

Análisis del impacto de las pequeñas y medianas ciudades en el cambio climático. El caso de Oaxaca, México 2000-2015

Analysis of the Impact of Small and Medium-Sized Cities on Climate Change. The Case of Oaxaca Mexico 2000-2015

Andrés Enrique Miguel Velasco, Marcelo Andrés López Villanueva,**
Julita Moreno Avendaño*** y Maribel Pérez Pérez*****

Resumen

El propósito del presente artículo es analizar la influencia del desarrollo de las ciudades de Oaxaca en el cambio climático que se manifiesta en las mismas, para ello se analiza el comportamiento de las emisiones de CO_2 derivadas del desarrollo urbano de las ciudades de Oaxaca (2000-2015), partiendo del supuesto de que el crecimiento urbano tiende a propiciar el aumento del nivel de gases de efecto invernadero, en particular con las emisiones de CO_2 . Se concluye que el cambio climático está aumentando a tasas altas, y que su sustento proviene de las emisiones de las viviendas, los vehículos y de los desechos sólidos. A mayor desarrollo humano existe una mayor emisión de CO_2 en estas ciudades. Este proceso tiende a afectar el territorio de mayor bioculturalidad de México, en el que habitan 16 grupos étnicos, ligados a la presencia de prácticamente todos los ecosistemas y tipos de vegetación que caracterizan al planeta. Un hallazgo es que la sustentabilidad ambiental de las ciudades puede amortiguar los efectos del cambio climático en las mismas.

Palabras clave: cambio climático; desarrollo sustentable; desarrollo urbano; ciudades

* Doctorado en Ciencias en Planificación de Empresas y Desarrollo Regional por el Instituto Tecnológico de Oaxaca, México. Profesor-investigador en la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Oaxaca, México. Líneas de interés: desarrollo regional sustentable. Correo electrónico: andres.miguel@gmail.com

** Doctorado en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico por el Instituto Tecnológico en el Instituto Tecnológico de Oaxaca, México. Profesor-investigador en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, México. Líneas de interés: desarrollo regional sustentable. Correo electrónico: lvm_andres@hotmail.com

*** Estudiante del Doctorado en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico en el Instituto Tecnológico de Oaxaca, México. Líneas de interés: desarrollo regional sustentable. Correo electrónico: cara_9963@hotmail.com

**** Estudiante del Doctorado en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico en el Instituto Tecnológico de Oaxaca, México. Profesora del Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Oaxaca, México. Líneas de interés: desarrollo regional sustentable. Correo electrónico: mary01758@hotmail.com

Abstract

The purpose of this article is to analyze the influence of the development of cities in Oaxaca on the climate change they experience. It therefore examines the behavior of climate change based on the emission of CO₂ from the urban development of the cities of Oaxaca (2000-2015) based on the assumption that urban growth tends to affect the level of greenhouse gases in cities, particularly CO₂ emissions. It concludes that climate change is increasing at high rates, driven by emissions from housing, vehicles, and solid waste. The greater the degree of human development, the higher the levels of CO₂ in these cities. This process tends to affect the territory with the largest biodiversity in Mexico, inhabited by sixteen ethnic groups, linked to the presence of practically all the ecosystems and vegetation types that characterize the planet. One finding is that the environmental sustainability of cities can reduce the impact of climate change on them.

Keywords: climate change; sustainable development; urban development; cities

Introducción

Gradualmente, se ha corroborado que el cambio climático (CC) está generando un impacto desfavorable en el medio ambiente. Se considera un problema que pone en entredicho el desarrollo sustentable de las regiones y ciudades de México y del planeta, y que de manera particular repercute en el bienestar social de la población (Miguel *et al.*, 2008).

El cambio climático es un proceso natural, pero debido a múltiples factores generados por el ser humano está ocasionando cambios bruscos de temperatura que inciden en las regiones y ciudades. Según el cuarto informe del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), el calentamiento global se atribuye a la acción del hombre con una certidumbre del 90% (Burgui, 2008). Por tal razón, en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992), se entiende por cambio de clima al atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial, y que se suma a la inestabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

Durante los últimos años se han acumulado criterios y principios comunes en la preservación ambiental, existiendo mayores evidencias y consensos sobre el fenómeno del cambio climático y sus consecuencias. La presión que ejercen las poblaciones urbanas en términos de demanda de energía y uso de recursos vitales como el agua, se manifiesta de manera diferenciada para mantener y acrecentar el conjunto de satisfactores del que gozan sus habitantes, generalmente a costa del deterioro y uso exhaustivo de los recursos naturales, sin prever las consecuencias ambientales, económicas y sociales.

Una de las principales evidencias de este cambio climático es la variabilidad del clima durante las últimas décadas, y concretamente en el estado de Oaxaca en el sur de México, donde se localizan las catorce ciudades de más de 15 mil habitantes analizadas en el presente artículo. Se estima que la temperatura media anual de este espacio geográfico ha sido de 21.6°C y 23.71°C, para los años setenta y 2000 respectivamente, identificándose en estos 20 años un incremento cercano a los 2°C y, según los registros, este aumento tiende a continuar (Miguel, 2008). Una de las variables que influye en este proceso es la emisión de gases de efecto invernadero, los cuales facilitan el calentamiento del medio ambiente.

En este caso particular, la importancia de analizar el impacto en el cambio climático de las ciudades de Oaxaca es porque las mismas influyen en el territorio de la mayor bioculturalidad de México. La existencia de 16 grupos étnicos y 177 variantes lingüísticas en esta entidad está ligada a la presencia de prácticamente todos los ecosistemas y tipos de vegetación que caracterizan a todo el planeta, desde matorrales espinosos en las zonas áridas hasta bosques tropicales siempre verdes en las zonas más húmedas, y desde arrecifes de coral y manglares en la costa del Pacífico hasta bosques de niebla, encinares, pinares y bosques de oyamel en las montañas más altas. Pocos lugares del mundo, aun en los países de mayor biodiversidad como Brasil, Colombia o Indonesia, muestran una riqueza comparable de ecosistemas. Como reflejo de esta variación ecológica extrema, Oaxaca tiene la flora y la fauna —8 431 y 4 543 especies respectivamente (García, Ordoñez y Briones, 2004)— más diversa de México, “en sí pudiendo convertirse en uno de los cuatro países con mayor biodiversidad a nivel global” (De Ávila, 2008: 565-573). Por lo tanto, conviene explorar las tendencias de las ciudades en regiones con estas características.

En este contexto, mediante el presente documento se pretende examinar la contribución de las pequeñas y medianas ciudades de Oaxaca tanto en el fenómeno del cambio climático como en el proceso de desarrollo que manifiestan, tomando como punto de partida la idea de que el crecimiento urbano tiende a propiciar el nivel de gases de efecto invernadero de las ciudades, favoreciendo el aumento de emisiones de CO₂, esperando de manera específica que durante el periodo 2000-2015 la emisión de este gas se encuentre significativamente correlacionado con el nivel de desarrollo de las ciudades, es decir, las hipótesis que sustentan el presente artículo son 1) que a mayor desarrollo existirá una mayor emisión de CO₂ y, por consiguiente, mayor será el cambio climático manifestado por las ciudades y 2) que la sustentabilidad de las ciudades puede amortiguar el cambio climático que tiende a manifestarse en las mismas.

Marco conceptual

La ciudad es el centro territorial de la acumulación de capital, el instrumento colectivo de reproducción social y de generación de bienestar, el modo más favorable de usar el espacio (de ordenarlo y

planificarlo) para la reproducción económica y el centro espacial de la distribución e intercambio de mercancías (Casado, 2010) en las diversas regiones. También es el nodo territorial en el cual se articula la preservación o deterioro de la bioculturalidad de los pueblos originarios esparcidos en su área de influencia, debido a la forma de uso de los recursos naturales. En sí, la forma urbana es el resultado de una compleja interacción de presiones e influencias interdependientes: climáticas, sociales, políticas, estratégicas, estéticas, técnicas y normativas, que genera efectos sobre la cohesión social y la calidad de vida de las personas, pero también sobre el medio ambiente global. A escala urbana, la eficiencia energética es cada vez más acuciante, siendo parte integrada del desarrollo sustentable, reconociendo el impacto local, regional y global de las ciudades sobre el aire, el suelo, el agua, la vegetación, la vida animal y de la población humana (ONU-Habitat, 2011a; Hernández, 2007).

