

ESCENARIOS DE TEMPERATURAS EXTREMAS, INSOLACIÓN Y HUMEDAD ATMOSFÉRICA PARA MÉXICO ANTE DUPLICACIÓN DE CO₂

Adalberto TEJEDA-MARTÍNEZ*, Lilia E. VALENCIA-TREVIZO*, Cecilia CONDE-ÁLVAREZ** y Carlos GAY-GARCÍA**

*Grupo de Climatología Aplicada, Licenciatura en Ciencias Atmosféricas Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz (México)

**Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria
04510 México, D.F.

RESUMEN

Se partió de escenarios para condiciones de 2xCO₂ de temperatura, precipitación e insolación promedio generados para México con los modelos CCC y GFDL-R30. Las condiciones de 1xCO₂ se asociaron a las normales climatológicas del período 1951-1980, en cuyas bases de datos para 65 observatorios de superficie, se tuvieron faltantes de presión media y horas de insolación en aproximadamente la mitad de ellos, por lo que fueron estimados empíricamente. Se obtuvieron modelos estadísticos para el periodo 1951-1980 de las medias mensuales de temperatura máxima, mínima y humedad atmosférica (relativa y específica) a partir de los datos observados de temperatura, radiación y precipitación, y con base en las simulaciones de los modelos GFDL-R30 y CCC, se creó un escenario futuro de medias mensuales de temperatura máxima, mínima y humedad ante 2xCO₂. Los resultados se muestran para los meses representativos del invierno (enero) y el verano (julio).

Palabras clave: Temperaturas extremas, humedad atmosférica, cambio climático, México.

ABSTRACT

This study is based on scenarios for 2xCO₂ conditions of temperature, precipitation and sunshine monthly averages for Mexico, which were generated with the models CCC and GFDL-R30. The conditions of 1xCO₂ were associated to normal climatologic conditions (1951-1980) in 65 meteorological surface observatories, where pressure and sunshine hours data were missing in half of them. So, data were completed with empirical estimations. Statistical relationships for period 1951-1980 of the monthly averages of maxima and minimum temperature, and atmospheric humidity (relative and specific) were obtained from observed data of temperature, solar radiation and precipitation, and in base on GFDL-R30 and CCC simulations. Future scenarios of monthly averages of maxima and minima temperatures, and humidity were then generated. The results are shown for the representative months of the winter (January) and the summer (July).

Key words: Extreme temperatures, atmospheric humidity, climatic change, Mexico.

1. ANTECEDENTES

Hasta el momento sólo se han generado para México escenarios climáticos básicos y regionales de temperatura media mensual, precipitación e insolación (CONDE *et al.*, 1994 y 1995, MAGAÑA, 1995 y FERNÁNDEZ *et al.*, 2003). Para ello se han usado modelos de circulación general (GCM por sus siglas en inglés), los cuales producen simulaciones más confiables del clima presente que los modelos climáticos simples y son, en algunos casos, una herramienta para proyectar el clima futuro.

Los modelos usados tradicionalmente para generar escenarios de cambio climático en México (GFDL-R30 y CCC, ver tabla 1), sólo arrojan promedios de radiación solar, precipitación y temperatura, y no medias de temperaturas extremas ni humedad atmosférica (CONDE *et al.*, 1995), que en este trabajo son las variables que se estiman para la República Mexicana, a partir de una metodología propuesta originalmente por VALENCIA-TREVIZO (2005).

A mediados de los 90 se produjeron en México los primeros escenarios regionales de cambio climático para el país (CONDE *et al.*, 2000 y GAY, 2000). Particularmente, CONDE *et al.* (1994) generaron escenarios de temperatura, precipitación y radiación solar ante condiciones de 2xCO₂, tomando como escenario base los promedios del período 1940-1970. Posteriormente, CONDE *et al.* (1995) generaron escenarios de temperatura y precipitación a partir de promedios mensuales de temperatura y precipitación del período 1950-1980. Mediante las salidas de los modelos CCC y GFDL-R30 se obtuvieron los posibles cambios en la temperatura y precipitación para México, ante condiciones de 2xCO₂ atmosférico. Se encontró que la temperatura se podrá incrementar entre 1°C y 2°C, para el modelo CCC, mientras que para el modelo GFDL-R30 los cambios oscilaban entre 2°C y 3°C. En general la precipitación mostró una leve disminución para el modelo CCC, mientras que el modelo GFDL-R30 presentó incrementos hasta de un 52%.

