

ESCENARIOS DE BIOCLIMA HUMANO EN LA MEGALÓPOLIS DEL CENTRO DE MÉXICO ANTE CAMBIO CLIMÁTICO

Elda LUYANDO LÓPEZ¹, Adalberto TEJEDA MARTÍNEZ²,

¹ *Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México.*
ellu.atmosfera@gmail.com

² *Licenciatura en Ciencias Atmosféricas, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México.*
atejeda@uv.mx

RESUMEN

Se presentan escenarios de bioclima humano para cinco ciudades del centro de México (Ciudad de México, Pachuca, Puebla, Cuernavaca y Toluca) cuya dinámica y crecimiento darán origen a la formación de una megalópolis a mediados del siglo XXI. Todas las ciudades rebasan los 2200 metros de altitud y actualmente se consideran de clima fresco y agradable la mayor parte del año, a excepción de Cuernavaca cuya menor altura (1600 msnm) favorece un clima entre tibio y cálido. Se estimarán futuras modificaciones en el bioclima, no sólo ante cambio climático, sino ante el incremento de temperatura por la *isla de calor*.

Palabras clave: Megalópolis, cambio climático, isla de calor, bioclima, Índice de Temperatura Efectiva, México.

ABSTRACT

Bioclimatic conditions scenarios have been assessed using the resultant temperature index for five cities (Mexico City, Pachuca, Puebla, Cuernavaca and Toluca) located in the highlands of central Mexico with tropical climate tempered by altitude (2200 m above sea-level, except for Cuernavaca at 1600 masl), which in half century will be a megalopolis. In recent times there has been a growing interest in climate change scenarios and the urban heat island. This approach shows this double effect in bioclimatic conditions for the selected cities.

Key words: Megalopolis, climate change, heat island, bioclimatic conditions, Effective Temperature Index, Mexico.

1. INTRODUCCIÓN

A mediados de esta década la población mundial pasó a ser mayoritariamente urbana en un sistema económico que favorece la migración a las ciudades, que en países en vías de desarrollo crecen sin los planes ni las condiciones necesarias que las libre del caos en que se ve inmersa su población. Estas ciudades, muchas de ellas grandes urbes con millones de habitantes, son de alto riesgo por concentrar, en espacios relativamente pequeños, población, infraestructura, bienes, servicios etc. Independientemente de la complejidad y dificultades que esto implica son, para todo fin práctico, lugares cómodos y de elevado valor económico. Ahí

radican las preferencias por parte de la población en su búsqueda de mejores condiciones para vivir. Pero esta situación conlleva a otras dificultades que tienen que ver con el peligro derivado de tener tal concentración de bienes en un espacio limitado. Los efectos de una naturaleza en constante movimiento, que se muestra en sismos, erupciones volcánicas y toda clase de eventos de origen hidrometeorológico, pueden desembocar en la ocurrencia de catástrofes, si esta manifestación ocurre en sitios densamente poblados.

Pero las ciudades no sólo están sujetas a estos eventos de mayor escala, ellas mismas en su proceso de urbanización han creado nuevas superficies al recubrir suelos naturales o agrícolas con materiales más densos e impermeables que poseen una mayor capacidad de almacenar calor. Esta modificación da origen a la *isla de calor*: la energía neta retenida por la interfaz superficie/atmósfera se gasta en mayor proporción como calor sensible turbulento que como calor latente de evaporación (TEJEDA-MARTÍNEZ *et al* 2010), esto es, la energía se gasta principalmente en calentar el aire en vez de en evaporar agua, como sucede en las zonas rurales. La *isla de calor* -entendida como la diferencia de temperatura ambiente entre la ciudad y sus alrededores- se presenta en situaciones de aire en calma y cielos despejados, condiciones que en las ciudades mexicanas se producen generalmente durante las madrugadas de la época invernal. Su intensidad será mayor tanto mayor sea el área urbana y la población que contiene (JÁUREGUI y TEJEDA, 2004).

