

TERCERA SECCIÓN

CAMBIO CLIMÁTICO Y MANEJO SUSTENTABLE
DE RECURSOS AGROPECUARIOS, FORESTALES Y PESQUEROS

CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS POSIBLES IMPACTOS

CECILIA CONDE*

INTRODUCCIÓN

Ante las recientes evidencias de cambio climático observado, así como los cambios proyectados en el clima y documentados por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés; 2013), la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés), ha impulsado mediante tratados y acuerdos internacionales propiciar acciones de mitigación y, recientemente, en el llamado Acuerdo de París,¹ incluir también acciones para la adaptación al cambio climático y para la reducción de pérdidas y daños causados por eventos climáticos extremos, posiblemente provocados por el proceso de cambio climático ya en marcha.

Las acciones de mitigación van encaminadas a bajar las emisiones de gases de efecto invernadero, producto fundamentalmente de la quema de combustibles fósiles y de cambios de uso de suelo, particularmente la deforestación y degradación de la vegetación del planeta. Con ello se pretende amortiguar o eventualmente detener el acelerado proceso de cambios en la composición atmosférica terrestre que favorece el cambio en el clima.

Sin embargo, y fue evidente durante las negociaciones del Acuerdo de París, los países en vías de desarrollo han hecho énfasis en la importancia de impulsar a la par acciones y estrategias de adaptación ante el inminente y observado cambio climático.

Para el caso de la mitigación, existen técnicas para realizar inventarios de emisiones por país, y proponer así acciones de reducción cuyos resultados sean cuantificables. Lo anterior contrasta con los complejos procesos que

* Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

¹ <https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf>.

entrañan las acciones de adaptación. Particularmente, para el éxito de estas acciones es fundamental involucrar a los posibles afectados por el cambio climático. Además, cualesquiera que fueran esas acciones, éstas tendrían que desarrollarse en un contexto de equidad y justicia ambiental. En paralelo a las negociaciones de la Convención, se ha desarrollado ese concepto de justicia climática (véase, por ejemplo, Okereke y Coventry, 2016) que básicamente establece que el problema del cambio climático actual es un problema ético y político, más que un problema físico o ambiental.

Ante la nueva presidencia de Estados Unidos, el concepto de justicia climática cobra mayor relevancia. La administración de Trump inició con la eliminación de toda información sobre cambio climático de la página del Capitolio, y culminó ese proceso retirando a su país del acuerdo de París. Las mujeres, los pueblos originarios, los jóvenes —particularmente los llamados *dreamers*— y los científicos relacionados con medio ambiente, han organizado marchas y comunicados en contra de una política excluyente y en apoyo de lo acordado por 195 países en el Acuerdo de París.

Para la adaptación algunas opciones apuntan a desarrollar estudios integrados locales o regionales, en donde la integración más importante sería la participación de los ciudadanos, los científicos, las mujeres y las comunidades indígenas. En cualquier caso, se ha hecho evidente que para que esos estudios sean rigurosos, también es necesario impulsar una ciencia interdisciplinaria, comprometida con las causas por las que se está luchando.

LOS CAMBIOS E IMPACTOS OBSERVADOS

Con más de un 90% de confianza, el IPCC (20013) afirma que la mayor parte del calentamiento observado está asociado al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero, y a la pérdida de los llamados “sumideros” de esos gases, refiriéndose fundamentalmente a la pérdida de vegetación, tanto marina como terrestre, que absorbe dióxido de carbono para el proceso fotosintético. Estos dos procesos son causados principalmente por las actividades humanas. En general, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la pérdida de fertilidad de los suelos, son tres procesos principalmente antrópicos y que son abordados por las Convenciones de cambio climático, de biodiversidad y de combate a la desertificación, respectivamente. Por ello, algunos autores (i.e. Rockström *et al.*, 2009) consideran que se están alcanzando los “límites planetarios”, que de ser rebasados, entraríamos en procesos irreversibles y posiblemente se darían cambios climáticos abruptos que afectarían las actividades productivas y en general a los asentamientos humanos y a la biodiversidad.

Ante las evidencias documentadas, el Panel afirma que el calentamiento planetario observado es “inequívoco”, y que éste es detectado en las temperaturas atmosféricas y oceánicas que están aumentando, además de que se está dando un derretimiento acelerado de hielos y nieve, así como un aumento del nivel del mar.

Dichas evidencias indican que la temperatura global ha aumentado 0.85°C en los últimos cien años, agudizándose en las últimas tres décadas. Es muy probable que dicho calentamiento sea el mayor detectado durante los últimos 1,300 años.

Asimismo, se han registrado otros cambios, entre los que se incluyen posibles aumentos en la intensidad en los ciclones tropicales, ondas de calor y aumento en la intensidad, frecuencia o duración de los llamados eventos extremos como son las sequías, particularmente en los trópicos y subtrópicos, y las lluvias torrenciales, especialmente en regiones de Norteamérica y Sudamérica.

Aunado a lo anterior, se ha observado que muchas especies terrestres, marinas y epicontinentales han modificado su distribución geográfica, patrones de migración, composición poblacional e interacción con otras especies como respuesta al cambio climático (confiabilidad alta; IPCC, 2014). En cuanto a la agricultura, se ha detectado que impactos negativos del cambio climático en los cultivos son más frecuentes que los impactos positivos (alta confiabilidad). En muchas regiones y en general en todo el planeta, el cambio climático está afectando negativamente los cultivos básicos que sustentan la alimentación de millones de personas. Por ejemplo, diversos estudios indican cambios negativos entre 1960–2013 en los rendimientos de los cultivos de maíz, trigo, soya y arroz, tanto en regiones templadas como en las tropicales (confiabilidad media; Porter *et al.*, 2014).

