

---

## EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN DEL ATLAS

Los estudios de cambio climático deben basarse en posibles futuros escenarios y para diferentes horizontes futuros. En términos generales, los escenarios toman en cuenta periodos centrados en los años 2020, 2030, 2050, 2080. En realidad, el horizonte 2020 representa, por ejemplo, el periodo 2011-2040, y de manera similar se utilizan los horizontes 2050 (2041-2070), y 2080 (2071-2100). En el presente trabajo solamente hemos considerado los posibles escenarios que se presentarían para el 2020. En general, se establecen bajo cuatro diferentes orientaciones, que son las siguientes:

### Estudios sobre la fragilidad o sensibilidad al cambio climático.

En este tipo de investigaciones se evalúa la sensibilidad al cambio climático. La sensibilidad se define como la intensidad en que un sistema responde de manera negativa o positiva a una perturbación a las condiciones originales de clima. Así, se han detectado que existen especies de plantas y animales muy frágiles a estos cambios que se están dando tan abruptos. Asimismo, se han detectado cultivos muy sensibles, como el caso de algunas variedades de tomate o de café. También existen territorios muy frágiles a los cambios y variaciones climáticas, como es el caso de las zonas climáticas de transición; por ejemplo, en Yucatán, las zonas que se localizan entre el clima menos seco de los semiáridos y el más seco de los subhúmedos es una zona francamente muy sensible. Los estudios de sensibilidad se basan en las respuestas biofísicas de los sistemas bajo estudio, y no contemplan acciones humanas de adecuación a las condiciones climáticas (por ejemplo, riego, cambio de variedad de semillas, etc.). En general, se utilizan modelos biofísicos para detectar los impactos potenciales de las variaciones climáticas. Mediante esos modelos se han llegado a establecer umbrales críticos, bajo los cuales los cambios en el clima rebasan los rangos de tolerancia de los sistemas bajo estudio.

### Estudios sobre vulnerabilidad al cambio climático

La vulnerabilidad es la magnitud en que se daña un sistema social por fenómenos externos. La vulnerabilidad se refiere a las condiciones generales en que vive una población que limitan su capacidad de resistir o responder a un evento extremo, como puede ser el cambio climático y sus consecuencias. La vulnerabilidad es un término antropocéntrico, depende del nivel en que puede o no puede enfrentarse o defenderse la población afectada por una contingencia, o bien, la infraestructura en la que habita. Así, existen asentamientos humanos más vulnerables que otros; los primeros son en los que los cambios climáticos pueden acarrear desastres. En los estudios de cambio climático es menester localizar las zonas, los cultivos, actividades o grupos humanos más vulnerables. Por ejemplo, es posible que la zona maicera de Yucatán sea más vulnerable que la zona ganadera; de manera similar, es posible que la parte norte de Cancún sea más vulnerable que la zona hotelera. Lo anterior quiere decir que para detectar la

vulnerabilidad de un sitio es necesario analizar la composición de la población y los niveles de infraestructura y servicios con que cuenta, y que le permiten responder a los posibles cambios climáticos.

### Estudios de Mitigación ante el cambio climático

Mitigación es la intervención humana para reducir las causas, los efectos o las consecuencias del cambio climático. Esto implica el reducir las fuentes de los gases de efecto invernadero o mejorar las posibilidades para secuestrarlos o capturarlos. Las medidas de mitigación se aplican con base en opciones biológicas, y sobre todo, de geoingeniería.

Una medida de mitigación puede ser la de los mecanismos de desarrollo limpio, que puede implicar la reforestación, por ejemplo, ya que los árboles secuestran teóricamente cantidades importantes de dióxido de carbono. Sin embargo, esto debe analizarse con mucho cuidado, ya que no todos los árboles son grandes productores, no todos son aptos para reforestar y si se proyectan las posibles condiciones climáticas hacia el futuro, no todos se aclimatarían de la misma manera. Existen otras medidas de mitigación, como son las de secuestrar el dióxido de carbono a grandes profundidades, como se está realizando en algunos países. Una práctica de mitigación muy necesaria es el desarrollo de las llamadas energías limpias, cuyas emisiones son muy bajas en comparación con la quema de combustibles fósiles. En particular, la reducción del uso de los automóviles significaría una reducción sensible a las emisiones de gases de efecto invernadero. La mitigación está íntimamente relacionada a la adaptación al cambio climático, pues se espera que las medidas de mitigación que se apliquen en una región sean consistentes con la reducción de la vulnerabilidad de las poblaciones que habitan dicha región.

