

IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

Alejandro de la Fuente Meraz y Sazcha Marcelo Olivera Villarroel
(Coordinadores)



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Dr. Eduardo Abel Peñalosa Castro

Rector General

Dr. José Antonio De Los Reyes Heredia

Secretario General

UNIDAD CUAJIMALPA

Dr. Rodolfo René Suárez Molnar

Rector

Dr. Álvaro Julio Peláez Cedrés

Secretario Académico

Mtro. Octavio Mercado González

*Director de la División de Ciencias
de la Comunicación y Diseño*

Dr. Raúl Roydeen García Aguilar

*Secretario Académico de la División de Ciencias
de la Comunicación y Diseño*

Comité Editorial

Mtra. Gabriela Ramírez de la Rosa

Dr. Román Alberto Esqueda Atayde

Mtra. Brenda García Parra

Dra. Alejandra Osorio Olave

Dr. César Augusto Rodríguez Cano

Mtro. Daniel Cuitláhuac Peña Rodríguez



División
Ciencias de la
Comunicación y
Diseño

IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

Coordinado por
Alejandro de la Fuente Meraz
Sazcha Marcelo Olivera Villarroel



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Clasificación Dewey: 304.250972 O45

Clasificación LC: QC903.2.M6 O45

Olivera Villarroel, Sazcha Marcelo

Impactos socioeconómicos del cambio climático en México / Sazcha Marcelo Olivera Villarroel, Alejandro de la Fuente . – Ciudad de México : UAM, Unidad Cuajimalpa, División de Ciencias de la Comunicación y Diseño, 2018.

309 p. : il. col., gráficas, tablas ; cm.

ISBN: 978-607-28-1654-1

1.Cambio climático – Aspectos socioeconómicos – México 2. Desastres naturales – Aspectos socioeconómicos – México 3. Clima – Contaminación - Economía

I. Fuente, Alejandro de la, coaut.

Impactos Socioeconómicos del Cambio Climático en México

Alejandro de la Fuente Meraz y Sazcha Marcelo Olivera Villarroel

Primera edición, 2018.

D.R. © Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Cuajimalpa

División de Ciencias de la Comunicación y Diseño

Avenida Vasco de Quiroga #4871, Colonia Santa Fe Cuajimalpa,

Delegación Cuajimalpa, C.P: 05348, Ciudad de México.

Diseño Editorial

Mtro. Rodrigo Alvarez de Mattos, Lic. Iván Hernández Martínez

Cuidado de la edición

Mtro. Axel Ancira

Diseño de portada

Mtra. Lucero Fabiola García Franco

Prohibida la reproducción parcial o total de este libro por cualquier medio sin la autorización por escrito de la Universidad Autónoma Metropolitana, el editor o el autor.

ISBN: 978-607-28-1654-1

Derechos reservados © 2018

Impreso en México

Este libro fue dictaminado positivamente por pares académicos mediante el sistema doble ciego, evaluado y liberado para su publicación por el Comité Editorial de la División de Ciencias de la Comunicación y Diseño, y ratificado por el Consejo Editorial de la Unidad Cuajimalpa.

ÍNDICE

PREFACIO	9
PRIMERA PARTE	
EL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO	17
Escenarios regionales de cambio climático en México CECILIA CONDE	19
SEGUNDA PARTE	
DESASTRES NATURALES Y SU AFECTACIÓN A LA SOCIEDAD MEXICANA	45
Riesgo de desastres naturales a nivel municipal en México DENISSE CRUZ, ALEJANDRO DE LA FUENTE MERAZ Y JUAN SORIANO	47
Vulnerabilidad de los municipios al cambio climático y eventos relacionados con el clima en México CHRISTIAN BORJA-VEGA Y ALEJANDRO DE LA FUENTE MERAZ	107
El impacto del cambio climático en la pobreza en México ALEJANDRO DE LA FUENTE MERAZ Y MARCELO OLIVERA	157
La variabilidad del clima y sus efectos en las zonas rurales de México EMMANUEL SKOUFIAS Y KATJA VINHA	183
La variabilidad del clima y la estatura de los niños en zonas rurales de México EMMANUEL SKOUFIAS Y KATJA VINHA	211

TERCERA PARTE

CIUDADES, CLIMA Y ECONOMÍA

245

Impacto macroeconómico de la mitigación de gases
de efecto invernadero: un análisis de equilibrio general

MARÍA EUGENIA IBARRARÁN Y ROY BOYD

247

El rol de las áreas naturales para la resiliencia
al cambio climático de las metrópolis: una aproximación
desde la adaptación

RAFAEL CALDERÓN CONTRERAS

267

Incentivos e instrumentos de política para el control
del calentamiento global en México

EMILIO GUTIÉRREZ

289

PREFACIO

Las consecuencias sociales y económicas de recientes desastres naturales climatológicos en distintas partes del planeta han evidenciado la necesidad de introducir consideraciones relacionadas con una gestión exitosa en contra de tales desastres como parte de la agenda global de combate a la pobreza. En paralelo, si bien existe incertidumbre respecto a impactos y escenarios específicos, existe un consenso generalizado de que el cambio climático traerá consigo mayor variabilidad climática, derivando en riesgos climatológicos de mayor intensidad, tales como las sequías, los huracanes y las inundaciones.

México no puede ser indiferente a las tendencias anteriores. Sus costas son destino y cruce de huracanes y tormentas tropicales que se originan en el Mar Caribe y los océanos Atlántico y Pacífico. Asimismo, la sequía es un fenómeno recurrente que se extiende a lo largo de los trópicos semiáridos del país. Comprender entonces las consecuencias sociales y económicas del cambio climático y los riesgos climáticos sobre nuestro país se impone como una tarea de primer orden.

El presente trabajo es una compilación de estudios que buscan atender precisamente esta necesidad, es decir, comprender

los impactos sociales del cambio climático y de algunos de los riesgos asociados con dicho cambio climático en México.

Si bien el cambio climático y algunos de los riesgos climatológicos asociados constituyen los hilos conductores de este libro, se debe hacer una distinción entre ambos. El clima es el estado promedio del tiempo meteorológico en un periodo de años, generalmente 30 años o más. Se pueden considerar las variables básicas temperatura y precipitación promedio durante un largo periodo de tiempo para caracterizarlo. El cambio climático, por su parte, es una anomalía en el clima que se presenta cuando existe una diferencia entre dos estados medios del clima. Una de las preocupaciones sobre el cambio climático gira precisamente en torno al incremento en el número y la magnitud de dichas anomalías (o fenómenos climatológicos extremos) que se han suscitado en los últimos años, sobre todo cuando estos eventos afectan a un gran número de personas o activos, de tal suerte que puedan poner en riesgo la estabilidad económica de una región o país entero.

Ahora bien, una mayor densidad y exposición de las personas y las actividades económicas a la ocurrencia de riesgos climatológicos acentuados por el cambio climático no tiene por qué devenir en un desastre, especialmente cuando los hogares y las comunidades se preparan adecuadamente. La población y las economías pueden tomar medidas antes de que ocurra una contingencia para reducir sus niveles de vulnerabilidad, o una vez ocurrida, para mitigar las pérdidas y recuperarse. Así pues, los desastres naturales de carácter climatológico son eventos con consecuencias potencialmente dañinas, en función de la exposición de los hogares y los activos económicos y sociales ante riesgos climáticos aunados a la capacidad para prevenir o resistir las pérdidas derivadas de tales eventos.

El libro se organiza precisamente en función de la distinción entre las consecuencias del cambio climático, por una parte, y de los desastres naturales de carácter climatológico, por la otra,

a la par que propone alternativas de solución para ambas situaciones.

La obra se divide en tres grandes apartados, los cuales se analizan en forma capitular. La primera sección aborda la generación de escenarios de cambio climático a escala global y regional para México. Los escenarios generados se contrastan brevemente con algunas de las áreas geográficas y recursos y sectores de actividad donde se espera que el cambio climático tenga mayores consecuencias sociales y económicas.

La segunda sección del libro se encuentra compuesta por cinco capítulos. El análisis se centra en la exposición de la población y distintos tipos de activos en el país a varios tipos de riesgos climáticos, así como en los efectos de los desastres naturales de carácter climático en la sociedad, mediante el análisis de temáticas específicas como la gestión del riesgo, la vulnerabilidad en el sector agrícola ante eventos climáticos extremos, los efectos del cambio climático y los choques climáticos en el bienestar, incluyendo los efectos de largo plazo en los niveles de pobreza de la sociedad, así como los rezagos en el crecimiento de los niños en áreas rurales afectadas por dichas contingencias.