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

De continuar la emisión de gases de efecto invernadero, se acelerará el calentamiento global y los cambios en todos los componentes del sistema climático. Limitar esos cambios requerirá reducciones en las emisiones de esos gases sostenidas y sustanciales.

Para construir los posibles cambios climáticos futuros se emplean los llamados escenarios de cambio climático. Esos escenarios dependen del desarrollo de las futuras emisiones de las sustancias que forzarán radiativamente al sistema climático (por ejemplo, los gases de efecto invernadero y los aerosoles, entre otros). Estas emisiones se proyectan considerando un conjunto de suposiciones que sean coherentes y consistentes entre sí (como

pueden ser el crecimiento demográfico, el desarrollo tecnológico, los cambios en el uso de energía y de uso de suelo, IPCC, 2014b). Con esas posibles variaciones en las emisiones se determinan los cambios en las concentraciones de esas sustancias radiativamente activas, el calentamiento asociado, y finalmente el cambio climático global.

La información del cambio en esas concentraciones se introduce a los llamados modelos climáticos globales. La complejidad de esos modelos se ha incrementado sustantivamente en los últimos 40 años. Los modelos más avanzados tienen ahora la capacidad de simular una amplia gama de procesos atmosféricos, tal como la influencia de los ecosistemas marinos en la atmósfera.

En los primeros modelos climáticos el océano era sólo una capa superficial, y se incluían 10 capas atmosféricas; actualmente los modelos tienen más de 30 capas oceánicas y 30 atmosféricas. Además, se ha incrementado su resolución espacial, en parte por el uso de supercomputadoras. En 1990, la resolución era de 200 por 300 Km. Actualmente se tienen resoluciones espaciales de menos de 30 Km x 30 Km, que permiten una descripción de algunas montañas, por ejemplo.

Aumentar la resolución por un factor de dos implicaría aumentar 10 veces el tiempo de computadora requerido (<http://scied.ucar.edu/longcontent/climate-modeling>). Los modelos climáticos requieren pasos de tiempo de 30 minutos para obtener una salida. Un modelo climático que quiera simular un siglo, por ejemplo, requeriría 1,753,153 pasos de tiempo (número de 30 minutos en un siglo).

Es por ello que algunos autores (e.g. Polvani *et al.*, 2017) proponen privilegiar a los modelos simples ante modelos cada vez más complejos que se basan en gran medida en mayores y más veloces recursos computacionales. Algunas aplicaciones basadas en lógica difusa se están impulsando en México (Gay *et al.*, 2014).

Los nuevos escenarios de cambio climático se basan en el forzamiento radiativo (medido en unidades de energía: W/m^2), y se denominan “representative concentration pathways” (RCP, trayectorias de concentración representativas; Moss *et al.*, 2010).

Los escenarios que menor forzamiento proyectan 2.6 watts por metro cuadrado (W/m^2) se denominan RCP2.6, y los que mayores emisiones consideran se denominan RCP 8.5. Se emplean también los escenarios RCP 4.5 y el RCP6.0.

Con respecto al periodo 1986-2005, el aumento de temperatura global puede darse entre 0.3°C a 1.7°C (RCP2.6) y de 2.6°C a 4.8°C (RCP8.5). La mayoría de esos escenarios muestran que el calentamiento global continuará después del siglo XXI. Ese calentamiento continuará mostrando los efec-

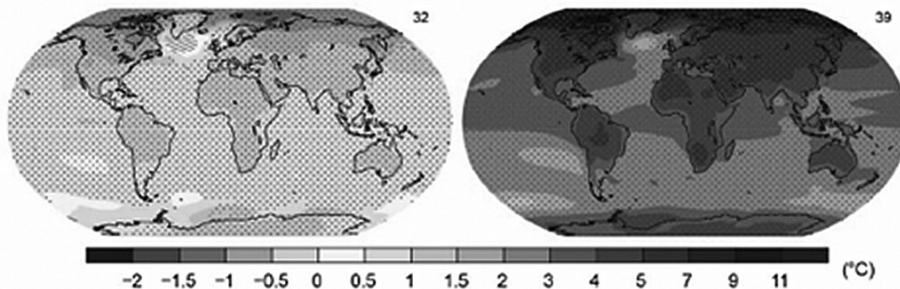
tos de la variabilidad interanual y decadal, y no será uniforme en todas las regiones (figura 1).

En ese contexto, es muy probable que el nivel del mar aumente para finales de siglo (con respecto a 1986-2005) entre 0.26 a 0.55 m (RCP2.6) y entre 0.52 y 0.98 m (RCP8.5).

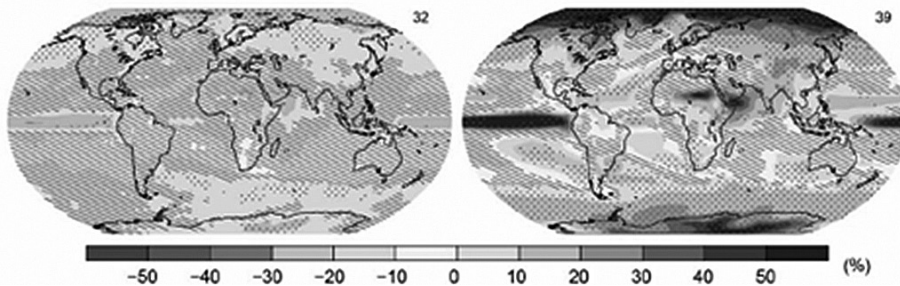
La región Ártica se calentará más rápidamente que el resto del planeta, y los calentamientos sobre continente serán mayores que los de los océanos. También es virtualmente cierto que habrá más eventos de días y estaciones calientes que los fríos, y es muy probable que las ondas de calor ocurran con mayor frecuencia y duración. Aun así, continuarán ocurriendo inviernos extremadamente fríos ocasionalmente (IPCC, 2013).