Las ciudad de México, principalmente, junto con las ciudades que la circundan (Pachuca, Puebla, Cuernavaca y Toluca) han crecido en extensión y población en las últimas décadas, crecimiento que continuará hasta que se alcance la estabilidad demográfica. Para entonces, la cercanía e interrelación entre ellas habrá formado lo que se puede llamar una megalópolis, o bien lo que se puede denominar la *corona regional de la ciudad de México* (DELGADO *et al*, 1999). En el escenario actual, estas ciudades y su crecimiento han originado modificaciones en el medio, entre ellas el aumento de temperatura debido a la urbanización. Si a este incremento en la temperatura se le agrega el esperado por efecto del cambio climático, entonces esta megalópolis sufrirá un efecto combinado, que se verá reflejado posiblemente, en una mayor incomodidad por calor y en una afectación a la salud de sus habitantes.

Es a través de un índice bioclimático sencillo (el de Temperatura Efectiva de MISSENARD, 1937) que se pretende evaluar el bioclima del área de estudio, es decir, en qué condiciones se encuentra y se encontrará a mediados del siglo XXI el bienestar o confort térmico debido al calentamiento originado por la ciudad misma así como por el cambio climático, que se estimará a través de las salidas del modelo de circulación ECHAM para la década del 2050 por ser el modelo que mostró los resultados más extremos en los escenarios A2 y B2.

2. LAS CIUDADES DEL CENTRO DE MÉXICO

La ciudad de México y las metrópolis que la rodean (Tabla 1) se encuentran localizadas en la región tropical, formando parte de la mesa central de la República Mexicana, a varios cientos de kilómetros de las costas de los océanos Pacífico y Atlántico. Poseen un clima subhúmedo tropical atemperado por la altura, modificación que es menos clara en la ciudad de Cuernavaca dada su menor altitud. Existen dos estaciones predominantes durante el año: el semestre seco (noviembre-abril) caracterizado por la presencia de situación de anticiclón (cielos despejados y aire en calma) con temperaturas más elevadas y ocasionales ondas de calor durante los meses de abril y mayo, y una estación húmeda (mayo-octubre) con precipitaciones máximas durante los meses de julio y agosto (JÁUREGUI, 2009).

| Zona metropolitana (incluye municipios conurbados) | Población 2005 en millones de habitantes | Latitud norte | Longitud oeste | Altitud msnm |
|--|--|---------------|----------------|--------------|
| Ciudad de México | 19,2 | 19,40 | 99,17 | 2309 |
| Puebla | 2,5 | 19,00 | 98,17 | 2187 |
| Toluca | 1,6 | 19,29 | 99,65 | 2720 |
| Pachuca | 0,8 | 20,13 | 98,75 | 2425 |
| Cuernavaca | 0,8 | 18,88 | 99,23 | 1618 |

Tabla 1: LOCALIZACIÓN Y POBLACIÓN (INEGI 2005) DE LAS ZONAS METROPOLITANAS ESTUDIADAS.

El crecimiento acelerado de población en el país desde mediados del siglo XX es claramente observable en la dinámica que sufrieron las ciudades grandes, sobre todo aquellas localizadas en la parte central del territorio. En México la mayoría de la población urbana (el 67% en el 2000) ha preferido ubicarse en altitudes mayores a los 1000m (GUTIÉRREZ y GONZÁLEZ, 2007). Si bien el proceso histórico de la nación explica gran parte de esta concentración, se debe también tomar en cuenta la ubicación intertropical del país y los beneficios bioclimáticos que implica la altitud en latitudes bajas. La ciudad de México ha sido un polo de atracción muy importante para los movimientos migratorios internos del campo hacia las ciudades, y las ciudades que rodean a la ciudad de México han sido las principales receptoras de la migración capitalina en la búsqueda de una mejor calidad de vida, pero sin alejarse demasiado de la gran metrópoli. Toluca, Pachuca y Cuernavaca han registrado altos crecimientos demográficos (alrededor del 3.5% anual), no sólo debido a los emigrantes de la ciudad de México, sino también al asentamiento de múltiples industrias. Debido a los fuertes vínculos que mantienen con la capital del país, se afirma que este conjunto de áreas urbanas tiende a la consolidación de una vasta megalópolis en el centro de México (GUTIÉRREZ y GONZÁLEZ, 2007).