CARACTERÍSTICAS	CCC	GFDL-R30
Primera versión	1989	1986
Laboratorio	Centro Canadiense para la Modelación y Análisis Climático	Laboratorio de Geofísica de dinámica de fluidos. USA
Resolución horizontal	3,75 ° x 3,75° (lat-long)	2,25 ° x 3,75 ° (lat-long)
Resolución vertical	10 niveles	14 niveles

Tabla 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL CCC Y GFDL-R30 UTILIZADOS POR CONDE ET AL (1994 Y 1995), MAGAÑA (1995) Y MAGAÑA ET AL (2000)

CONDE (1995) presentó una forma de evaluar la humedad en los diferentes niveles troposféricos a escala global, utilizando un modelo radiativo convectivo, que considera distribuciones homogéneas de dióxido de carbono en la altura. Sin embargo, esta

comunicación tiene, entre otros pronósticos, la generación de escenarios de humedad atmosférica en superficie.

Para la generación de escenarios de humedad para condiciones de 2xCO₂ en superficie en México, TEJEDA y RIVAS (2001) –afinando el método usado por JÁUREGUI *et al.* (1995)- parten de estimar la presión media mensual de vapor (e) en función del promedio mensual de la temperatura mínima:

$$e = a_0 + \sum_{i=1}^5 a_i (T_{mi})^i \quad (\text{Ec. 1})$$

con $a_0=7.5$, $a_1=8.5 \times 10^{-2}$, $a_2=3.7 \times 10^{-2}$, $a_3=1.7 \times 10^{-3}$, $a_4=1.9 \times 10^{-4}$, $a_5=-5.0 \times 10^{-6}$, donde T_{mi} es el promedio mensual de la temperatura mínima. El error estándar de estimación es de 3.1 HPa y el coeficiente de correlación lineal de 0.91.

La humedad relativa (HR en decimales) es:

$$HR = \frac{e}{e_s} \quad (\text{Ec.2})$$

Donde la presión de vapor de saturación e_s (en HPa) la calcularon con la el polinomio de cuarto grado propuesto por ADEM, (1967):

$$e = b_0 + \sum_{i=1}^5 b_i T^i \quad (\text{Ec. 3})$$

Con T en °C y los valores de parámetros $b_0=6.115$, $b_1=0.42915$, $b_2=0.014206$, $b_3=3.046 \times 10^{-4}$, $b_4=3.2 \times 10^{-6}$.

A partir de la humedad relativa media mensual, TEJEDA y RIVAS (2001) estimaron los valores promedio mensuales de humedad relativa máxima (HR_m) y mínima (HR_{mi}). Considerando que en ausencia de advección, la presión de vapor no varía entre las 10 y las 14 horas locales (como encontró GEIGER, 1957), y la humedad relativa mínima promedio (representativa para las 14 a 15 horas locales) la calcularon con la siguiente ecuación:

$$HR_{mi} = \frac{e}{e_{sm}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde HR_{mi} es la humedad relativa mínima, e es la presión de vapor promedio mensual y e_{sm} es la presión de vapor de saturación máxima.