FIGURA 1
CAMBIOS EN LA TEMPERATURA (A)
Y EN LA PRECIPITACIÓN GLOBAL (B)
PARA FINALES DE SIGLO, CON RESPECTO
AL PERIODO 1986 A 2005 (IPCC, 2013)

(a) Cambio en la Temperatura Superficial Promedio (1986-2005 a 2081-2100)



(b) Cambio en la Precipitación Promedio (1986-2005 a 2081-2100)



FUENTE: IPCC, 2014. *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.

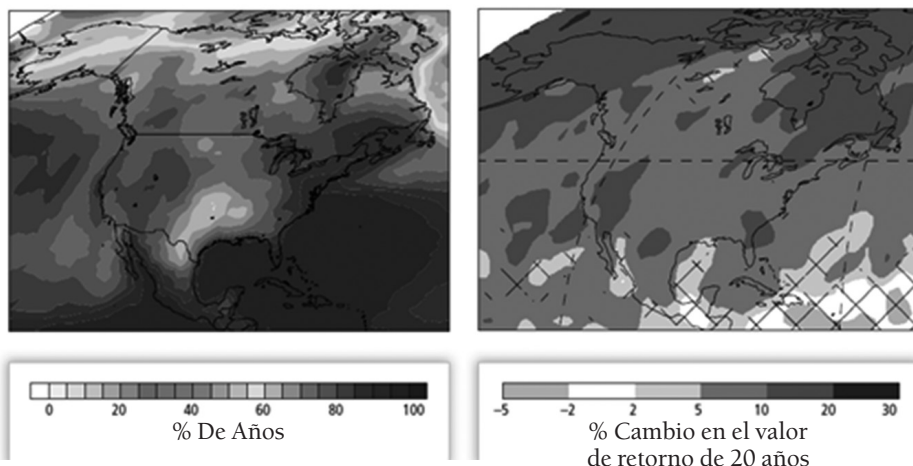
Se proyecta que el contraste entre las regiones (y estaciones) húmedas y las regiones secas se acentuará con ciertas excepciones regionales. Es probable el aumento en la intensidad y/o duración de la sequía, de nivel regional a escala global. Es probable que se presente el incremento en la actividad ciclónica tropical en el noroeste del Pacífico y el Atlántico Norte.

Para el caso de Norteamérica (Romero *et al.*, 2014), los eventos extremos en temperatura de verano y de precipitación se acentuarán (figura 2).

FIGURA 2
EVENTOS EXTREMOS EN TEMPERATURA DE VERANO Y DE PRECIPITACIÓN

(a) Verano extremo caliente
RCP8.5 2046-2065

(b) Precipitación extrema
RCP4.5 2046-2065



Nota: (a) Cambio (%) en el número de años para el periodo 2046–2065 (considerando el RCP8.5) en el que la temperatura de verano será mayor que la correspondiente al máximo observado en el periodo 1986–2005. (b) Diferencia (%) en un periodo de retorno de 20 años del valor de la precipitación anual extrema para el periodo 2046 a 2065, considerando el RCP4.5, con respecto a lo observado en el periodo 1986–2005.

FUENTE: Romero *et al.*, 2014.

Dados los diferentes escenarios de emisiones, las limitaciones de escala y las proyecciones en diferentes horizontes (hasta finales de siglo o más), los escenarios de cambio climático futuro entrañan incertidumbres. Esa incertidumbre en el clima futuro es fuente de grandes controversias y problemas en la aplicación de los escenarios de cambio climático (Conde *et al.*, 2011). Básicamente no es posible hacer un pronóstico del clima para horizontes de tiempo alejados, porque las ciencias atmosféricas aún no tienen las herramientas para simular el comportamiento de un sistema complejo como

es la atmósfera para esos horizontes, y porque las emisiones globales dependen de los esquemas de desarrollo económico y social futuros.

IMPACTOS PROYECTADOS

El aumento en el calentamiento planetario provocará que aumente la probabilidad de impactos graves, generalizados y posiblemente irreversibles. Unas emisiones elevadas continuas conllevarían impactos en su mayoría negativos para la biodiversidad, los servicios de los ecosistemas y el desarrollo económico, y agravarían los riesgos para los medios de subsistencia y para la seguridad alimentaria y humana (IPCC, 2014).

El riesgo de extinción de especies será superior con respecto a los periodos preindustrial y actual (para todos los RCP), debido a la magnitud y la tasa de cambio climático (nivel de confianza alto). Además del aumento de temperatura, otros factores reforzarían esta extinción: pérdida de hielo marino, variaciones de la precipitación, menor flujo fluvial, acidificación del océano y menores niveles de oxígeno en el océano. Ello se aunará a la interacción con la modificación simultánea del hábitat, la sobreexplotación de las especies, la contaminación, la eutrofización y las especies invasoras, nivel de confianza alto (IPCC, 2014).

Se proyectan también efectos indirectos como mayores riesgos de incendio, plagas y brotes de enfermedades. El reporte síntesis del IPCC (IPCC, 2014b) señala que durante el siglo XXI en muchas regiones aumentará la mortalidad arbórea. Además, habrá un riesgo alto de emisiones sustanciales de carbono y metano como consecuencia del deshielo del permafrost.