Cruz, de la Fuente y Soriano (*Capítulo 2*) realizan un diagnóstico espacial puntual de los principales riesgos, sobre todo hidro-meteorológicos, que se ciernen sobre el país. Asimismo, examinan algunos de los activos físicos (infraestructura hospitalaria, educativa, caminos y puentes; hidráulica, viviendas en situación de pobreza patrimonial) y humanos (población) que se encuentra expuestos a tales riesgos y a los medios existentes para atenuar sus posibles impactos adversos. Sus principales hallazgos muestran que los hogares pobres tienen una mayor susceptibilidad a sufrir daños y pérdidas en su patrimonio a raíz de un desastre climatológico proporcionalmente mayores al resto de la población; asimismo, que la gran mayoría de los municipios más pobres del país presentan niveles elevados de riesgo, y a la vez concen-tran bajos niveles de infraestructura crítica para

atender emergencias, tanto en valor como en cantidad (hospitales y acceso carretero).

Borja-Vega y de la Fuente (*Capítulo 3*) desarrollan un índice de vulnerabilidad ante contingencias climatológicas y cambio climático del sector agropecuario en México. Los autores cuentan con una amplia variedad de datos sociodemográficos y económicos para la mayoría de los municipios en México, lo cual les permite aplicar una técnica estadística (análisis de componentes principales) para estimar dicho índice en dos puntos en el tiempo: una línea base en 2005 y una predicción en 2045. Los resultados de su análisis sugieren una amplia variación en los niveles de vulnerabilidad municipal del país en los puntos de línea base y predicción; sin embargo, de acuerdo con sus hallazgos, las regiones noroeste y centro experimentarán los cambios más radicales en vulnerabilidad entre 2005 y 2045, con el advenimiento de aumentos de temperatura y escasez de agua para actividades agrícolas. Los municipios con mayor vulnerabilidad presentan las condiciones sociodemográficas más adversas, incluyendo una mayor proporción de pequeños agricultores. El perfil observado también muestra una correspondencia positiva entre los niveles de vulnerabilidad y el porcentaje de personas que no cuentan con programas de apoyo o ahorros.

Pocos estudios se han abocado a analizar la posible relación entre el cambio climático y la pobreza en México. De la Fuente y Olivera (*Capítulo 4*) proponen una regresión de mínimos cuadrados ordinarios en dos etapas donde, primeramente, examinan la asociación entre los cambios de temperatura y precipitación en relación con el Producto Interno Bruto por habitante a nivel municipal para 2000 y 2005 y posteriormente, en una segunda ecuación examinan la asociación entre el Bruto y la pobreza. En otras palabras: la variación del PIB per cápita se explica a través de las diferencias en las condiciones climáticas del municipio; posteriormente para inferir los efectos del cambio climático en la pobreza, los impactos estimados de la tempera-

tura y la precipitación en la producción se multiplicaron por el cambio climático previsto para 2030. Los cambios previstos en el PIB per cápita sirven, a su vez, para reestimar la pobreza. El modelo desarrollado sugiere que el cambio climático podría desacelerar el ritmo de reducción de la pobreza hacia el año 2030, es decir, que dadas las proyecciones de población para 2030 un número importante de personas podrían caer en una situación de pobreza a causa del cambio climático.

Skoufias y Vinha (*Capítulos 5 y 6*) analizan el impacto de la variabilidad climática en el bienestar de los hogares en zonas rurales. De particular interés resultan las afectaciones a la salud en los niños menores de 48 meses que los autores observan, posiblemente derivadas de la escasez de alimentos y los efectos adversos de los eventos climáticos extremos sobre la agricultura. Los rezagos en el desarrollo de los infantes durante este periodo de crecimiento pueden determinar su desarrollo cognitivo, así como su productividad como adultos.

La última sección compuesta de tres capítulos aborda los efectos del cambio climático con especial énfasis en el análisis de políticas públicas concretas: midiendo los impactos de la mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en las variables macroeconómicas de México, analizando los incentivos e instrumentos de política requeridos para el manejo de la emisión de Gases de Efecto Invernadero y analizando instrumentos de conservación de la biodiversidad local como opción de adaptación de las áreas urbanas ante los eventos climáticos extremos.

Ibarrarán y Boyd (*Capítulo 7*) desarrollan un modelo de equilibrio general computable para la economía mexicana que les permita identificar los costos y beneficios de distintos grupos de políticas de mitigación de Gases de Efecto Invernadero, que puedan llevar a México hacia una senda de crecimiento que sea bajo en emisiones de carbono. Los autores modelan políticas de mitigación de bajo, mediano y alto costo, en función a los costos de establecimiento del Programa para el Desarrollo Bajo en

Emisiones (MLED) en México. Las políticas analizadas logran sus objetivos de crecimiento con bajo impacto en emisiones a raíz del uso de combustibles más limpios incentivado por el conjunto de impuestos y subsidios propuestos como política. Sin embargo, esas mismas políticas que auspician un aumento en la inversión llevan a un mayor nivel agregado de producción y mayor crecimiento económico, lo cual provoca un aumento en la demanda de energía y, en cierta medida, crecimiento en las emisiones. A la luz de resultados, los autores sugieren en un principio sólo implementar las políticas MLED para México del escenario de menor costo. Los recursos ahorrados al no instrumentar las políticas de costos intermedios y altos podrían invertirse en reducir la vulnerabilidad de la población más expuesta al cambio climático mediante medidas de adaptación de gran impacto, tales como el tratamiento de aguas residuales, desarrollo forestal y biodiversidad, transporte sustentable, tratamiento de residuos sólidos urbanos y programas de eficiencia energética y ahorro de agua.

Calderón Contreras (*Capítulo 8*) caracteriza la relevancia que tienen las Áreas Naturales Protegidas periurbanas de la Zona Metropolitana del Valle de México y su contribución para la resiliencia general de dicho sistema urbano. La metodología utilizada en el estudio parte de la comparación de imágenes públicas satelitales disponibles para la Ciudad de México para apreciar la cobertura de las áreas protegidas metropolitanas y su influencia en el desarrollo de la zona metropolitana del Valle de México. El artículo contiene dos principales contribuciones: primero, utiliza el caso de la Ciudad de México para ilustrar la forma en la que una metrópoli se constituye como un sistema socio-ecológico con potencial y habilidad para resistir los efectos esperados del cambio climático; y segundo, caracteriza la importancia y la forma en la que las áreas naturales protegidas metropolitanas coadyuvan a incrementar la resiliencia urbana. El análisis se enmarca en el actual proceso de metropolización a nivel mundial y

los efectos del cambio climático en las grandes concentraciones urbanas, lo que convierte a la resiliencia en una de las temáticas centrales en la gestión del riesgo a nivel local.

Gutiérrez (*Capítulo 9*) contrasta los argumentos tradicionales que sostienen que países en vías de desarrollo no deben hacer esfuerzos tan grandes para combatir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero contra la creciente evidencia que sugiere que las concentraciones de partículas suspendidas tienen mayores efectos negativos (en particular, en la salud de las personas) en estos países que en los países desarrollados. El trabajo sostiene que los efectos positivos sobre la salud de las personas de diversas políticas de control de emisiones, tales como la adopción de fuentes renovables de energía y de sistemas de vehículos eléctricos o de combustibles de mejor calidad y/o sistemas de transporte público masivo, servirían para contrarrestar los altos costos que representarían para la economía mexicana en el corto plazo la adopción de tecnologías más eficientes. Asimismo, reconociendo la falta de capacidad institucional en los países en vías de desarrollo como el nuestro (en relación con el conjunto de países desarrollados), el autor ejemplifica cómo el posible uso de instrumentos de política como la certificación voluntaria puede reducir los altos costos de monitoreo que enfrentan los reguladores en el contexto mexicano.

Esperamos que los estudios contenidos en el presente volumen abonen ideas para la generación e integración exitosa de esfuerzos públicos y privados en la gestión del cambio climático y de los riesgos naturales asociados con dicho cambio climático en México.

PRIMERA PARTE
EL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

ESCENARIOS REGIONALES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

CECILIA CONDE

GENERALIDADES DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

El clima es el estado promedio del tiempo meteorológico en un periodo de años (Schneider 1992), generalmente, 30 años o más. Peixoto (1992) señala que se pueden considerar las variables básicas temperatura y precipitación promedio durante un largo periodo de tiempo para caracterizarlo. A partir de esta definición, se pueden describir las condiciones climáticas relativamente uniformes en localidades o en regiones. Al seleccionar un periodo, ya sea mensual, estacional, anual o aun periodos mayores, es posible describir las variaciones o anomalías del clima.