La presión de vapor de saturación máxima e_{sm} la calcularon de acuerdo al polinomio de ADEM (1967) aplicada a la temperatura promedio mensual máxima:

La humedad relativa máxima media mensual (HR_m) la calcularon a partir de la humedad relativa media mensual (HR), de la siguiente manera:

$$HR_m = 2HR - HR_{mí} \quad (\text{Ec. 5})$$

Para generar escenarios de temperaturas (T_{hor}) y humedades relativas (HR_{hor}) horarias medias mensuales, TEJEDA y RIVAS (2001) aplicaron las siguientes ecuaciones exponenciales:

$$T_{hor} = T_{mí} + (at^b \exp^{ct})(T_m - T_{mí}) \quad (\text{Ec. 6})$$

$$HR_{hor} = HR_{mí} + (1 - at^b \exp^{ct})(HR_m - HR_{mí}) \quad (\text{Ec. 7})$$

Según TEJEDA (1991) la ecuación 9 tiene un error estándar de estimación de 1.3°C y un coeficiente de correlación de 0.91 con datos observados de temperatura ambiente de 10 localidades de México; los valores de las constantes son $a=0.096$, $b=2.422$, $c=-0.339$; \exp es la base de los logaritmos naturales y t es el tiempo (en horas y décimas) transcurrido a partir del amanecer del día 15 del mes correspondiente.

Los incrementos en los promedios mensuales de temperatura mínima y máxima para el futuro fueron obtenidos de los escenarios regionales para México derivados de las salidas del modelo CCC aplicados a México:

$$T_{mí2co_2} = T_{mí} + \Delta T \quad (\text{Ec. 8})$$

$$T_{m2co_2} = T_m + \Delta T \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde ΔT es el incremento de temperatura según el modelo CCC (MAGAÑA *et al.*, 2000) $T_{mí2co_2}$ es la temperatura mínima ante condiciones de $2xCO_2$ y T_{m2co_2} es la temperatura máxima ante condiciones de $2xCO_2$

Por último, para la estimación de temperaturas extremas se consultaron los trabajos de BELL *et al.* (2004) y de PHILLIPS y SKINDLOV (1990), pero para obtener los escenarios propuestos en este trabajo, se obtuvo una relación estadística para el presente de los datos observados de temperatura, radiación y precipitación con las medias mensuales de temperatura máxima, mínima y humedad atmosférica (relativa y específica), y con base en las simulaciones de los modelos GFDL-R30 y CCC, se genera un escenario futuro de medias mensuales de temperatura máxima, mínima y humedad ante $2xCO_2$.

2. DATOS DEL ESCENARIO BASE

En la base de datos de observatorios meteorológicos durante el período 1951-1980 (escenario base) de la República Mexicana, la humedad específica no se encuentra explícitamente, por lo que fue necesario calcularla a partir de la termodinámica de la atmósfera. La presión atmosférica media de la estación está incluida en muchos de los 65 observatorios meteorológicos de superficie usados, pero no así en 49 de ellos; y los datos de insolación también están incompletos en diez observatorios. A continuación se detalla cómo fue completada la base de datos.

Para poder obtener la humedad específica se calculó la presión de vapor de saturación con la expresión polinomial de ADEM (1967). Como ya se dijo, este polinomio es de cuarto grado y se puede aplicar a un intervalo de temperaturas de -10 °C a 50 °C.

Por otra parte, para estimar la presión atmosférica media anual en 49 observatorios que carecen de esta serie, no se recurrió a la ecuación hipsométrica (STULL, 2000) puesto que no se cuenta con los datos de perfiles verticales de la temperatura virtual o del dato de la temperatura virtual media por debajo del observatorio meteorológico en cuestión; tampoco se conoce la densidad del aire media mensual de los observatorios meteorológicos que carecen del dato de presión, y por lo tanto no se puede aplicar la ecuación de estado. Se recurrió entonces a generar una ecuación de regresión lineal a partir de los observatorios que sí tenían el dato de presión y se obtuvo la ecuación 9:

$$P = 1008,4 - 0,1020 * Z \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde P es la presión atmosférica media (en hPa) y Z es la altitud correspondiente al observatorio (en metros). El coeficiente de correlación entre la presión y la altitud es de 0.99 y el error estándar de estimación de la ecuación 18 es de 20 hPa.