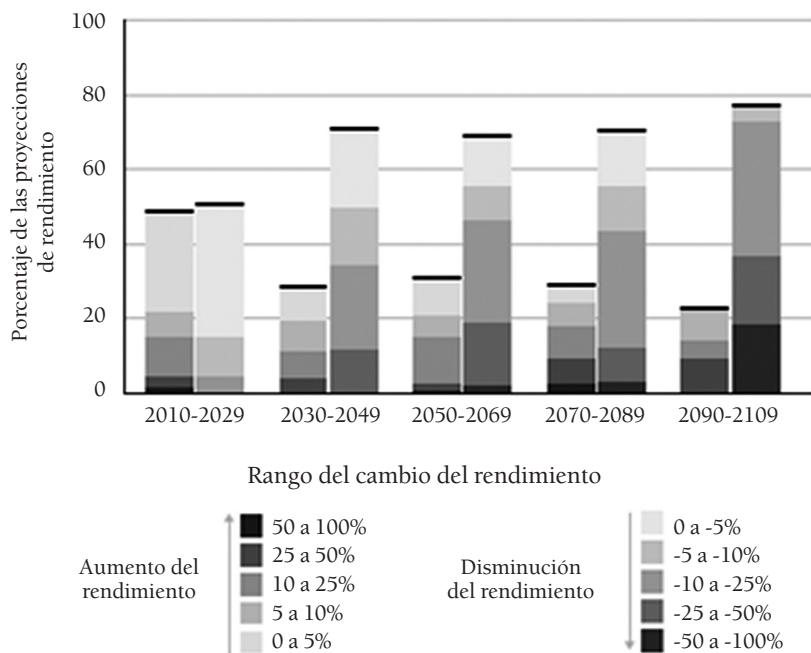
En cuanto a la disponibilidad de agua, las proyecciones sobre el cambio climático durante el siglo XXI indican que se reducirán los recursos renovables de aguas superficiales y aguas subterráneas en la mayoría de las regiones secas subtropicales. Cuanto mayor sea el nivel de calentamiento en el siglo XXI, mayor será el porcentaje de la población mundial que experimentará escasez de agua y que se verá afectada por grandes inundaciones fluviales.

IMPACTOS EN LA AGRICULTURA

Todos los aspectos de la seguridad alimentaria están potencialmente afectados por el cambio climático, incluidos la producción y el uso de alimentos, el acceso a éstos y la estabilidad de sus precios (nivel de confianza alto). Para el trigo, arroz y maíz en las regiones tropicales y templadas, las proyeccio-

nes señalan que el cambio climático sin adaptación tendrá un impacto negativo en la producción con aumentos de la temperatura local de 2°C o más por encima de los niveles de finales del siglo XX, aunque puede haber localidades individuales que resulten beneficiadas por este aumento (nivel de confianza medio). Los impactos proyectados varían para los distintos cultivos, regiones, y los diferentes escenarios de adaptación; alrededor de un 10% de las proyecciones para el periodo 2030-2049 muestran ganancias de rendimientos superiores al 10%, y alrededor de un 10% de las proyecciones muestran pérdidas superiores al 25%, respecto a finales del siglo XX. Un aumento de la temperatura global de alrededor de 4°C o más por encima de los niveles del final del siglo XX, en combinación con una creciente demanda de alimentos, plantearía grandes riesgos para la seguridad alimentaria a nivel mundial y regional (figura 3).

FIGURA 3
CAMBIOS PROYECTADOS EN LOS RENDIMIENTOS DE LOS CULTIVOS
(PRINCIPALMENTE TRIGO, MAÍZ, ARROZ Y SOYA) DEBIDO AL CAMBIO
CLIMÁTICO A LO LARGO DEL SIGLO XXI



Nota: la figura combina 1 090 puntos de datos de proyecciones de modelos de cosechas, abarcando distintos escenarios de emisiones, regiones tropicales y templadas y casos de adaptación y no adaptación.

FUENTE: IPCC, 2014.

En términos ambientales, hay dos problemas relacionados con la producción agrícola futura que deberían considerarse interactuando con las evaluaciones anteriores: la pérdida en la fertilidad de suelos y la expansión de los territorios de plagas que pueden afectar la productividad futura (Burgiel y Muir, 2010).

Para el caso de México, diversos estudios (Monterroso *et al.*, 2011a, Conde *et al.*, 1997; Liveman *et al.*, 1991; Conde *et al.*, 2006) han utilizado modelos de impactos potenciales del cambio climático en la producción en México, especialmente orientados al caso de la producción de maíz de temporal. En esos estudios, se verifica la hipótesis de que en buena medida las condiciones para la producción de maíz en México se verán afectadas seriamente por el cambio climático proyectado. La actividad agrícola en el país ha sido altamente afectada por la variabilidad climática, particularmente por los eventos de sequías (Florescano y Swan, 1995; Jáuregui, 1995, Conde *et al.*, 1999). Asociados a este evento, se han presentado eventos de hambruna y desabasto de maíz, tanto en zonas rurales como en zonas urbanas. Como puede deducirse de los autores citados, dichos eventos se vieron exacerbados durante las más importantes guerras civiles en México (finales de la Independencia y Revolución mexicana, por ejemplo).

Este cultivo ha sido y es base de la alimentación en México (Warman, 1995) y su producción está sufriendo los embates del mercado internacional, por vía de tratados de libre comercio, por la brutal migración de productores jóvenes y por la producción e intento de introducción de maíz transgénico en el país (Nadal, 2000; Appendini, 2001). Estas políticas son claramente fuente de vulnerabilidad actual de los productores de maíz, y señalan la urgencia de cambios en ellas para reducir su vulnerabilidad futura en el contexto de cambio climático.

Finalmente, señalaremos que esos estudios indican que deben existir sinergias entre los estudios de cambio climático (adaptación y mitigación), por lo pronto abordados de manera independiente, pero también es necesario integrar los otros estudios ambientales como son: la pérdida de biodiversidad; el cambio de uso de suelo; acidificación de océanos; pérdida de agua potable; adelgazamiento de la capa de ozono; contaminación química de aire, agua y suelo; el cambio en ciclos de nitrógeno y fósforo (Foley, 2010).

VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN MÉXICO

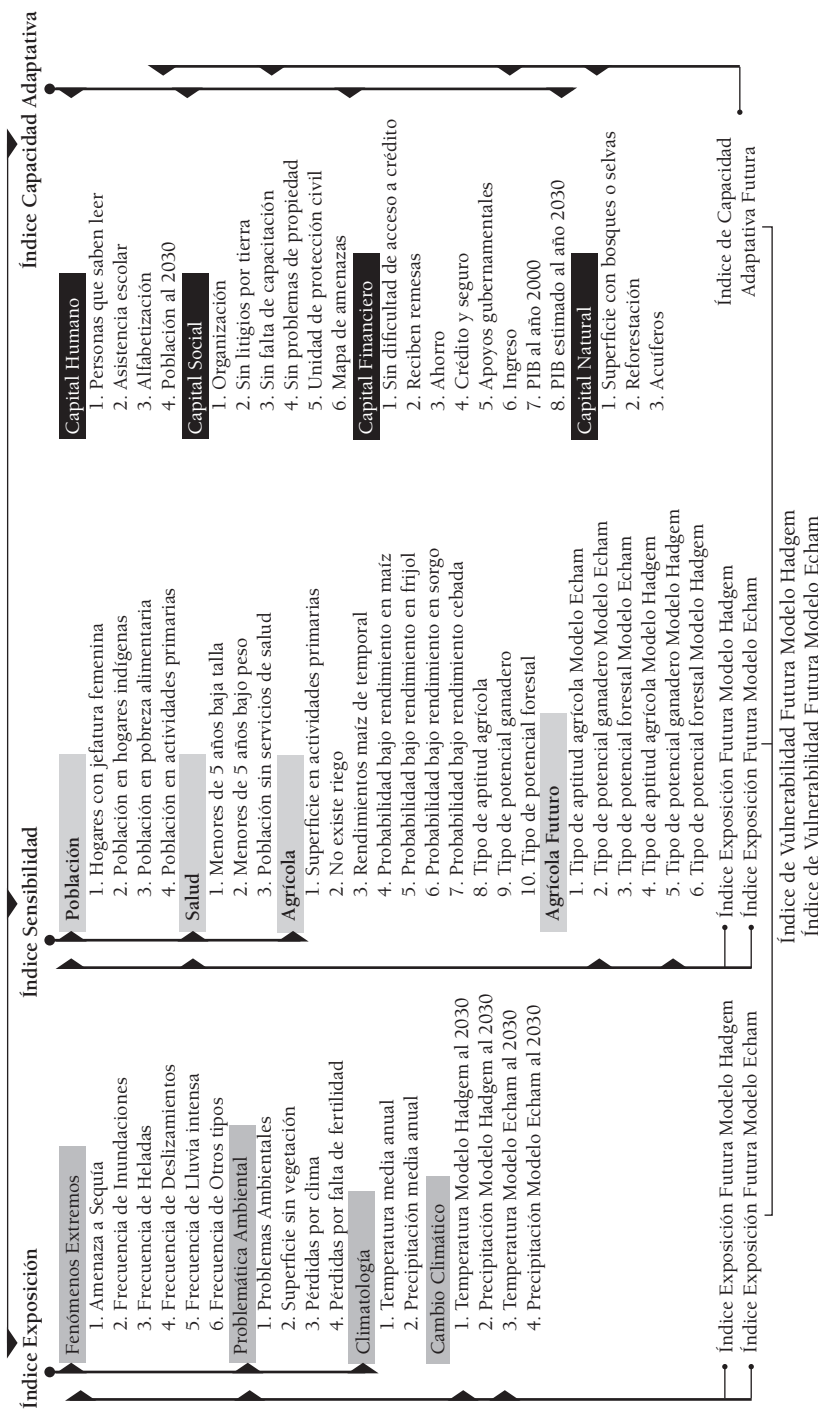
La vulnerabilidad al cambio climático es multifactorial. Según el IPCC (2014c), la vulnerabilidad es la propensión de los sistemas a ser afectados

de manera adversa. Incluye a la sensibilidad o susceptibilidad del sistema a ser dañado, y la falta de capacidad para enfrentar y adaptarse a los cambios adversos. Esta propensión puede ser debida al proceso de cambio climático, pero también a la variabilidad climática y a los eventos extremos. Así, se distinguen tres dimensiones de la vulnerabilidad: la exposición del sistema a las variaciones del clima, su sensibilidad (que incluye los impactos potenciales descritos en la sección anterior) y su capacidad de adaptación (IPCC, 2007).

Para el análisis de la vulnerabilidad de la producción de maíz en México (Monterroso *et al.*, 2014), se generaron índices (figura 4) que expresaran la exposición (Monterroso y Conde, 2015), la sensibilidad (Monterroso *et al.*, 2011) y la capacidad adaptativa (Monterroso y Conde, 2017). En cuanto a la exposición, que puede verse como un factor externo al sistema, se considera que se obtiene como la suma de lo ocurrido en años anteriores (eventos extremos históricos), más el grado de conservación actual de la biodiversidad (problemas ambientales presentes) y el clima actual y sus escenarios de cambio climático. En esos estudios se analizaron bases de datos a nivel municipal (CENAPRED, 2010; Fernández *et al.*, 2009). El análisis geográfico fue realizado en ArcGis (versión 10). Se encontró que uno de cada tres mexicanos reside en zonas sujetas a inundaciones, 38 millones pueden sufrir los ciclones tropicales, 50 millones viven en zonas de sequía y poco más de 12 millones en zonas de sequía extrema. Las granizadas afectan a más de 50 millones y tres cuartas partes de la población son afectados por heladas. Conocer la distribución espacial de la exposición debe servir para reducir la exposición climática identificada y así la vulnerabilidad al cambio climático, dado que la exposición es una precondition necesaria para entender la vulnerabilidad.

