# POBLACIÓN, ATMÓSFERA Y CAMBIO CLIMÁTICO (NA XII)

Ernesto Jáuregui Ostos[1]
Elda Luyando[1]
Mario Casasola[1]

Los ciclones y tormentas tropicales en México (NA XII 1)

Aunque su denominación es diversa según la región geográfica donde se desarrollan, los huracanes son tormentas violentas que ocurren en los mares tropicales. Cuando los vientos alcanzan una velocidad sostenida mayor de 117 km/h la tormenta (tropical: vientos >63 km/h) se convierte en ciclón tropical ó huracán cuya evolución posterior puede alcanzar intensidades devastadoras. No hubo costas de México que estuvieran exentas del impacto de estos meteoros durante el siglo XX. Los datos de trayectorias de ciclones fueron proporcionados por Chris Landsea de la Universidad de Colorado (http://weather.unisys.com/hurricane). Los ciclones incidieron con mayor frecuencia en los estados de Baja California Sur (21), Sinaloa (18) y Michoacán (9). Como contraste, los atraques en el Golfo de México y Caribe fueron menos frecuentes siendo los estados de Quintana Roo (13) y Tamaulipas (8) los más expuestos a estas tormentas. Los ciclones que tocan costas del Pacífico son 2.4 veces más frecuentes que los correspondientes del Golfo y Caribe mexicano. Los ciclones que tocaron tierra en costas de México fueron más frecuentes en septiembre y octubre.

Durante el periodo 1951-2004, los estados más frecuentados por las tormentas tropicales fueron Baja California Sur y Jalisco, en el Pacífico, y por el lado del Golfo de México y Caribe fueron Quintana Roo y Veracruz; los estados de Campeche y Sonora fueron los estados menos afectados por la visita de dichos meteoros. En la segunda mitad del siglo XX, ocho de los ciclones más devastadores (clase 5) tocaron costas mexicanas, la mayoría de ellos (6) afectaron costas del Golfo de México y Caribe. Durante la década de los años treinta, el número de ciclones de todas las categorías que tocaron costas mexicanas del Golfo de México y Caribe fue el más alto de todo el siglo XX, rebasando en un 72% el promedio de 5.8 ciclones/década para todo el siglo en dicha región. Después de alcanzar un segundo máximo en la década de los años setenta, la actividad de ciclones declinó a valores por debajo del promedio secular. En cuanto a su intensidad, los ciclones que tocaron costas del Pacífico fueron predominantemente de clase 1 según la escala de Simpson/Saffir mientras que por el lado del Golfo/Caribe dominaron ciclones de mayor intensidad.

Durante el periodo 1951-2004 si bien la actividad ciclónica en el Golfo de México y costas del Caribe ha declinado a partir de la década de 1980, en costas del Pacífico mexicano ésta se duplicó en la década pasada respecto al decenio de 1980, dando por resultado en conjunto una tendencia positiva en el número de ciclones que tocaron ambos litorales de México al finalizar el siglo XX. Es de notarse que los ciclones que afectaron costas mexicanas del Pacífico de clase 2 a clase 4 muestran una marcada tendencia positiva para el periodo 1951-2000. Como contraste, los ciclones que tocaron tierra en el litoral del Golfo/Caribe mexicano de todas las clases mostraron una tendencia a declinar a partir de los años de la década 1960 con excepción de los correspondientes a la clase 1.

Mapas bioclimáticos de México (NA XII 2)

Los métodos de evaluación del bioclima humano consideran cuatro variables climatológicas: la temperatura, la humedad relativa, la radiación y el viento, además de dos variables personales: la actividad metabólica y el vestido las cuales en su conjunto inciden en el confort/inconfort humano. Aún cuando estos métodos datan de varias décadas atrás, no siempre se pudieron aplicar tanto por la escasez de los datos climatológicos específicos como por la aplicación de los modelos de balance energético que requieren el uso de la computadora personal.