El clima se define básicamente como el “tiempo medio”, o bien, en términos de la media y la variabilidad de ciertas condiciones atmosféricas durante periodos de varios decenios, como la descripción estadística del tiempo meteorológico. Esta definición no sólo observa el “estado medio de las variables básicas”, incluye también los indicadores de sus fluctuaciones alrededor de la media, o variabilidad. Estos indicadores señalan momen-

tos estadísticos como son su varianza, covarianza, o desviación estándar, que caracterizan a la estructura y comportamiento de la atmósfera para el mismo periodo promedio. Las medias climáticas varían de dos maneras (Stern *et al.*1999): como pequeños cambios observables en todo el periodo promediado (30, 50, 100 años), o bien, como fluctuaciones en el número de eventos extremos dentro de ese periodo.

Los eventos extremos inciden en las variaciones de las condiciones medias climáticas, pero los eventos extremos aislados alteran el estado del tiempo, no al clima. Por ello, el cambio climático significa la diferencia entre dos estados medios del clima, mientras que las anomalías climáticas (incluyendo a los eventos extremos) se refieren a la diferencia entre las condiciones climáticas específicas y el estado medio del clima (Henderson-Sellers 1990). El cómo surgen estas anomalías climáticas cuando se presenta una alteración en el estado medio del clima, es un problema de investigación fundamental en los estudios de cambio climático (IPCC 2012).

El clima, en un sentido más amplio, es el estado del sistema climático que a nivel planetario ha estado en constante cambio. El sistema climático –que incluye a los océanos, los continentes, las masas de hielo y nieve, y la llamada biósfera– tiene inestabilidades inherentes, interacciones no lineales entre sus componentes, y presenta oscilaciones en torno a ciertos estados de equilibrio. Por esta razón se dice que es un sistema complejo, puesto que los cambios ocurren en escalas temporales y espaciales, y a su vez es caótico.

Por este comportamiento, la predictibilidad resulta limitada, aunque el rango de las variables claves está usualmente restringido por características globales del sistema (Bolin 1994). Es por esto que la vigencia de un pronóstico minucioso del estado del tiempo es muy corta: en escalas de diez días o un par de semanas. Sin embargo, las condiciones climáticas medias y sus variaciones estadísticas (variaciones de los parámetros atmosféricos

básicos y de las condiciones oceánicas) suelen derivarse de esos modelos, realizando experimentos numéricos. Los resultados de estos son interpretados en términos probabilísticos, más que determinísticos.

La variabilidad del sistema climático se expresa de dos formas: como variaciones “libres” o “forzadas” (Peixoto 1992). Las primeras se presentan por inestabilidades y retroalimentaciones que dan lugar a interacciones no lineales entre los componentes del sistema. Las variaciones “forzadas” se presentan como respuesta del sistema climático a los cambios por forzamientos externos, tanto terrestres como astronómicos. Ejemplos de forzantes astronómicos del clima serían el cambio en la intensidad de la radiación solar, el cambio en la excentricidad de la órbita terrestre, o los cambios en la precesión del perihelio o en la oblicuidad del eje terrestre.

Cabe la posibilidad de que los forzamientos terrestres estén relacionados con los cambios en la composición atmosférica debido a factores como las erupciones volcánicas o a las emisiones antropogénicas, por ejemplo. En este rubro estarían ubicadas fundamentalmente las investigaciones relativas al cambio climático.

Las causas internas dentro del mismo sistema climático surgen de la interacción positiva o negativa entre el océano y la atmósfera. Estas interacciones provocan oscilaciones que se manifiestan en escalas de tiempo: años o décadas (Phillips *et al.* 2014). Por ejemplo, la temperatura de la superficie del mar puede considerarse un “indicador” de las fluctuaciones de los dos componentes mencionados y también de las condiciones de interacción entre ellos. Este tipo de eventos son relevantes cuando se analizan fenómenos como El Niño / Oscilación del Sur (ENSO), o la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) (Lippsett 2000).

Los cambios en el clima ocurren entonces por variabilidad natural interna del sistema climático, así como por factores externos, tanto naturales como antropogénicos. El efecto de factores externos en el clima se puede comparar usando el concepto de

forzamiento radiativo (expresado en Wm^{-2}) que es una medida de la influencia que tiene cada factor para alterar el balance entre la energía entrante y saliente en el sistema tierra-atmósfera y revela su potencial para cambiar al clima (IPCC, WGI 2013). Un forzamiento positivo, como el que producen los gases de efecto invernadero, como CO_2 , N_2O y CH_4 , tiende a calentar la superficie. Un forzamiento negativo, que puede surgir por el incremento atmosférico en algunos aerosoles, por ejemplo, lo enfrían. Los factores naturales, como los cambios en la radiación solar o la actividad volcánica, también pueden causar forzamiento radiativo de diferente signo.

EVOLUCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONAL

Los escenarios de cambio climático son “una descripción coherente, internamente consistente y plausible de un posible estado futuro del mundo (IPCC 1994)”. Un escenario de este tipo plantea cómo debe evolucionar una sociedad, prevé los impactos de dicha evolución en el clima, por lo tanto, para su construcción se requiere de información adicional (por ejemplo, condiciones económicas que permiten el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. No es precisamente un pronóstico, más bien es una alternativa en el comportamiento del clima futuro.

Existen diferentes métodos para generar los escenarios de cambio climático (Carter *et al.* 2001, Fenestera *et al.* 1998, Benioff *et al.* 1996). Por ejemplo, construirlos basados en la temperatura ($+2^\circ\text{C}$, $+4^\circ\text{C}$) y cambios en la precipitación ($\pm 10\%$, $\pm 20\%$). Otras alternativas son el método de los análogos geográficos o análogos históricos (ver Rosenberg *et al.* 1993). El método más avanzado es utilizar las salidas de Modelos de Circulación General (GCM por sus siglas en inglés) de Atmósfera y Océano Acoplados (AOGCMs).

Los AOGCMs se basan en las leyes fundamentales de física, son capaces de simular los procesos que ocurren, en un rango

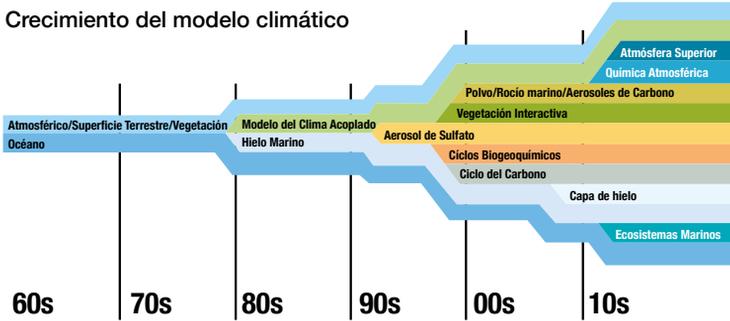


Figura 1. La complejidad de los modelos climáticos globales se ha incrementado sustantivamente en los últimos cuarenta años. Los modelos más avanzados tienen ahora la capacidad de simular una amplia gama de procesos atmosféricos, tal como el impacto de los ecosistemas marinos en la atmósfera.

(Fuente: Atmos News. Disponible en: <https://www2.ucar.edu/news/understanding-climate-change-multimedia-gallery#images>).

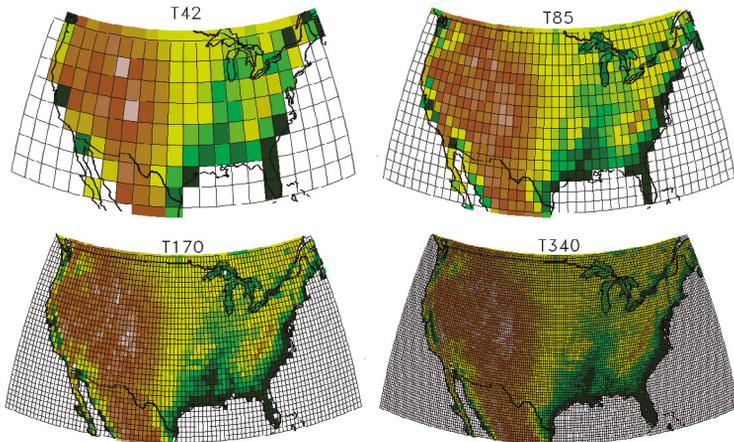


Figura 2. Los detalles regionales de los modelos climáticos se han incrementado de manera relevante, en parte por el uso de supercomputadoras. En 1990, la resolución era de 200 por 300 Km (T42; arriba a la izquierda). Para 2007, la resolución empleada era de 100 por 150 Km (T85; arriba a la derecha). Mejores resoluciones, de hasta 50 x 50 Km, o aún la mitad de esa resolución (T170 y T340; abajo) permiten ya tener una mejor descripción de las montañas, por ejemplo.