### Estudios de Adaptación al cambio climático

Adaptación es el grado en el que son posibles los ajustes en las prácticas, procesos o estructuras de sistemas humanos a los cambios climáticos actuales o a los proyectados hacia el futuro, es decir, a los posibles escenarios. La adaptación puede ser planeada o espontánea. Puede ser abordada en respuesta o con anticipación a los hechos. Existe un sinnúmero de medidas de adaptación en todos los sectores económicos. Por enumerar algunos ejemplos, plantar más árboles o implantar techos verdes, ante el cada vez más creciente aumento de temperatura urbana, y buscar así que disminuya la cantidad de calor acumulado en los edificios, es una medida de adaptación. Otra medida de adaptación puede ser que se construya una casa con una orientación geográfica tal que los rayos solares sean tangenciales. Otra medida de adaptación que se está planteando es la utilización de combustibles alternativos como biodiesel o bioetanol. En cualquier caso, las medidas de adaptación deben estar integradas en una estrategia de adaptación, de tal forma que éstas puedan ser planeadas y anticipadas. Por lo anterior, se busca establecer políticas de adaptación que involucren a los posibles afectados y a la mayoría de los actores sociales de los que depende la viabilidad de las estrategias de adaptación.

---

## Ejemplos

Presentamos varios ejemplos prácticos de cómo utilizar como herramienta los escenarios de cambio climático. Hemos dividido por sectores o niveles de actividades económicas. La información que se tiene sobre los posibles escenarios es la base para que otros especialistas realicen estudios sobre ordenamiento territorial, por ejemplo. La evaluación de los posibles impactos y vulnerabilidad por zonas estaría dada a partir de la definición áreas que presenten fuertes cambios en el clima. La información espacial se combina o cruza por ejemplo con:

1. Parámetros ambientales: a) deforestación; b) degradación; c) erosión, etc.
2. Actividades socioeconómicas y agropecuarias
3. Niveles de infraestructura
4. Niveles de marginación y pobreza de la población
5. Migración.

### *Actividades Primarias o de producción*

## APICULTURA

Yucatán, como estado, y la Península en su conjunto son muy ricos en la producción de miel de abeja. La floración depende fundamentalmente del fotoperíodo, la temperatura y la lluvia, ya que en las plantas se producen azúcares a partir de la fotosíntesis. Los azúcares son almacenados en los tejidos de las plantas. Una parte de estos azúcares, muy poca cantidad, es traslocada a los nectarios de las flores, que es de donde las abejas toman el néctar. Las plantas silvestres, de las que las abejas toman la mayor cantidad de néctar para fabricar miel, están sujetas a los cambios ambientales. Así, la mayoría de las especies melíferas en la Península florecen por ejemplo en primavera, o sea, al inicio de la época de sequía y al inicio del otoño, después de la temporada de lluvias. De esta forma, necesitan buena cantidad de lluvia en verano y de lluvia invernal. Si un invierno es muy seco, entonces la floración puede ser exigua, y por lo tanto, no suficiente para que las abejas puedan pecorear. Además, las altas temperaturas pueden afectar el comportamiento de las colmenas, ya que las abejas tienen que mantener las cámaras de crías frescas por lo que deben dedicar un buen tiempo a batir alas para lograrlo. Esto afecta el pecoreo y un alto porcentaje no sale de la colmena.

¿Qué dicen los posibles escenarios?

