

CAMBIOS CLIMATICOS REGIONALES COMO COMPONENTES DEL CAMBIO CLIMATICO GLOBAL

Ignacio Galindo

Centro Universitario de Ciencias de la Tierra
Universidad de Colima

RESUMEN

Se presentan algunas consideraciones regionales sobre el cambio climático global. En particular se menciona que 21 ciudades de países subdesarrollados, localizadas en los trópicos, tendrán poblaciones de entre 20 y 30 millones para el año 2000. Se analiza el impacto que sobre el clima regional ejercerán estos centros urbanos. El problema se ilustra con los cambios climáticos que se observan en las ciudades de México, D.F., y Guadalajara. Los registros de largo período de temperatura del aire, precipitación y radiación solar directa y difusa medidos en Tacubaya y en Ciudad Universitaria, México, D.F., indican que existe un calentamiento atmosférico de 0.2°C por cada diez años. Asociada al aumento de la temperatura, se encuentran incrementos decádicos de 39 mm en la precipitación total anual. La intensidad de la radiación solar directa se ha reducido entre 15 y 25% y la radiación difusa en condiciones de cielo despejado muestra aumentos cercanos al 50%. Por otra parte, la contribución regional de México, al efecto de invernadero del planeta por emisiones industriales y deforestación era de 1% para 1987 (Masera, 1991). En consecuencia se plantea la hipótesis de que los cambios regionales son parte del cambio climático global.

La importancia del problema justifica la creación de un programa nacional de mediciones indirectas utilizando satélites de la radiación solar total y espectral, incluyendo la porción ultravioleta, que abarque ambientes urbanos, rurales y de zonas costeras.

INTRODUCCION

Hoy en día la humanidad se encuentra en una situación sin precedentes: En el curso de una generación se espera que el ambiente que sostiene la vida en la Tierra cambie más rápidamente que en cualquier otro periodo comparable de la historia humana. Mucho de este cambio es responsabilidad de lo que hacemos. Las actividades mundiales, tanto económicas como tecnológicas contribuyen a los rápidos cambios que impactan nuestro ambiente global en formas que hasta ahora empezamos a entender. Los efectos de estos cambios pueden afectar profundamente a las generaciones venideras (IGBP, 1989).

En el transcurso de la historia las fuerzas naturales han influido y conformado el ambiente de nuestro planeta, lo

incomparable del reto que estamos encarando hoy en día, reside no solamente en la magnitud y grado de los cambios, sino también en la habilidad de la humanidad para producir inadvertidamente estos cambios. Las crecientes concentraciones atmosféricas de gases responsables del efecto de invernadero, debidas en parte a la combustión incompleta de los hidrocarburos, pueden alterar nuestro clima en forma importante. Las prácticas agrícolas y de manejo de los bosques, así como otros usos de la Tierra, las actividades industriales, el depósito de desechos y su transporte, han alterado los ecosistemas terrestres y el de las costa de nuestros océanos, afectando la productividad biológica, los recursos hídricos y la química de la atmósfera global. Ante esta compleja problemática surge la inevitable pregunta: ¿Cuál es la situación en nuestro entorno? Consideramos que antes de abordar el problema del cambio del ambiente que nos rodea se requiere considerar el problema de la emigración de origen campesino hacia los grandes centros urbanos. Ya en 1980 se estimaba que para el año 2000, cerca del 50% de la población viviría en las ciudades (Sassin, 1980; Peterson, 1984).