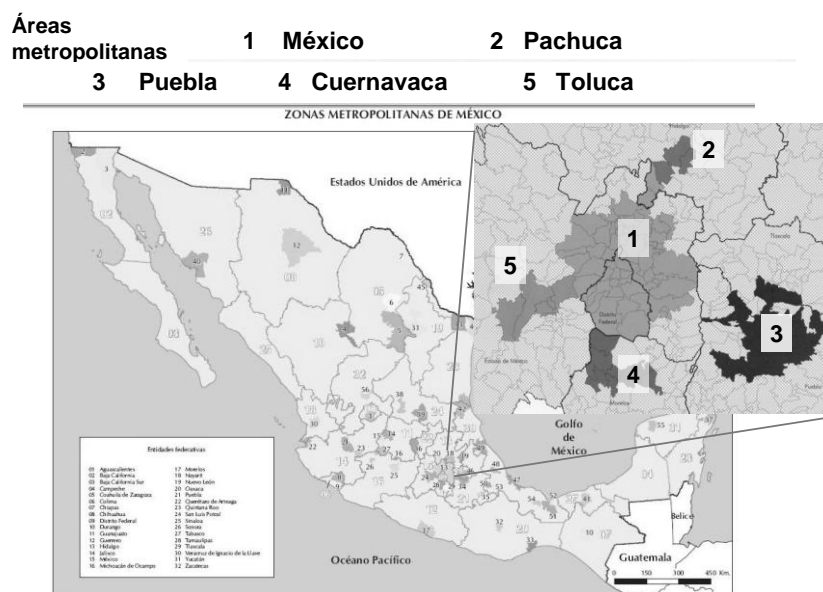


Figura 1. Zonas metropolitanas de estudio. Fuente: modificado de Marco Geoestadístico Nacional actualizado al II Censo de población y vivienda 2005.

3. ISLA URBANA DE CALOR Y CAMBIO CLIMÁTICO

Entendiendo que la isla de calor (IC) es la diferencia de temperatura ambiente entre la ciudad y sus alrededores, y que su intensidad será mayor tanto mayor sea el área urbana y la población que contiene, se optó por estimar la intensidad máxima (en °C) a partir de la ecuación siguiente (JÁUREGUI y TEJEDA, 2004)

$$I_{Cm\acute{a}xima} = 2 \log_{10} P - 8 \quad (\text{Ec. 1}),$$

donde P es el número de habitantes.

A través de este método se obtuvo la IC máxima para cada una de las cinco ciudades de la Tabla 1 con información poblacional del año 2030. Si se considera que el valor derivado de la ecuación 1 es el máximo esperado, para este trabajo dicho valor se dividió entre cuatro, para así estimar un promedio en el espacio y en el tiempo (TEJEDA-MARTÍNEZ *et al*, 2010). Los promedios de incrementos térmicos por isla de calor así estimados fueron mantenidos invariantes a partir de la década del 2030, considerando que a partir de entonces se alcanzará la estabilidad demográfica (RODRÍGUEZ *et al*, 2004). Este resultado se sumó a los incrementos de temperatura media para el calentamiento generados al aplicar el modelo de circulación ECHAM para la década 2030 en los escenarios A2 y B2 (CONDE *et al*, 2008).

| Zonas metropolitanas | Población al año 2030 en millones de habitantes (CONAPO, 2009) | Por isla de calor media, según población 2030 |
|----------------------|--|---|
| Ciudad de México | 22,1 | 1,7 |
| Puebla | 4,0 | 1,3 |
| Toluca | 3,0 | 1,2 |
| Pachuca | 1,5 | 1,1 |
| Cuernavaca | 1,0 | 1,0 |

Tabla 2: POBLACIÓN (MILLONES DE HABITANTES), INCREMENTOS TÉRMICOS PROMEDIO POR ISLA DE CALOR EN°C ESTIMADOS EN LA DÉCADA DE 2030 PARA LAS CIUDADES DEL CENTRO DE MÉXICO.