Si conozco una zona de alta producción de miel, lo primero de debo hacer es localizarla en el mapa. Posteriormente, ver los escenarios base de temperatura y precipitación (1961-1990). Debido a la gran incertidumbre sobre el clima futuro, es recomendable revisar todos los escenarios de temperatura y

precipitación y establecer un posible rango de cambio. Asimismo, es recomendable ver los escenarios de porcentaje de lluvia invernal, en tanto que es muy importante ver los niveles de incertidumbre que se presentarían. Después de comparar los posibles escenarios en la zona de interés se debe pensar en posibles medidas de adaptación, considerando, sobre todo, el peor de los escenarios, en este caso, que aumentara mucho la temperatura y disminuyera la precipitación, o bien, se hiciera más errática. ¿Qué medidas de adaptación se podrían emprender? Por ejemplo, fomentar el establecimiento de especies silvestres más resistentes a la sequía y a las altas temperaturas; diseñar algunas colmenas más ventiladas; establecer las colmenas debajo de árboles perennifolios, como el roble o bek (*Ehretia tinifolia*), procurar el acceso a sartenejas con suministro de agua constante. También es muy importante tratar de detectar los rangos de cambio para los cuales las acciones de adaptación descritas ya no serían viables. Esto permitiría establecer de manera teórica los umbrales para los cuales la actividad apícola estaría seriamente amenazada.

## CULTIVO DEL MAÍZ

Aunque en la península de Yucatán existe una zona eminentemente maicera, este cultivo forma parte de la cultura de los agricultores yucatanenses y no debe perderse. Por lo tanto, pensar en el futuro en relación al maíz de temporal es de vital importancia. El maíz, para que se cultive, necesita al menos 400 mm de lluvia repartida durante todo su ciclo de crecimiento, desarrollo y reproducción. Con esa cantidad de precipitación, el suelo no se seca a tal grado que ocasione la marchitez de las plantas durante su crecimiento y desarrollo. La ventaja del maíz es que se trata de una especie cultivada que es tolerante a las altas temperaturas, aunque eso depende de la variedad que se cultive. La mayor parte del cultivo del maíz en la península de Yucatán se realiza al inicio de la estación lluviosa y se cosecha a finales de la temporada lluviosa. Si se toman en cuenta los posibles escenarios futuros se sugiere lo siguiente: Primero, en el área que interese debe compararse los posibles escenarios de precipitación y ver en qué intervalos podría cambiar la lluvia, desde aquellos en que la lluvia aumentaría hasta en que disminuiría alarmantemente. Por otro lado, debe analizarse también la sequía intraestival o canícula, pues si llega a niveles de muy poca o nula cantidad de lluvia, se debe tener en cuenta que la planta en crecimiento se marchitaría y el cultivo se perdería. Las medidas de adaptación que pueden emprenderse son: 1) cambiar la variedad de maíz que se esté cultivando a otras más resistentes a la sequía y /o altas temperaturas; 2) poder proporcionar riego en los periodos más álgidos de la sequía, o bien, sustituir el tipo de cultivo en caso extremo, como por ejemplo, por sorgo, que sí es resistente a sequías muy pronunciadas, aunque culturalmente no es aceptado. Por supuesto, el cambio del cultivo debería ir acompañado de un estudio de mercado para que, aunque las condiciones biofísicas para el nuevo cultivo fueran favorables, también lo fueran las condiciones económicas futuras.

## INDUSTRIA PRODUCTORA DE CONDIMENTOS: EL ACHIOTE

El achiote es un pasta condimenticia que se extrae del arilo y semillas de *Bixa orellana*, especie de origen sudamericano. En Yucatán existen muchas variedades, ya que éste es un estado con gran producción, donde se cultiva desde pequeña, mediana y gran escala. Esta planta, para su cultivo, requiere riego durante la época de sequía. Algunas variedades son muy sensibles a los cambios de temperatura y de humedad, ya que sus hojas pueden fácilmente ser atacadas por hongos o virus. La obtención del condimento en pasta se realiza desde la escala doméstica o pequeñas cooperativas hasta el nivel industrial. En este último caso, la materia prima es transportada y almacenada un tiempo, mientras es procesada. A altas temperaturas puede ser infestada por hongos que la degradan, con lo cual puede echarse a perder esta materia prima. Los posibles escenarios de temperatura y P/T pueden servir de base en dos aspectos: 1) planear los sitios más adecuados para su posible cultivo en términos del intervalo de temperatura que se podría tener en los diferentes escenarios; asimismo el posible acceso al agua por riego, y 2) planear los sitios y las condiciones de las factorías más adecuadas para su transformación, de acuerdo con el sitio que se tenga destinado.