En los países subdesarrollados, la situación se presenta verdaderamente dramática; de 34 áreas urbanas con poblaciones de más de 5 millones de habitantes, 21 se encuentran en los trópicos y se estima que 11 tendrán de 20 a 30 millones de habitantes para el año 2000: Ciudad de México, Sao Paulo, Lagos, El Cairo, Karachi, Delhi, Bombay, Calcuta, Dacca, Shangai y Yakarta. Por otra parte, de los países industrializados sólo Tokio y tal vez Nueva York excederán, en el mismo período, los 20 millones de habitantes (Peterson, 1984). El desmesurado crecimiento de las ciudades mencionadas ha obedecido, más a presiones económicas de sus habitantes y soluciones políticas de sus gobernantes, que a una planeación adecuada, dando como resultado la casi imposibilidad de satisfacer las mínimas necesidades de sus habitantes (viviendas dignas, trabajos bien remunerados, sanidad e higiene, alimentación, energía, seguridad, educación, transportación, etc). En consecuencia, este crecimiento desordenado amenaza el funcionamiento adecuado de las ciudades conduciéndolas al caos urbano, manifestando entre otras formas en el desempleo, la pobreza, la delincuencia y la degeneración social. El entorno físico ante esta situación también se deteriora, al surgir grandes zonas de Tierra denudada que producen tolvaneras, industrias

pequeñas con emisiones sin control, ausencia de áreas verdes, etc. Los ecosistemas se dañan profundamente, observándose el desarrollo de las contaminaciones atmosférica y del agua, principalmente.

Por lo anterior, se postula la hipótesis de que el cambio climático global se forma al adicionar los efectos que sobre el clima ejercen las partículas y gases traza producidos local y regionalmente. De hecho, del total de los 5900 millones de toneladas de carbón que contribuyen al efecto de invernadero en el planeta, los Estados Unidos de América contribuyen con un 17 %, Europa (Mercomún y Europa del Este) con un 28 %, México con el 1 %, etc (Maser, 1991). Esto último significa que en el balance de emisiones de carbón a la atmósfera del planeta se contabilizan las emisiones industriales y por deforestación regionales como contribuyentes al total global de gases de invernadero. Así mismo, el calentamiento global de los años 1987-1988 se ha atribuido a incrementos regionales de la temperatura de los trópicos (WMO, 1989). De ahí la importancia de estudiar los cambios climáticos en los trópicos, tanto los de origen natural, que se sabe tienen repercusiones hemisféricas o globales, como por ejemplo, el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (Philander, 1990) o las erupciones volcánicas, cuyas emisiones afectan por más de dos años el clima de la Tierra, como ocurrió con la erupción del volcán El Chichón en marzo y abril de 1982 (Galindo, Hofmann y McCormick, 1984). En el presente trabajo, se hace una revisión de los climáticos observados en la temperatura del aire, la precipitación y la radiación solar, en relación con el incremento de contaminantes atmosféricos en las ciudades de México, D.F. y Guadalajara, las cuales son las más grandes, pobladas y contaminadas de la República Mexicana.

EL CAMBIO GLOBAL

El cambio climático global ha sido predicho mediante los modelos generales de la circulación (Barnett, 1986; Bates y Mechl, 1986, entre otros), los dinámicos-radiativos (Ramanathan y col., 1987) y el modelo termodinámico (Adem y Garduño, 1982). En los que se incrementan en diversos escenarios los gases traza. Los aumentos simulados de los también llamados gases del efecto de invernadero, dan por resultado cambios en la composición química de la atmósfera, afectando diversos mecanismos, tanto radiativos como termodinámicos, de la dinámica atmosférica. Los modelos anteriores predicen aumentos de la temperatura del aire que varían de 0.5 a 5°C.

Por otra parte, existen análisis estadísticos que utilizan datos climatológicos cuyas series de tiempo de largo periodo se promedian para un hemisferio o para todo el planeta. Los resultados de estos trabajos indican aumentos de la temperatura del aire del orden de 0.5°C en los hemisferios, a partir de la segunda mitad del siglo diecinueve (Jones y col., 1986). Los trabajos anteriores cuentan con pocos datos originados en los

trópicos. Lo anterior implica que en sus análisis existe un sesgo determinado por la abundancia de estaciones meteorológicas en las latitudes medias y altas en contraste con las de los trópicos.