(Fuente: UCAR. Disponible en: <https://www2.ucar.edu/news/understanding-climate-change-multimedia-gallery#images>).

muy amplio de escalas espaciales y temporales, entre los diversos subsistemas climáticos. A lo largo del tiempo, los procesos incluidos en los escenarios se han multiplicado (*Figura 2*). También los modelos poseen resoluciones espaciales variadas que se han venido refinando en el transcurso del tiempo (de 600 x 600 Km en el primer reporte del IPCC, de 110 x 110 Km en el cuarto reporte, y del orden de hasta 50 x 50 Km, o menos, actualmente; (*Figura 3*) y que permiten su aplicación a escalas regionales.

Los sistemas digitales AOGCMs, logran escenarios de cambio climático en diferentes condiciones; las variables básicas son la temperatura de superficie y la precipitación, que se proyectan a horizontes de tiempo hasta el 2100. Una de las ventajas que ofrece este sistema es la regionalización a través de la información que proveen estos modelos. Los AOGCMs aportan los valores a gran escala, para los factores regionales y locales que no son resueltos por ellos.

Estos últimos datos se pueden ingresar mediante otros modelos como: 1) los modelos de circulación general de alta resolución; 2) los modelos regionales, o modelos anidados de área limitada (RCMs, por sus siglas en inglés) y 3) los métodos empírico-estadísticos o estadísticos-dinámicos. Es importante tomar en cuenta que cuanto mayor nivel de reducción de escala (temporal y espacial) se desee, por encima de lo directamente obtenido de los AOGCMs, mayor nivel de incertidumbre deberá asumirse, puesto que cualquier método que se escoja para reducir la escala necesariamente introducirá incertidumbre adicional al escenario. También es necesario considerar que el uso de métodos de downscaling (bajar escala) aumentan el riesgo de error entre las variables e interfieren la física atmosférica de la que se parte (Estrada *et al.* 2013).

Las incertidumbres asociadas a estos escenarios, representan serias dificultades para la toma de decisiones y la elaboración de políticas para enfrentar un posible cambio climático futuro. Las principales fuentes de incertidumbre son la misma modela-

ción *incompleta* del sistema climático; los horizontes de tiempo –entre más lejano, más incierto– y el comportamiento de las emisiones, dependientes de las futuras condiciones económicas y sociales.

Pese a las incertidumbres que presentan los modelos, los escenarios se pueden requerir para (Jones *et al.* 2000):

- Ilustrar el cambio climático, esto es, para una descripción del clima futuro en una región dada en términos del clima actual,
- Comunicar las consecuencias potenciales del cambio climático: especificar un cambio de clima para estimar cambios potenciales en la vegetación e identificar especies en peligro de extinción,
- Planeación estratégica. Por ejemplo, cuantificando el posible aumento en el nivel del mar y los cambios climáticos para diseñar defensas costeras o de desbordamiento de ríos,
- Guías para control de emisiones.

Los escenarios climáticos son una herramienta para evaluar la sensibilidad de sistemas o sectores ante condiciones climáticas nuevas (IPCC, WGII 2014). Con ellos es posible investigar el signo de ciertos cambios, por ejemplo, prever el caudal en cuencas y ríos o el impacto potencial de ese cambio (inundaciones, escasez de agua en una región). El lapso (u horizonte de planeación) que se emplea para estos escenarios es, en general, de 25 a 100 años a partir del presente. Con esto se espera que los escenarios regionales sean consistentes con las proyecciones de cambio climático: aumentos a la temperatura global del planeta entre 0.3 y 5.8°C para finales de este siglo (con respecto al periodo 1986-2005; IPCC, WGI 2013), debido al incremento en los gases de efecto invernadero (GEI), dependiendo del escenario empleado de emisiones futuras.

Desde la década de los noventa hasta nuestros días, los estudios de cambio climático han procurado utilizar escenarios de emisiones comparables, que permiten simular en los modelos físicos los forzamientos causados por los gases de efecto invernadero de origen antropogénico. Por ejemplo (*Figura 3*), se utilizaron los escenarios IS92 (Legget *et al.* 1992); a partir del 2000, se utilizaron los propuestos por el Reporte Especial de Emisiones (SRES; Nakicenovic 2000). Actualmente, son utilizados los llamados RCP (Representative Concentration Pathways; van Vuuren 2011).

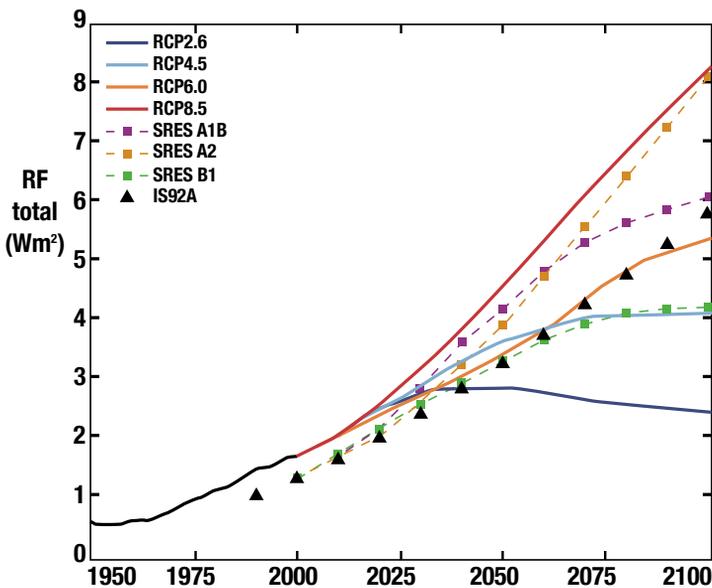


Figura 3. Forzamientos antropogénicos históricos y proyectados (Wm^{-2}) de 1950 y 2100, con respecto al periodo preindustrial (1765 aprox.). Los escenarios de reportes anteriores del IPCC (Segundo reporte -IS92a-, Tercer y cuarto reporte SRES -A2, B2, A1B-), se comparan con los RCP del Quinto reporte. Básicamente, los cambios se deben en el mayor entendimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero y sus efectos en la atmósfera. (Fuente: Cubasch *et al.* 2013).

SÍNTESIS PARA TOMADORES DE DECISIONES Y NUEVOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

En septiembre del 2013 se presentó el Resumen para Tomadores de Decisiones del Grupo 1 de Trabajo del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, WGI 2013). La función de este grupo fue integrar y sistematizar el conocimiento existente sobre el cambio climático observado y proyectado, considerando los factores naturales y antropogénicos que determinan los cambios en el sistema climático. Se concluye, una vez más, que la influencia humana en el sistema climático es evidente en la mayoría de las regiones en el planeta.

El calentamiento es inequívoco (95 a 100% de confianza), y desde la década de los 50, los cambios observados no tienen precedente en varios miles de años. La atmósfera y el océano se han calentando, el hielo y nieve han disminuido, el nivel del mar ha aumentado, y la concentración de gases de efecto invernadero también. Algunos estudios (Gay *et al.* 2009) han mostrado que a partir de 1977 la tasa de incremento en las temperaturas globales ha aumentado cinco veces, mientras que, en el caso de las temperaturas del hemisferio norte, dicha tasa ha aumentado más de ocho veces a partir de 1985.

Cambios Observados

- La temperatura global ha aumentado 0.85°C, considerando el periodo de 1901 al 2011.
- Las tres últimas décadas han sido sucesivamente más calientes que las décadas precedentes, desde 1850.
- La superficie del mar se ha calentado 0.11°C por década entre 1971 a 2010.
- La tasa de aumento del nivel del mar desde el siglo XIX ha sido mayor que la tasa de los 2 mil años previos. De 1901 a 2010 el aumento del nivel del mar global fue de 0.19 m.

