

# EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA VEGETACIÓN EN MÉXICO

Lourdes Villers-Ruiz e Irma Trejo-Vázquez.\*

## Resumen

Se realizó una evaluación de la vulnerabilidad que tendrían los ecosistemas forestales de México, como consecuencia de la aplicación de tres modelos de cambio climático (CCC, GFDL-R30 y de sensibilidad: +2°C de temperatura y -10% en precipitación). Se utilizaron las clasificaciones de clima y vegetación adaptadas para México por García y Rzedowski. Se evaluó la vegetación que se establecería, de acuerdo con los tres modelos. Se señalaron las áreas que resultarían afectadas, de acuerdo con el estado de deterioro de la vegetación actual, y los porcentajes por tipo de vegetación que estarían expuestos a diferentes variaciones climáticas, según indican los modelos.

En general, los bosques templados fríos y semicálidos son los tipos de vegetación más sensibles al cambio climático y tenderían a desaparecer al incrementarse la temperatura. Los bosques tropicales secos, muy secos y espinosos, con afinidades cálidas, tenderían a ocupar mayores superficies que en la actualidad, principalmente con el modelo CCC. El GFDL-R30 proyecta un incremento en la distribución de los bosques tropicales húmedos y subhúmedos, que se serían favorecidos con el aumento en la precipitación.

Los ecosistemas más afectados por el impacto humano son los bosques tropicales y pastizales, en contraste con los bosques templados y el matorral xerófilo que aparentemente, tienen un menor grado de deterioro antropogénico, donde la afectación por el cambio climático sería mayor.

**Palabras clave:** vegetación, México, cambio climático

## 1. Introducción

La mayoría de los estudios realizados para México sobre cambio climático y su relación con la vegetación, están más bien dirigidos hacia la investigación del papel que juegan las plantas como fuentes de emisión o secuestro de carbono. Éste es el caso de los trabajos realizados por Bellón, *et al.* (1994), Masera, *et al.* (1992), y Segura (1992), entre otros. En contraste, el estudio de los efectos del cambio climático sobre la vegetación de México, es un tópico relativamente poco explorado. A nivel internacional los trabajos de Shugart (1984), que inicialmente se refieren a la dinámica forestal, actualmente se han aplicado para modelar las respuestas potenciales de la vegetación al cambio climático global (Smith, *et al.*, 1992).

Los estudios acerca de la manera en que la vegetación se manifiesta a los cambios ambientales van, desde los muy particulares, como los de respuestas fisiológicas, hasta cambios a gran escala, como el mapeo de zonas ecoclimáticas de la vegetación y el impacto que recibirían por una duplicación en concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico.

Los resultados de modelos prospectivos, aplicados a nivel global, señalan que la vegetación de latitudes altas sería más sensible a los cambios en temperatura; en particular, los bosques boreales serían los más afectados. En cambio, los ecosistemas tropicales serían más sensibles a los cambios en precipitación (Emanuel, *et al.*, 1985, Kauppi & Posch, 1985 y Bolin, *et al.*, 1986). Estos modelos han sido diseñados para diferentes escalas, que van desde regional, hasta continental y global. Los requerimientos de información para cada uno de ellos dependen precisamente del detalle que se quiere alcanzar.

El punto de partida para estos análisis, a nivel de país, es relacionar patrones de vegetación con

---

\* Instituto de Geografía, UNAM. Ap. Postal 20-850, 04510 México, D.F. E-mail: villers@servidor.unam.mx

condiciones del clima actual para, posteriormente, crear escenarios de cambio climático y evaluar si las modificaciones en el clima, tendrían repercusiones en la distribución de la vegetación, o bien analizar el tipo de vegetación actual que resultaría más afectada ante un eventual cambio en el clima. El presente estudio analiza este tipo de implicaciones.

## 2. Métodos

Con el fin de crear un mapa base de la vegetación actual de México y su relación con el clima, se hizo una correspondencia entre el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García (1988) y la tipología de vegetación realizada por Rzedowski (1978, 1992).

Para la generación de escenarios prospectivos, se aplicaron dos modelos que toman en cuenta la duplicación en la concentración de CO<sub>2</sub>: el *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* (GFDL-R30) y el *Canadian Climate Center* (CCC), (Conde, *et al*, 1995). Además se trabajó con un modelo de sensibilidad al cambio climático, en el que se aumentó homogéneamente la temperatura del país 2° C y se disminuyó 10% a la precipitación actual.

La clasificación climática de García (1989) para la República Mexicana fue cartografiada en una rejilla de 0.5 x 0.5 grados de latitud, longitud. Se estudiaron y evaluaron las estaciones meteorológicas que representarían las características climáticas del país a ese nivel de detalle y de las cuales se tuviera disponibilidad de datos de temperatura media y precipitación total a nivel mensual, para un periodo de 30 años, comprendidos entre 1950 y 1980. Así a cada uno de los 770 cuadros en los que está dividido el territorio mexicano, con la resolución antes mencionada, se le asoció una base de datos climática de 365 estaciones, con el promedio de los 30 años requeridos.

Los 29 tipos climáticos que define García se reordenaron en 16 grupos, con el fin de hacer más equilibrada la correspondencia entre éstos y los nueve tipos de vegetación delimitados por Rzedowski, y así facilitar su interpretación.

Se hicieron sobreposiciones de la carta de la vegetación que debería cubrir el territorio si no existiera ningún impacto humano (Rzedowski, 1992), con cada uno de los parámetros del clima, para reconocer las condiciones climáticas en las que preferentemente se distribuye cada tipo de vegetación, las sobreposiciones se hicieron en un sistema de información geográfica: ILWIS (Integrated Land and Water Information System) ITC, 1992, instalado en computadoras personales. De esta manera fue posible, a nivel teórico, asignar a cada tipo de clima la vegetación correspondiente.

Con los datos de las estaciones climatológicas seleccionadas, se generó un mapa de clima actual, al que se le aplicaron las modificaciones de temperatura y precipitación que señalan los modelos utilizados, con lo cual se obtuvieron tres diferentes mapas de clima, de acuerdo con cada uno de los modelos propuestos.

Con la información anterior se generaron los mapas de la posible distribución de la vegetación, de acuerdo con las correspondencias clima-vegetación, por lo que se asignó a cada área la vegetación que potencialmente podrían sostener esas nuevas condiciones climáticas.

Al sobreponer los mapas de escenarios climáticos con los del clima actual, se obtuvieron mapas en los cuales se muestran las áreas del país que presentarían modificaciones en el tipo climático, de acuerdo con cada modelo, en contraste con las que permanecerían sin cambio (mapas de variación climática).

Posteriormente, se sobrepusieron cada uno de los tres mapas de variación climática al de vegetación potencial actual, con el fin de señalar espacialmente las áreas de vegetación que serían afectadas, de acuerdo con cada uno de los escenarios de cambio climático.