Por otra parte, se procedió a estimar la insolación. La ecuación del brillo potencial diario en horas para cada sitio para el día 15 de cada mes, N₁₅ (HERNÁNDEZ *et al.*, 1991) se calcula con:

$$N_{15} = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \Phi \tan \delta_{15}) \quad (\text{Ec. 11})$$

Con Φ la latitud y δ_{15} la declinación solar para el día 15 de cada mes, en grados.

Las horas diarias de insolación medias mensuales (\bar{n}) se pueden obtener de registros de los heliógrafos Campbell Stokes, pero para los sitios que carecen de evaluaciones heliográficas, TEJEDA y VARGAS (1996) estimaron la media mensual de la nubosidad para cada mes mediante la siguiente ecuación:

$$PQ = \frac{X_3 + 0,5 X_2}{X_1 + X_2 + X_3} \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde X₁ es la frecuencia de días nublados, cuando el promedio de las observaciones visuales de la cobertura nubosa está entre 6/8 y 8/8; X₂ es la frecuencia de días parcialmente nublados (3/8 a 5/8), y X₃ es la frecuencia de días despejados (0 a 2/8).

Basándose en relaciones empíricas entre la insolación promedio y la nubosidad hechas por otros autores, TEJEDA y VARGAS (1996) proponen estimar la insolación promedio con la ecuación 23 con una correlación de 0.9 y un error estándar de 0.1 tiempo de la duración media mensual diaria del brillo astronómico (N₁₅).

$$\bar{n} = N_{15} \left[0,31 + 0,48 \left[\frac{X_3 + 0,5 X_2}{X_1 + X_2 + X_3} \right] \right] \quad (\text{Ec. 13})$$

3. MÉTODOS PARA ESCENARIOS 2XCO₂

Con base en las diferentes relaciones estadísticas antes mencionadas y las que se enuncian en la Tabla 2, fue posible generar escenarios de oscilación térmica y humedad atmosférica ante condiciones de duplicación de CO₂ atmosférico para la República Mexicana.

Para estimar la insolación media mensual ante condiciones de 2xCO₂ se utilizaron los incrementos ante condiciones de 2xCO₂, generados por los modelos CCC y GFDL-R30 aplicados a la insolación media mensual de las normales climatológicas del período 1951-1980:

$$S_{2CO_2} = S * \Delta Q \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde S es la insolación con 1xCO₂ (de las normales climatológicas del período 1951-1980); S_{2xCO₂} es la insolación con 2xCO₂, y ΔQ es el incremento de la radiación con 2xCO₂, generado por los modelos.

La precipitación media mensual ante condiciones de 2xCO₂ se estimó a partir de la razón de cambio de la precipitación generada por los modelos CCC y GFDL-R30 y la precipitación media mensual de las normales climatológicas del período 1951-1980:

$$P_{m2} = P * \Delta P \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde P_{m2} es la precipitación promedio mensual ante condiciones de 2xCO₂; P_i la precipitación promedio mensual en mm/mes (de las normales climatológicas del período 1951-1980), y ΔP es la razón de cambio entre la precipitación ante 1xCO₂ y la precipitación ante 2xCO₂, generada por los modelos.

Los escenarios de temperatura promedio mensual ante condiciones de 2xCO₂ se generaron a partir de los incrementos de temperatura resultantes de los modelos GFDL-R30 y CCC, y la temperatura promedio mensual observada del escenario base (período 1951-1980).

$$T_2 = T_1 + \Delta T \quad (\text{Ec. 16})$$

T₂ es la temperatura ante condiciones de 2xCO₂ atmosférico, T₁ es la temperatura promedio mensual en °C (de las normales climatológicas del período 1951-1980), y ΔT es el incremento de la temperatura (°C) generado por los modelos.