Existen diversos criterios para definir una ciudad, por ejemplo, el INEGI (2010a) define como asentamiento urbano aquellos que tienen 2 500 y más habitantes. Por otra parte, el Colegio de México (Colmex) propone que éste sea definido a partir de los 15 mil habitantes. El Conapo adopta esta posición, la toma como referencia y clasifica las ciudades como pequeñas (15 000-49 000 habitantes), intermedias o medias (50 000-499 999 habitantes) y grandes ciudades (más de 500 000 habitantes) (Sánchez, 2008). De las ciudades de Oaxaca, tres (Tuxtpec y las zonas metropolitanas de Oaxaca y Tehuantepec) rebasan los 100 mil habitantes, por lo cual se consideran ciudades medianas, y el resto oscilan entre los 15 mil y 100 mil habitantes, ubicándose en el rango de pequeñas ciudades.

Las ciudades son consideradas el motor de la economía global, donde una de las principales estrategias para producir un mayor crecimiento económico es a través del fomento de la producción y el consumo, pero a pesar de los efectos positivos que este sistema tiene, no hay que perder de vista los efectos negativos que genera principalmente sobre el medio ambiente. Una prueba clara de esto es que el dramático incremento en consumo de energía y emisiones en el mundo (principalmente en las ciudades) entre 1970 y 2004 han sido el resultado del incremento del ingreso per cápita (más de 77%) y del crecimiento de la población (más de 69%) (Iracheta, 2013).

Aunque las principales fuentes de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial, según datos de IPCC, se les atribuye a actividades vinculadas con la agricultura (14%) y la actividad forestal (17%), las segundas fuentes principales se encuentran en el medio urbano asociadas al consumo energético, la producción industrial, el transporte y la emisión de residuos sólidos (ONU-Habitat, 2011a), así como también el carbono incorporado en los materiales que dan cuerpo al suelo construido. La evidencia disponible muestra que las áreas urbanas dominan el consumo final de energía y las emisiones de CO₂ asociadas (Seto *et al.*, 2014)

Diversos estudios revisados por Sánchez (2013: 10) han demostrado que una parte significativa de GEI “está directa o indirectamente vinculada a las actividades urbanas, ya que a nivel

mundial se estima que las áreas urbanas generan cerca del 67% de las emisiones de GEI provenientes del consumo energético” (cit. AIE, 2008; Kennedy, Demoulin y Mohareb, 2012; Marcotullio *et al.*, 2012 en Sánchez, 2013). Arellano y Roca (2015) señalan que la contribución de la urbanización al cambio climático es de doble naturaleza. Por una parte, la generación urbana de GEI contribuye de forma determinante al calentamiento global del planeta y, por otra, la concreta radiación generada por la superficie del suelo urbanizado, determina un flujo de calor sensible y latente en virtud del tipo de cubiertas urbanas, así como su grado de humedad.

A pesar de que el clima de las ciudades, al igual que del resto del mundo, depende fundamentalmente de factores de carácter regional, como la latitud, el relieve, la distancia a las masas de agua, factores locales y de microescala, las diferentes características de la estructura urbana, la topografía y superficie de las cubiertas de suelo, la vegetación, así como el calor antropogénico generado por el metabolismo urbano, entre otros factores, originados primordialmente por el tipo de urbanización desarrollado en cada ciudad, pueden modificar el clima regional a la escala urbana (cit. Lowry y Oke en Arellano y Roca, 2015) así como el nivel de GEI que emiten.

Es decir, tanto el consumo per cápita como la emisión de los GEI en el medio urbano están directamente relacionados con diversos factores, ya sean de origen biofísico, económico y social, así como con los niveles y tipologías de urbanización (Delgado, De Luca y Vázquez, 2015). Un ejemplo de ello es la comparación que se hace en el Informe Mundial de Asentamientos Urbanos entre Washington y Nueva York (ONU-Habitat, 2011a), donde esta última ciudad tiene emisiones mucho más bajas a pesar de su alta densidad demográfica y esto es debido primordialmente al tamaño de viviendas, a su sistema de transporte y a gran parte de su infraestructura diseñada para el aprovechamiento de la luz diurna y la ventilación naturales. Ante esto, la importancia de las áreas urbanas en el crecimiento económico y la conquista del bienestar social de la población tienen un lugar preponderante en la discusión sobre la sustentabilidad del desarrollo, la degradación ambiental y el cambio climático (Cruz, 2016).

La relación que muestra el desarrollo con el cambio climático se fundamenta en la concentración territorial de las actividades en las ciudades, ya que se considera que son éstas “las que primordialmente están provocando la crisis medioambiental que afecta el territorio” (Rogers y Gumuchdjian, 2001: 4). Resulta paradójico que el hábitat de la humanidad, las ciudades, sean el mayor destructor del ecosistema y la mayor amenaza para la supervivencia del hombre sobre el planeta, ya que éstas generan la mayoría de los gases que producen el efecto invernadero. “Las ciudades están produciendo una peligrosa inestabilidad social asociada al declive medioambiental” (Rogers y Gumuchdjian, 2001: 7), y, por consiguiente, también al deterioro de la biodiversidad territorial. Es así, entonces, que las condiciones de vulnerabilidad en las ciudades están dadas por una alta

concentración demográfica, procesos de industrialización, incremento de vehículos automotores y aumento de la población con altos niveles de pobreza.

Pero, por otra parte, también las ciudades tienden a convertirse en los amortiguadores del CC, porque tienden a absorber a la población que es desplazada de las zonas rurales debido al propio CC en las mismas, el cual tiende a reflejarse en 1) la reducción de sus niveles de desarrollo y bienestar, 2) el deterioro temporal o permanente de su desarrollo logrado, retrasando su bienestar actual a niveles del pasado, debido a la destrucción y cambios desfavorables que conlleva, 3) el aumento de las desigualdades y desequilibrios regionales hacia niveles altos, impulsando las desigualdades territoriales, y 4) generando efectos adversos en la bioculturalidad de las regiones, sobre todo en los ecosistemas propios de las mismas. Todos estos efectos se les atribuyen a las grandes ciudades (incluidas las zonas metropolitanas, metrópolis, megalópolis e, incluso, las denominadas ciudades-región), por lo cual conviene explorar la influencia en esta problemática de las pequeñas y medianas ciudades como las analizadas en el presente artículo. La variabilidad climática manifiesta en las ciudades —cada vez más en sequías, inundaciones o huracanes intensos— requiere atención inmediata. De esta manera, se ahorrarán vidas y pérdidas materiales en el corto plazo y se estará en mejores condiciones para enfrentarse al CC (UNAM, 2004).

