad poblacional caso de mil habitantes por kilómetro cuadrado, lo que demanda una importante cantidad de agua potable.

Cuadro 1. Población y densidad, 2010

<b>Nombre municipio</b>	<b>Habitantes, 2010</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>Densidad poblacional</b>
Apetatitlán de Antonio Carvajal	13361	10.19431	1310.63
Chiautempan	66149	61.4422	1076.61
Panotla	25128	67.45884	372.49
Tlaxcala	89795	51.92511	1729.32
Totolac	20625	12.77316	1614.71
La Magdalena Tlaltelulco	16834	29.70305	566.74
<b>Total</b>	<b>231892</b>	<b>233.49667</b>	<b>993.13</b>

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI, 2010.

Destacan por su alta densidad poblacional Tlaxcala, Totolac y Apetatitlán, aunque recientemente el más bajo que es Panotla, ha iniciado un fuerte proceso de concentración de la población con el desarrollo de unidades habitacionales y mayor cantidad de construcciones particulares en la zona oriente provocado por la expansión física de las ciudades de Totolac y Tlaxcala.

En definitiva, la zona conurbada encabezada por la ciudad de Tlaxcala, está presentando fuertes impactos por el área de influencia que provoca fuertemente en al menos cinco municipios colindantes con esta ciudad de mayor jerarquía urbana. La principal influencia que está provocando esta ciudad, es la demanda excesiva de espacio habitable (vivienda), servicios públicos, infraestructura y equipamiento básico; así, como servicios, comercio y una serie de condiciones viales (accesos, salidas, libramientos, transporte, entre otros), que facilitan la funcionalidad urbana y favorecen estructuralmente la organización de ciudades en plena recomposición y reconfiguración de tamaño y jerarquía lo suficientemente importante como para producir efectos e impactos sobre distintas temáticas del espacio socialmente construido en esta región de Tlaxcala. Entre estos impactos están: los de orden ecológico (agua, suelo, aire, recursos florísticos y faunísticos en proceso de decadencia), impactos de tipo social (educación,

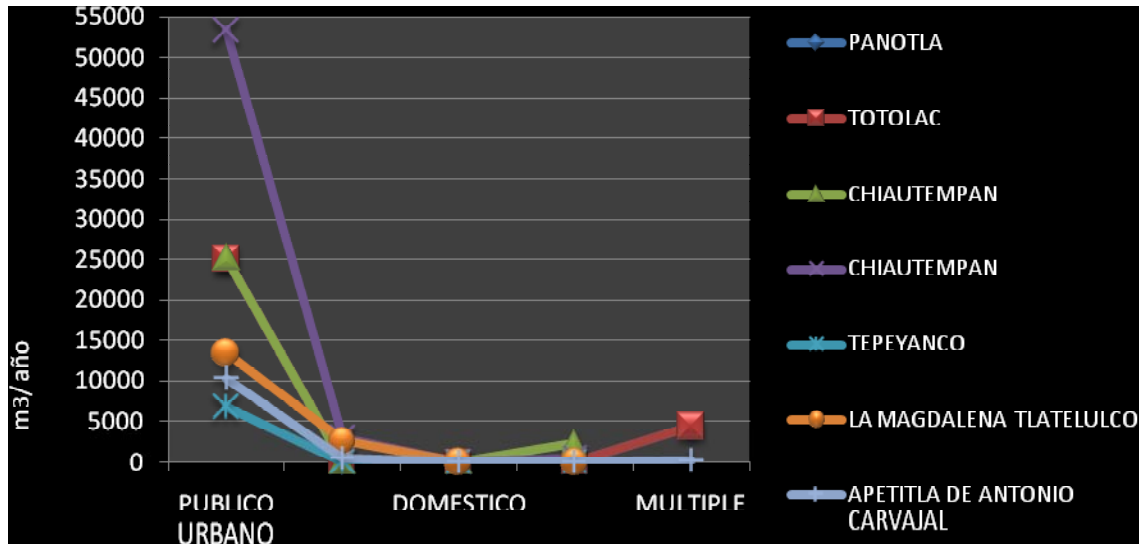
salud, recreación, entre otros), económicos (empleo, industria, comercio, servicios, renta del suelo, entre otros tantos), y otros impactos más, que provoca la elevada concentración de la población en espacios tan reducidos.

### **El problema de la disponibilidad de agua subterránea en la región de estudio a partir del enfoque de fractales**

Conforme se van ocupando más el suelo natural rural con la expansión de la ciudad este suelo deja de recibir la cantidad de humedad a la que estaba acostumbrada, por lo que el sistema hidrológico subterráneo se encuentra en caos, y empieza a buscar su nuevo orden, en algunos de los municipios de análisis como Chiautempan, es el que tiene la concesión para la extracción de agua subterránea para el uso público urbano más alto entre los municipios estudiados, con 55000,000 m<sup>3</sup>/año y el menor sería Tepeyanco con 6,000,000m<sup>3</sup>/año, como se puede observar en el cuadro 2, con estos datos y contrastándolos con el incremento de la superficie cubierta con materiales impermeables, dando con el uso de suelo urbano.