En virtud de que los modelos CCC y GFDL-R30 predicen un cambio de temperatura y precipitación, según el área geográfica del país (aumentos en temperatura entre 2 y 4°C, así como incrementos o decrementos en precipitación), y que estas variaciones no implican forzosamente un cambio en el tipo de clima y, por lo tanto, la presencia de un tipo de vegetación diferente al actual, se cuantificó únicamente la proporción de cada tipo de vegetación que si estaría expuesta a las diferentes variaciones climáticas.

Finalmente, se sobrepusieron los mapas de variación climática de los tres modelos al de vegetación y

de uso actual del suelo, con el fin de evaluar el impacto del cambio climático considerando el estado de conservación que actualmente presentan los ecosistemas, ya que esto podría relacionarse posteriormente con la implementación de políticas de mitigación y adaptación.

### **3. Resultados**

#### **3.1 Vegetación que potencialmente se establecería en México debido a un cambio climático**

A pesar de existir diferente grado de detalle entre la clasificación climática y la tipología de la vegetación, fue posible reconocer una correspondencia entre ambos, como se señala en el cuadro 1. Aun cuando algunas agrupaciones vegetales están en un espectro climático amplio, se logró asignar a cada tipo climático la vegetación potencial que se desarrolla bajo esas condiciones.

Con esta correspondencia se determinaron los cambios potenciales en la distribución de la vegetación; se consideró que los cambios climáticos serían lo suficientemente lentos como para permitir la migración y adaptación de las especies. A continuación se describe la vegetación potencial que existiría en México, de acuerdo con los modelos.

El Modelo de Sensibilidad (+2°C y -10% pp), predice un aumento en la distribución de los climas cálidos y una disminución de la humedad; estos cambios repercutirían en la distribución de la vegetación. Los bosques tropicales perennifolios, subperennifolios y caducifolios que hay en climas cálidos húmedos y subhúmedos del tipo 1 (temperatura media anual > 22°C y un cociente de precipitación/temperatura entre 43 y 55), aumentarían ligeramente su distribución; podrían establecerse en áreas con mayor altitud que las actuales.

De acuerdo con este modelo, el aumento de la temperatura favorecería el establecimiento de comunidades tropicales, restando terreno a bosques templados de encino y de coníferas establecidos en climas templados y semifríos; estos últimos desaparecerían al aplicar el modelo.

El límite latitudinal de los bosques espinosos se desplazaría hacia el sur, principalmente en la vertiente del Pacífico, ya que se serían favorecidos por las condiciones de mayor aridez, en estados como Sonora y Sinaloa, o en la Cuenca del Balsas e Istmo de Tehuantepec donde se ampliaría su distribución. En la vertiente del Golfo, estos bosques tendrían una mayor distribución en Tamaulipas y Nuevo León.

**Cuadro 1.** Correspondencia de los tipos de vegetación, según J. Rzedowski, con la clasificación climática de E. García para la República Mexicana

Tipo de vegetación	Temperatura		Humedad	
	Cubrimiento en %	Tipo	Cubrimiento en %	Tipo
Bosque tropical perennifolio	91.9	Cálido	36.6 32.1 15.7	Subhúmedo2 Húmedo Muy Húmedo
Bosque tropical subperennifolio	98.9	Cálido	38.1 36.8 20.8	Subhúmedo1 Subhúmedo0 Subhúmedo2
Bosque tropical caducifolio	61.5 32.4	Cálido Semicálido	44.3 22.1 11.8	Subhúmedo0 Subhúmedo1 Subhúmedo2
Bosque espinoso	70.4 28.4	Cálido Semicálido	32.2 24.5 18.4 18.0	Semiárido Áridos Muy áridos Subhúmedo1
Matorral xerófilo	60.5 20.6 18.7	Semicálido Cálido Templado	48.5 26.3 21.5	Muy árido Áridos Semiárido
Pastizal	65.8 31.0	Templado Semicálido	39.8 27.1 21.9	Semiárido Muy árido Árido
Bosque templado (Coníferas y <i>Quercus</i> )	49.3 34.3 11.5	Templado Semicálido Cálido	24.4 22.9 18.8 18.7	Subhúmedo2 Subhúmedo1 Semiárido Subhúmedo0
Bosque mesófilo	55.6 32.9	Semicálido Cálido	44.7 33.0 17.1	Muy húmedo Húmedo Subhúmedo2
Vegetación Acuática	86.4	Cálido	56.2 18.2	Húmedo Subhúmedo0

NOTA: La equivalencia entre los tipos climáticos aquí señalados con la clasificación de E. García es como sigue: Cálidos=A; Semicálidos=A(C) y C(A); Templados=C; para el régimen de lluvia: Húmedos y Muy húmedos=m y f; Subhúmedo2=w2; Subhúmedo1=w1; Subhúmedo0=w0; Muy árido=BW; Árido=BS0; Semiárido=BS1.

Asimismo, el pastizal y ciertos tipos de matorrales con afinidades templadas, serían desplazados por los matorrales xerófilos con preferencias de climas cálidos y más secos (cuadro 2).

**Cuadro 2.** Porcentajes de vegetación potencial actual, de acuerdo con el clima actual y según modelos aplicados

Tipo de clima (Köppen, modificado por García)	Tipo de vegetación (Rzedowski)	Potencial actual	Modelo de sensibilidad	Modelo CCC	Modelo GFDL-R30
Cálido húmedo	Bosque tropical perennifolio	5.86	6.40	6.67	7.85
Cálido subhúmedo 2	Bosque tropical subperennifolio	3.67	1.33	1.71	6.35
Cálido subhúmedo 1	Bosque tropical caducifolio y bosque tropical subperennifolio	17.70	20.12	20.20	22.80
Semicálido húmedo	Bosque mesófilo	2.10	0.26	0.54	1.30
Semicálido subhúmedo 2	Bosque tropical subperennifolio y bosque mesófilo	0.38	0.91	0.13	2.02
Semicálido subhúmedo 1	Bosque tropical caducifolio	6.58	4.62	5.02	5.97
Templado húmedo	Bosque de coníferas y <i>Quercus</i>	0.56	0.28	0.28	0.28
Templado subhúmedo 2	Bosque de coníferas y <i>Quercus</i>	2.67	1.32	1.31	2.12
Templado subhúmedo 1	Bosque de coníferas y <i>Quercus</i>	3.13	2.31	2.06	1.52
Semifrío	Bosque de coníferas	2.31	0.00	0.00	0.00
Seco cálido	Bosque espinoso y matorral xerófilo	11.00	19.67	18.10	18.38
Seco semicálido	Matorral xerófilo y bosque espinoso	10.50	11.03	21.96	15.68
Seco templado	Pastizal y matorral xerófilo	11.60	3.97	12.49	10.86
Árido cálido	Matorral xerófilo	6.07	16.88	7.96	4.33
Árido semicálido	Matorral xerófilo	11.37	10.26	1.58	0.51
Árido templado	Pastizal	4.72	0.63	0.00	0.00

NOTA: Los climas cálidos presentan temperatura media anual >22°C, los semicálidos entre 18 y 22°C y los templados entre 12 y 18°C. Los grupos de humedad se separan por el cociente P/T (precipitación/temperatura), ver: García, 1988.