Los incrementos de las temperaturas extremas, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad específica y humedad relativa se generaron a partir de las ecuaciones de la tabla 2 de la siguiente forma:

$$\Delta I = I_2 - I_1 \quad (\text{Ec.17})$$

Donde ΔI es el incremento de la variable X; I₁ representa las condiciones ante 1xCO₂ de cada variable X (período 1951-1980), e I₂ las condiciones ante 2xCO₂ de cada variable X (estimadas a partir de las ecuaciones de la tabla 2):

Variable X	Incrementos
Temperatura máxima extrema	$\Delta T_{me}=0,69*(T_2-T_1)$
Temperatura mínima extrema	$\Delta T_{mie}=1,2*(T_2-T_1)$
Temperatura máxima promedio	$\Delta T_m = 0,8*(T_2-T_1)$
Temperatura mínima promedio	$\Delta T_{mi}=1,09*(T_2-T_1)$
Humedad específica	$\Delta q=0,64*(T_2-T_1) + 0,0007*(P_{m2}- P_1) - 0,016*(S_{2xCO2}- S)$
Humedad relativa	$\Delta HR=HR_2-HR_1$

Tabla 2: INCREMENTOS DE LAS TEMPERATURAS EXTREMAS, TEMPERATURA MÍNIMA, TEMPERATURA MÁXIMA, HUMEDAD ESPECÍFICA Y HUMEDAD RELATIVA

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Con base en la matriz de correlación generada a partir de las variables observadas, se encontró que existe una relación estadística entre los promedios mensuales de la temperatura máxima, la temperatura mínima y humedad atmosférica con los promedios mensuales de la temperatura, la precipitación y la insolación.

Con el objeto de mostrar el cambio de los promedios mensuales de las variables estimadas en este trabajo para condiciones de duplicación de CO₂ atmosférico a partir de los resultados de los modelos GFDL-R30 y CCC, se dividieron los datos de los 65 observatorios en 5 franjas latitudinales distribuidas en muestras iguales de 13 observatorios cada una. La tabla 3 presenta los intervalos correspondientes a cada franja latitudinal.

Las tablas 3, 4, 5, 6, 7 y 8 muestran los promedios de los incrementos en cada franja latitudinal del mes de enero (representativo de invierno) y el mes de julio (representativo de verano) de las siguientes variables: temperatura máxima promedio mensual, temperatura mínima promedio mensual, temperatura máxima extrema mensual, temperatura mínima extrema mensual, humedad relativa y humedad específica.

De los promedios de los incrementos de las temperaturas extremas, temperatura mínima promedio y la temperatura máxima promedio se observa que los incrementos más altos son generados por el modelo GFDL-R30 para las primeras cuatro franjas latitudinales, la franja latitudinal 5 presenta mayores incrementos con el modelo CCC. En el caso de la humedad específica el modelo CCC es el que presenta incrementos más altos que el modelo GFDL-R30 y en la humedad relativa los promedios de los incrementos entre un modelo y otro son muy diferentes.

Puede apreciarse un cambio latitudinal en los promedios de los incrementos de las variables estimadas, los incrementos más altos para ambos modelos se observan en la franja latitudinal más al norte. Los incrementos menores para el modelo CCC se ubican en la franja latitudinal 2 y para el modelo GFDL-R30 en la franja latitudinal más al sur.

Finalmente, se recomienda realizar estudios para la República Mexicana con modelos regionales. El problema que genera usar modelos de circulación general es que muchas montañas importantes son limitadas por el espacio de rejilla y no son tomadas en cuenta para generar los resultados del modelo.

Franja latitudinal	enero CCC	julio CCC	enero GFDL-R30	julio GFDL-R30
14,0-18,9°N	1,4	1,6	1,4	1,9
19,0-19,9	1,3	1,6	1,6	2,2
20,0-21,4	1,4	1,6	1,5	1,8
21,5-24,4	1,5	1,9	1,8	1,9
24,5-32,0	2,1	2,8	1,4	1,6

Tabla 3: PROMEDIO DE LOS INCREMENTOS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO DE CADA FRANJA LATITUDINAL (°C)