Se considera que la sensibilidad (IPCC, 2007) es el grado en que un sistema es afectado por cualquier disturbio climático, ya sea positiva o negativamente. Los efectos pueden ser tanto directos como indirectos. Se trata de un factor intrínseco al sistema, y es necesario tener modelos o métodos que permitan evaluar los impactos potenciales de la variabilidad y el cambio climático a nivel regional (en este caso municipal). Los factores que se consideraron para evaluar la sensibilidad fue la infraestructura existente, la capacidad de la tierra y los impactos potenciales en la agricultura de maíz de temporal (Monterroso *et al.*, 2011b) en México. Se incluyeron también los posibles efectos en la ganadería y en el sector forestal. Los datos se obtuvieron de fuentes públicas (INEGI, 2009; SEDESOL, 2010). Los resultados mostraron que, aún sin introducir escenarios de cambio climático, la producción de maíz de temporal en México ya es altamente sensible a las condiciones cli-

FIGURA 4
ÍNDICE DE VULNERABILIDAD BASE



Nota: variables utilizadas para generar los índices de vulnerabilidad (actual o base, y futura), considerando indicadores para caracterizar la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa. FUENTE: Monterroso *et al.*, 2014.

máticas prevalecientes. Una de las variables que resultó de gran importancia fue la capacidad de la tierra, cuyos procesos de degradación determinan la gran sensibilidad en los municipios en México. Los municipios más sensibles se encuentran en el norte del país, y en condiciones de cambio climático esta situación puede agravarse.

En cuanto a la capacidad adaptativa de los productores de maíz de temporal en México, Monterroso y Conde (2017) proponen un índice de esta capacidad a nivel municipal, considerando que a ese nivel se toman decisiones administrativas y económicas relevantes que podrían aumentar esa capacidad adaptativa actual. Se utilizaron 19 indicadores (figura 4), organizadas en cuatro categorías: capital humano, capital social, capital financiero y capital natural. El estudio mostró que son muy relevantes las asociadas a capital humano. Se combinó ese índice con los de exposición y sensibilidad a cambio climático, descritos anteriormente, para determinar posible vulnerabilidad futura. Esto permitió mapear dicha capacidad, de tal forma que pudiera emplearse tanto para la toma de decisiones como para el desarrollo de políticas que incrementen esa capacidad.

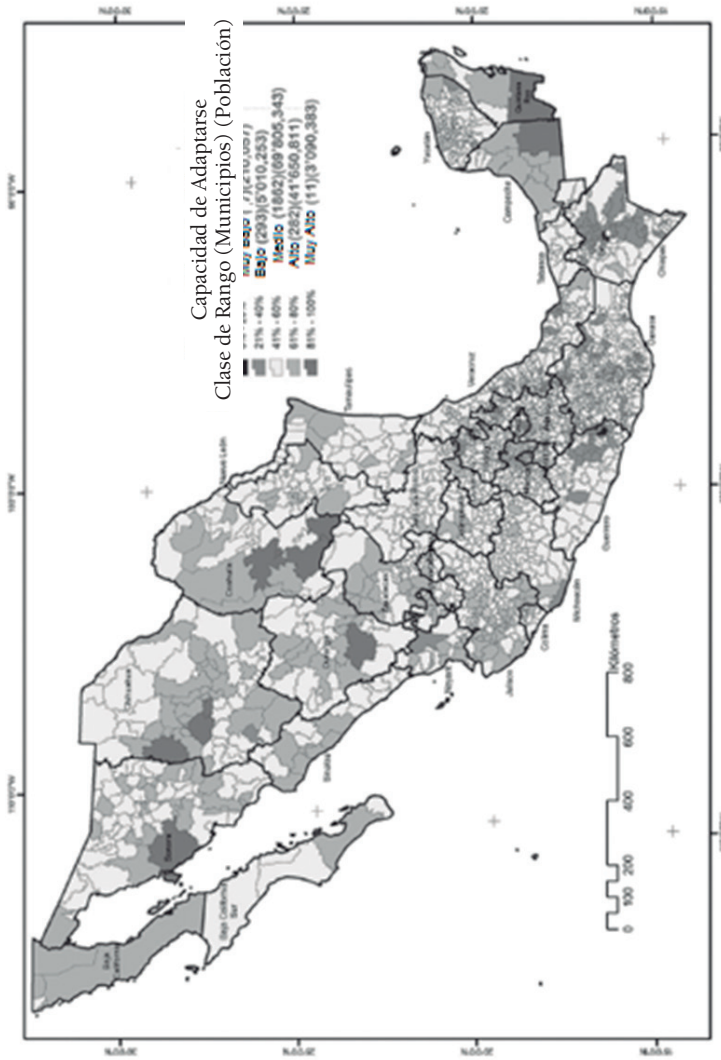
El índice integrado (figura 5) muestra que 12% de los municipios en México tienen alta y muy alta capacidad adaptativa, mientras que el 88% tienen de media a baja capacidad adaptativa. En particular, los estados que contienen los municipios con la menor capacidad adaptativa fueron Chiapas, Oaxaca y Guerrero.

Visto en términos de población que habita esos municipios (INEGI, 2005), se observó que para el año 2005 más de 64 millones de personas (63%) en México tenían capacidad adaptativa entre media y baja. De la población total en ese año, 4% (cerca de cuatro millones) se encontraban en condiciones de baja y muy baja capacidad adaptativa. En el otro extremo, 2.3% de la población tuvieron muy alta capacidad adaptativa.