Metodología

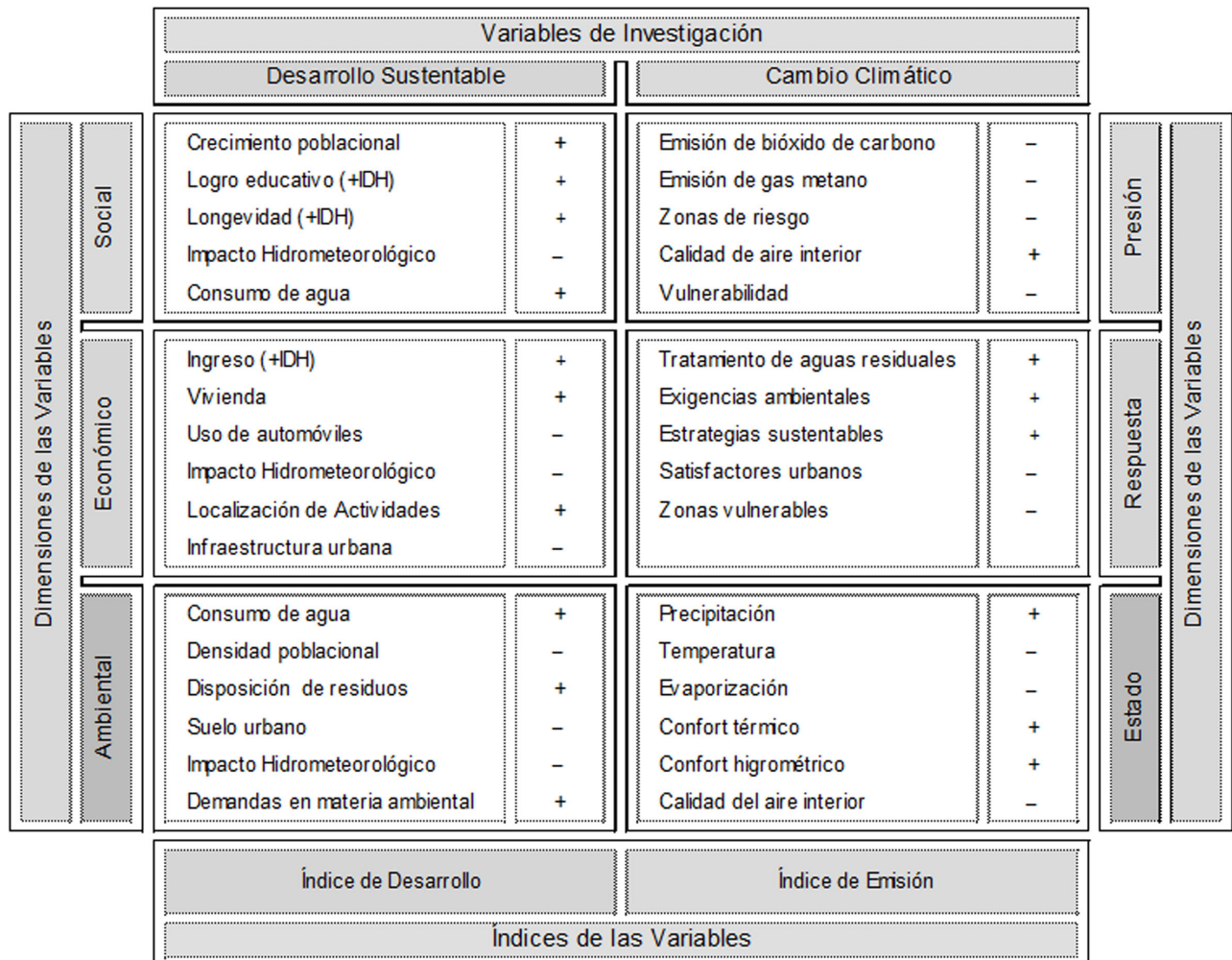
Modelo de análisis e hipótesis

El modelo teórico del presente artículo (Figura 1) establece relaciones que miden los grados de desarrollo a través del índice de desarrollo sustentable (DS) y del índice de cambio climático (CC) en las ciudades de Oaxaca durante el periodo 2000-2015, incluidas en ellos las dimensiones social, económica y ambiental. El modelo teórico fue definido con base en los modelos de desarrollo sustentable, el prismático de la sustentabilidad (cit. Godschalk en University of Illinois, 2006) y el ambiental de presión-estado-respuesta (PER) (OECD, 1993).

El modelo teórico muestra los indicadores estudiados, medidos en valores absolutos; éstos se consideran una herramienta metodológica que puede ayudar a la gestión de la sustentabilidad¹ a través de la formulación de políticas, el proceso de toma de decisiones y la información objetiva en el tema. Para obtener los índices de DS y CC, se determinan indicadores con valores relativos con los subíndices que los integran. En el modelo, un signo positivo en indicadores de desarrollo urbano sustentable muestra aumento en la sustentabilidad, mientras que su reducción se identifica con un valor negativo.

¹ No se sabe realmente cómo es una sociedad sustentable, porque no se tiene registrada la existencia de alguna; por ahora sólo se conocen teorías de dimensión global y propuestas piloto en algunas ciudades y proyectos. La experiencia de esas ciudades sugiere establecer un número reducido de indicadores, para tratar de que sean operativos (López López, 2008).

Figura 1: Modelo teórico de la investigación



Fuente: elaboración propia.

Nota: En el modelo, un signo positivo de los indicadores muestra el aumento en el desarrollo, mientras que la reducción se identifica con un signo negativo.

Por otra parte, el análisis de las interacciones de los índices se lleva a cabo a través de las redes generadas por el índice gravitacional que éstos conforman utilizando la aplicación UCINET 6 para Windows, versión 6.572. Al respecto, se analizan la densidad y la centralización de las redes para evaluar la interacción de las ciudades estudiadas.

En el primer aspecto, se toma como base la *densidad de la red*, y numéricamente es una medida de cohesión que se refiere a la cantidad de observaciones en relación al conjunto de relaciones posibles de la red. Se presenta expresada como: $D = r / (100N)$, donde D = densidad; r = número

de vínculos establecidos entre los actores; N = número de vínculos totales que pudieran existir. Entre más alto es el valor de D , más compleja y más diversa es la región. Entre menos densidad, menos compleja es la región, lo que significa que posee más homogeneidad (menos diversidad) de sus características, elementos, etcétera.

La centralización de una red se refiere a las conexiones, da claridad sobre la dispersión y la interdependencia existentes en la red. En términos analíticos de una región, una mayor centralidad equivale a más control por parte de un nodo de la red y, por consiguiente, más dependencia del resto de sus elementos; en contraparte, una menor centralidad indica menos control y una menor dependencia de los elementos de la red.

Instrumentos de la información y la comprobación de hipótesis

Se seleccionaron indicadores de población y vivienda de los Censos y Conteos de la Población (INEGI 2000, 2005 y 2010). Como indicadores de desarrollo se tomó el índice de desarrollo humano (IDH) y el PIB per cápita (PNUD México, 2014). Asimismo se consideraron las estimaciones sobre el parque vehicular (Gobierno de Oaxaca, 2012a) y los residuos sólidos urbanos (Gobierno de Oaxaca, 2012a) generados en los catorce municipios del estado de Oaxaca en los que se encuentran asentadas las ciudades analizadas.

Para la comprobación de la hipótesis 1, se efectuó una correlación entre el valor del DH y el total de las emisiones de CO_2 de las ciudades durante el periodo 2000-2015. Para la hipótesis 2, se realizó una correlación entre el valor del índice de desarrollo sustentable y el índice de cambio climático de las ciudades para el mismo periodo. Las correlaciones serán válidas si:

$$\text{Corr. (DH-CO}_2) > 0.60$$

$$\text{Corr. (DS-CC) > 0.60}$$

y que además posean una significancia $\geq 90\%$.

La magnitud de la densidad y la centralidad de las redes se evalúa, en porcentaje, por la escala: 0 a 20 (muy baja), 21 a 40 (baja), 41 a 60 (media), 61 a 80 (alta) y 81 a 100 (muy alta).

Resultados

El contexto del desarrollo de las ciudades de Oaxaca

La evolución del desarrollo urbano-regional en México a partir de los años noventa muestra un periodo de urbanización orientado por la globalización y la necesidad de preservar la sustentabilidad ambiental. Para finales del siglo xx, la tasa de crecimiento de la población se acercaba al 2% anual, manifestando una tendencia a la estabilización del crecimiento poblacional.

Los cambios económicos, demográficos y urbano-regionales del país desde décadas atrás provocaron que México se caracterizara por la concentración de sus actividades económicas en algunas ciudades y la dispersión en el resto del territorio. En 1998, por ejemplo, el país tenía 115 ciudades con una población de 50 mil y más habitantes, que concentraban 46% de la población y el 95% del valor bruto de la producción industrial, comercial y de servicios del país, es decir, prácticamente toda la riqueza generada en México (Sobrino 2003: 456-459). En 2010, más de la mitad de la población habitaba en las 56 zonas metropolitanas, con un crecimiento urbano caracterizado por un uso expansivo y, en muchas ocasiones, insostenible del territorio. Las proyecciones indican que para el año 2050 el país contará con 20 ciudades con más de 1 millón de habitantes (ONU-Habitat, 2011).