Franja latitudinal	enero CCC	julio CCC	enero GFDL-R30	julio GFDL-R30
14,0-18,9°N	1,9	2,1	1,9	2,6
19,0-19,9	1,7	2,1	2,2	3,0
20,0-21,4	1,9	2,2	2,0	2,4
21,5-24,4	2,1	2,6	2,4	2,6
24,5-32,0	2,9	3,8	1,9	2,2

Tabla 4: PROMEDIO DE LOS INCREMENTOS DE LA TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO DE CADA FRANJA LATITUDINAL (°C)

Franja latitudinal	enero CCC	julio CCC	enero GFDL-R30	julio GFDL-R30
14,0-18,9°N	1,2	1,4	1,2	1,7
19,0-19,9	1,1	1,3	1,4	1,9
20,0-21,4	1,2	1,4	1,3	1,5
21,5-24,4	1,3	1,6	1,5	1,7
24,5-32,0	1,9	2,4	1,2	1,4

Tabla 5: PROMEDIOS DE LOS INCREMENTOS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA DE CADA FRANJA LATITUDINAL (°C)

Franja latitudinal	enero CCC	Julio CCC	enero GFDL-R30	julio GFDL-R30
14,0-18,9°N	2,1	2,4	2,1	2,9
19,0-19,9	1,9	2,3	2,4	3,3
20,0-21,4	2,0	2,4	2,2	2,6
21,5-24,4	2,3	2,9	2,7	2,9
24,5-32,0	3,2	4,2	2,1	2,5

Tabla 6: PROMEDIOS DE LOS INCREMENTOS DE LA TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA DE CADA FRANJA LATITUDINAL (°C)

Franja latitudinal	enero CCC	julio CCC	enero GFDL-R30	julio GFDL-R30
14,0-18,9°N	1,1	1,3	0,8	0,4
19,0-19,9	0,7	1,3	0,8	0,7
20,0-21,4	1,0	1,1	0,7	0,7
21,5-24,4	1,2	1,3	0,5	0,8
24,5-32,0	1,4	1,6	0,4	0,7

Tabla 7: PROMEDIOS DE LOS INCREMENTOS DE LA HUMEDAD ESPECÍFICA DE CADA FRANJA LATITUDINAL (g/Kg)

Región	enero CCC	julio CCC	enero GFDL-R30	julio GFDL-R30
14,0-18,9°N	-4,4	-11,4	-29,5	-20,7
19,0-19,9	-6,7	-11,5	3,1	1,4
20,0-21,4	-4,8	-12,6	-12,1	-15,9
21,5-24,4	0,0	-9,1	3,5	-6,7
24,5-32,0	-0,9	-5,6	19,2	-3,2

Tabla 8: PROMEDIOS DE LOS INCREMENTOS DE LA HUMEDAD RELATIVA DE CADA FRANJA LATITUDINAL (%)

Mediante los posibles escenarios ante condiciones de 2xCO₂ de las temperaturas extremas, temperaturas promedio máxima y mínima, humedad específica y humedad; se pueden realizar estudios de vulnerabilidad del país con respecto a sus actividades productivas (como en el sector agrícola y en el sector energético, por ejemplo), y para estudios de confort térmico humano, con el fin de desarrollar opciones de mitigación y adaptación ante las consecuencias del cambio climático.

5. RECONOCIMIENTOS

Este trabajo es parte de los resultados del proyecto *Evaluación integrada de la vulnerabilidad social de los agricultores de México y Argentina a la variabilidad y cambio climáticos (2002-2005)*, desarrollado dentro del conjunto de proyectos Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change (AIACC), con el apoyo del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), e implementado por el Global Change SysTem for Analysis, Research and Training (START) y la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (TWAS).

Los autores agradecen el apoyo para la edición de este texto, del maestro Alberto Utrera Zárate y del señor Guillermo García Grijalva.

6. REFERENCIAS

ADEM, J. (1967). "Parametrization of atmospheric humidity using cloudiness and temperature". *Monthly Weather Review*, 95 pp. 83-88.