Entre los métodos de evaluación bioclimática de balance energético humano se encuentra el propuesto por Hoeppe (1999) cuyo índice está expresado en grados Celsius. Asimismo, para el cálculo de este índice se consideró un factor de visión del cielo (FVC) sin obstáculos en el entorno FVC=1, es decir la persona se encuentra en un espacio abierto en un suburbio de la ciudad. En esta evaluación se ha adoptado el valor de 120 W/m$^2$ que se encuentra dentro del rango propuesto por Fanger (1972) correspondiente a un nivel medio de actividad metabólica que oscila entre 87 y 145 W/m$^2$. Los datos climatológicos disponibles para la elaboración de los mapas bioclimáticos de México fueron los correspondientes a la red automática de 66 estaciones distribuidas en el territorio nacional y generalmente ubicadas en los suburbios, en aeropuertos o en poblados pequeños complementándose con unos 10 observatorios de SMN. Toda la información ha sido colectada a nivel horario para dos horas interesantes en las que la temperatura registra aproximadamente valores extremos (6 y 15 horas) y para los meses de enero y julio del año 2001.

En los mapas bioclimáticos que aquí se presentan aparecen delimitadas las diversas regiones del país según el grado de confort/inconfort calculado para los rangos de temperatura equivalente propuesto por Hoeppe (1999). Lo anterior para dichas horas extremas del día (6 y 15 horas) y en los meses de enero y julio. Cabe mencionar que el índice termofisiológico aquí aplicado estima la percepción térmica de un grupo colectivo de personas aclimatado a las latitudes templadas y no a los ambientes tropicales. Además, el ambiente extramuros no es homogéneo en la ciudad. Por ello, los mapas bioclimáticos presentados deben considerarse como preliminares.

[1] Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México.

Invierno: Durante las mañanas de invierno las condiciones bioclimáticas medias son de inconfort por frío en mayor o menor grado en la mayor parte del país excepto en las costas del sur de México. Sin embargo durante las horas del medio día en el invierno las condiciones ambientales son de confort en casi todo el territorio excepto en la región norte donde predomina todavía el frío.

Verano: Las mañanas en verano son confortables en las tierras bajas en general y frescas o frías en las regiones montañosas según el índice PET (por sus siglas en inglés). Como contraste, las condiciones ambientales veraniegas (representadas por el mes de julio) son, a excepción de las montañas donde prevalece el confort ambiental, de calor o bochorno y en algunos casos de posible fatiga física en tierras bajas. El agobio por calor es mitigado al mediodía por la llegada de la brisa marina en las costas.

Los extremos estacionales más marcados se dan generalmente en el norte (por ejemplo Mexicali) y en algunas costas (por ejemplo Campeche, Acapulco, Chetumal, Soto la Marina) donde las temperaturas "sensibles" o equivalentes en verano y al mediodía (PET) suben 40°C o más pudiendo ocasionar un golpe de calor. Como contraste, el frío extremo en enero caracteriza la región desértica del norte y lugares elevados del país (Mexicali, Zacatecas, el D.F.) y aún en las costas (Soto la Marina). Las localidades situadas en la montaña a altitudes intermedias como Cuernavaca y Jalapa tienen según este criterio las condiciones bioclimáticas más favorables para el confort a lo largo de un ciclo anual presentando variaciones ambientales más moderadas. Conviene recordar que la temperatura fisiológicamente equivalente (PET) aquí presentada es aquella que en condiciones (meteorológicas y personales) determinadas, equivale a la "sensación térmica" que se experimenta termofisiológicamente dada ésta en grados centígrados, es decir, que dicha temperatura no se registra en un termómetro.

Las ondas de calor en áreas urbanas de México (NA XII 3)