La estructura territorial muestra un aumento de la concentración. A inicios del siglo XXI se ha consolidado un sistema donde gradualmente tiende a predominar la agrupación de la infraestructura y los servicios en unos cuantos polos y clústeres territoriales, destacando como tales las grandes aglomeraciones urbanas como las zonas metropolitanas, lo cual también se refleja en las ciudades de Oaxaca.

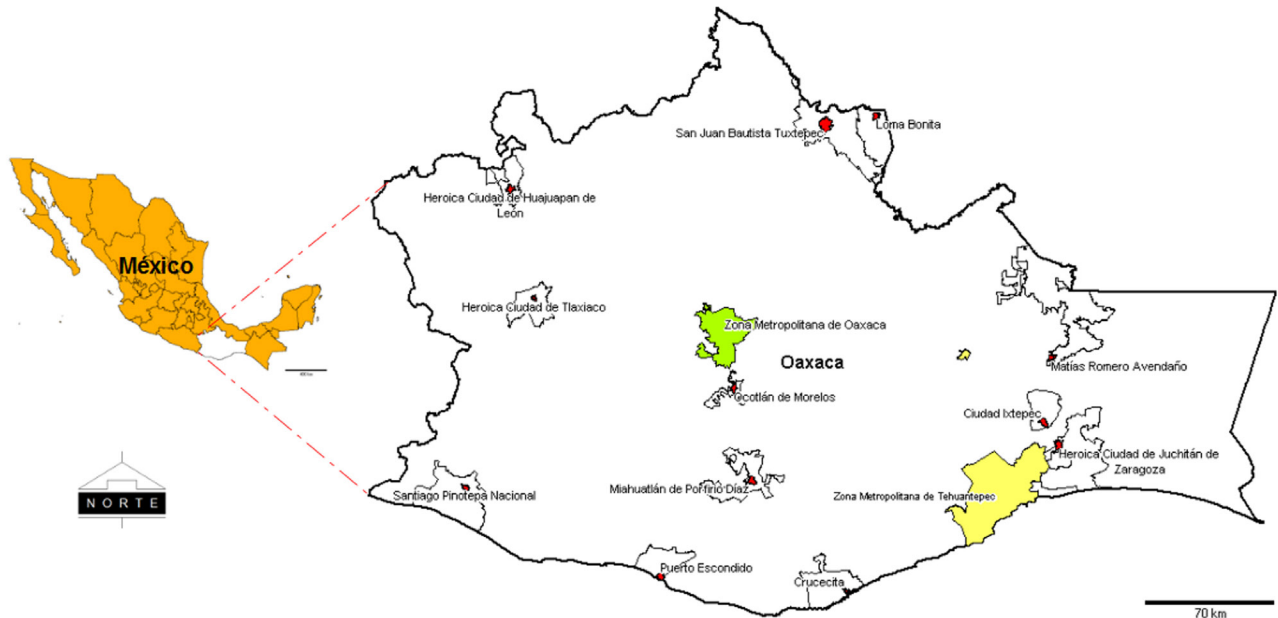
El estado de Oaxaca se compone de 570 municipios (ver Figura 2). Se localiza hacia el sur de México en las coordenadas 17° 0' latitud norte, 96° 47' longitud oeste, y a una altitud de 1 560 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con catorce ciudades con más de 15 mil habitantes, analizadas en el presente artículo (INEGI, 2010).

Las ciudades consideradas en el presente artículo son 1) Ixtepec, 2) Huajuapán, 3) Juchitán, 4) Loma Bonita, 5) Matías Romero, 6) Miahuatlán, 7) Ocotlán, 8) Tuxtepec, 9) Puerto Escondido, 10) Tlaxiaco, 11) La Crucecita Huatulco, 12) Pinotepa Nacional, 13) la Zona Metropolitana de Oaxaca (integrada por 22 municipios) y la 14) Zona Metropolitana de Tehuantepec (integrada por tres municipios) (Sedesol-Conapo-INEGI, 2012).

En las ciudades de Oaxaca, una proporción alta de población se concentra en localidades urbanas, ya que el 55.7% de sus habitantes vive en alguna ciudad y la tendencia será que la mayor parte de la población viva en espacios urbanos. Demográficamente, el conjunto de ciudades es muy desigual, pues fuera de los catorce centros urbanos considerados ciudades (localidades mayores a los 15 mil habitantes), predominan las pequeñas localidades (INEGI, 2010).

Oaxaca ocupa el segundo lugar en el país con mayor población rural. De acuerdo con los datos censales de 2010, 44.3% de la población vive en localidades rurales. En la entidad se tienen registradas más de 10 mil localidades rurales (menores a 2 500 habitantes) y 156 localidades mixtas (rurales-urbanas de 2 500 a 14 999 habitantes). La dispersión de las localidades es influida por la accidentada orografía, la difícil accesibilidad y los patrones históricos de ocupación territorial por parte de la población.

Figura 2: Ciudades de Oaxaca, México: ubicación geográfica



Fuente: elaboración propia a partir del Marco Geoestadístico de México 2013 (INEGI, 2013).

Por otra parte, Oaxaca presenta un nivel de urbanización en el cual más del 80% de sus 570 municipios se ubican en un rango de urbanización muy bajo, y menos del 15% entre alto y muy alto. Esto es producto de la marginación y el aislamiento, y refleja un nivel de desarrollo por debajo de la media nacional, con bajos niveles de productividad en comparación con los exigidos por la actividad económica actual, con una orografía que hace costosa la cobertura de infraestructura económica y social hacia las poblaciones más aisladas, y con reducido número de habitantes. De acuerdo con la distribución de las ciudades existen regiones del estado como la Cañada, Sierra Sur o la Sierra Norte donde no se detecta ninguna ciudad de jerarquía importante. Sólo las regiones de los Valles centrales y el Istmo cuentan con un sistema de ciudades articuladas hacia el interior de las mismas, y en menor medida hacia el resto de la entidad. Asimismo, esta situación impera en la región Costa, donde las ciudades ya presentan cierta articulación.

En las ciudades de Oaxaca, ya se identifican sectores vulnerables al cc. Por ejemplo, en el caso del recurso agua, se menciona que la entidad se encontrará con presión media (20-40%) del recurso para 2025 (INE, 2000), y podría presentarse escasez o déficit de aguas superficiales para satisfacer crecientes demandas de distintos distritos de riego. En el caso de las ciudades y localidades urbanas, se señala que existe un contexto de cambios socioeconómicos propios del crecimiento de la población, mismos que pueden exacerbar el cc (Aguilar, 1995). Las condiciones de vulnerabilidad

en las ciudades de Oaxaca están dadas por una alta concentración demográfica y de la actividad económica, así como por el aumento de vehículos automotores y los altos niveles de pobreza de la población.

Las ciudades de Oaxaca se comportan como un sistema disperso de lugares centrales que manifiestan una baja interacción entre ellas, existiendo la concentración del ingreso entre y al interior de las mismas. En la actualidad, existen tres ciudades que poseen más de 100 mil habitantes (es el caso de Tuxtepec, la Zona Metropolitana de Tehuantepec y la Zona Metropolitana de Oaxaca, siendo esta última la ciudad que mayor población posee). Dos ciudades (Juchitán y Huajuapán) cuentan con más de 50 mil habitantes. Las restantes nueve ciudades poseen al menos 15 mil habitantes. Por lo que respecta al incremento de la población, cuatro ciudades (Miahuatlán, Puerto Escondido, Tuxtepec y Huajuapán) poseen tasas superiores al 2%. Una ciudad (Matías Romero) es la única que manifestó una tasa de crecimiento poblacional negativa (-0.53%) durante el periodo 2000-2010 (INEGI, 2010).