4. EL BIOCLIMA

Mediante un índice bioclimático se estimaron las condiciones de confort humano para las cinco ciudades del centro del país de las condiciones medias para los años 1981-2000 (escenario base) y las condiciones medias para el año 2050 con el modelo de circulación ECHAM y los escenarios A2 y B2. El índice utilizado para evaluar el confort es el de Temperatura Efectiva de MISSENARD (1937) cuya vigencia, a pesar de su antigüedad, lo convierte en un índice bioclimático clásico y que representa a la temperatura del aire en calma que experimentaría un sujeto sedentario, sano, a la sombra, vestido con ropa de trabajo, si la

humedad relativa fuera del 100% (TEJEDA-MARTÍNEZ *et al*, 2010). Su expresión matemática es:

$$TE = T_a - 0.4(T_a - 10)(1 - HR/100) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde T_a es la temperatura del aire en grados centígrados y HR la humedad relativa en porcentaje. Se eligió este método debido a la accesibilidad limitada de datos sobre todo a futuro, siendo un índice sencillo que representa sensaciones bioclimáticas suficientemente claras (TEJEDA y RIVAS, 2001).

Para las evaluaciones de confort se hizo necesaria la obtención de datos horarios medios mensuales para los escenarios a futuro, datos que fueron estimados a partir de medias mensuales de temperaturas extremas siguiendo el procedimiento propuesto por TEJEDA (1991) y TEJEDA y RIVAS (2001):

$$T_{hor} = T_{min} + (at^b e^{ct})(T_{max} - T_{min}) \quad (3)$$

$$HR_{hor} = HR_{min} + (1 - at^b e^{ct})(HR_{max} - HR_{min}) \quad (4)$$

donde HR_{hor} es la humedad relativa horaria promedio mensual, $a=0.096$, $b=2.422$, $c=-0.339$, t es la hora del día a partir del amanecer, T_{max} , T_{min} , HR_{max} y HR_{min} , son los promedios mensuales 1981-2000 de temperaturas máxima y mínima, y de humedades relativas máxima y mínima.

A los valores horarios medios mensuales del escenario base 1981-2000, se les sumaron los incrementos de las salidas del escenario para el 2050 del modelo ECHAM (CONDE *et. al* 2008), más el resultado de la isla de calor máxima dividida entre cuatro, por los argumentos que se mencionaron anteriormente. Esos fueron los datos de entrada usados para la estimación de la temperatura efectiva bajo condiciones de cambio climático (global más urbano).

Es necesario considerar la temperatura neutra o de confort que es la preferida por los habitantes aclimatados a determinadas condiciones. Para este trabajo se aplicó el modelo de AULICIEMS y DE DEAR (1986):

$$T_n = 17.6 + 0.31T_{em} \quad (5)$$

donde T_n es la temperatura neutra y T_{em} es la temperatura media mensual. Después de la obtención de la temperatura neutra para cada sitio, se procedió a calcular los intervalos de confort alrededor de la temperatura neutra por lo que se optó por tomar el enfoque propuesto por AULICIEMS y SZOKOLAY (1997) donde proponen que $\pm 1.75^\circ\text{C}$ cuando el periodo es mensual o menor y de $\pm 2^\circ$ para periodos anuales en el periodo de adaptación, de modo que los límites superior e inferior de intervalo de temperatura de confort son:

$$T_{n_{superior}} = 19.6 + 0.31T_{em} \quad (6)$$

$$T_{n_{inferior}} = 15.6 + 0.31T_{em} \quad (7)$$

Sustituyendo el valor de la temperatura media mensual por la temperatura neutra inferior y superior en la ecuación 2 y un valor de 50% para la humedad relativa, se obtienen los valores de temperatura efectiva para el intervalo de confort de cada mes para cada zona metropolitana.