De acuerdo con el modelo CCC, el aumento de la temperatura media anual en el país sería de 2.8°C y habría un decremento de 7% en la precipitación anual. Este modelo predice una tendencia muy similar a la del modelo anterior, para el caso de bosques tropicales perennifolios, subperennifolios y caducifolios. Estos últimos tenderían a ocupar zonas de mayor altitud que la actual, sobre todo en los estados de Jalisco y Guerrero.

Los climas secos cálidos y semicálidos incrementarían su superficie cubriendo áreas como la cuenca del Balsas, el Istmo de Tehuantepec, el centro del estado de Oaxaca, así como el norte de Tamaulipas, lo que propiciaría el establecimiento de bosques espinosos o bosques tropicales caducifolios en sus formas más secas en estas zonas. El incremento se observa también en los estados de San Luis Potosí, Guanajuato y Zacatecas, donde los climas templados serían desplazados por otros más calientes, de tal manera que las comunidades vegetales de estas zonas serían matorrales xerófilos expuestos a condiciones más cálidas.

El escenario que plantea el modelo GFDL-R30 es el menos severo de los tres analizados. El modelo predice un aumento promedio de temperatura de 3.2°C y un incremento en precipitación del 20%. Estos incrementos no se reflejan en los cambios a nivel de tipo climático.

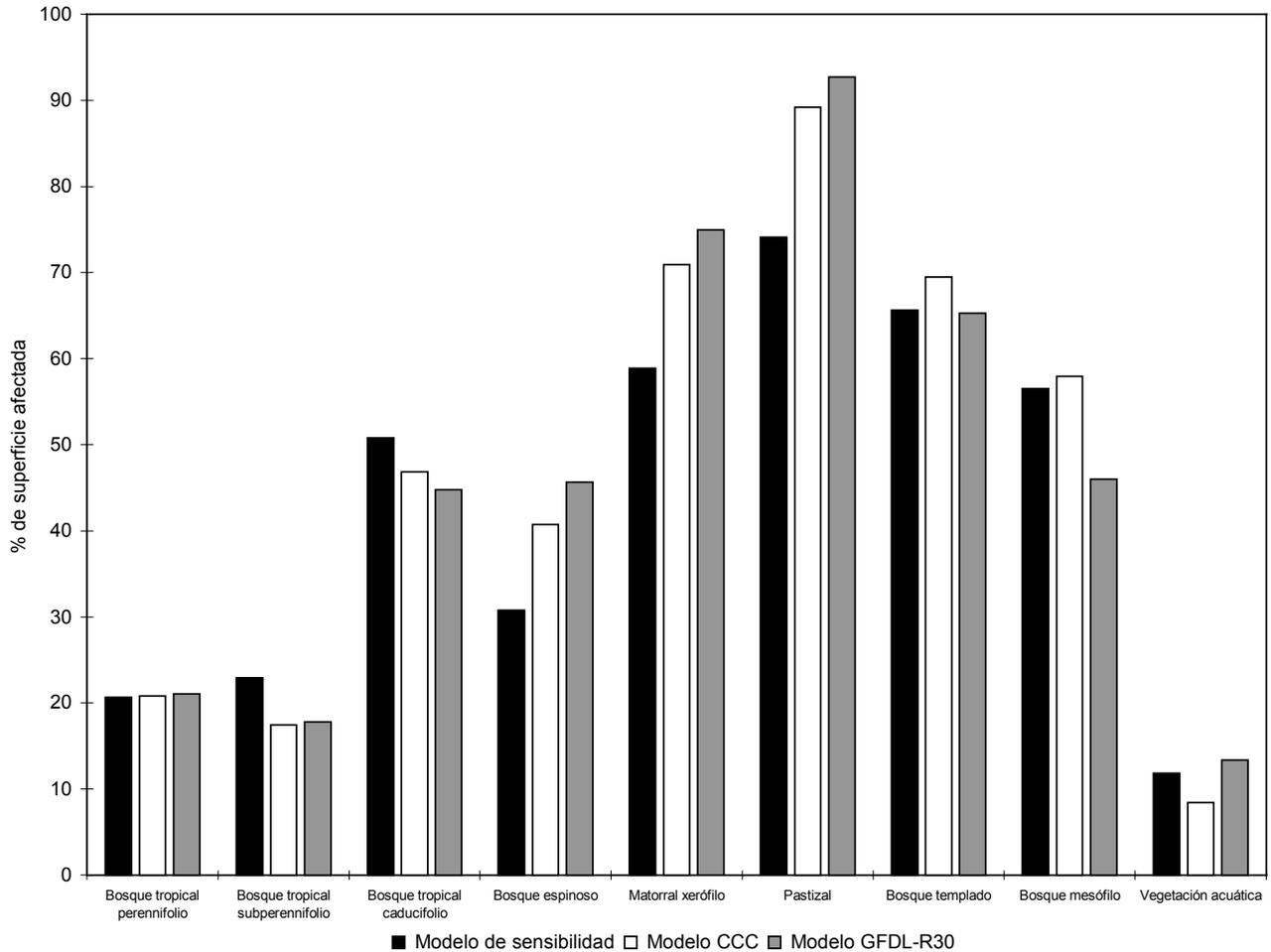
Se observa un incremento en la presencia de climas más cálidos, tanto húmedos, como subhúmedos (de 27 a 37% de la superficie total del país). Esto beneficiaría a los bosques tropicales, los cuales podrían ampliar su distribución hacia zonas más al norte del país que las ocupadas actualmente. Los climas árido templado y semicálido prácticamente desaparecerían, por lo que los pastizales y los matorrales xerófilos serían desplazados por matorrales con afinidades a mayor humedad y mayor temperatura, o incluso por bosques espinosos.

Los bosques de coníferas asentados en climas semifríos, serían remplazados por comunidades más templadas, por ejemplo encinares, que, a su vez, tenderían a establecerse en lugares con mayor altitud.