Tres ciudades poseen un PIB per cápita por arriba de los \$15 mil dólares anuales (en orden descendente: Huajuapán, Tuxtepec e Ixtepec). Habitantes de siete ciudades ganan menos de esta cantidad, pero más de \$10 mil (la Zona Metropolitana de Oaxaca, Tuxtepec, Huatulco, Loma Bonita, Ocotlán, Matías Romero y la Zona Metropolitana de Tehuantepec). El resto de las cuatro ciudades posee un ingreso menor. Todas las ciudades poseen un nivel de desarrollo alto, con valores de un índice de desarrollo humano por encima de 0.80 (Conapo, 2012).

Comparando la tasa de la población con el crecimiento del desarrollo, sólo una ciudad (Loma Bonita) obtuvo una expansión de su desarrollo (con un valor de 0.60% superior al de la población). El resto de las trece ciudades mantuvieron un crecimiento inferior a este indicador. Esto no sucede cuando se toma en cuenta el crecimiento del ingreso (PIB per cápita), pues el promedio de la relación “ingreso menos población” es de 0.67% en las catorce ciudades, lo cual indica un desarrollo que induce una tendencia a la expansión de la economía de las ciudades, pero como este crecimiento no se refleja en un incremento del bienestar, favorece las desigualdades urbanas.

La emisión de las ciudades de Oaxaca

Con respecto a las emisiones de CO₂ por vivienda, una ciudad (la Zona Metropolitana de Oaxaca) es la que encabeza los niveles más altos, con un promedio de 180 576 toneladas por año. Con un nivel muy bajo se encuentra el resto de las trece ciudades. El promedio para el estado de Oaxaca es de 1 320 toneladas por año. El mayor crecimiento de la emisión de CO₂ en las viviendas ocurre en cuatro ciudades (Ocotlán, Pinotepa Nacional, Miahuatlán, y Huatulco), con tasas superiores a la media estatal (1.39%). Las diez ciudades restantes manifiestan una tasa inferior a este promedio.

En cuanto a las emisiones de CO_2 por parte de los vehículos de motor, una ciudad (la Zona Metropolitana de Oaxaca) es la que presenta los niveles más altos (146 434 toneladas). Las trece ciudades restantes se clasifican con un nivel muy bajo (emisión entre 4 520 y 23 009 toneladas). Una ciudad (Crucecita) encabeza las emisiones por habitante con un nivel muy alto (309 toneladas) y otra (la Zona Metropolitana de Oaxaca) le sigue con un nivel alto (246 toneladas). Las doce ciudades restantes poseen una baja emisión expidiendo menos de 51 toneladas. Una ciudad (Huatulco) posee una tasa de crecimiento muy alta (83%) de este tipo de emisiones. Con tasas bajas se encuentran tres ciudades (Tuxtepec, Puerto Escondido y Pinotepa Nacional) (entre 20 y 32%). Las diez ciudades restantes poseen tasas muy bajas (menos de 15%).

En la emisión de residuos sólidos, destaca una ciudad (Puerto Escondido), con un nivel de emisión muy alto (3 060 toneladas). Le sigue una ciudad (la Zona Metropolitana de Oaxaca) con un nivel alto (1 963 toneladas). Cuatro ciudades destacan con emisión media (Pinotepa, Ocotlán, Crucecita y Tuxtepec) (emisiones entre 1 413 y 1 803 toneladas). Las ocho restantes se clasifican de baja y muy baja emisión (menores a 1 550 toneladas). Una ciudad (Puerto Escondido) revela el crecimiento más alto de este tipo de emisiones (49.7%). Tres ciudades (la Zona Metropolitana de Tehuantepec, Huatulco y Tuxtepec) poseen un crecimiento mayor al 37%, y las diez ciudades restantes manifiestan un crecimiento menor al 11%, que es el promedio del estado de Oaxaca, pero estas tasas pueden considerarse muy altas en general.

Específicamente, durante el periodo analizado, en la emisión de CO_2 destaca una ciudad (la Zona Metropolitana de Oaxaca), con un nivel de emisión muy alto (350 712 toneladas promedio por año). Las demás trece ciudades muestran un nivel bajo y muy bajo (emiten menos de 137 481 toneladas promedio por año). El promedio del estado de Oaxaca indica emisiones menores a 69 299 toneladas por año. En este contexto, una ciudad (Puerto Escondido) crece a una tasa muy alta (17.7%). Cinco ciudades destacan con una emisión superior al 4.7% (Tuxtepec, Huajuapán, Miahuatlán, Pinotepa Nacional y Crucecita). Las otras ocho manifiestan tasas menores a este valor. El promedio de crecimiento del estado de Oaxaca es de 5.3% anual, que puede considerarse alto (Cuadro 1).

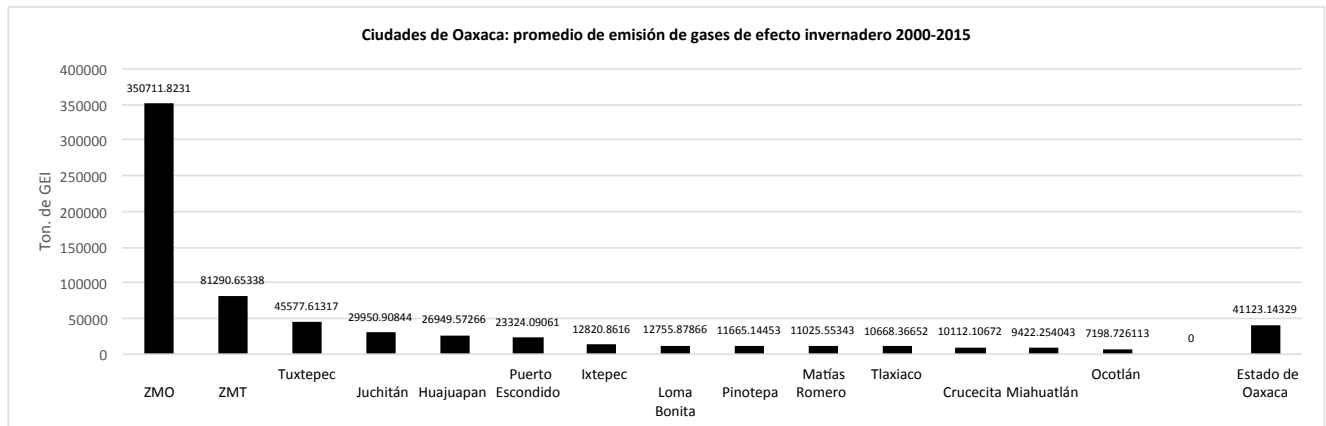
También se observa que en este periodo en el estado de Oaxaca, la emisión total de gases creció a una tasa de 4.29%, superior a la tasa de emisión de gases por persona que fue del 2.56%, ambas superiores a la tasa de crecimiento del desarrollo que es de 0.79% durante el periodo. La mayor emisión de CO_2 proviene de las viviendas, que aportaron el 57.14% del total, seguida de las emisiones de los autos (33.22%), y finalmente de las emisiones de los desechos sólidos (9.64%). Ahora bien, este último tipo de emisiones tiende a crecer más rápido (13.40%), seguida de las emisiones de los vehículos (7.66%). El menor crecimiento corresponde actualmente a las emisiones provenientes de las viviendas (2.32% anual). En todos los casos, el crecimiento de las emisiones puede considerarse alto.