Se elaboraron climogramas bioclimáticos para las cinco ciudades que conforman la corona regional cuyos resultados se resumen, por cuestión espacio, en las Tablas 3 y 4

Tomando el escenario base como el periodo de comparación que representa el estado actual del clima, los climogramas a futuro (del 2050 con el modelo de circulación ECHAM escenario A2 por ser el que registra las condiciones más extremas) han mostrado tendencias al calentamiento en las sensaciones térmicas bajo los efectos del cambio climático global y además por efecto del crecimiento mismo de las ciudades. Las condiciones bioclimáticas de cada una de las ciudades se encuentran en forma resumida en las Tablas 3 (escenario base) y 4 (2050 modelo ECHAM escenario A2) La escala de sensaciones se estableció mediante intervalos de 4°C por arriba y por abajo del neutro.

| Zona metropolitana | Frío | Fresco | Neutro | Cálido | Muy cálido |
|--------------------|------|--------|--------|--------|------------|
| Cd. de México | 4 | 51 | 29 | 16 | 0 |
| Puebla | 9 | 47 | 27 | 17 | 0 |
| Toluca | 27 | 44 | 25 | 5 | 0 |
| Pachuca | 33 | 63 | 4 | 0 | 0 |
| Cuernavaca | 0 | 42 | 24 | 28 | 6 |

Tabla 3. PORCENTAJE DE HORAS ANUALES BAJO DISTINTAS SITUACIONES DE CONFORT PARA LAS CIUDADES DEL CENTRO DE MÉXICO, ESCENARIO BASE 1981-2000.

| Zona metropolitana | Frío | Fresco | Neutro | Cálido | Muy cálido |
|--------------------|------|--------|--------|--------|------------|
| Cd. de México | 0 | 36 | 32 | 28 | 4 |
| Puebla | 1 | 39 | 28 | 26 | 6 |
| Toluca | 10 | 49 | 26 | 15 | 0 |
| Pachuca | 23 | 52 | 23 | 2 | 0 |
| Cuernavaca | 0 | 5 | 27 | 33 | 34 |

Tabla 4: PORCENTAJE DE HORAS ANUALES BAJO DISTINTAS SITUACIONES DE CONFORT PARA LAS CIUDADES DEL CENTRO DE MÉXICO PARA LA DÉCADA DEL 2050, SEGÚN EL MODELO ECHAM (ESCENARIO A2).

Cuatro de las cinco metrópolis se consideran en la actualidad como lugares de clima fresco con sólo una corta temporada de sensaciones cálidas. Cuernavaca, como se mencionó anteriormente, por la altitud a la que se encuentra, presenta esas condiciones cálidas en el escenario base la mayor parte del año.

La zona metropolitana de la ciudad de México perderá su status de fresca y confortable para ser confortable y más cálida en el verano en el escenario futuro (Tabla 4). Sin embargo, una disminución de las horas frías por una neutralidad térmica en invierno contribuirá a hacer una urbe más cómoda. Durante el verano y a horas más tempranas que en la actualidad, la

situación del escenario futuro muestra una situación sensiblemente más calurosa sin llegar, aparentemente, a la pesadez o al agobio.

La zona metropolitana de Pachuca será la ciudad donde se mantendrá, desde el escenario base, la sensación térmica de “frío” por las madrugadas en invierno. Para el 2050 se alcanzarán al mediodía de mayo algunas horas de “cálido”. Se puede decir que en el aspecto bioclimático, esta ciudad se verá beneficiada por el cambio climático, no así a los efectos indirectos de la compleja situación que enfrentarán las ciudades alejadas de las costas.

Para la zona metropolitana de Puebla, la sensación térmica correspondiente a “cálido” que abarcaba sólo unas horas a medio día de abril y mayo, se extiende hasta alcanzar incluso algunas horas de muy cálido en el 2050. La sensación de frío prácticamente desaparece.