### **3.2 Variación climática sobre la vegetación potencial actual**

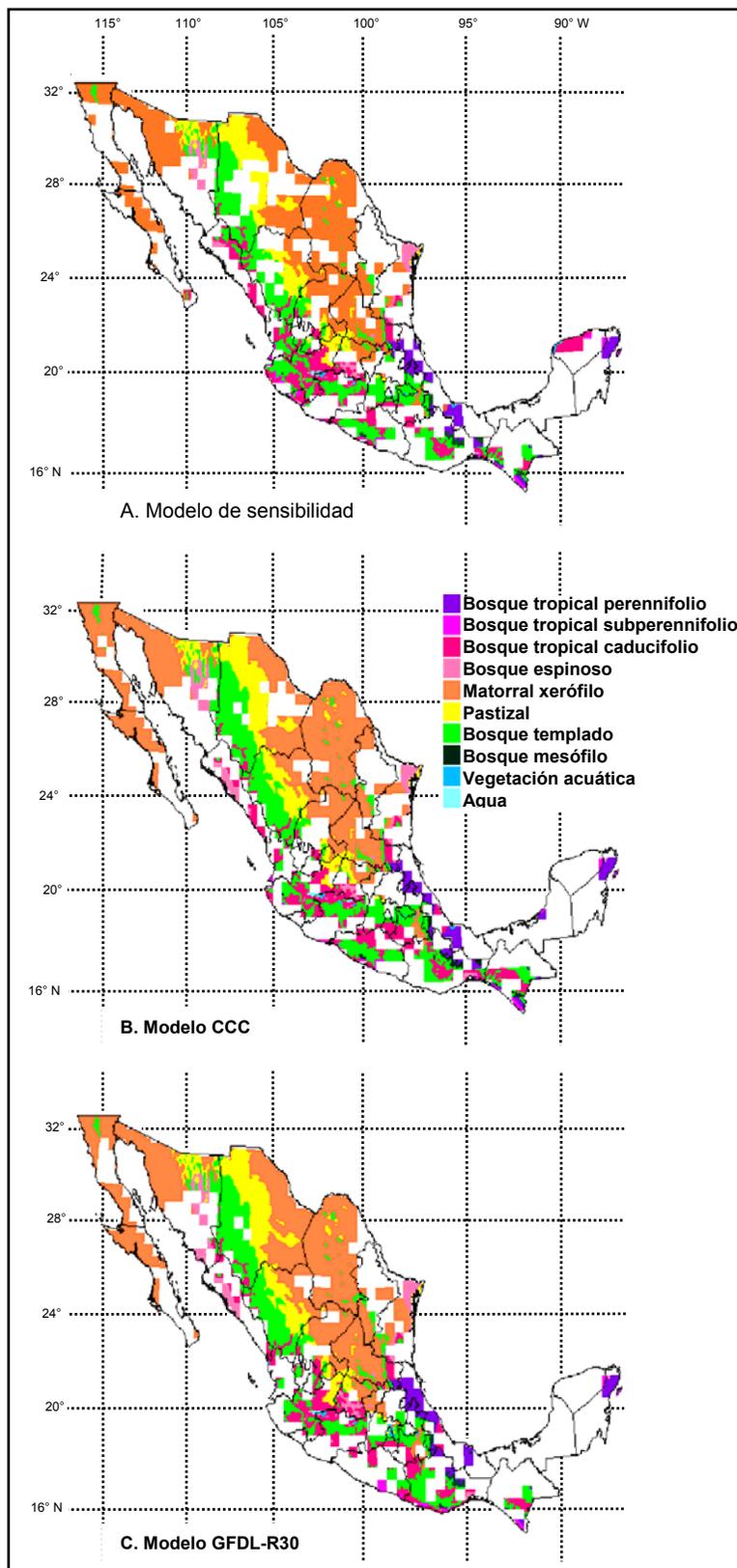
El cambio en la distribución de las comunidades vegetales que predicen los modelos, implica que la vegetación debería tener la capacidad de respuesta para adaptarse o migrar en un tiempo menor del que normalmente requieren estos procesos, lo cual es poco probable (Markham, 1996). Por esta razón, en el presente apartado y en el siguiente se evaluará el impacto del cambio climático en los ecosistemas actuales, sin considerar una redistribución de la vegetación.

En la figura 1 se grafican los resultados de la aplicación de los tres modelos de cambio climático al mapa de vegetación potencial actual. Alrededor de 50% del país se verá afectado por el cambio climático: 52.2% en el modelo de sensibilidad, 52% en el modelo CCC y cerca del 58% en el modelo GFDL-R30.



**Figura 1.** Vegetación potencial en afectada México, de acuerdo con cada uno de los modelos de cambio climático.

Se observa que, dependiendo del modelo, las comunidades vegetales se verán afectadas diferencialmente. Las más sensibles son las que se establecen en lugares con climas templados, tales como los bosques de coníferas y encinos (bosques templados), bosques mesófilos, pastizales y matorrales xerófitos. Como puede observarse, entre 65 y 70% de la superficie total de los bosques templados resultaría afectado; los bosques mesófilos estarían expuestos al cambio entre 46 y 58% de su extensión. Los pastizales, así como aquellos matorrales xerófilos con afinidades templadas, hasta 93% de su superficie total sería afectada por el cambio. En la figura 2 se muestran las áreas del país afectadas, de acuerdo con cada modelo aplicado.



**Figura. 2.** Áreas de vegetación afectadas por el cambio climático.

Las variaciones climáticas a las que estarían sujetos estos tipos de vegetación son muy amplias, de acuerdo con lo que predicen los modelos CCC y GFDL-R30. Los incrementos en temperatura varían de menos de 1.5°C a más de 4.5°C, a lo largo del territorio; las variaciones en la precipitación van de menos de 30% a más 40% en el modelo CCC, y de menos de 30% a más de 70% en el modelo GFDL-R30. Estos cambios se distribuyen de tal forma en el país que en áreas como el norte de México la temperatura media se elevaría más de 4°C, en contraste con zonas en el sur donde el incremento térmico estaría alrededor de los 2 y 2.5°C. Con respecto a las tasas de precipitación, el modelo CCC predice que la mayor parte del país estaría sujeto a decrementos en la precipitación; en contraste, el modelo GFDL-R30 predice incrementos diferenciales en precipitación. Por ejemplo, gran parte del centro de México presentaría tasas entre +20% y +30% y en algunas zonas del sur del país las tasas están alrededor de 40%.

Las distintas combinaciones en cambios de temperatura y precipitación, propuestas por estos modelos, implican que la vegetación debería tolerar condiciones más secas y cálidas que las actuales, en el caso de la disminución en la precipitación; o, por el contrario, estar expuesta a condiciones de mayor humedad, como lo propone el modelo GFDL-R30.