- Los glaciares continúan reduciéndose en área y masa, a una tasa de 275 Giga toneladas por año, entre 1993 a 2009.
- La probabilidad de que el incremento de los gases que provocan el efecto invernadero sea provocado por la actividad humana va de 99% a 100%; por ejemplo: la quema de combustibles fósiles, la deforestación, la producción de cemento entre otras causas.
- Las concentraciones de gases de efecto invernadero CO_2 , CH_4 y N_2O (dióxido de carbono, metano, y óxido nitroso) han aumentado desde 1750. En 2011 esos gases excedieron los niveles pre-industriales en 40%, 150% y 20%, respectivamente.
- Las tasas de aumento de esos gases no tienen precedente en los últimos 22 mil años. Las concentraciones actuales exceden de manera significativa las concentraciones existentes en los últimos 800 mil años. Los océanos han absorbido cerca del 30% del CO_2 emitido por acciones humanas, causando su acidificación.
- Los cambios en la precipitación aún no son concluyentes. Pese a esto, la confianza en los cambios observados ha aumentado desde 1951. En latitudes medias continentales del Hemisferio Norte, la precipitación ha aumentado desde 1951. Para otras latitudes, se tiene menor confianza en las tendencias observadas.
- Desde 1950 se han observado cambios en los eventos extremos: el número de días y noches frías han disminuido; mientras que el número de días y noches calientes han aumentado. Es probable que el número de ondas de calor hayan aumentado en grandes áreas de Europa, Asia y Australia. Es probable también que el número de eventos de precipitaciones extremas han aumentado, particularmente en Norte América y Europa.

Escenarios de cambio climático (globales y regionales)

De continuar la emisión de gases de efecto invernadero, continuará el calentamiento global y cambios en todos los componentes del sistema climático. Para evitar el calentamiento es necesario reducir las emisiones de esos gases de forma sostenida y sustancial. Los cambios proyectados de la temperatura global para mediados del siglo XXI dependerán de la tendencia en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los escenarios de cambio climático futuro empleados se agrupan entonces entre los que consideran los forzamientos radiativos al sistema climático asociados a las emisiones futuras de los gases de efecto invernadero. El forzamiento radiativo está dado en unidades de energía (W/m^2). Los escenarios que menor forzamiento proyectan ($2.6 \text{ W}/\text{m}^2$) se denominan RCP2.6, y los que mayores emisiones consideran se denominan RCP8.5.

- La temperatura global para finales de este siglo excederá los 1.5°C con respecto al periodo 1850-1900 para todos los RCP, menos el RCP2.6.
- Con respecto al periodo 1986-2005, el aumento de temperatura global puede darse entre 0.3 a 1.7°C (RCP2.6) a 2.6 a 4.8°C (RCP8.5).
- La mayoría de los escenarios muestran que el calentamiento global continuará después del siglo XXI.
- Ese calentamiento continuará mostrando variabilidad interanual y decadal, y no será uniforme en todas las regiones.
- La región Ártica se calentará más rápidamente que el resto del planeta, y los calentamientos sobre continente serán mayores que los de los océanos.
- Es virtualmente cierto que habrá más eventos de días y estaciones calientes que los fríos.
- Es muy probable que las ondas de calor ocurrirán con

mayor frecuencia y duración.

- Aun así, habrá inviernos extremadamente fríos ocasionalmente.
- El contraste entre las regiones húmedas y las regiones secas se acentuará, con ciertas excepciones regionales.

Los nuevos escenarios para México

Desde la década de 1960, México se ha vuelto más cálido. Las temperaturas promedio a nivel nacional aumentaron 0.85°C y las temperaturas invernales 1.3°C (Figura 4). También se ha reducido la cantidad de días más frescos desde los años sesenta del siglo pasado y hay más noches cálidas. Por su parte, la precipitación ha disminuido en el sureste desde hace medio siglo.

Estos estudios de detección de cambios climáticos observados son sumamente relevantes, pues indican en dónde (mas no por qué) existen ya cambios en las temperaturas (medias y extremas) en el país, lo que implicaría que, ante los aumentos de tem-

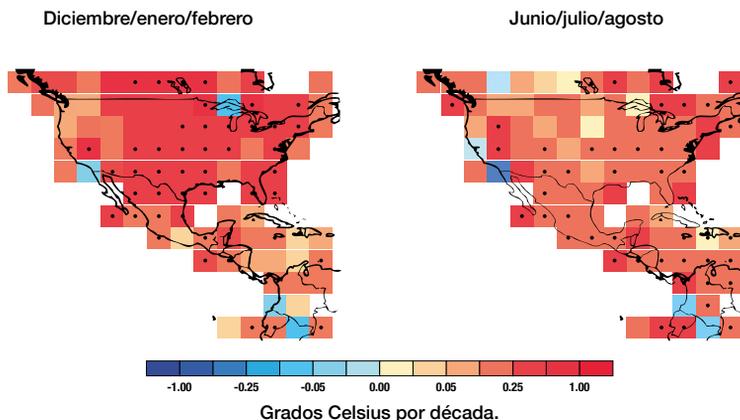


Figura 4. Calentamiento promedio por década con temperaturas promediadas estacionalmente para México y regiones vecinas entre 1960 y 2010. Las retículas con un punto son aquellas zonas donde la información tiene mayor confiabilidad. (Fuente: INECC 2013).

peratura proyectados a futuro, las regiones en donde se detecte ya ese aumento serán las que correrían mayor riesgo.

Un estudio más detallado de los cambios observados en las temperaturas mínimas y máximas (López 2014, *Figura 5*), muestra la distribución espacial y en magnitud de las tendencias en las temperaturas extremas, para series de tiempo lo más largas posibles (al menos 30 años).

En la parte observada de este análisis, se pudo determinar que no en todas las regiones de México hay cambios en Tmax y Tmin, así como en los índices de noches frías, noches cálidas y días cálidos. Hubo tendencias de decremento para Tmin mensual en la mayor parte de la zona norte del país. Los días cálidos, en general, son los que presenta una mayor cantidad de tendencias que indican cambios en los 18 grupos, lo contrario ocurrió con las noches frías. Estudios previos de cambios en los eventos extremos para diferentes regiones en el planeta se pueden encontrar en Aguilar *et al.* (2009); Alexander *et al.* (2006); Rusticucci *et al.* (2004), López (2009), por ejemplo.

En cuanto a los escenarios de cambio climático, como se mencionó, en la actualidad se están empleando los RCP (van Vu-

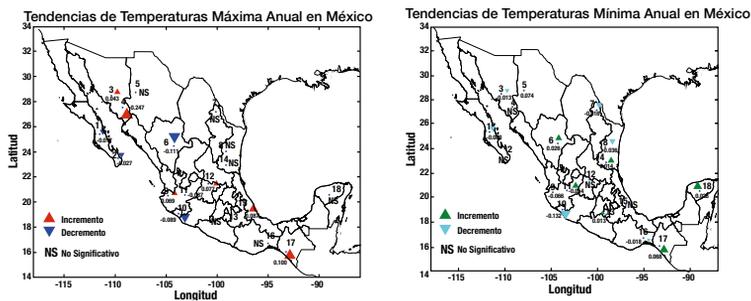


Figura 5. Para 18 regiones seleccionadas, se muestran espacialmente las tendencias en las temperaturas extremas. Esas tendencias están representadas por símbolos “▲” que es de incremento y “▼” es de decremento, el tamaño indica visualmente su magnitud. Además, “NS” significa que el cambio no es significativo (con un intervalo de confianza del 95%), es decir, donde no hubo cambios apreciables.

(Fuente: López 2014).

ren *et al.* 2011). Estos describen cuatro posibles forzamientos radiativos (2.6, 4.5, 6.0 y 8.5 W/m²) que representan las posibles trayectorias hasta el 2100, asociadas a cambio en las emisiones y sus correspondientes concentraciones de gases de efecto invernadero, así como de cambios en el uso del suelo. El proyecto de CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*), fue el marco para la coordinación de los experimentos sobre el cambio climático y por tanto de los nuevos escenarios RCPs (Taylor 2009) elaborados para el Quinto Reporte del IPCC (WGI 2013).

Estos nuevos escenarios para México fueron generados por un grupo de investigadores de diferentes centros de investigación (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México), como parte de la Quinta Comunicación Nacional (Cavazos *et al.*, 2013) utilizando las bases de datos del CMIP5.

IMPACTOS POTENCIALES EN MÉXICO

Dados los escenarios más actualizados, se tienen que evaluar los impactos potenciales que se tendrían a futuro en los diferentes sistemas y regiones. Se dice que son impactos potenciales porque los modelos biofísicos analizan los posibles impactos en la agricultura, la ganadería, los recursos forestales e hídricos, diferentes especies biológicas de interés, etc., pero no incluyen las posibles respuestas de manejo o intervención humana sobre los sistemas productivos o naturales.