Considerando las proyecciones de crecimiento de población para el 2030 (CONAPO, 2006), y los índices de exposición y sensibilidad en condiciones de cambio climático ya descritos, se obtuvo que 4.5 millones de personas estarían en las clases de baja y muy baja capacidad adaptativa, lo que representaría un aumento de medio millón de personas con respecto al escenario base, descrito anteriormente.

Es posible plantear algunas acciones de política climática, relacionando la capacidad adaptativa con la exposición y la sensibilidad al cambio climático (Monterroso y Conde, 2017; figura 6). Se plantearon cuatro categorías de acción: invertir, prevenir, uso sustentable y promover la urgente adaptación. Por ejemplo, municipios con alta exposición y baja capacidad adaptativa se encontrarían en el caso de urgentes acciones de adaptación para reducir su

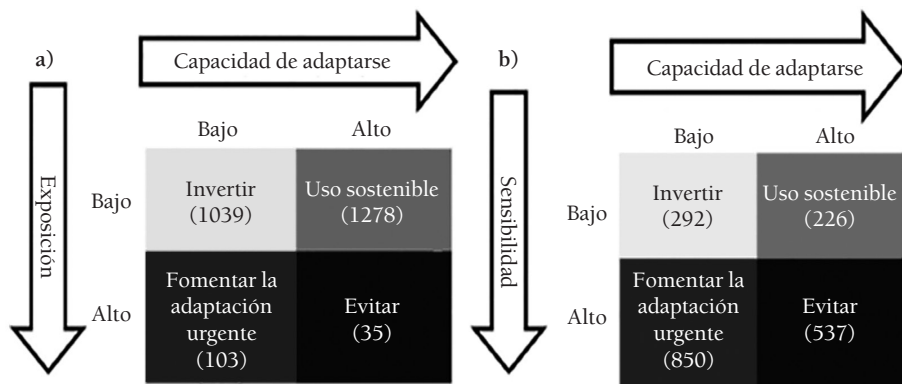
FIGURA 5
DISTRIBUCIÓN ESPECIAL DE LAS CLASES DE CAPACIDAD ADAPTATIVA
(MUY BAJA, BAJA, MEDIA, ALTA, MUY ALTA) Y LOS (MUNICIPIOS) Y (NÚMERO DE HABITANTES) EN ELLOS



FUENTE: Monterroso y Conde, 2017, "Exposure to climate and climate change in Mexico", *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(4):272-288.

vulnerabilidad. En ese estudio, 103 municipios con 3.3 millones de habitantes se encontrarían en esa situación. Asimismo, 850 municipios, con 14 millones de habitantes, serían altamente sensibles al cambio climático y tendrían baja capacidad adaptativa.

FIGURA 6
CUATRO CATEGORÍAS DE ACCIONES DE POLÍTICA CLIMÁTICA:
INVERTIR, OPORTUNIDAD, URGE ACTUAR, PREVENIR



NOTA: el número de municipios se muestra entre paréntesis. a) posibles acciones ante la relación exposición y capacidad adaptativa b) posibles acciones en la relación sensibilidad y capacidad adaptativa.

FUENTE: Monterroso y Conde, 2017, "Exposure to climate and climate change in Mexico", *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(4):272-288.

ALGUNAS CONCLUSIONES

El cambio climático es ya una realidad planetaria. México es un país muy vulnerable a este proceso, y su vulnerabilidad se incrementará si no aumenta la "ambición" de reducir globalmente las emisiones de gases de efecto invernadero. Se requieren entonces cambios en el sector energético y en general, en los sectores productivos, así como el detener y revertir la afectación de la biodiversidad terrestre y marina. En cuanto a la adaptación al cambio climático, la Convención de Cambio Climático señala que es necesario que ésta se manifieste en cambios en las prácticas, procesos y estructuras, reduciendo con ello las fuentes de vulnerabilidad actual y la futura. La justicia climática entonces sería el marco teórico que podría fundamentar esos cambios.

En la descripción de la capacidad adaptativa del sector primario en México, resultaron muy relevantes los factores del denominado capital humano. Reiteramos entonces que en la reducción de la vulnerabilidad el fortalecimiento del factor humano es clave.

BIBLIOGRAFÍA

- Appendini, K. (2001), *De la Milpa a los Tortibonos, La reestructuración de la política alimentaria en México*, 2da. edición, México, El Colegio de México, Instituto de Investigaciones de las Naciones Unidas para el Desarrollo Social, 290 pp.
- Burgiel, S.W. and A.A. Muir, (2010), *Invasive Species, Climate Change and Ecosystem-Based Adaptation Addressing Multiple Drivers of Global Change* Global Invasive Species Programme (GISP), Washington, DC, US, and Nairobi, Kenya, ISBN, 978-92-9059-287-7 [http://www.gisp.org/whatsnew/docs/Climate_Change_ReportUSletter.pdf], Reporte, 56 pp.
- CENAPRED, (2010), *Base de datos de declaratorias de riesgos ambientales*, [consultada Julio, 2010], disponible en <<http://www.cenapred.gob.mx/es/>>.
- Conde, C., F. Estrada, B. Martínez, O. Sanchez, C. Gay, (2011), “Regional climate change scenarios for México”, *Atmosfera* 24(1), pp. 125-140.
- Conde, C., Liverman, D., Flores, M., Ferrer, R., Araujo, R., Betancourt, E., Villarreal, G., Gay, C. (1997), “Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to climate change”, *Climate Research*, 9(1), pp. 17-23.
- Conde, C., R. Ferrer and S. Orozco, (2006), “Climate change and climate variability impacts on rainfed agricultural activities and possible adaptation measures, a Mexican case study”, *Atmosfera*, 19(3), pp. 181-194.
- Conde, C., C. Gay, V. Magaña, J. L. Pérez, T. Morales, y S. Orozco, (1999), “El Niño y la Agricultura”, en *Los impactos de El Niño en México*, Ed. Víctor Magaña, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, México, con apoyo de la Dirección General de Protección Civil, Secretaría de Gobernación, México, pp. 103-135.
- Fernandez, A., J. Zavala, R. Romero, (2009), *Atlas climático digital de México*, [consultado junio 15, 2009], disponible en <<http://uniatmos.atmosfera.unam.mx>>.
- Florescano, E., S. Swan (1995), *Breve Historia de la Sequía en México*, Biblioteca Universidad Veracruzana. 246 p.
- Foley, J. (2010), “Solutions to Environmental Threats”, *Sci. Am*, 32(4), pp. 38-41.
- Gay, C., O. Sánchez, B. Martínez-López, A. Nébot, F. Estrada, (2014), “Fuzzy Models, Easier to Understand and an Easier Way to Handle Uncertainties in Climate Change Research”, en *Mohammad S. Obaidat, Joaquim Filipe, Janusz Kacprzyk, Nuno Pina, Editors, Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, Advances in Intelligent Systems and Computing* 256, Springer International Publishing Switzerland, pp. 223-237. DOI: 10.1007/978-3-319-03581-9_16. ISBN 978-3-319-03 580-2.