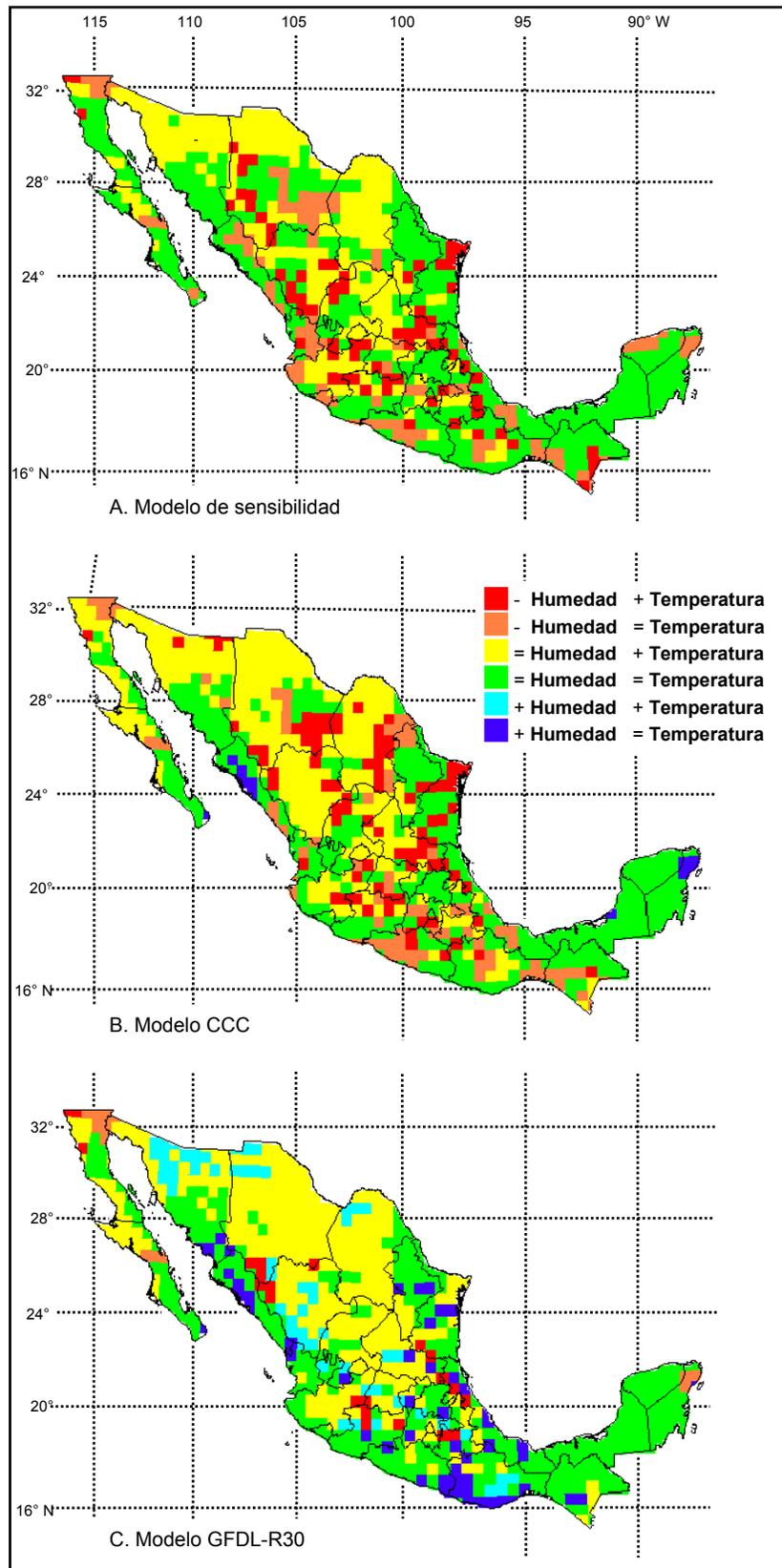
Considerando la distribución potencial de la vegetación en las condiciones actuales, se estimaron las variaciones climáticas a las que se sometería cada tipo de vegetación (distintas combinaciones en humedad y temperatura), por lo que, en este caso, se evalúa también la tendencia que presentan ante el cambio climático.

Cada tipo de clima está definido por ciertos rangos de temperatura y humedad (García, 1988); rebasar los límites de cada uno implica un cambio en el tipo climático; sin embargo, en ocasiones, los incrementos o decrementos no son lo suficientemente importantes como para pasar a un tipo climático distinto. De esta manera, cuando en un área aumentó la temperatura, sin sobrepasar el rango de clasificación, se consideró que no había cambio en ésta. Por ejemplo, el aumento en la temperatura de los climas semicálidos que no sobrepase el rango de clasificación, no produciría alteraciones en los ecosistemas establecidos; pero si se rebasa el límite de semicálido a cálido, se generaría una condición de estrés para la vegetación.

Con el modelo de sensibilidad, los tipos de vegetación más afectados por estas variaciones climáticas son los que están expuestos a condiciones más secas y más cálidas (señaladas como -Humedad +Temperatura en la figura 3A), y corresponderían al bosque mesófilo de montaña que tendrían alrededor de 31% de su superficie total afectada, seguido de los bosques templados (22%), el bosque espinoso y el bosque tropical caducifolio (10%). Las zonas más sensibles en las cuales se ubican los bosques templados son: la Sierra Madre Occidental, en los estados de Chihuahua y Durango, norte de Jalisco, las serranías al sur de Chapala, el oriente de Michoacán, norte de Morelos y la Sierra de Zongolica en Veracruz. Los bosques mesófilos que serían más afectados se localizan al oriente de Oaxaca y en la zona de Comitán, en Chiapas. Los bosques tropicales perennifolios y subperennifolios conservan alrededor de 80% de su superficie en áreas que mantendrán el mismo tipo de clima.

De acuerdo con el modelo CCC (figura 3B), casi todos los tipos de vegetación tendrían cerca de 10% de su superficie afectada por condiciones más secas y cálidas que las actuales, lo que representaría una fuerte presión para esas zonas. Los matorrales xerófilos situados al sur de Chihuahua, centro oriente de Coahuila, norte de Zacatecas y en San Luis Potosí tendrían una mayor superficie expuesta a climas más cálidos, principalmente en los pastizales, matorral xerófito y bosques templados.

En cambio, el modelo GFDL-R30 predice un panorama distinto (figura 3C), ya que gran parte del país habría incrementos tanto en temperatura como en humedad. Los bosques espinoso, tropical caducifolio y tropical subperennifolio, tendrían parte de su área de distribución expuesta a incrementos en precipitación pero con temperatura constante (entre 11 y 17% de su superficie), principalmente en Oaxaca y su colindancia con Guerrero. De igual manera, el bosque templado y el mesófilo de montaña tendrían cerca de 10% de su superficie expuesta a incrementos en precipitación, aun cuando gran parte de su área mostraría cambios hacia climas más cálidos. Esto último sucede también con el matorral xerófito y el pastizal.



**Figura 3.** Áreas afectadas por las variaciones climáticas de acuerdo con el modelo aplicado.

### 3.3 Cambio climático y el uso actual del suelo

Es necesario considerar que el análisis anterior fue realizado con base en la superficie y la distribución potencial de la vegetación, y que, de acuerdo con la dinámica actual de cambio de uso del suelo en México, algunas de las áreas que se señalan como afectadas por el cambio climático, no tienen cubierta vegetal o tienen vegetación secundaria (perturbada en distintos grados). La acción humana se convierte, en este caso, en una limitante fundamental para la existencia de vegetación natural, por lo que es importante considerarla dentro de la evaluación de cambio climático.