La Organización Meteorológica Mundial define una onda de calor como un evento de tres o más días consecutivos en que la temperatura del aire excede los 32°C. La onda de calor puede considerarse también como la serie de tres o más días consecutivos en los que la temperatura máxima excede en una o más desviaciones estándar el valor normal. En este trabajo se propone la onda de calor como la ocurrencia de tres o más días con temperaturas que exceden los 37°C (temperatura corporal) aunque cuando se combina con humedad ambiente alta, el agobio por calor puede presentarse con temperaturas menores aún a los 32°C. El impacto de las llamadas ondas de calor ocurre con mayor intensidad en los ambientes urbanos donde la ventilación es usualmente menor que en el campo abierto siendo la población de escasos recursos, de infantes y de ancianos mayores, la más afectada. Otro grupo de alto riesgo lo constituyen los migrantes no aclimatados al rigor del verano norteño que se desplazan del centro-sur del país hacia la región fronteriza con Estados Unidos en busca de mejorar su situación. El clima del norte de México (aproximadamente al norte del Trópico de Cáncer) es árido o semiárido. Los extremos de temperatura son característicos de este ambiente. Mientras que en el norte del país las temperaturas más elevadas se registran durante los meses de verano (junio a septiembre) en la porción media y sur de México el mes más caluroso (aunque no tan riguroso como en el norte) es generalmente abril o mayo, antes del inicio de la temporada de lluvias.

Utilizando los valores normales de temperatura máxima para meses de abril y julio de la red climatológica del servicio Meteorológico Nacional periodo 1950-80 se presentan mapas de isotermas. Además con datos horarios de temperatura y humedad del observatorio de Hermosillo se caracteriza un tren de ondas de calor para finalmente evaluar la tendencia de largo periodo de las temperaturas máximas. Las temperaturas que exceden los 30° a 50°C durante julio prevalecen en una amplia región del norte del país donde en ocasiones exceden los 50°C en la región del delta del río Colorado observándose en dicho lugar las más altas temperaturas del país. Por otra parte, en el centro y sur de México estos valores extremos sólo se registran muy localmente en el mencionado mes, siendo mayo el más caluroso con temperaturas en el rango de 30 a 35°C y abarcando amplias zonas del país.

En una onda de calor típica en la ciudad de Hermosillo en el norte de México la temperatura puede oscilar entre los 32° a 45°C; en la Figura NA XII 3 D se muestra un caso que duró unos 15 días culminando con temperaturas que excedieron los 45 °C el 13 de julio y seguidas de un segundo evento de calor del 19 al 25 del mismo mes para dicha ciudad. En general la humedad relativa en ese caso fue comparativamente baja (20 a 30%) lo que ayudó a mitigar el impacto de las altas temperaturas por el enfriamiento debido a la evaporación del sudor.

Utilizando un índice de calor propuesto por Steadman (1979) que involucra el efecto de la humedad ambiente, se evaluó el posible impacto en la población. Sin embargo, conviene advertir que dicho índice no considera el factor aclimatación. Si se acepta como umbral de temperatura del inicio de mortalidad por arriba de la normal el valor de 44.5 °C propuesto por Kalkstein y Davis (1989) dicho umbral se sobrepasó en el caso de la onda de calor que se ilustra en Hermosillo.

Las temperaturas máximas en junio/julio en ciudades del norte del país muestran una tendencia positiva significativa, lo cual señala la presencia del efecto del calentamiento del aire de las ciudades originado por la urbanización creciente que se observó en el país a partir del último tercio del siglo XX. A dicho fenómeno se suma al originado por el cambio global del clima debido al efecto invernadero.

Impacto de la urbanización en el clima termal de ciudades grandes de México (NA XII 4)

Durante la segunda mitad del siglo XX tuvo lugar un marcado movimiento migratorio del campo a las áreas urbanas medias y grandes del país. En décadas recientes el gobierno instaló un programa de descentralización (el programa de cien ciudades) de actividades en el área de la industria, la manufactura y la administración federal. Como resultado de estas acciones las ciudades grandes (Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey, con población mayor a dos millones de habitantes) han reducido su tasa de crecimiento poblacional mientras que las ciudades intermedias (de población entre 100,000 y un millón) han crecido a un ritmo acelerado. En el año 2000 el país contaba con 69 ciudades con más de 100,000 habitantes de las cuales nueve mostraban características metropolitanas sumando en total 54.4 millones (CONAPO 2000). El impacto del proceso de urbanización en el clima de las ciudades está ampliamente documentado en la literatura. A medida que las ciudades crecen en extensión, aumenta también la temperatura del aire urbano (Oke, 1973). La característica tibieza del aire citadino es el llamado efecto de la "isla de calor" (ver Chandler, 1965; Landsberg, 1981; Oke, 1982; Jáuregui, 1973). Este fenómeno alcanza su máxima intensidad al término del periodo de enfriamiento nocturno, es decir al amanecer (Jáuregui, 1986). El propósito de este trabajo es ilustrar los cambios observados en la temperatura del aire de algunas ciudades y que son coincidentes con el incremento de la población urbana.