Según los resultados obtenidos, la zona metropolitana de Toluca será la única con población mayor a un millón de habitantes donde el calentamiento global tendrá un efecto beneficioso en cuanto a la situación de comodidad que el clima pueda brindar. Las mañanas muy frías en la temporada invernal tenderán a desaparecer y el ambiente será más confortable, incluso en las horas de medio día en verano, donde la sensación cálida será más duradera.

La zona metropolitana de Cuernavaca, en el estado de Morelos, conocida como la ciudad de la eterna primavera, difiere de las cuatro zonas anteriores debido a las condiciones climáticas que la menor altitud le confiere. Las condiciones cálidas que prevalecen la mayor parte del año pasarán a ser muy cálidas en incluso será cálido pesado en algunos meses al medio día. La sensación de fresco tiende a desaparecer. No será ya una eterna primavera, sino un verano largo e incómodo.

5. CONCLUSIONES

Estas zonas metropolitanas, de las cuales tres (ciudad de México, Toluca y Puebla) pertenecen a la categoría de ciudades grandes por poseer más de un millón de habitantes, se verán involucradas en los efectos del cambio climático aunque sin enfrentar la problemática de los sitios costeros, cuyo futuro es incierto ante la falta de medidas de mitigación. Si bien las condiciones bioclimáticas no orillarán a la población a situaciones extremas por calor, el incremento de la temperatura por efecto del calentamiento global más el calentamiento urbano, aumentarán no solo la incomodidad de sus habitantes, sino que podrá ser un factor que incida en la intensificación de algunos problemas de salud.

Otra situación compleja a la que se verá sometida la megalópolis ante el aumento de la temperatura, será la demanda cada vez mayor de agua. Tan sólo en la Cuenca de México, sitio donde se encuentra asentada la zona metropolitana de la ciudad de México, de ser un sistema lacustre autosuficiente pasó a ser dependiente de cuencas externas. La relación entre la magnitud de la población y el volumen de agua disponible se rebasó en los años sesenta, pues su demanda continuó ligada inexorablemente al crecimiento poblacional (MAZARI-HIRIART y NOYOLA, 2000).

Otro factor a considerar será el consumo de energía eléctrica, que aunque en algunos casos el calentamiento aparenta ser benéfico para aquellas ciudades de clima muy fresco (Toluca y Pachuca) o bien con inviernos muy fríos en donde posiblemente la energía necesaria para calentar disminuirá su demanda, en algunas de ellas los nuevos veranos más cálidos implicarán el uso de sistemas de climatización para enfriar, y en la ciudad de Cuernavaca esta

tendencia será más marcada todavía. Un trabajo más extenso acerca de estas demandas en escenarios futuros se realizó en trabajos anteriores (TEJEDA-MARTÍNEZ et al, 2010) donde un procedimiento más elaborado conduce a la obtención de *horas frío* y *horas calor* para varias ciudades de México, y que no ha podido desarrollarse en el presente resumen.

Se ha mostrado una metodología práctica para la generación de escenarios bioclimáticos urbanos ante condiciones de cambio climático, considerando los incrementos térmicos esperados por el calentamiento global y los inducidos por la urbanización. El calentamiento urbano estimado a partir del escenario base (1980-2000) y hacia el primer cuarto de siglo va de 1.0 °C a 1.7°C, dependiendo del tamaño de la zona urbana. Es decir, que es equiparable al calentamiento global.

Las tablas 3 y 4 son una aproximación de las posibles modificaciones en las sensaciones térmicas a futuro (considerando la aclimatación de la población), lo cual permite observar cuáles zonas metropolitanas tenderán a una mayor incomodidad por calor, cuyas consecuencias se puedan traducir en un mayor consumo de energía para enfriar y en el recrudecimiento de algunos problemas de salud. Otras no sufrirán de estos efectos directos en incluso podrán beneficiarse de las temperaturas más cálidas, lo cual puede también traducirse en un menor consumo de energía para calentar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al proyecto *Generación de Escenarios de Cambio Climático a Escala Regional, al 2030 y 2050; Evaluación de la Vulnerabilidad Y Opciones de Adaptación de los Asentamientos Humanos, la Biodiversidad y los Sectores Ganadero, Forestal y Pesquero, ante los Impactos de la Variabilidad y el Cambio Climáticos; y Fomento de Capacidades y Asistencia Técnica a Especialistas Estatales que Elaborarán Programas Estatales de Cambio Climático, cuyos informes finales* son parte de las investigaciones realizadas para la **Cuarta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático**. Guillermo García Grijalva y Mario Casasola ayudaron en la realización de cálculos.