En las figuras 4, 5 y 6 se muestra la superficie que ocupan los distintos tipos de vegetación, tanto la potencial propuesta por Rzedowski (figura 4), en la cual no se analiza la intervención humana, como la que actualmente ocupa, considerando este factor. El mapa de uso actual del suelo (figura 5), es el resultado de la conjugación de diversas fuentes, resumido por Oropeza, *et al.* (1992) y modificado por las autoras para poder identificar el origen de las comunidades secundarias genéricas. Sin embargo, cabe aclarar que la veracidad en la interpretación del estado de conservación de la vegetación está sujeta a verificación, por lo que los resultados obtenidos son sólo una primera aproximación.

Del total de la superficie reportada para cada tipo de vegetación, se señala el porcentaje conservado y el deteriorado, agrupado este último en vegetación secundaria. Como vegetación conservada se considera aquella que contiene los elementos estructurales y florísticos que definen al tipo de vegetación nativa. En el rubro de vegetación secundaria se considera una gama de comunidades que han perdido su composición original, ya sea por fragmentación del bosque, extracción de especies, talas, quemadas, etcétera, pero que se puede identificar el tipo de vegetación original del cual proviene y que fue alterado. Cabe mencionar que las áreas señaladas como conservadas, pueden incluir, en cierta medida, comunidades con cierto grado de deterioro, pero que debido a la escala cartográfica utilizada y a la heterogeneidad interna de la vegetación, resultó difícil deslindar.

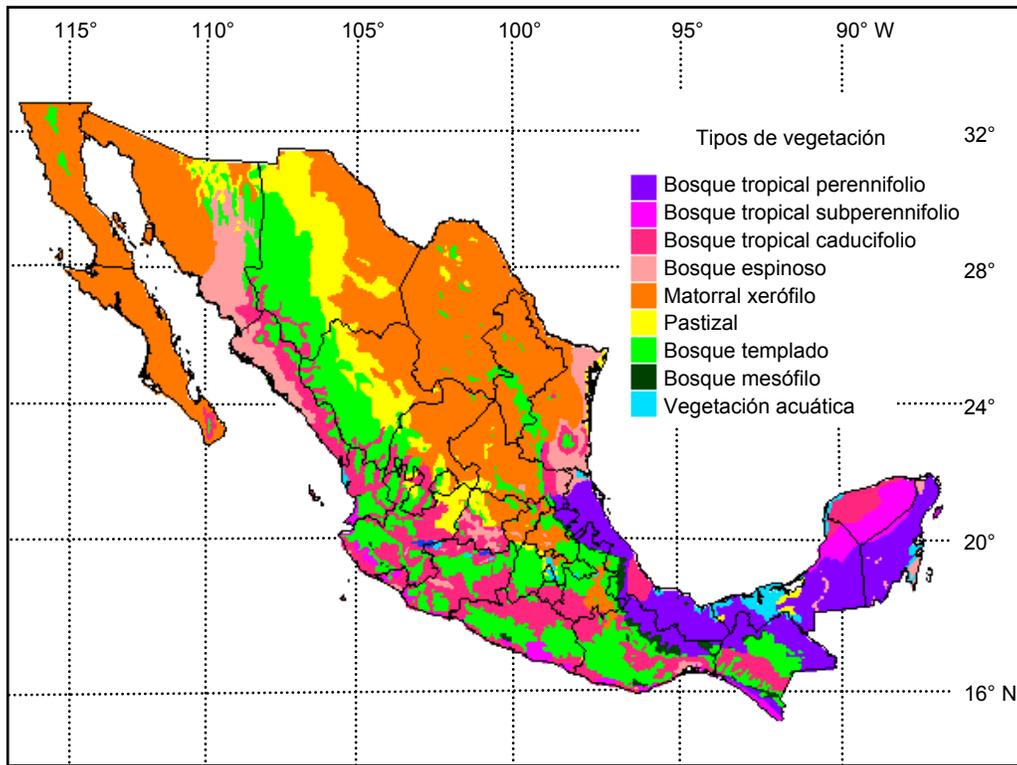


Figura. 4. Vegetación potencial (Rzendowski, 1992).