Cuadro 1: Emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades de Oaxaca (ton)

	Ixtepec	Huajuapán	Juchitán	Loma Bonita	Matías Romero	Miahuatlán	Ocotlán	Tuxtepec	Puerto Escondido	Tlaxiaco	Crucecita	Pinotepa	Zona Metropolitana de Oaxaca (ZMO)	Zona Metropolitana de Tehuantepec (ZMT)	Estado de Oaxaca
2000	9535	16878	21369	10876	8876	5901	5203	35003	8275	6029	6839	7665	243828	58826	28343
2001	9876	17422	21977	11132	9124	6073	5299	35900	8577	6282	7060	7996	255814	60512	29513
2002	10245	18024	22635	11395	9381	6265	5400	36826	8983	6577	7300	8415	264885	63592	30599
2003	11580	18703	23349	11665	10080	6860	5507	39534	9532	6738	7860	8709	275693	68561	32290
2004	10920	19481	24126	11943	9989	6575	5782	38904	9458	6915	7892	8889	286544	69382	32972
2005	14104	21463	30386	12077	10493	7820	8140	43412	10303	8047	8364	9673	309738	72186	36105
2006	13528	25551	32114	12968	12307	7997	8442	48995	8201	6786	10816	13647	365113	83546	41368
2007	12102	21543	28666	12215	10761	8477	6525	43976	10599	8562	9301	14720	331747	76220	37959
2008	12238	22247	28761	12377	11090	8914	6805	45200	11204	8956	9599	10562	336068	76355	38250
2009	12516	24222	30375	12590	11375	9518	7111	46578	14567	10044	10163	10750	355332	78662	40388
2010	13468	30682	32880	13395	11276	11583	7876	49530	22903	12519	11446	12269	384358	85148	44593
2011	13888	31232	33628	13691	11582	11735	8083	50644	22923	12742	11830	12607	401503	89320	46249
2012	14406	34107	34987	13993	11946	12305	8351	51862	29899	14187	12390	13358	419764	94137	48901
2013	14970	37838	36456	14308	12327	12924	8628	53123	41592	16065	12993	14343	439410	100082	52186
2014	15586	42748	38048	14638	12729	13597	8915	54427	61355	18527	13644	15674	460565	107595	56427
2015	16171	49050	39458	14830	13072	14213	9114	55330	94815	21717	14297	17364	481026	116526	61828
Promedio	12821	26950	29951	12756	11026	9422	7199	45578	23324	10668	10112	11665	350712	81291	41123
Tasa de crecimiento 2000-2015	3.6	7.4	4.2	2.1	2.6	6.0	3.8	3.1	17.7	8.9	5.0	5.6	4.6	4.7	5.3

Fuente: elaboración propia con indicadores de población y vivienda de los Censos y Conteos de Población (INEGI, 2000, 2005 y 2010) y Gobierno de Oaxaca (2012a, 2012b).

Figura 3. Promedio de las emisiones de GEI en las ciudades de Oaxaca



Fuente: elaboración propia con indicadores de población y vivienda de los Censos y Conteos de la Población (INEGI, 2000, 2005 y 2010) y Gobierno de Oaxaca (2012a, 2012b).

Las tendencias del cambio climático en las ciudades de Oaxaca

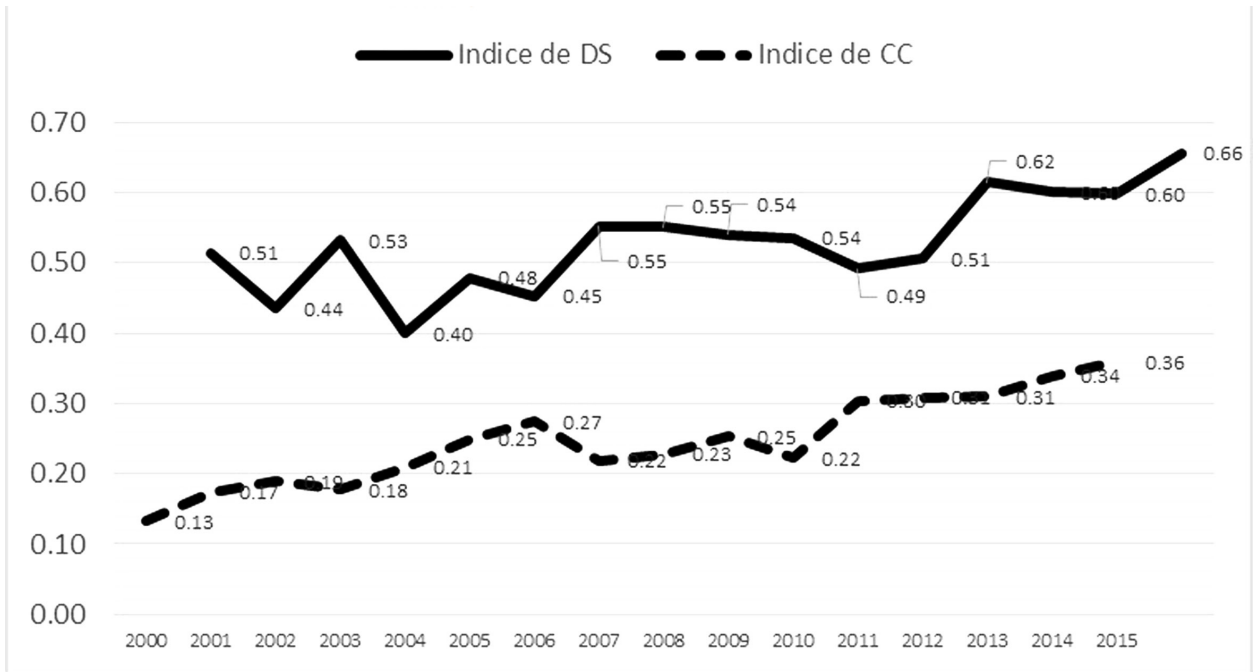
Durante el periodo 2000-2015 se observó un comportamiento creciente del DS y del CC en las ciudades de Oaxaca. La tasa de crecimiento del primero fue de 1.63% y del segundo, 6.92% (Figura 3), lo que destaca la tendencia al incremento del CC en la zona de estudio.

Este periodo también muestra una alta inestabilidad del índice de CC, cuantificada por la tasa de variación de la desviación estándar de los datos del índice respectivo (Figura 4), lo cual puede considerarse como una evidencia de la manifestación del cambio climático. En este contexto, la ciudad con más estabilidad climática resultó ser Puerto Escondido (0.56%); el resto de las ciudades poseen altas variaciones positivas o negativas de sus índices de CC; destacan las ciudades de Matías Romero (-213.55%) y Tlaxiaco (-212%), con variaciones muy altas.

La red establecida por las ciudades de Oaxaca en relación a la interacción entre su índice de CC y DS valorado a través del índice gravitacional respectivo (Figura 5), muestra una nula centralidad (0%) de la red, lo que indica que no existe dependencia entre las ciudades debido a la interacción DS-CC. De igual manera, la densidad (7.61%) señala una muy baja complejidad de la red, es decir, existe muy poca interacción entre el desarrollo y el cambio climático de las mismas ciudades, por lo que no se centraliza la generación de CC en una ciudad.