- BELL, J., SLOAN, L. y SNYDER, M. (2004). "Regional Changes in Extreme Climatic Events: A future Climate Scenario". *Journal of Climate*, 17 pp. 81-87.
- CONDE, C. (1995). *Modelo radiativo-convectivo en la atmósfera*. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias (Geofísica). Facultad de Ciencias de la UNAM.
- CONDE, C., SÁNCHEZ, O. y GAY, C. (1994). Escenarios básicos y regionales. Estudio de País: México. En: *Primer Taller de Estudio de País: México. México ante el cambio climático, Memorias*. UNAM y County Study Programm, pp. 39-43.
- CONDE, C., SÁNCHEZ, O., MAGAÑA, V. y GAY, C. (1995). Escenarios climáticos básicos y regionales. En: *Segundo Taller de Estudio de País: México. México ante el cambio climático, Memorias*. UNAM y County Study Programm, pp. 101-111.
- CONDE C, SÁNCHEZ, O. y GAY, C. (2000). Escenarios físicos regionales. En: GAY, C. (Compilador). *México: Una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México*. SEMARNAP, UNAM, USCSP, pp. 1-24.
- FERNÁNDEZ, A., MARTÍNEZ, J. y HOSANNILLA, P. (2003). *Avances de México en materia de Cambio Climático 2001-2002*, SEMARNAP, INE.
- GAY, C. (Compilador) (2000). México: *Una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México*. SEMARNAP, UNAM, USCSP.
- GEIGER, R. (1957). *The climate near the ground*, Harvard University Press. Cambridge.
- HERNÁNDEZ, E., TEJEDA, A. y REYES, S. (1991). *Atlas Solar de la República Mexicana*. Universidad Veracruzana y Universidad de Colima. México.
- HESS, L. (1959). *Introduction to Theoretical Meteorology*. Henry Holt and Co. New York.
- JÁUREGUI, E., RUIZ, A., GAY, C. y TEJEDA, A. (1995). Una estimación del impacto de la duplicación del CO₂ atmosférico en el bioclima humano de México. En: *Segundo taller de estudio de país: México. México ante el cambio climático. Memorias*. UNAM y County Study Programm, pp. 219-225.
- MAGAÑA, V. (1995). Escenarios Físicos de Cambio Climático. En: *Segundo Taller de estudio de país: México. México ante el cambio climático. Memorias*. UNAM y County Study Programm, pp.219-225.
- MAGAÑA, V., CONDE, C., SÁNCHEZ, O. y GAY, C. (2000). Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México. En: GAY, C. (Compilador). *Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*. SEMARNAP, UNAM y USCSP, pp. 15-21.
- MANABE, S. y WETHERALD, R. (1967). "Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Given Distribution of Relative Humidity". Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, ESSA, Washington, D.C. *Journal of the Atmosphere Sciences*, 24(3), pp. 241-243.
- PHILLIPS, D. y SKINDLOV, J. (1990). "The Impact of increasing summer mean Temperatures on Extreme Maximum and Minimum Temperatures in Phoenix". *Arizona. Journal of Climate*, 3, pp. 1491-1494.
- STULL, R. B. (2000). *Meteorology for scientists and engineers*. Brooks/Cole Thompson Learning. Pacific Grove, California.
- TEJEDA, A. (1991). "An exponential model of the curve of mean monthly air temperature". *Atmósfera*, 4, pp. 139-144.
- TEJEDA, A. y VARGAS, A. (1996). "A correlation between visual observations and instrumental records of cloudiness in México". *Geofísica Internacional*, 35, pp. 421-424.
- TEJEDA, A. y RIVAS, D. (2001). Un escenario de bioclima humano en ciudades del sur de México, bajo condiciones de 2xCO₂ atmosférico. En: *El tiempo del clima*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC) Serie A, no. 2, pp. 551-562.
- VALENCIA-TREVIZO, L. E. (2005). *Oscilación térmica y humedad atmosférica en México ante condiciones de duplicación de CO₂ atmosférico*. Tesis de Licenciatura en Ciencias Atmosféricas, Universidad Veracruzana, México.