Ahora bien, haciendo la revisión de superficies, podemos ver que dentro del área de estudio, el municipio de Tlatelulco ha perdido la superficie de suelo natural rural, la que nos sirve para mantener en niveles sanos el sistema hídrico subterráneos y superficiales, los municipios de la zona de estudio como podemos ver en el cuadro 3, cuentan con un área urbana menor a la agrícola, situación que beneficia a que se conserve los niveles de agua subterráneos para uso humano, aun cuando esta zona de estudio cuenta con un grado de conurbación bajo de  $N=2$  en algunos municipios y  $N=3$  de acuerdo a lo mencionado al hablar del este índice derivado del Triángulo fractal de Sierpinski, en donde los centros económico administrativos son pequeños y aun no se da la continuidad de áreas pavimentadas, que lleven a unirlos con el centro económico-administrativo de otro municipio de los de la zona de estudio.

Cuadro 2. Concesiones de agua subterránea por uso del suelo



Fuente: elaboración propia con datos del RPDA 2011.

Nota: las cantidades son la que aparecen en el cuadro más 3 ceros, es decir, 5,000 es equivalente a 500,000 m³/año

Cuadro 3. Superficie urbana y agrícola en el área de estudio

Estado	Municipio	Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie urbana (km <sup>2</sup> )	Superficie Agrícola (km <sup>2</sup> )	Otros (km <sup>2</sup> )
Tlaxcala		3991 Km <sup>2</sup>	3192,8	798,2	
	Tlaxcala	51,883	44,100	1,037	6,746
	Panotla	59,865	8,381	25,741	25,743
	Totolac	11,973	3,472	4,070	4,431
	Chiautempan	75,829	24,265	47,013	4,551
	Tepeyanco	15,964	2,235	12,132	1,597
	Tlatelulco	11,973	11,973	0,000	0,000
	Apetitlan	11,973	6,225	2,993	2,755

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI 2010.

## Conclusiones

Después de realizar un análisis sistémico del ciclo del agua en la zona conurbada de Tlaxcala, se detectaron algunos puntos en donde las concesiones de extracción de agua subterránea otorgadas por la Comisión Nacional del Agua (CNA), presentan problemas potenciales de impacto al subsuelo; lo anterior, tras confrontarlo con los datos obtenidos del crecimiento de las áreas pavimentadas, para corroborar como se ha afectado al ciclo natural del agua, lo que nos llevó a identificar la carencia de planeación urbano-regional y el impacto que tiene la utilización de materiales impermeables que tradicionalmente se utilizan en entidades que reciben pocos recursos de la federación y su recaudación es baja, lo que reduce las posibilidades de mitigar este grave problema en las zonas conurbadas.

Quienes tienen la verdadera posibilidad de tomar medidas para que lo anterior no siga sucediendo es el municipio, pues de acuerdo con el sistema legal del país la unidad origen de la federación es este y deben ponerse de acuerdo los municipios que van formando las conurbaciones, los que deben marcar sus reglas en cuanto a los materiales que se permitirán utilizar en la pavimentación de sus calles y ser más estrictos en el cumplimiento de las áreas libres que se dejen en cada predio independientemente del uso del suelo que tengan asignado en el programa de desarrollo urbano municipal o al que se utilicen.

## Referencias

**Berrull, E** (2006) Apuntes de Termodinámica elemental, [www.biopsychology.org](http://www.biopsychology.org), consultado en julio 2010

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

**Hayles, N Katherine** (2001) *La evolución del Caos, El orden dentro del desorden en las ciencias contemporáneas*, Geidesa, España.

**Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)**, 2010.

**Martínez Pons, José Antonio** (2002) *El Tratamiento del Caos*, Dpto de química analítica, Universidad de Alcalá de Henares. España.

**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

**Palezzei, Ariel** (2009) *Los fractales conjunto de Mandelbrot*, Neoteo, Chile

**Torres Martínez, Raúl** (2008) *Los nuevos paradigmas en la actual evolución científica y tecnológica*, Ed. EUMED, España

---

<sup>i</sup> Dra. Delia Patricia López Araiza Hernández /IPN-SEPI-ESIA Tecamachalco/ 5534785095/draendr@yahoo.com.mx

<sup>ii</sup> Dr. Ramos Montalvo Vargas/El Colegio de Tlaxcala A. C, [rmontalvovargas@gmail.com](mailto:rmontalvovargas@gmail.com)