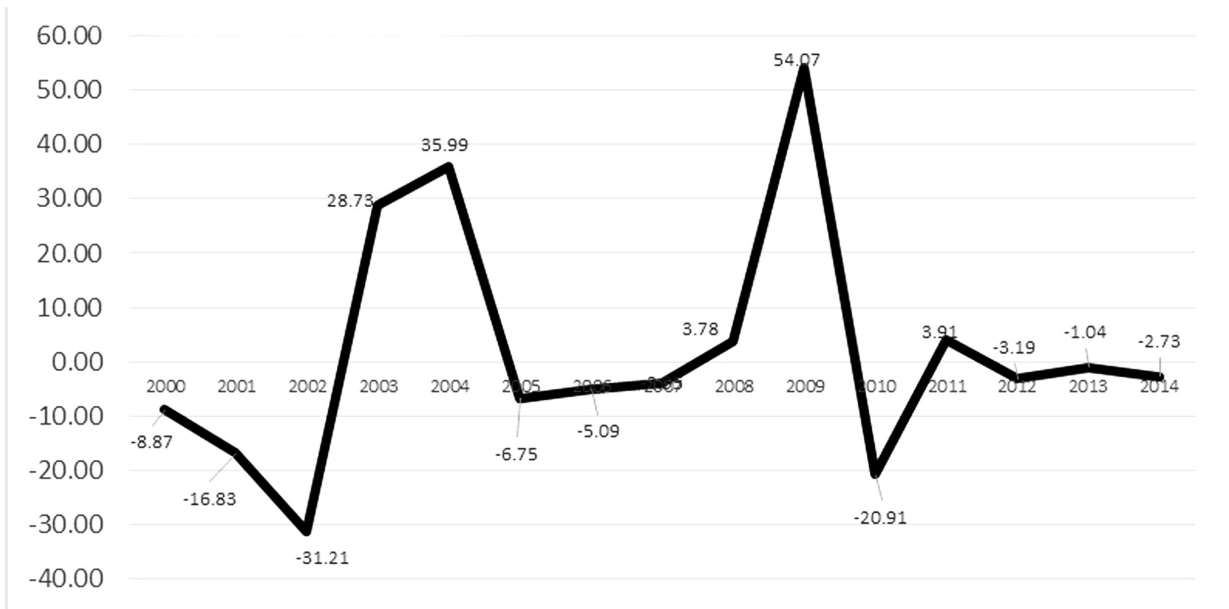
Lo anterior lo corrobora el hecho de que hay una baja correlación inversa entre el DS y el CC de las ciudades analizadas (-0.297%, con una baja significancia: 0.303), lo que indica que aún existe una baja sincronización entre el desarrollo y el cambio climático de las ciudades analizadas, pero bosquejando la tendencia a que entre más DS posean las ciudades, menor es el CC que tienden a manifestar.

Figura 4: Ciudades de Oaxaca: desarrollo sustentable y cambio climático



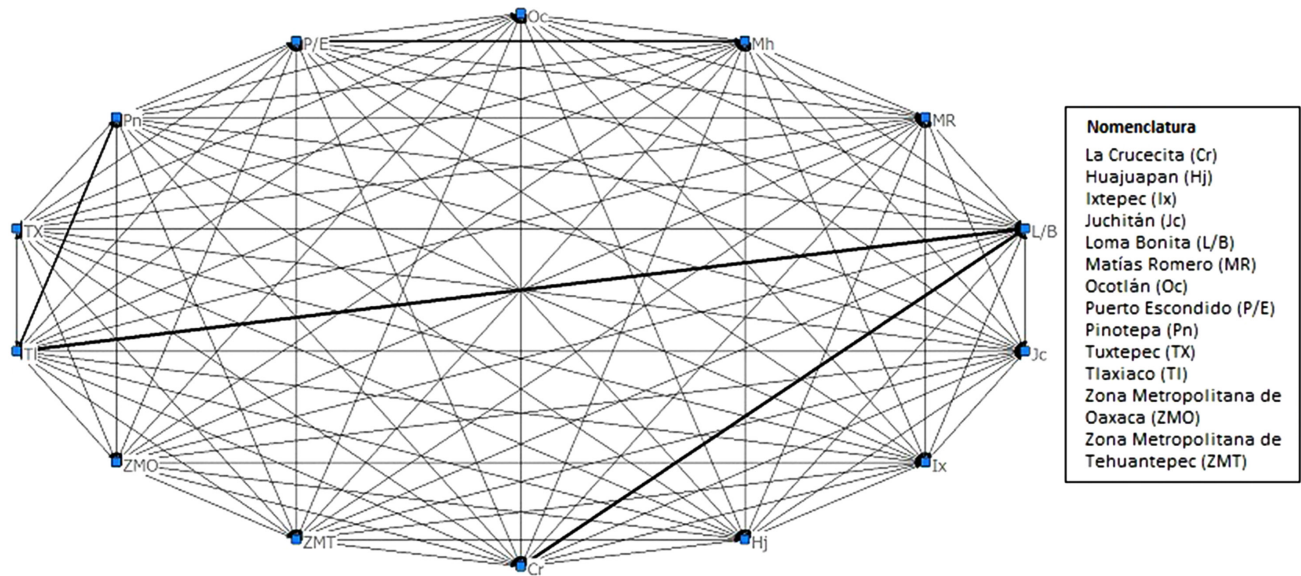
Fuente: elaboración propia con indicadores de población y vivienda de los Censos y Conteos de la Población (INEGI, 2000, 2005 y 2010), PNUD México (2014) y Gobierno de Oaxaca (2012a, 2012b).

Figura 5: Variación del índice de cambio climático en las ciudades de Oaxaca



Fuente: elaboración propia con indicadores de población y vivienda de los Censos y Conteos de la Población (INEGI 2000, 2005 y 2010), PNUD México (2014) y Gobierno de Oaxaca (2012a, 2012b).

Figura 6: La red de la relación IDS- CC de las ciudades de Oaxaca



Fuente: elaboración propia con la aplicación UCINET 6 para Windows, versión 6.572, elaborada con indicadores de población y vivienda de los Censos y Conteos de la Población (INEGI, 2000, 2005 y 2010), PNUD México (2014) y Gobierno de Oaxaca (2012a).

Discusión y conclusiones

Con base en lo analizado en el presente artículo, puede señalarse que en las ciudades de Oaxaca:

1. El volumen de las emisiones de las ciudades es inferior a la emisión promedio de México (alcanzan apenas el 13% de las correspondientes a nivel nacional), pero la cantidad de CO_2 está aumentando a tasas relativamente altas. En las mismas se manifiesta una tendencia a un alto crecimiento de emisión de GEI por habitante (destacan en particular Puerto Escondido, la Zona Metropolitana de Oaxaca y Huatulco), coincidentemente, las principales ciudades turísticas del estado de Oaxaca, pero en general, existe una tendencia al aumento de CC en las ciudades analizadas (a tasas anuales del 6.92%).
2. Durante el periodo 2000-2015 la mayor emisión de CO_2 provino de las viviendas, después de los vehículos, pero aumentan a tasas exponenciales las emisiones derivadas de los desechos sólidos.
3. Existe un comportamiento asociado entre la emisión de gases de efecto invernadero y el nivel de desarrollo de las mismas (el valor de la correlación entre el nivel de desarrollo medido por

el índice de desarrollo humano y la emisión total de gases es de 0.98, y con la emisión por habitante de 0.99 con una significancia del 99%), por lo cual se confirma el supuesto de que a mayor desarrollo existe una mayor emisión de CO_2 en las ciudades de Oaxaca. Pero también se corrobora, aunque incipientemente, que una mayor sustentabilidad, medida a través del índice de DS, puede amortiguar los efectos del CC en las ciudades.

El panorama anterior muestra que en las pequeñas y medianas ciudades, como las correspondientes al estado de Oaxaca, ya se observa una ligera sincronización entre el CC y el desarrollo, pues el crecimiento de la población ha estimulado el desarrollo, aunque a tasas inferiores al propio crecimiento de la población, lo cual genera un déficit de su bienestar y sustentabilidad. Esta dinámica está impulsando el CC a tasas aceleradas en las concentraciones territoriales, lo cual induce al incremento de la temperatura en las ciudades analizadas.

En relación a la bioculturalidad, hay que tomar en cuenta que el cambio climático se suma a la lista de factores que amenazan la existencia de la diversidad ecológica de las regiones, y que tiene un efecto pronunciado en aquellas especies endémicas. Por otra parte, también es importante considerar que las poblaciones indígenas resultan bastante afectadas debido a la gran dependencia que tienen del medio natural, porque este fenómeno agudiza sus dificultades y su vulnerabilidad.

Si se toma en cuenta que en el estado de Oaxaca se encuentra la mayor diversidad biocultural de México, y que ésta muestra una estrecha relación con la complejidad ecológica del territorio, cuantificada a su vez por el número de especies de plantas y animales conocidos en la entidad, el panorama anterior sugiere que antes de que el problema de las emisiones se agrave en las ciudades estudiadas, es necesario analizar a mayor profundidad el impacto que pueden ocasionar las ciudades en la biodiversidad de su entorno, así como reorientar las políticas territoriales hacia un desarrollo urbano-regional equilibrado, impulsando la sustentabilidad de las ciudades para amortiguar los efectos desfavorables del CC, especialmente en las ciudades turísticas del estado, particularmente la Zona Metropolitana de Oaxaca y Huatulco, en cuyos alrededores existen parques naturales protegidos.