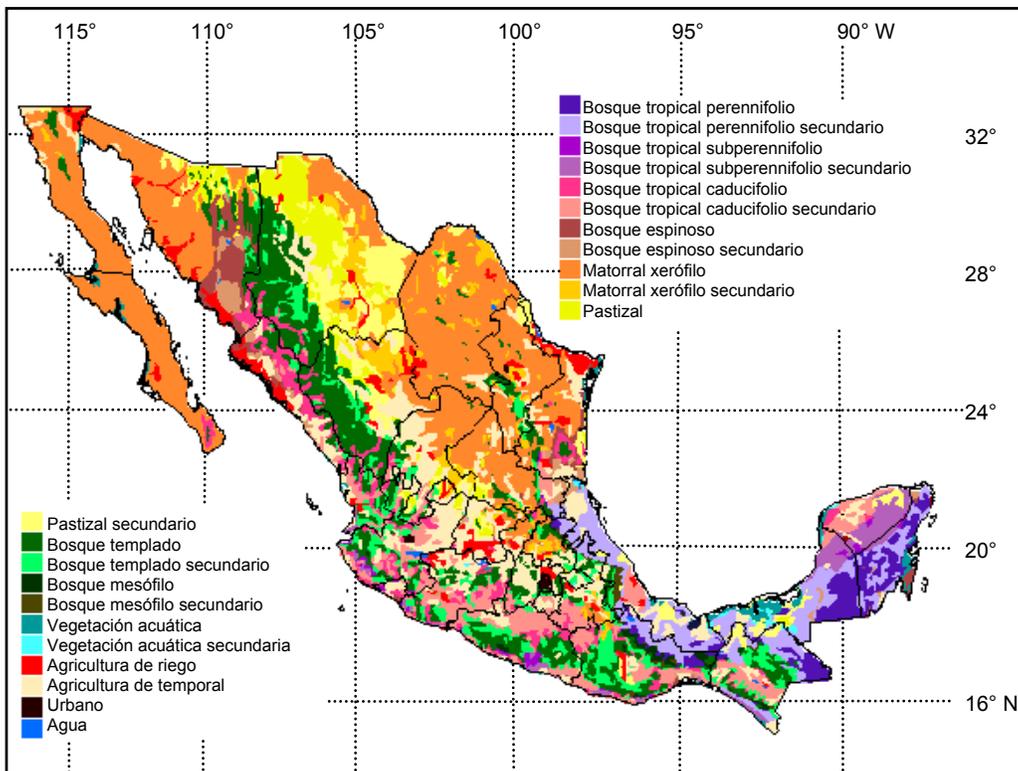
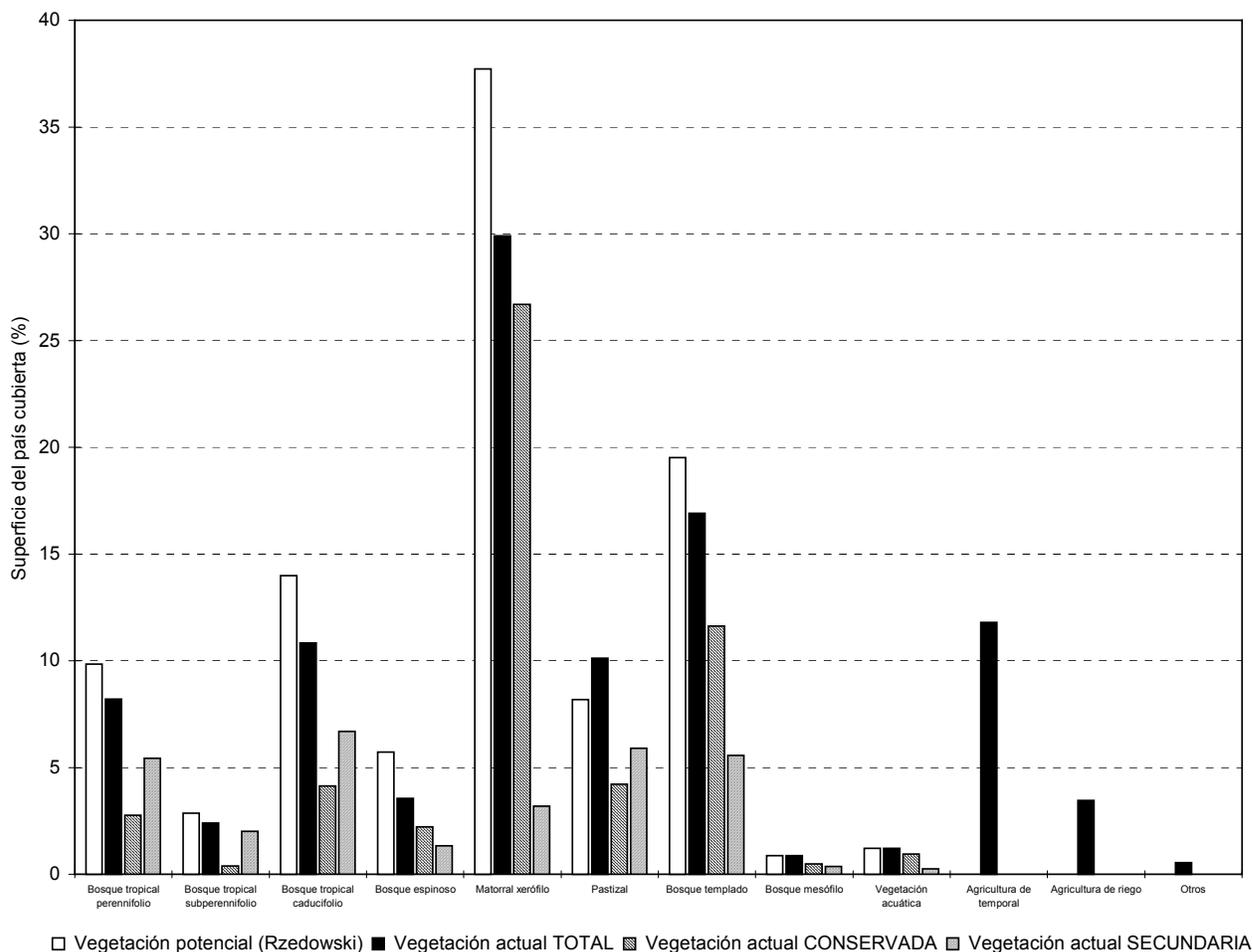


Figura. 5. Vegetación actual



**Figura. 6.** Porcentajes de la vegetación potencial y actual de México, su estado de conservación señalando para el último caso.

La figura 6 incluye, la superficie cubierta por cada tipo de vegetación, así como las que han sido destinadas a otros usos, principalmente a la agricultura o a la ganadería extensiva que se desarrolla en ciertas áreas de pastizal. Se detectan las superficies de cobertura vegetal que se han perdido por el impacto del uso humano, de los que se destacan los bosques tropicales por su alto grado de deterioro.

En el cuadro 3 se muestra la superficie de cada tipo de vegetación que, en su distribución actual, se vería afectada por el cambio climático, de acuerdo con cada modelo, así como la proporción relativa del total de la superficie de cada tipo que está en condiciones aceptables de conservación o en distintos grados de deterioro.

Como se ha venido señalando, los pastizales, los bosques templados y los matorrales xerófitos con afinidades templadas, son los tipos de vegetación más sensibles, principalmente de este último tipo de vegetación se considera que aún se conserva entre 88 y 90% de la superficie que estaría expuesta al cambio climático. Más de 60% de los bosques templados de pinos y encinos resultarían afectados, de los cuales se calcula que alrededor de 73% aún se conservan. De los pastizales, entre 66 y 86% se vería afectado, según lo indican los modelos, pero de éste más de 50% está perturbado. En el caso de los bosques tropicales, las áreas expuestas al cambio muestran proporciones muy altas, y entre 60 y 85% de este tipo de vegetación es secundaria.

**Cuadro 3.** Porcentaje de la vegetación actual afectada por el cambio climático, considerando su estado de conservación

Tipo de vegetación	Modelo de sensibilidad			Modelo CCC			Modelo GFDL-R30		
	AFECTADA	Conservada	Secundaria	AFECTADA	Conservada	Secundaria	AFECTADA	Conservada	Secundaria
Bosque tropical perennifolio	<b>18.7</b>	21.3	78.7	<b>19.5</b>	14.8	85.2	<b>19.4</b>	17.8	82.2
Bosque tropical subperennifolio	<b>20.4</b>	30.6	69.4	<b>15.5</b>	25.8	74.2	<b>16.9</b>	29.5	70.5
Bosque tropical caducifolio	<b>48.1</b>	42.4	57.6	<b>42.2</b>	35.7	64.4	<b>42.5</b>	36.7	63.3
Bosque espinoso	<b>28.4</b>	78.0	22.0	<b>37.1</b>	76.0	23.9	<b>37.6</b>	73.0	27.0
Matorral xerófilo	<b>59.5</b>	89.1	10.9	<b>72.9</b>	90.0	10.0	<b>74.2</b>	88.2	11.8
Pastizal	<b>66.1</b>	48.4	51.6	<b>78.1</b>	49.0	51.0	<b>85.5</b>	46.3	53.7
Bosque templado	<b>64.0</b>	71.0	29.0	<b>68.8</b>	72.3	27.7	<b>65.2</b>	73.1	26.9
Bosque mesófilo	<b>52.5</b>	63.2	36.8	<b>57.9</b>	63.1	36.9	<b>46.1</b>	45.5	54.5
Vegetación acuática	<b>24.8</b>	96.5	3.5	<b>29.7</b>	96.7	3.3	<b>25.7</b>	99.5	0.5

#### **4. Discusión**

En general, de acuerdo con los distintos modelos de cambio climático, la duplicación en la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico promueve cambios en la cubierta vegetal, en grandes áreas del país. Disminuye el área ocupada por todos los climas templados, incluso algunos como el árido templado, correspondiente a las áreas de distribución natural de los pastizales desaparece totalmente. Asimismo, los climas semifríos ceden su espacio a zonas más templadas, lo que significaría el desplazamiento de algunos bosques de coníferas.