## INDUSTRIAS MAQUILADORAS.

Las maquiladoras en Yucatán han sido una alternativa para el empleo de las zonas semirrurales. Para el establecimiento de maquiladoras se necesita la construcción de locales adecuados tipo galpones en los que se requiere la circulación del aire lo más fresco posible y en los que los productos puedan almacenarse sin que se degraden mientras son transportados a sus sitios de distribución y comercialización. Para obtener buenos rendimientos, una de las variables importantes por considerar es que los operarios se encuentren en condiciones confortables durante sus jornadas de trabajo. Así, dependiendo de la zona o localidad en la que haya intención de establecer un parque industrial, se deberá contar con ciertas condiciones a escala de clima local adecuadas. En condiciones de cambio climático, para establecer un parque industrial, se recomienda ver los posibles escenarios de temperatura y de clima. Considerando esto se puede planear la orientación geográfica de los galpones (lo más tangenciales a los rayos solares, para que sean frescos), la altura de los mismos, en tanto sea posible el paso de corrientes de aire fresco por turbinas de viento, los que pueden ayudar a establecer una construcción adaptada a condiciones más calientes. ¿Qué tan caliente? Se recomienda analizar los posibles escenarios de temperatura y de P/T para saber en qué intervalo se esperaría el aumento de calor.

## GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El cambio climático y el calentamiento global están afectando a todo nuestro país. Ante esto se tiene la incertidumbre sobre el suministro futuro y la generación de energía eléctrica para la península de Yucatán. Sería menester a varios niveles planear la generación regional de, al menos, una parte de ésta. Debido a la ausencia de ríos en la mayor parte del territorio peninsular, se debería planear dos fuentes alternativas, las que son concomitantes al cambio climático: la radiación solar y la energía eólica. Con el aumento de la temperatura, en algunos sitios puede aumentar un gradiente de temperatura del aire vertical y horizontalmente; el aumento de temperatura sería producto del aumento de presión atmosférica, la que al aumentar, mayor será la velocidad del viento. Estos gradientes no se presentan de forma homogénea y son los que generan la posibilidad de vientos fuertes en algunas zonas. Para poder emprender un desarrollo de producción de energía eléctrica de procedencia "limpia", como la eólica, aunque sea modesto, se sugiere lo siguiente: localizar el polígono donde se desearía establecer un sistema de producción de energía eléctrica a partir de la eólica por medio, por ejemplo, de molinos de viento o veletas. Se recomienda que no sea en un sitio que sea corredor de paso de aves, pues éstas podrían morir al chocar con las aspas de las veletas. Se recomienda comparar los diferentes escenarios de temperaturas y ver en lo posible si sería pertinente establecer este sistema en la zona de interés, considerando las posibilidades del intervalo en que se tendrían los gradientes de temperatura. Debido a que las veletas o molinos son de altura considerable, se recomendaría que éstas fueran retractiles, es decir, que puedan guardarse en caso de contingencias, como vientos huracanados.