PROCESOS TROPOSFERICOS

Los llamados gases traza (CO, CO₂, CH₄, NO_x, O₃, CFC) se han incrementado desde la revolución industrial como resultado de actividades antropogénicas. Las emisiones industriales que contienen a estos gases son lanzadas a la atmósfera; los gases traza forman aerosoles en la baja atmósfera, es decir, interaccionan con el vapor de agua, que en esta altura es abundante, formando la interfase gas-gas, o gas-sólido, que se mantiene por la acción de fuerzas electrostáticas de tipo coulombiano formando el aerosol. el aerosol absorbe y dispersa radiación solar en la baja atmósfera y como una disminución en la intensidad de la componente directa de la radiación solar en la baja atmósfera. Este proceso físico se manifiesta como una disminución en el incremento no lineal de la radiación difusa (véanse las figuras 1 y 2 y la tabla I). La disminución de la radiación

TABLA I

Extinción porcentual de la radiación solar directa por aerosoles antropogénicos en la atmósfera de la Ciudad de México.

Meses	1957-1962	1976-1985
Enero	3	5
Febrero	6	8
Marzo	3	5
Abril	10	9
Mayo	8	12
Junio	10*	6*
Julio	7	10
Agosto	6	8
Septiembre	7	9
Octubre	12*	10*
Noviembre	7	9
Diciembre	10	15
Anual	7.4	8.8
Desviación estandar	2.8	2.9

*datos sujetos a verificación

directa en la ciudad de México es de 15 a 20 %, mientras que la radiación difusa en días despejados se ha incrementado aproximadamente en un 50 %. Los valores actuales corresponden a una tasa anual de extinción de la radiación por el aerosol antropogénico de 8.8 % (Galindo, 1984-1990): De hecho los índices de calidad del aire indican con

frecuencia que los niveles de contaminación de la ciudad de México, se encuentran por arriba de valores aceptables (Bravo y col, 1991; SEDUE, 1991). Ahora bien, aunque la vida media del aerosol urbano, de origen antropogénico, es de 4 a 5 días, en atmósferas urbanas contaminadas suelen ser mayores a los mecanismos o procesos de "sumidero" del aerosol. En consecuencia, las concentraciones de aerosol y de gases antropogénicos tienden a acumularse produciendo efectos directos en el sistema atmósfera-superficie, afectando inicialmente, además de la visibilidad, el balance radiativo entre la atmósfera y la superficie.

Considerando que en la energía interna del sistema atmósfera-superficie la radiación solar desempeña un papel fundamental, conjuntamente con la evaporación y la precipitación (Lorenz, 1967), no es difícil entender cómo se perturba el sistema atmósfera-superficie en una atmósfera urbana contaminada: por un lado, disminuye la energía radiante que ingresa al sistema, por otra parte, la transformación de las superficies en áreas de cemento impide el libre escurrimiento de la precipitación y la evaporación. Estas perturbaciones deben reflejarse en la precipitación. En la figura 3 se muestran anomalías anuales de la precipitación total en la ciudad de México, Guadalajara, Monterrey y Acapulco. Es notable el aumento de la precipitación en la última porción de los registros de Tacubaya y Guadalajara. Se estima que la precipitación ha aumentado 39 mm por cada diez años. Es decir, el valor actual de la precipitación total anual se encuentra 160 mm por arriba del promedio observado para el período de referencia, de 1946 a 1960 (Galindo, 1990 y 1991 a).

En una atmósfera urbana se consideran a las construcciones, a la industria y a los automóviles, como fuentes de calor. Estas fuentes contribuyen a la llamada "isla de calor" descrita para la ciudad de México por Jauregui (1984). Otra fuente más sutil, pero no menos importante, proviene de la radiación difusa, cuyo incremento se relaciona con aumentos en el calor sensible. El aumento de calor sensible significa pérdida de energía por el sistema. En la figura 4 se presentan las anomalías de la temperatura de aire para Tacubaya, Guadalajara, Monterrey y Acapulco. Se observa que tanto Tacubaya como Guadalajara muestran una tendencia al aumento de la temperatura en los últimos treinta años. Un ajuste polinomial a la porción final de los datos de Tacubaya (1960 a 1988) indica que, asociada a la tendencia al aumento, existe un aumento de temperatura de 0.20°C por cada diez años. Es decir, la temperatura anual de Tacubaya se encuentra aproximadamente 0.60°C sobre la media del período de referencia. El mismo análisis aplicado a la serie de tiempo de Guadalajara indica que los resultados para esta ciudad no son estadísticamente significativos. Sin embargo, esto último no quiere decir que la contaminación del aire de la ciudad de Guadalajara no requiera atención, por el contrario, es el momento de impedir que continúe el deterioro de su ambiente (Galindo, 1990 y 1991 a). Los efectos en las