De cualquier manera, no basta a priori decidir que se “intuye” que los posibles impactos de los cambios proyectados pueden ser positivos o negativos, es necesario evaluar las pérdidas o daños –o inclusive ganancias– que se puedan presentar, dentro de un rango de incertidumbre, usualmente analizando umbrales climáticos críticos para cada sistema, a partir de los cuáles los

impactos podrían ser beneficiosos, no relevantes, severos, o incluso irreversibles, y que sirvan como base para la planificación de respuestas. A este respecto, en marzo del 2014, el Grupo de Trabajo II presentó su Quinto Reporte sobre Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad (IPCC, WGII 2014). Ese reporte presenta los avances en la evidencia encontrada desde el reporte anterior del IPCC, publicado en 2007.

El informe (IPCC, WGII 2014) subraya que la capacidad de generar respuestas efectivas ante los impactos del cambio climático depende mucho de qué tanto subirán las temperaturas globales. Un calentamiento de más de dos grados centígrados dificultará las respuestas. En general, se han observado impactos en los sistemas hidrológicos en términos de cantidad y calidad de agua, en la biodiversidad, y también sobre el rendimiento de los cultivos y en la salud humana. Igualmente, se han registrado modificaciones en la distribución de vectores de enfermedades.

Un factor que pone en riesgo la seguridad alimentaria es que en los cultivos básicos los impactos negativos del cambio climático son más frecuentes que los impactos positivos. En muchas regiones y en general en todo el planeta, el cambio climático está afectando negativamente los cultivos de trigo y maíz.

Entre los impactos que se mencionan en el Reporte del IPCC están los relacionados con los cambios en la temperatura, la precipitación y el derretimiento de la nieve y hielo. Esto ha tenido y tendrá como consecuencia alteraciones en los sistemas hidrológicos en términos de cantidad y calidad de agua. 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.

A futuro, en gran parte de México, excepto la zona tropical del sur de México, se prevé una disminución en el suministro de agua para las zonas urbanas y de riego. Esta baja disponibilidad se debe actualmente a la combinación del cambio climático, a la

creciente demanda de agua y a la transferencia de agua a las zonas urbanas, lo que puede agudizarse en el futuro.

La seguridad alimentaria también está siendo afectada por el cambio climático. En general, se está afectando negativamente la producción de trigo y maíz, aunque se observa poco perjuicio en los cultivos de arroz y soya. En México, se estima que las tierras dedicadas a maíz de temporal tendrán una disminución de 6.2% a 3.0% en 2050. También se espera un impacto en la pérdida de diferentes razas de maíz para el año 2030. Asimismo, se proyecta un incremento en la severidad de sequías en el noroeste de México lo que puede generar un incremento de plagas y disminución de la cobertura vegetal.

A partir de diversas fuentes de información –arbitrada por expertos– en el Programa Especial de Cambio Climático (PECC 2013), se han podido documentar para México los impactos potenciales, ante diferentes escenarios de cambio climático. Cabe señalar que los estudios de posibles impactos del cambio climático han sido desarrollados durante las dos últimas décadas en México, y se han ido perfeccionando a la par de los escenarios de cambio climático. Se incluyeron estudios en donde existían resultados con aumentos de temperatura de más de dos grados, y decrementos en la precipitación entre 5 y 10% (ver *Tabla 1*).

Sector	Escenarios y Posibles Impactos (Aumentos en temperatura entre +2.5° C a 4.5 ° C; disminución en la precipitación entre -5 y 10%)	Nivel de Confianza
Alimentos	La mayoría de las investigaciones sugieren una disminución de la productividad del maíz para la década de 2050, lo que se aúna al problema actual del 25% de las unidades de producción con pérdida en la fertilidad de suelos. Existe cierta evidencia de que la mayoría de los cultivos resultarán menos adecuados para la producción en México hacia el 2030, empeorando esta situación para finales del presente siglo.	*

Recursos Hídricos	La mayor parte del país se volverá más seca y las sequías más frecuentes, con el consecuente aumento de demanda de agua. Las zonas más vulnerables serán el sur y sureste.	* *
Inundaciones	Mientras que las lluvias disminuirán en buena parte del territorio nacional, las tormentas fuertes pueden volverse más intensas y frecuentes, lo que aumentaría el riesgo de inundaciones, particularmente para cerca de 2 millones de personas que actualmente se encuentran en situación de moderada a alta vulnerabilidad ante las inundaciones, y quienes residen en localidades menores a 5 mil habitantes, ubicadas principalmente en la parte baja de las cuencas. La incertidumbre es más alta con respecto a los riesgos de desbordamientos de los ríos, pero las investigaciones sugieren que éstas serán más frecuentes para finales de este siglo.	* * *
Planicies costeras	La situación de estas zonas en Norteamérica podría empeorar por el aumento en los niveles del mar. El impacto para México es menos seguro, pero es posible que la agricultura se vuelva más vulnerable al aumento del nivel del mar, mientras otras áreas, como las residenciales, pudieran no verse afectadas.	* *
Tormentas y clima severo	Hay consenso en cuanto al aumento en la intensidad de los ciclones Noroeste del Pacífico y el Atlántico Norte. Sin embargo, las incertidumbres en cuanto a los cambios y la intensidad complican estimar sus impactos para el país.	* *
Pérdida de Biodiversidad	Posible reducción del área cubierta de bosques de coníferas, especies de zonas áridas, semiáridas y especies forestales de zonas templadas. Un aumento significativo en la temperatura de los océanos mexicanos puede ocasionar	* *

	un colapso demográfico en las pesquerías. Posible reducción (para el 2050) de cerca de la mitad de los mamíferos terrestres y voladores analizados perdiendo más del 80% de su rango de distribución histórica.	
Construcciones e infraestructura	Se cuenta con poca información e investigaciones al respecto, salvo la disponible para temas costeros e inundaciones.	**

Los colores de los impactos. Es una medida subjetiva basada en el juicio experto que considera la magnitud del impacto proyectado, la vulnerabilidad y la capacidad para hacerle frente.

-  Nivel 1: Impacto bajo
-  Nivel 2: Impacto medio
-  Nivel 3: Impacto alto

Nivel de confianza. Se le dio una clasificación de una a cinco estrellas, siendo cinco el nivel de mayor confiabilidad. También es una medida subjetiva basada en el juicio de expertos. Se considera que los trabajos arbitrados más actuales tienen un nivel de confianza mayor. Los factores que influyen en esto son el acuerdo entre los modelos climáticos, la madurez de la investigación sobre los impactos en el sector y el consenso entre los estudios sólidos disponibles para esta región.

Tabla 1. Escenarios de cambio climático e impactos en diversos sectores en México. Los cambios proyectados son con respecto a los promedios de temperatura y precipitación del periodo 1961-1990.

(Fuente: Programa Especial de Cambio Climático 2014- 2018. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342492yfecha=28/04/2014).

El cambio climático seguirá incrementando los niveles de riesgo y los posibles impactos, sin embargo, la evaluación de estos ofrece elementos sólidos para la realización de estudios de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático observado y proyectado. Hasta ahora se le ha concedido más importancia a reaccionar ante fenómenos ya ocurridos que a prepararse para el futuro. Lo que debe hacerse es reducir en lo posible la vulnerabilidad

socio-ecosistémica, lo que supone aumentar las capacidades de adaptación de los sistemas, incrementar su resiliencia o, inclusive, procurar su transformación.

Las medidas de adaptación al cambio climático deberán vislumbrarse de manera sinérgica con las acciones de mitigación, de conservación y restauración de ecosistemas, de recuperación o preservación de la fertilidad de suelos y, en general, dentro de los procesos de desarrollo sostenible. Es importante identificar las actividades y prácticas antrópicas que más generan gases de efecto invernadero o degradan al entorno natural, pero también la vulnerabilidad de los territorios en función de las actividades que se desarrollan en estos, así como de los ecosistemas que los caracterizan. El conjunto de las acciones de adaptación que se implementen tendrá la finalidad de mantener la generación de los servicios ambientales como sustento de las actividades socio-económicas, de amortiguar los desastres hidrometeorológicos y de sostener el aprovechamiento sustentable, para lograr una mejor integración entre la adaptación y las políticas, las estrategias y las acciones de desarrollo.

En el Quinto Informe se indican las personas, las industrias y los ecosistemas de todo el mundo que son vulnerables. Los gobiernos, las empresas y las comunidades de todo el mundo están adquiriendo experiencias sobre la adaptación al cambio climático. La adaptación puede contribuir decisivamente a disminuir los riesgos.

De acuerdo con las revisiones realizadas, las medidas de adaptación más comunes en el mundo son las relacionadas con obras de ingeniería y tecnología. No obstante, se reconoce la importancia de medidas que toman en cuenta la conservación de los ecosistemas y el fortalecimiento social e institucional. Se enfatiza la necesidad de que estas éstas generen co-beneficios, sean flexibles y puedan ser replicadas. También se hace hincapié en que las instituciones locales son claves para la adaptación, pero están limitadas por su falta de recursos y capacidades.