*Actividades terciarias o de servicios.*

## ECOTURISMO

El ecoturismo es una actividad lúdica por parte de los visitantes, en ambientes lo más conservados o prístinos posibles. Hasta ahora hay muchos paisajes en la Península que ofrecen estas posibilidades, como son la vegetación con sus selvas, la fauna, las cuevas, cavernas, cenotes, petenes, etc. Ante la incertidumbre de los futuros cambios climáticos, que ya se están dando, habría que considerar la degradación que puede darse en el sitio de interés para el desarrollo ecoturístico dependiendo de su ubicación. Lo primero que debe realizarse es localizar el polígono en los mapas. Posteriormente, se deben analizar los diferentes escenarios posibles en los que se tendría el polígono. Esto daría idea en qué intervalo sería posible pudiera cambiar el sitio de interés; ¿cuál sería la tendencia de la vegetación o la fauna si se considera que aumentaría la temperatura y cambiaría el régimen de lluvias? Si se trata de una zona costera, aunque no se analizan en el presente atlas, es de esperar que al aumentar las temperaturas oceánicas, se incrementaría el riesgo a la presencia de tormentas tropicales o huracanes. Considerando todos estos posibles escenarios se esperaría una degradación de ambiente en diferentes magnitudes. ¿Qué tanto puede cambiar la zona de interés ecoturístico? Eso dependerá de la zona de acuerdo a la series de los diez posibles escenarios que proponemos en este trabajo.

---

## RIESGOS A INCENDIOS

Para cualquiera de las actividades económicas, es fundamental planear en lo posible, riesgos a contingencias tales como los incendios. Las condicionantes para que se presenten estos fenómenos son que se registren altas temperaturas y que haya sequía meteorológica. En la península de Yucatán, un alto porcentaje de especies que conforman la vegetación son caducifolias, y por lo tanto, pueden estar sujetas en la época de sequía a ser combustible del fuego. Si el paisaje se encuentra con gran cantidad de troncos, ramas y hojarasca secos, entonces se cuenta con una considerable biomasa como combustible potencial. La práctica ancestral de recolección de leña, en realidad ayuda a evitar este tipo de accidentes y, sin embargo, es insuficiente; de cualquier manera, en la época de calor y sequía hay alto riesgo de que se queme la vegetación. Las zonas que cuentan con alto porcentaje de lluvia invernal son las que tienen menor riesgo de incendio comparadas con las que tienen muy bajo porcentaje.

En condiciones de cambio climático, seguramente se presentarían mayores riesgos a incendios. De acuerdo con los posibles escenarios, la temperatura aumentaría en general en todo el territorio y de forma diferencial. Por otro lado, los escenarios de precipitación y de porcentaje de lluvia invernal, marcan una gran incertidumbre en cuanto a que el periodo de sequía fuera más prolongado, con lo que aumentaría la posibilidad de incendio. Para aplicar en este aspecto los posibles escenarios, se hace la propuesta que se localice la zona de interés y se delimite el intervalo de incertidumbre en que se tenga el aumento de temperatura en relación con el porcentaje de lluvia invernal.

Seguramente en los ejemplos anteriores se requerirían evaluar otras variables climáticas que los especialistas en estos temas pueden establecer. En los estudios de impacto, vulnerabilidad y adaptación, los escenarios de cambio climático regionales —como los aquí presentados— se tienen que complementar considerando los requerimientos específicos de los expertos en los sectores y regiones bajo estudio. Por otra parte, para analizar las condiciones de vulnerabilidad y adaptación actuales y futuras, se necesitaría involucrar a científicos sociales que puedan establecer con mayor claridad los rangos de tolerancia de la población posiblemente afectada.

Aun con esas limitaciones, consideramos que los escenarios de cambio climático aquí presentados pueden ser el disparador y base de los nuevos estudios de cambio climático para la península de Yucatán.

---

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Conde, C. 2003. Cambio y Variabilidad Climáticos. Dos Estudios de Caso en México. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias (Física de la Atmósfera). Posgrado en Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México. 227 pp.

Curtis, S., D.W. Gable. 2008. Regional variations in the Caribbean mid-summer drought. Theoret. Applied Climatol. 94: 25-34.

**Fernández B. A., J. Martínez P. Osnaya** (compiladores). 2008. Cambio climático: una visión desde México. INE-SEMARNAT. 525 pp.