energías interna y potencial del sistema atmósfera-superficie influyen notablemente en la energía cinética o de movimiento. Las fuerzas que intervienen en la generación del movimiento son principalmente: las diferencias de presión, tanto en el sentido vertical como en el horizontal y la fuerza de gravedad, que condiciona los movimientos en sentido vertical (Lorenz, 1967). En consecuencia, el viento, como manifestación del movimiento, debe verse notablemente afectado por los cambios anteriores. Desafortunadamente no se dispone de mediciones confiables y representativas de este parámetro.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

En esta revisión se ha puesto de manifiesto que en las regiones tropicales y subtropicales existen 21 ciudades que para el año 2000 tendrán poblaciones de 20 a 30 millones. Además el problema demográfico, estas ciudades contribuyen con gases traza y aerosoles de origen industrial y deforestación al deterioro atmosférico regional. Se postula la hipótesis de que los cambios climáticos regionales son parte del cambio climático global. De hecho, México contribuyó con 1% del total mundial en 1987 al efecto de invernadero por región (Masera, 1991).

En el caso de México existen cambios climáticos regionales en las dos ciudades más grandes del país (ciudad de México y Guadalajara), asociado a un calentamiento antropogénico. Se observa un aumento en la precipitación, un decaimiento en la radiación solar indirecta y un aumento en la radiación difusa. Todos estos cambios han ocurrido a partir de 1960 de manera independiente. Es imprescindible identificar las variaciones climáticas en las regiones tropicales y subtropicales ya que se ha puesto de manifiesto que las latitudes medias se ven afectadas por los procesos atmosféricos de origen tropical mediante telconexiones (Wallace y Gutzler, 1981). Además, las emisiones de carbón por deforestación son considerables en estas latitudes (Masera y col, 1991).

La importancia del problema requiere a corto plazo de un programa nacional de mediciones, que incluya ambientes urbanos, rurales y de zonas costeras. Este tipo de investigación debe echar mano de datos satelitarios de alta resolución espacio-temporal, en porciones espectrales de ultravioleta, del visible y del infrarrojo. Paralelamente a las mediciones satelitarias se deben utilizar estaciones radiométricas de superficie de muy alta calidad para validar los datos del satélite y detectar tendencias climáticas regionales (WMO, 1991). Existen métodos (Tarpley, 1979) que permiten utilizar la insolación derivada por satélites meteorológicos en problemas de climatología solar (Galindo, Castro y Valdés, 1991) y en la evaluación de la extinción después de erupciones volcánicas como la de El Chichón en marzo y abril de 1982 (Galindo, 1991 b). Finalmente, las mediciones deben caracterizar la variabilidad climática global regional en escenarios reales.