En su informe el Grupo II señala, en función de los trabajos publicados, que un proceso de adaptación es más efectivo cuando se actúa a nivel regional y se consideran contextos específicos, cuando se actúa en diferentes escalas, de lo individual a lo gubernamental. Dichas escalas se complementan cuando se reconocen diferentes intereses, valores y expectativas en la población que ocupa un determinado territorio, y cuando se concibe a la adaptación como un proceso social.

Las trayectorias futuras de adaptación dependen entonces de los cambios en el clima, pero también de los forzantes sociales y económicos que las sociedades están ejerciendo. De las decisiones y políticas que se implementen en la actualidad depende que se agudice la vulnerabilidad planetaria, o bien, que se construyan nuevas trayectorias resilientes al cambio climático (Figura 6).

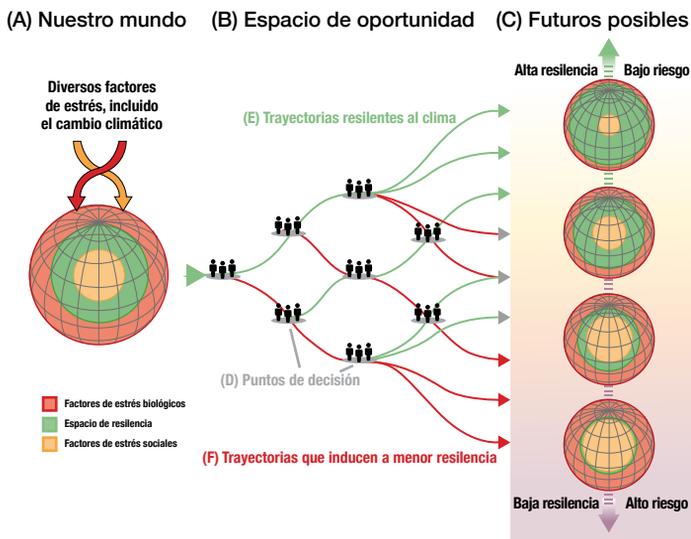


Figura 6. Espacios de oportunidad y trayectorias climáticas resilientes. En (A) se ilustran solamente los forzantes biofísicos y sociales a los que está sujeto el planeta, en (B) se ilustra el espacio de oportunidad para construir trayectorias resilientes o con menor resiliencia al clima, y en (D) se ilustran los posibles futuros y los diferentes niveles de resiliencia y riesgo. (Fuente: Burkett *et al.* 2014).

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR E., AZIZ A., BRUNET, M., EKANG L., FERNANDEZ L., MASSOUKINA, M., MBAH, J., MHANDA., DO NASCIMENTO D. J., PETERSON, T., THAMBA UMBA, O., TOMOU, M., ZHANG, X. 2009. "Changes in Temperature and Precipitation Extremes in Western Central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955-2006". *Journal of Geophysical Research*, no. 114.
- ALEXANDER L. V., ZHANG X., PETERSON T. C., CAESAR J., GLEASON B. , KLEIN TANK A., HAYLOCK M., COLLINS D., TREWIN B., RAHIMZADEH F., TAGIPOUR A., AMBENJE P., RUPA KUMAR K., REVADKAR J., GRIFFITHS G., VINCENT L., STEPHENSON D., BURN J., AGUILAR E., BRUNET M., TAYLOR M., NEW M., ZHAI P., RUSTICUCCI M. AND VAZQUEZ-AGUIRE J.L. 2006. "Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation". *Geophy*, no. 111 (22).
- BENIOFF, R, S. GUILL AND J. LEE (editores). 1996. *Vulnerability and Adaptation Assessments. An International Handbook*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. U.S.: Country Studies Management Team.
- BOLIN, B. 1994. "Science, Values and Climate Change". En *Equity and Social Considerations related to Climate Change*. IPCC Workshop Proceedings. Nairobi, Kenya. July: 18-22. WMO, UNEP.
- BURKETT, V.R., SUAREZ, A., BINDI, M., CONDE, C., MUKERJI, R., PRATHER, M. J., ST. CLAIR, A. L., G.W. YOHE. 2014. Point of departure. 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.)]. New York: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.

- CARTER, T.R., LA ROVERE, E.L., JONES, R.N., LEEMANS, R., *ET AL.* 2001. "Developing and applying scenarios". En *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [McCarthy, J.J. *et al.*, (eds)], 145-190.
- CAVAZOS, T., SALINAS, J. A., MARTÍNEZ, B., COLORADO, G., DE GRAU, P., PRIETO, R., CONDE, QUINTANAR, C.A., SANTANA, J., ROMERO, R., MAYA, M.E., ROSARIO DE LA CRUZ, M., AYALA M., CARRILLO, H., SANTISTEBAN, O., BRAVO. M. E. 2013. Actualización de Escenarios de Cambio Climático para México como Parte de los Productos de la Quinta Comunicación Nacional. Reporte Final. México.
- CUBASCH, U., WUEBBLES, D., CHEN, D., FACCHINI, M.C., FRAME, D., MAHOWALD N., J. G. WINTHER. 2013. Introduction. In: *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.)]. USA: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
- DESER, C., PHILLIPS, A., ALEXANDER, M., SMOLIAK, B. 2014. "Projecting North American Climate over the Next 50 Years: Uncertainty due to Internal Variability". *J. Climate*, no. 27: 2271-2296.
- ESTRADA, F., MARTÍNEZ-LÓPEZ, B., CONDE, C., GAY-GARCÍA, C. 2012. "The new national climate change documents of Mexico: what do the regional climate change scenarios represent?". *Climatic Change*, no. 110: 1029-1046.
- ESTRADA, F., GUERRERO, V. M., GAY, C., MARTÍNEZ, B. 2013. "A cautionary note on automated downscaling methods for climate change". *Climatic Change*, no. 120 (1-2): 263-276. DOI 10.1007/s10584-013-0791-7.
- FENESTERA, J., BURTON, I., SMITH, J. B., TOL R. S. (editores). 1998. *Handbook on Methods of Climate Change Impacts Assessment and Adaptation Strategies*. Amsterdam, Netherlands: United

- Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, and Institute for Environmental Studies.
- GAY, C., ESTRADA, F., SÁNCHEZ, A. 2009. "Global and hemispheric temperatures revisited". *Climatic Change*, no. 94: 333-349. DOI 10.1007/s10584-008-9524-8.
- GIORGI, F., MEARN, L. 2001. "Calculation of Average, Uncertainty Range, and Reliability of Regional Climate Changes from AOGCM simulations via the Reliability Ensemble Averaging (REA) Method". *Journal of Climate*, no. 15: 1141-1158.
- HENDERSON – SELLERS, K. MCGUFFIE. 1991. *Introducción a los Modelos Climáticos*. Ediciones Omega.
- INECC. 2014. "Boletín de Prensa, Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC)". Grupo de Trabajo II: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Julio.
- IPCC. 1994. *IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations*. Prepared by Working Group II [Carter, T.R., M.L. Parry, H. Harasawa, and S. Nishioka (eds.)] and WMO/UNEP. CGER-IO15-'94. University College London, UK and Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies. Tsukuba, Japan.
- _____. 2012. "Resumen para responsables de políticas", en Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático [edición a cargo de C. B. Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G. -K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor, y P. M. Midgley], 1-19. Informe especial de los Grupos de trabajo I y II del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge and Nueva York: Cambridge University Press.
- _____, 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 and New York: Cambridge University Press.
- _____, WGII. 2014. "Summary for policymakers". En *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.)], 1-32. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- _____. 2014. *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.)]. Geneva, Switzerland.
- _____-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.
- JONES, R.N. 2000. "Managing uncertainty in climate change projections: issues for impact assessment". *Climatic Change*, no. 45, 3-4: 403-419.
- LEGGETT J., PEPPER W., SWART R. J. 1992. "Emissions Scenarios for the IPCC: an Update". En Houghton J. T., Callander B. A., Varney S. K. (editores.). *Climate Change. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, 71-95. Cambridge: Cambridge University Press.
- LIPSETT. L. 2000. "Beyond El Niño". *Sci. Am*, no. 11(1): 76-83. Disponible en: <http://www.ipcc.ch>. (Consultado el 7/7/2008).
- LÓPEZ D. F. 2009. Metodología para el análisis de eventos extremos de temperatura. Un estudio de caso en Apizaco Tlaxcala. Te-