Se utilizaron las series de temperatura mínima promedio del mes más frío anual de cerca de una docena de estaciones climatológicas disponibles para el periodo 1950-1990. Se seleccionó la temperatura mínima ya que usualmente ésta ocurre a la hora en que se presenta el mayor contraste térmico ciudad/campo. Se aplicó el análisis de tendencia para detectar los efectos posibles tanto de la urbanización así como aquellos atribuibles al cambio climático global y a la variabilidad natural del clima. La magnitud de la tendencia depende no solo del periodo disponible sino también de factores locales tales como exposición, ubicación de la estación con relación al centro de la ciudad, etc., aunque en general se advierte un incremento marcado de la temperatura en las últimas décadas del siglo XX. Por conveniencia, estas tendencias están expresadas en °C/década. Si bien la variabilidad es elevada entre 14 ciudades seleccionadas para análisis, el promedio de la tendencia para las grandes ciudades fue de 0.57 °C/década (7 ciudades > 1 millón de habitantes) y algo menor para las ciudades medias (0.37 °C/década). Estos valores son claramente mayores que el correspondiente al cambio global del clima atribuido al efecto invernadero de 0.07 °C/década para los trópicos. Una razón para esta disparidad reside en que aquí se han empleado para el cálculo la temperatura mínima promedio mientras que la tendencia global del clima se ha calculado con la temperatura media anual de cientos de estaciones. Otro punto a considerar es que la variabilidad climática a escala local puede estar afectada por factores regionales (o locales como es el caso que nos ocupa). Mientras que la separación de los efectos urbanos de aquellos atribuibles a la variabilidad natural (o cambio debido al efecto invernadero) en las series de temperatura sigue siendo un problema a resolver, es posible que el llamado efecto de la "isla de calor" se encuentre entre los cambios climáticos mayores directamente atribuibles a las actividades humanas" como señala Oke (1993).

Agradecimientos.
El autor agradece a Alfonso Estrada por su participación en el trazo de los mapas y el apoyo de Gabriela Gómez, Guadalupe Tapia y Héctor Ramírez por la elaboración final del material cartográfico.

Referencias bibliográficas:

Chandler, T.J. (1965), *Urban climatology and its relevance to urban design,* WMO Tech. Note 149, WMO No. 438, World Meteorol. Org., Geneva.

Fanger, P. O. (1972), *Thermal comfort*, Mc. Graw-Hill, N. York.

Gutiérrez, M.T. (2004), *Dinámica y distribución espacial de la población urbana en México 1970-2000,* Instituto de Geografía, UNAM, México.

Hoeppe, T.R. (1999), "The physiological equivalent temperature –a universal index for biometeorological assessment of the thermal environment-", *Int. J. biometeorol.*

Jauregui, E. (1973), "The urban climate of Mexico City", *Erdkunde,* 27.

Jauregui, O. E., (1986). "The urban climate of Mexico City". World Meteorological Organization, Proceedings of the Technical Conference, T. Oke (ed) WMO No. 652, 63-86, (trabajo invitado), Ginebra Suiza, 26-30 noviembre.

Kalkstein, L.S.; R.E. Davis (1989), "Increased summertime heat stress in the U.S.", *Annals of Assoc. American Geogr.* 79.

Landsberg, H.E. (1981), *The urban climate*, Academic Press, Maryland.

Oke, T. (1973), "City size and urban heat island", *Atmos. Environ.* 7.

Oke, T. (1982), “The energetic basis of the urban heat island”, *Quart. J. Royal Meteorol Soc.* 108,

Oke, t. (1993), “Global change and urban climates”, *Proceed. 13th Int. congress Biomet*. Sept. 12-18. Calgary, Canadá.

Steadman, R.G. (1979), “The assessment of sultriness”, *J. Appl. Met.* 18:7.

(http://weather.unisys.com/hurricane).