Empero, en todas las ciudades se requiere equidad en los espacios territoriales carentes de servicios e infraestructura; pero también se recomienda tener más espacios verdes, control del tráfico, adecuado tratamiento de los desechos sólidos, así como manejo sustentable del agua para asegurar la protección de la biodiversidad y de la bioculturalidad en el área de influencia de las ciudades.

Agradecimientos

Se agradece infinitamente a todas aquellas personas que participaron de diversas formas en la elaboración de esta investigación, en especial a los doctores Blasa Celerina Cruz Cabrera, Rafael G. Reyes Morales, Julio César Torres Valdez, Carlos Espinoza Nájera, Víctor Orlando Magaña Rueda, Jaime Melchor Aguilar y Néstor Solís, por su apoyo académico, críticas, observaciones y sugerencias. A las siguientes instituciones y programas, por el apoyo económico brindado: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca y al Programa para el Desarrollo Profesional Docente.

Referencias

- Aguilar, Adrián Guillermo (1995). "El cambio climático global y la vulnerabilidad de asentamientos humanos en México ante el cambio climático". En *Memorias del Primer Taller de Estudio de País: México. México ante el cambio climático, 18 al 22 de abril de 1994*. Cuernavaca, Morelos, México: INE/ U.S. Country Studies Program Support for Climate Change Studies/UNAM, pp. 203-211.
- Arellano, Blanca y Roca, Josep (noviembre de 2015). "Planificación Urbana y Cambio Climático". International Conference on Regional Science: Innovation and Geographical Spillovers: New Approaches and Evidence. Conferencia llevada a cabo en Tarragona, España.
- Burgui, Mario (2008). "Medio ambiente y calidad de vida". *Cuadernos de Bioética*, 19(2), pp. 293-317.
- Casado, Ignacio. (2010). Apuntes sobre el origen y la historia de la ciudad. Contribuciones a las Ciencias Sociales. Recuperado de www.eumed.net/rev/cccss/07/icg2.htm
- CMNUCC (1992). "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", Artículo 1, Definiciones. Recuperado de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Conapo (2012). *Proyecciones de la población en México 2005-2010*. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_de_la_poblacion_de_Mexico_2005-2050
- Cruz, Ignacio César (2016). "Emisiones de CO₂ en hogares urbanos. El caso del Distrito Federal". *Revista Estudios Demográficos Urbanos*, 31(1), pp. 115-142.
- De Ávila, Alejandro (2008). "Diversidad cultural y diversidad biológica en Oaxaca". En *Capital Natural de México*. México: Conabio, pp. 565-573.
- Delgado, Gian Carlo; De Luca, Ana, y Vázquez Verónica (2015). *Adaptación y mitigación urbana del cambio climático en México*. Recuperado de <http://computo.ceiich.unam.mx/webceiich/docs/libro/Adaptacion-web1.pdf>
- García, Abisaí; Ordoñez, María de Jesús, y Briones, Miguel (2004). *Biodiversidad de Oaxaca*. México: UNAM.

- Gobierno de Oaxaca (2012a). *Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación: Secretaría de Finanzas del Gobierno del Estado*. Oaxaca, México: Gobierno del Estado de Oaxaca.
- Gobierno de Oaxaca (2012b). *Volumen de residuos sólidos urbanos*. Oaxaca, México: Instituto Estatal de Ecología y Desarrollo Sustentable/Dirección de Protección del Medio Ambiente/Departamento de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial.
- Hernández, Carlos (2007). *Un vitruvio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible*. Barcelona: Gustavo Gili.
- INE (2000). “El cambio climático en México”. *Información por Estado y por Sector. Oaxaca*. Instituto Nacional de Ecología. Recuperado de http://www2.inecc.gob.mx/climatico/edo_sector/estados/vulne_oaxaca.html
- INEGI (2000). *Censo General de Población y Vivienda 2000: Principales resultados por localidad. Sistema de Integración Territorial (ITER 2000)*. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2000.aspx?c=27437&s=est
- INEGI (2005). *II Conteo de Población y Vivienda 2005: Principales resultados por localidad. Sistema de Integración Territorial (ITER 2005)*. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2005/Pub_Y_Prod/default.aspx?t=16632
- INEGI (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010. Tabulados del Cuestionario Básico*. Recuperado de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/Defaul.aspx?c=27302&s=est>
- INEGI (2010a). *Compendio de criterios y especificaciones técnicas para la generación de datos e información de carácter fundamental*. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/SCP/doc/INTER-NET/16-%20marco_geoestadistico_nacional.pdf
- INEGI (2013). *Marco Geoestadístico Nacional*. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx
- Iracheta, Alfonso (2013). “Cambio climático: Una mirada desde las ciudades”. Foro: Reforma Urbana y Cambio Climático. Ciudad de México: El Colegio Mexiquense/Centro Eure.
- López López, Víctor Manuel (2008). *Sustentabilidad y desarrollo sustentable. Origen, precisiones conceptuales y metodología operativa*. México: Trillas.
- Miguel Velasco, Andrés Enrique; Maldonado Cruz, Pedro; Torres Valdez, Julio César, y Solís Giménez, Néstor (2008). *Aportes de la ciencia regional al estudio del cambio climático en el contexto de las regiones de México*. Oaxaca, México: Instituto Tecnológico de Oaxaca.
- OECD (1993). *Organization for Economic Cooperation and Development Core Set of Indicators Environmental Performance Reviews*. París: Environment.
- ONU-Habitat (2011). *Estado de las ciudades de México 2011*. México: Gobierno Federal-Sedesol.
- ONU-Habitat (2011a). *Informe Mundial sobre Asentamientos Humanos 2011. Las Ciudades y el Cambio Climático: Orientaciones para Políticas*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Río de Janeiro, Brasil: Acerto.
- PNUD México (2014). *Índices de Desarrollo Humano: 2000, 2005 y 2010. Cálculos de la Oficina de Investigación en Desarrollo Humano (OIDH)*. México: PNUD México.

- Rogers, Richard y Gumuchdjian, Philip (2001). *Ciudades para un pequeño planeta*. Barcelona, España: Gustavo Gili.
- Sánchez, Crispín Álvaro (2008). *Conocimientos fundamentales de geografía*. México: UNAM/McGraw-Hill. Recuperado de <http://www.conocimientosfundamentales.unam.mx/vol2/geografia/grals/pre.html>
- Sánchez, Roberto (2013). “El cambio climático y las áreas urbanas de América Latina: a manera de introducción”. En Roberto Sánchez, *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. Santiago de Chile: Naciones Unidas/Cepal.
- Sedesol-Conapo-INEGI (2012). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010*. México: Secretaría de Desarrollo Social/Consejo Nacional de Población/Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Seto, Karen; Dhakal, Shobhakar; Bigio, Anthony; Blanco, Hilda; Delgado, Gian Carlo; Dewar, David; Huang, Luxing; Inaba, Atsushi; Kansal, Arun; Lwasa, Shuaib; McMahon, James; Müller, Daniel; Murakami, Jin; Nagendra, Harini, y Anu, Ramaswami. (2014). “Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning”. En O. Edenhofer et al. (eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge y Nueva York: Cambridge University Press, pp. 923-1000
- Sobrino, Jaime (2003). *Competitividad de las ciudades en México*. México: El Colegio de México.
- UNAM (2004). Presentación: Proyecto Adaptación al Cambio Climático en Hermosillo, Sonora. Hermosillo: Stratus Consulting/USEPA/INE/UNAM/El Colegio de Sonora.
- University of Illinois (2006). *Urban Land Use Planning*. Illinois: University of Illinois.

Recibido: 31 enero 2017

Aceptado: 7 julio 2017

Editora asociada: Dolores Molina Rosales