REFERENCIAS

Artículo original aparecido en CIENCIA, Vol. 43, 1992

- Adem J. y R. Garduño, Geofis. Int (1982) 21,309-324.
 Barnett T.P. H. Geophys. Res (1986) D91,6659-6667.
 Bates G.T. y GA Mechl, Mon Wea Rev (1986) 114, 687-701.
 Bravo H, GR Roy-Ocotla, R. Sosa E y JR Torres, 84 Th. Annual Meeting Exhibition, Air Waste Management Association (Vancouver, Brithis Columbia, (1991) pp 1-11.
 Galindo I. "Antropogenic aerosols and their regional scale climatic effects" "Aerosol and their climatic effects. HE Gerber y A. Deepak (Eds) (Deepak Publ. Hampton, Va, 1984) pp 245-259.
 Galindo I. D.J. Hoffmann y MP McCormick (Eds) "Proceedings of the Symposium on Atmospheric effects of the 1982 eruptions of El Chichón Volcano", XVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics Hamburgo, Alemania, Geofis. Int (1984) 23, 113-304.
 Galindo I. Ciencia (1990) 41, 163-175.
 Galindo I. S. Castro y M. Valdés, Atmósfera (1991) 4, 189-201.
 Galindo I. "Regional Anthropogenic Climate Changes in Tropical Cities" Enviado a Atmospheric Environment (1991).
 Galindo I. "Assessment of Solar Irradiance Extinction due to El Chichón Stratospheric Aerosol", Enviado a Atmósfera (1991), International Geosphere Biosphere Programme, A Study of Global Change (1990) 12.
 Jauregui, E. World Climate Programme, WMO (1986) 652, 63-86.
 Jones PD, SCB Raper, RS Bradley, JF Díaz, P M Kelley y TML Wigley, J.of Climate o and Appl Met (1986) 25, 161-179.
 Lorenz EN, The Nature and Theory of the General Circulation of the Atmosphere, WMO, Ginebra (1967) 218,161.
 Mesera O, Ciencia y Desarrollo (1991) 100.
 Mesera O. MJ Ordoñez y R. Dirzo, Carbon emissions from deforestation in Mexico current situation and long-term scenarios (1991).
 Peterson, J. Ambio (1984) 13, 134-141.
 Philander, SG, "El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation", International Gephysics Series, Vol. 46 (Academic Press, Inc, San Diego, 1990) 293 pp.
 Ramanathan, V.L. Callis, R. Cess, H. Hansen, I Isaken, W Kuhn, A Lacis, F. Luther, J. Mahlman, R. Reck y M Schlesinger, Revs of Geophysics (1987) 25, 1441-1482.
 Sassin, W. "Urbanization and the global energy problem" en Factors Affecting Urban Design. A System Approach. P Laconte (Ed) (Sijthoff-Noordhoff, Alphen, The Netherlands, 1980). Sedue, Daily Air Quality Report of the Mexico City Metropolitan Zone (Dirección General de Prevención y control de la Contaminación de la Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, México, D.F. de 1986 a 1990, 1991).
 Tarpley, JD, J. Appl. Meteorol (1979) 18, 1172-1181.
 Wallace JM, y DS Gutzler, Mon Weather Rev (1981) 109, 784-812. World Meteorological Organization (WMO), The Global Climate System. climate System Monitoring, World Climate Data Proqramme (CSM R 84/86, WMO/UNEP) 70 pp. World Meteorological Organization, Radiation and climate. Workshop on Implementation of the Baseline Ssurface Radiation Network (WCRP-54, WMO/TD- No. 406, 1991).

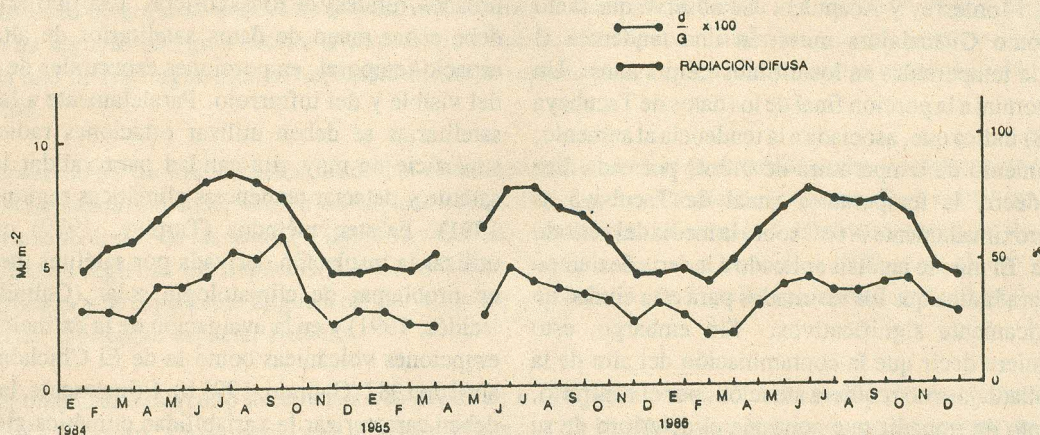


Figura 2. Medias mensuales de radiación difusa y razón porcentual de radiación difusa global medidas en ciudad Universitaria (1984-1986), en condiciones de cielos despejado.