REFERENCIAS

- AULICIEMS, A., R. DE DEAR. (1986). Air- conditioning in Australia: Human thermal factors. *Architectural Science Review* 29(3) :67-75.
- AULICIEMS, A., S. SZOKOLAY, (1997). *Thermal Comfort*. Notes of Passive and Low Energy Architecture International. No. 3. Brisbane: PLEA – University of Queensland.
- CONAPO, (2009). Proyecciones de la población de México 2005-2050. http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=36&Itemid=234 Consultada en julio 2009.
- CONDE, C., B. MARTÍNEZ, O. SÁNCHEZ, F. ESTRADA, A. FERNANDEZ, J. ZAVALA, C. GAY. (2008). Escenarios de Cambio Climático (2030 y 2050) para México y Centro América. Temperatura y Precipitación. [Documento en línea]. http://www.atmosfera.unam.mx/cclimatico/escenarios/Escenarios_de_cambio_climatico_Mexico_2008.ht
- DELGADO, J., C. ANZALDO Y A. LARRALDE (1999). La corona regional de la ciudad de México. Primer anillo exterior en formación, en Delgado, J. y B. Ramírez (coords.),

Transiciones. La nueva formación territorial de la Ciudad de México, Programa de Investigación Metropolitana, Plaza y Valdés, UAM, México, pp. 171–194.
INEGI. II Censo de población y vivienda 2005.

GUTIÉRREZ DE MAC GREGOR, T. J. GONZÁLEZ (2007). Distribución de la población (SII) *Nuevo Atlas Nacional de México*. UNAM, Instituto de Geografía.

MAZARI-HIRIART, M. Y A. NOYOLA.(2000) Contaminación del agua. En *La Ciudad de México en el fin del segundo milenio*, Gustavo Garza,(coordinador). GDF, El colegio de México.

JÁUREGUI, E. Y TEJEDA-MARTINEZ, A. (2004). Cuatro décadas de climatología urbana en México. *Estudios de Arquitectura Bioclimática*, Vol VI: 163-178. UAM Iztapalapa y Editorial Limusa, México.

JÁUREGUI, E. (2009). The heat spells of Mexico City. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM. Num. 70, 2009, pp.71-76.

MISSENARD, A. (1937). *L'Homme et le climat*, Eyrolles, París.

RODRÍGUEZ, L., A. TEJEDA-MARTÍNEZ Y G. UTRERA-ZÁRATE. (2004). Demanda eléctrica para enfriamiento residencial en el estado de Veracruz ante la duplicación de CO₂ atmosférico. *Estudios de Arquitectura Bioclimática*, Vol VI: 325-338.

TEJEDA, M. A. (1991). An exponential model of the curve of mean monthly hourly air temperature. *Atmósfera* 4: 139-144.

TEJEDA, A. Y D. RIVAS. (2001). Un escenario de bioclima humano en ciudades del sur de México, bajo condiciones de 2CO₂ atmosférico, en *El tiempo del clima* (A.J. Pérez-Cueva, E. López-Baeza y J. Tamayo-Carmona, editores). Asociación Española de Climatología Serie A, No. 2, 574 p: 551-562.

TEJEDA-MARTÍNEZ, A., E. LUYANDO, G. GARCÍA, M. CASASOLA Y E. JÁUREGUI. (2010). Condiciones medias de estrés térmico en ciudades mexicanas mayores a un millón de habitantes ante cambio climático. *Atmósfera* (aceptado).