- INEGI (2009), “Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007”, *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*, INEGI, Aguascalientes, México
- IPCC (2014b), *Cambio climático 2014, Informe de síntesis, Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)], IPCC, Ginebra, Suiza, 157 pp.
- IPCC (2014c), “Annex II, Glossary [Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow (eds.)]”, en *Climate Change 2014, Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 117-130.
- IPCC, WGI (2013), “Summary for Policymakers”, en *Climate Change 2013, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, WGII (2014), “Summary for policymakers”, In *Climate Change 2014, Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A, Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2007), “Resumen para Responsables de Políticas”, en *Cambio Climático 2007, Impactos y Vulnerabilidad, Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Jáuregui, E. (1995), “Rainfall Fluctuations and Tropical Storm Activity in México”, *Erkunde, Archiv Für Wissenschaftliche Geographie*, 49, pp. 39-48.
- Liverman, D. and K. O'Brien (1991), “Global warming and climate change in Mexico”, *Global, Environmental Change*, 1(4), pp. 351-364.
- Monterroso, A., C. Conde (2015), “Exposure to climate and climate change in Mexico”, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(4), pp. 272-288.
- Monterroso, A., C. Conde, C. Gay, D. Gomez, J. Lopez (2014), “Two methods to assess vulnerability to climate change in the Mexican agricultural sector”, *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 19, pp. 445-461.

- Monterroso, A., C. Conde, J. D. Gómez, C. Gay, L. Villers, J. López García (2011b), "Sensitivity of Mexico's Farmers, A Sub National Assessment of Vulnerability to Climate Change", en *Climate Change - Socioeconomic Effects*, Dr Houshan Kheradmand (ed.), InTech, DOI, 10.5772/24289, Available from <<https://www.intechopen.com/books/climate-change-socioeconomic-effects/sensitivity-of-mexico-s-farmers-a-sub-national-assessment-of-vulnerability-to-climate-change>>.
- Monterroso, A., C. Conde (2017), "Adaptive Capacity, Identifying the Challenges Faced by Municipalities Addressing Climate Change in Mexico", (Manuscript ID 15-CDEV774-RA), *Climate and Development*, DOI, 10.1080/17565529.2017.1372264, Print ISSN, 1756-5529 Online ISSN, 1756-5537, IF, 1,466.
- Monterroso, A., C. Conde, G. Rosales, J.D. Gómez, C. Gay (2011a), "Assessing current and potential rainfed maize suitability under climate change scenarios in México", *Atmosfera*, 24(1), pp. 53-67.
- Moss, R., J. A., Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S. J. Smith, R. J. Stouffer, A. M. Thomson, J. P. Weyant and T. J. Wilbanks, (2010), "The next generation of scenarios for climate change research and assessment", *Nature*, 463, pp. 747-756.
- Nadal, A. (2000), "El Maíz en México, Algunas Implicaciones Ambientales del Tratado de Libre Comercio en América del Norte", *Secretariado de la Comisión de Cooperación Ambiental*, 182 pp.
- Okereke, C., P. Coventry (2016), "Climate justice and the international regime, before, during, and after Paris", *WIREs Clim Change*, 7, pp. 834-851. Doi, 10.1002/wcc.419.
- Porter, J.R., L. Xie, A.J. Challinor, K. Cochrane, S.M. Howden, M.M. Iqbal, D.B. Lobell, and M.I. Travasso (2014), "Food security and food production systems", In *Climate Change 2014, Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A, Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 485-533.
- Polvani, L.M., A.C. Clement, B. Medeiros, J.J. Benedict, I. R. Simpson (2017), "When less is more, Opening the Door to Simpler Climate Models, Opinion", *EOS*, <<https://eos.org/opinions/when-less-is-more-opening-the-door-to-simpler-climate-models>>.

- Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, III, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. Foley (2009), "Planetary boundaries. exploring the safe operating space for humanity". *Ecology and Society* 14(2), p. 32. [online] <<http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>>.
- Romero-Lankao, P., J.B. Smith, D.J. Davidson, N.S. Diffenbaugh, P.L. Kinney, P. Kirshen, P. Kovacs, and L. Villers Ruiz (2014), "North America", In, *Climate Change 2014, Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B, Regional Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1439-1498.
- SEDESOL (2010), *Observatorio de Información Municipal*, [consultada enero, 2009], disponible en <www.observatoriomunicipal.org.mx/>.
- Warman, A. (1995), *La historia de un bastardo, maíz y capitalismo*, Fondo de Cultura Económica, México, 281 pp.