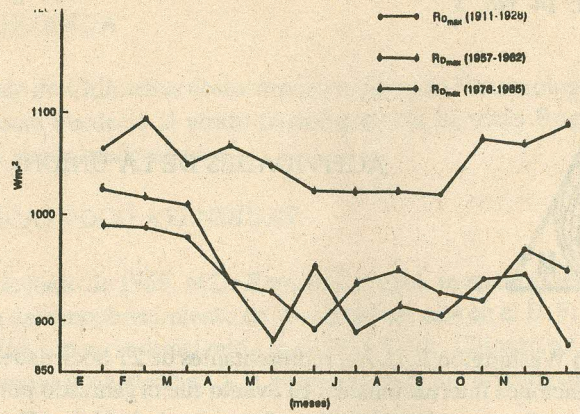


Figura 1. Máximos absolutos mensuales de la radiación solar directa medida en Tacubaya (1911 a 1929) y en Ciudad Universitaria (1957 a 1962 y 1976 a 1983).

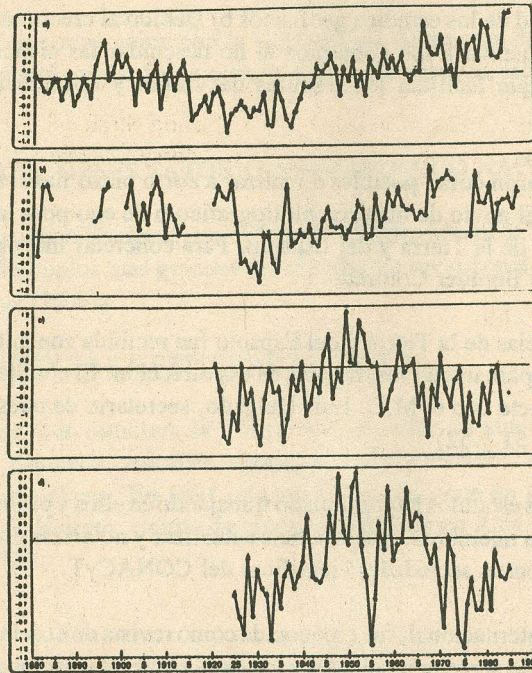


Figura 4. Anomalías anuales de temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) con respecto a la media de 1946 a 1960: a) ciudad de México, b) Guadalajara, c) Monterrey, d) Acapulco.

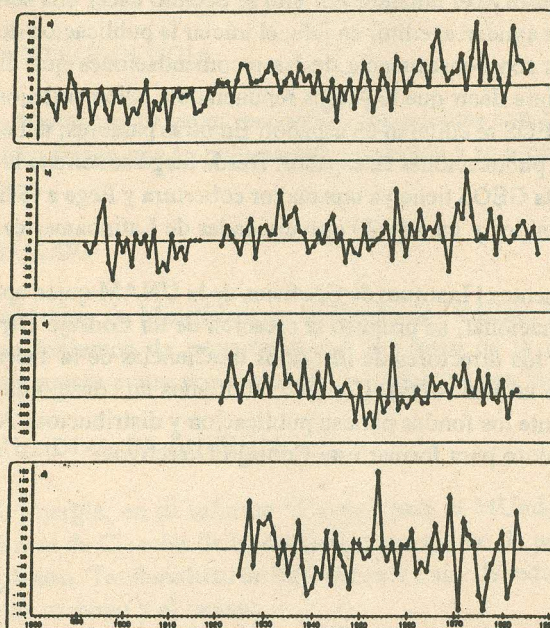


Figura 3. Anomalías de la precipitación total anual, en mm, con respecto a la media de 1946 a 1960: a) ciudad de México, b) Guadalajara, c) Monterrey, d) Acapulco.