García, E., M.E Hernández, M.D Cardoso. 1983. Las gráficas ombrotérmicas y los regimenes pluviométricos en la República Mexicana. En: Memoria del IX Congreso Nacional de Geografía, SMGE, Guadalajara, México. pp 123-130.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie Libros No 6, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 90pp.

Gay, C. (Compilador). 2000. México: Una Visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Resultados de los Estudios de Vulnerabilidad del País Coordinados por el INE con el Apoyo del U.S. Country Studies Program. SEMARNAP, UNAM, USCSP.220 pp.

Hulme, M., T.M.L. Wigley, E.M. Brown, S.C.B. Raper, A. Centella, S. Smith, and A.C. Chipanshi. 2000. Using climate scenario generator for vulnerability and adaptation assessment: MAGICC and SCENGEN. Version 2.4 Workbook, Climate Research Unit, Norwich, UK, 52 pp.

IPCC-TGICA. 2007. General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 2. Prepared by T.R. Carter on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment, 66 pp.

IPCC-WGI. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC- WGI. 2007. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Enhen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 23 pp.

Issaks, E.H., R. M. Srivastava. 1989. Na introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press. New York, Oxford. 561 pp.

Magaña, V., J.A. Amador, S. Medina. 1999. The Midsummer Drought over Mexico and Central America. Journal of Climate, 12: 1577-1588.

McGregor, G.R. y S. Nieuwolt. 1998 Tropical Climatology, John Wiley & Sons, Chichester. 339 pp.

Mosiño Alemán, P., E. García. 1974. The Climates of Mexico. In: R.A. Bryson, F.K. Hare (eds.), The Climates of North America, World Survey of Climatology. Elsevier Pub. Co. Amsterdam. pp. 345-405.

Orellana, R., C. Espadas, J.A. González-Iturbe. 2002. Aplicaciones de los diagramas ombrotérmicos de Gausen modificados, en la Península de Yucatán. En: Sánchez Crispín, A. (editor). México en su unidad y diversidad territorial. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI) y Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Aguascalientes. pp. 60-73.

Orellana, R., G. Islebe, C. Espadas. 2004. Presente, pasado y futuro de los climas de la Península de Yucatán. En: P. Colunga García Marín, A. Larqué Saavedra (ed.), Naturaleza y Sociedad en el Área Maya. Academia Mexicana de Ciencias y Centro de Investigación Científica de Yucatán. México. pp. 37-52.

Schoijet, M. 2008. Límites del crecimiento y cambio climático. Siglo XXI editores. México. 352 pp.

SEMARNAT / INE. 2006. México Tercera Comunicación nacional ante la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. SEMARNAT/INE, México, D.F. 210 pp.

Stern, N. 2007. El Informe Stern. La verdad del cambio climático. Paidós. Barcelona. 389 pp.

## PROGRAMAS DE CÓMPUTO

Corel corporation. 2003. Corel Draw (R) Graphics Suite 12.0. Corel corporation. Ottawa, Canada.

Eastman R. 1987-2004. Idrisi 14.02 (Kilimanjaro). Clark Labs, University. Worcester MA

ESRI. 1999-2006. ARCGIS 9.2. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA.

Gamma Design Software. 1989-2001. GS+ 5.1.1. Geostatistics for the Environmental Sciences. Stanford Center for Reservoir Forecasting. Plainwell, Michigan.

## SITIOS WEB

[www.atmosfera.unam.mx/cambio/escenarios/escenarios\\_3A\\_mapas\\_y\\_datos](http://www.atmosfera.unam.mx/cambio/escenarios/escenarios_3A_mapas_y_datos). Gay, C., Conde, C., Sánchez, O., 2006. Escenarios de Cambio Climático para México. Temperatura y Precipitación. [Documento en línea].

[www.cics.uvic.ca:80/scenarios/data/select-original.cgi](http://www.cics.uvic.ca:80/scenarios/data/select-original.cgi)

[www.ipcc.ch/](http://www.ipcc.ch/)

[www.pacificclimate.org/tools/select](http://www.pacificclimate.org/tools/select)