El hábitat de los bosques templados, establecidos a lo largo de las cadenas montañosas del país, se reduciría considerablemente, lo cual implicaría la redistribución de estos bosques o el establecimiento de formas adaptadas a condiciones más secas y cálidas, como es el caso de los bosques espinosos y los matorrales xerófitos. El modelo GFDL-R30 predice un aumento en la temperatura y la precipitación, por lo que los bosques tropicales ampliarían su distribución hacia el norte del país.

Lo anterior significa que ante el posible cambio climático, las comunidades vegetales tendrán que enfrentar presiones como el incremento en la aridez o rangos más altos de precipitación (dependiendo del modelo que se aplique), y tendrían que responder en tiempos relativamente cortos. Además, la capacidad de respuesta se vería afectada por el estado de conservación de la vegetación y por factores como la deforestación. En este caso, alrededor de 67% de los bosques templados actuales, que representan 17% del territorio, resultarían afectados y de los cuales cerca de 70% están conservados. El matorral xerófito que cubre 30% del país, resultaría afectado, según los modelos, de 73 a 74% de la superficie y de los cuales se considera que 80% está conservada.

#### **5. Conclusiones**

La aplicación de los modelos de cambio climático proporciona información muy valiosa en relación con la vulnerabilidad de los ecosistemas, ante la duplicación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Los modelos aplicados resaltan los tipos de vegetación más sensibles y las áreas geográficas que podrían ser afectadas por los cambios. Igualmente, se analizaron, con cierto grado de detalle, las variaciones climáticas a las que estarían expuestos los diferentes tipos de vegetación.

Por otro lado, utilizar una clasificación difundida a nivel nacional permite conocer los tipos de vegetación que serían afectados por el cambio climático, como el bosque mesófilo de montaña, que aun cuando ocupan una pequeña superficie en el territorio, son altamente significativos a nivel biogeográfico y por su diversidad.

El rango en los incrementos de temperatura y la proporción del aumento o disminución de la lluvia varían para cada modelo, los escenarios planteados por cada uno de ellos sientan las bases para iniciar una discusión acerca del tipo de medidas que sería conveniente aplicar, con el fin de mitigar los efectos del cambio climático global en todo el país. En este sentido, sería importante hacer una evaluación de la respuesta y la capacidad de adaptación que tienen ciertos ecosistemas ante las variaciones interanuales que existen actualmente en el país, como puede ser la sequía intraestival o de medio verano y su posible extrapolación a condiciones climáticas más severas y prolongadas.

Aunque existen modelos mucho más complejos que los aquí utilizados, se recomienda la aplicación de modelos que contengan información adaptada a las condiciones del país, como es el caso de los tipos de vegetación y clima de México, ya que, por un lado, sirven para corroborar los resultados con otros modelos y, por otro, se puede optimizar información de diversas fuentes nacionales que, a su vez, apoyarían a la argumentación de políticas propias en cuanto a medidas de adaptación y mitigación.

#### **Agradecimientos**

Agradecemos el apoyo brindado por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos, que por medio del INE (Instituto Nacional de Ecología) hicieron posible la realización del Estudio de País: México y al Instituto de Geografía de la UNAM por el soporte técnico y logístico ofrecido.

## Referencias bibliográficas.

- Bellon, M. R., O. Masera, and G. Segura, 1994, "Response Options for Sequestering Carbon in Mexico's Forests. Report to the F-7", en *International Network on Tropical Forestry and Global Climatic Change*, Energy and Environment Division, Lawrence-Berkeley Laboratory, Environmental Protection Agency, Berkeley, California.
- Bolin, B., Bo. R. Dôôs, J. Jager, and R. A. Warmick, (eds.), 1986, The greenhouse effect climatic change and ecosystems, Gran Bretaña, John Wiley & Sons.
- Conde, C., O. Sánchez, y C. Gay, 1995, "Escenarios básicos regionales", en *México ante el cambio climático. Primer Taller de Estudio de País: México ante el cambio climático*, Cuernavaca, Morelos, México, pp. 39-43.
- Emanuel, W. R., H. H. Shugart and M. P. Stevenson, 1985, "Climatic Change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosystem complexes", en *Climatic Change*, Vol. 7, pp. 29-43.
- García, E., 1988, Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, México, Offset Larios, 217 p.
- García, E., 1989, Hoja IV.4.10, "Climas", *Atlas Nacional de México*, Vol. II, escala: 1:4,000 000, México, Instituto de Geografía, UNAM.
- ITC, 1992, The Integrated Land and Water Management Information System, Users Manual, Version 1.3, The Netherlands, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science, Enschede, p. 287.
- Kauppi, P., and Posch, M., 1985, "Sensitivity of boreal Forest to possible climatic warming", en *Climatic Change*, Vol. 7, pp. 45-54.
- Masera, O.R., Ordoñez, M.J. and Dirzo, R., 1992, "Carbon Emissions from Deforestation in Mexico: Current Situation and Long-term Scenarios", en W. Makundi and J. Sathaye (eds.), *Carbon Emissions and Sequestration in Forests: Case Studies from Seven Developing Countries*, Vol. IV, Mexico, Report No.LBL-32759, Energy and Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory-US, Environmental Protection Agency, Berkeley, California.
- Markham, A., 1996, "Potential impacts of climate change on ecosystems: a review of implications for policymakers and conservation biologist", en *Climate Research*, Vol. 6, No. 2, pp. 179-191, CR Special.
- Oropeza, O., Palacio-Aponte, A.G. y D'Luna-Fuentes, A., 1992, Hoja V.5.1. "Síntesis del medio ambiente", *Atlas Nacional de México*, Sección Medio Ambiente, Tomo II, escala 1:4 000 000, México, Instituto de Geografía, UNAM.
- Rzedowski, J., 1978, Vegetación de México, México, Ed. Limusa, 432 p.
- Rzedowski, J., 1992, Hoja IV.8.2. "Vegetación potencial", en *Atlas Nacional de México*, Sección Naturaleza, Tomo II, escala 1:4 000 000, México Instituto de Geografía, UNAM.
- Segura, G., 1992, "Deforestación y cambio climático", en *Memorias. Reunión anual del Programa Universitario de Medio Ambiente*, Vol 1, México, UNAM.
- Shugart, H.H., 1984, A Theory of Forest Dynamics. Springer-Verlag, Nueva York, N.Y.
- Smith, T.M., H. H. Shugart, G. B. Bonan, J. B. and Smith, 1992a, "Modeling the Potential Response of Vegetation to Global Climate Change", advances in *Ecological Research*, 22, pp.13-113.