- sis para obtener el grado de Maestría en Ciencias de la Tierra. UNAM: Centro de Ciencias de la Atmósfera. 170.
- LÓPEZ DÍAZ, F. 2014. Análisis Regional de Eventos Extremos de Temperatura en México y sus Posibles Variaciones en el Contexto de Cambio Climático. Tesis para obtener Doctorado en Ciencias de la Tierra. UNAM: Centro de Ciencias de la Atmósfera.
- NAKICENOVIC *ET AL.* 2000. Special Report on Emissions Scenarios (SRES): Cambridge: Cambridge University Press
- PETERSON T.C. 2005. "Climate Change Indices". WMO Bulletin, no. 54(2). Abril.
- PEXIOTO, J.P., Oort, A. H. 1993. Physics of Climate, 412-449. New York: American Institute of Physics
- PHILLIPS, A., DESER, A., FASULLO, J. 2014. "Evaluating Modes of Variability in Climate Models". Eos No. 95(49): 453-455.
- PINTO, E., KAY, R., TRAVERS, A. 2008. UNFCCC Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change. UNFCCC Secretariat. 228. http://unfccc.int/adaptation/nairobi_workprogramme/compendium_on_methods_tools/items/2674.php
- ROSENBERG, N.J. (ed.). 1993. Towards an Integrated Assessment of Climate Change: The MINK Study. Kluwer Academic Publishers.
- Rusticucci M. and Barrucand M. 2004. "Observed Trends and Changes in Temperature Extremes over Argentina". Climate. No. 17: 4099-4107.
- SCHNEIDER, S.H. 1992. "Introduction to climate modeling". Chapter 1 in Climate System Modeling. K.E. Trenberth. (editor), 3-26. New York: Cambridge University Press.
- STERN, P.C., William, E. 1999. "Making Climate Forecasts Matter": National Academy Press. (<http://www.nap.edu>).
- STOCKER, T.F., QIN, D., PLATTNER, G. K., ALEXANDER, L.V., ALLEN, S. K., BINDOFF, N. L., BRÉON, F. M, CHURCH, J. A., CUBASCH, U., EMORI, S., FORSTER, P., FRIEDLINGSTEIN, P., GILLET, N., GREGORY, J.M., HARTMANN, D. L., JANSEN, E., KIRTMAN, B., KNUTTI, R., KRISHNA KUMAR, K., LEMKE, P., MAROTZKE, J., MASSON-DELMOTTE,

- V., MEEHL, G.A., . MOKHOV, I., PIAO, S., RAMASWAMY, V., RANDALL, V., RHEIN, M., ROJAS, M., SABINE, C., SHINDELL, D., TALLEY, L. D., VAUGHAN, D. G., XIE, S. 2013. "Technical Summary". 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 and New York: Cambridge University Press. [www.ipcc.ch/pdf/assessment-reporte/ar5/wg1/WG1AR5_TS_FINAL.pdf].
- TAYLOR K., RONALD J. STOUFFER AND GERALD A. MEEHL. 2009. A Summary of the CMIP5 Experiment Design. Lawrence Livermore National Laboratory. http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/docs/Taylor_CMIP5_design.pdf.
- VAN VUUREN, D., EDMONDS, J. KAINUMA, M., RIAHI, K., WEYANT, J., JAE EDMONDS Y MIKIKO KAINUMA Y KEYWAN RIAHI Y THOMSON, A., HIBBARD, K., HURTT, G., KRAM, T., KREY, V., LAMARQUE, J., MASUI, T., MEINSHAUSEN, M., NAKICENOVIC, N., SMITH, S., ROSE, S. 2011. "A special issue on the RCPs". Climatic Change (2011). No. 109:1–4. DOI 10.1007/s10584-011-0157-y.
- _____, Edmonds, J. Kainuma, M., RIAHI, K. 2011. "The representative concentration pathways: an overview". Climatic Change. No. 109: 5–31. DOI 10.1007/s10584-011-0148-z.
- ZHANG X. AND YANG F. 2004. RCLimDex (1.0): Manual del Usuario. Traducción de Santos J.L. 22. Disponible en : <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>

SEGUNDA PARTE

**DESASTRES NATURALES Y SU AFECTACIÓN
A LA SOCIEDAD MEXICANA**

RIESGO DE DESASTRES NATURALES A NIVEL MUNICIPAL EN MÉXICO

DENISSE CRUZ, ALEJANDRO DE LA FUENTE MERAZ Y JUAN SORIANO

INTRODUCCIÓN

Las consecuencias sociales y económicas de recientes desastres naturales en distintas partes del planeta han evidenciado la necesidad de introducir consideraciones relacionadas con una gestión exitosa en contra de los desastres naturales como parte de la agenda global de combate a la pobreza. En paralelo, si bien existe incertidumbre respecto a impactos y escenarios específicos, existe un consenso generalizado que el cambio climático traerá consigo mayor variabilidad climática, derivando en amenazas naturales de mayor intensidad, tales como los huracanes e inundaciones.

Más aun, las amenazas naturales constituyen un riesgo latente para la población en condiciones de pobreza. Estos grupos de población se encuentran expuestos al riesgo de desastres en mayor medida que otros grupos poblacionales, pues las zonas marginadas donde habitan carecen de la infraestructura míni-

ma necesaria para impedir daños. Por otra parte, los hogares más pobres suelen perder una mayor proporción de sus activos y de sus ingresos durante los desastres.

Si bien su recuperación a corto plazo puede alcanzarse mediante apoyo público expedito y debidamente focalizado, generalmente las personas pobres suelen tener una menor (o más lenta) capacidad para movilizar los activos necesarios para hacer frente a las pérdidas por desastres y, por ende, a su recuperación ante los impactos de los desastres. Generalmente cuentan con acceso inadecuado a mecanismos públicos de protección social, al igual que un acceso restringido a crédito y seguros, así como pocos activos para impulsar su recuperación. Sin esta ayuda, un desastre de corta duración puede traducirse en efectos prolongados.

Por ejemplo, se tiene evidencia que aquellos municipios que sufrieron un desastre natural entre 2000 y 2005 sufrieron incrementos en sus niveles de pobreza entre 1.5-3.7%, según la medida de pobreza considerada, siendo las inundaciones y las sequías los eventos que mayores afectaciones tuvieron en la pobreza. Asimismo, el Índice de Desarrollo Humano cayó alrededor de -0.0068 puntos en promedio (equivalentes a la pérdida en promedio de 2 años de ganancias en materia de desarrollo humano durante el mismo periodo) en aquellos municipios que se vieron afectados por desastres naturales durante el mismo periodo.

La caída en el índice de desarrollo humano en los municipios que habían sufrido el impacto de los desastres fue significativamente mayor en aquellos que ya mostraban bajos niveles de desarrollo humano (Rodríguez-Oreggia *et al.* 2012). Por ello, el alcance y la intensidad de la pobreza económica aumentan tras un desastre, mientras que retroceden los indicadores de bienestar del desarrollo humano.

La posibilidad de que se generen efectos adversos para el bienestar a raíz de desastres naturales refuerza la necesidad de comprender mejor la amenaza que representan los desastres naturales para la población en general, pero sobre todo para

aquellos grupos que se encuentran en condiciones de pobreza. La relevancia de un análisis de esta naturaleza para la elaboración de políticas públicas es evidente: los formuladores de políticas en materia de gestión de riesgo y desarrollo social podrían mejorar su comprensión e identificación de aquellos grupos de población más vulnerables ante fenómenos naturales; así como planear de manera más oportuna y precisa las respuestas y asistencia ante los desastres para evitar efectos de largo plazo.

Por último, a pesar de su relevancia para la elaboración de políticas públicas, el creciente interés por los efectos de las amenazas de tipo geológico y climatológico aún no ha sido traducido en una agenda coherente y sistemáticamente empírica que ilustre su interrelación, al menos para México.

Bajo este contexto, el objetivo del presente capítulo es proporcionar un mejor conocimiento, a través de un diagnóstico espacial, de las principales amenazas de desastres que existen en el país, así como de algunos de los activos públicos primordiales y de la población que se encuentran sujetos a tales amenazas y los medios o condiciones existentes para atenuar sus posibles impactos adversos, con un énfasis en los grupos más desfavorecidos.

De manera más concreta, el presente capítulo intenta responder a las siguientes cuestiones:

- ¿Cuáles son los municipios con mayores niveles de amenaza, exposición y riesgo sísmico, ciclónico y de inundación, y cuáles son sus características?
- ¿Cuál es la correlación entre niveles de riesgo y bienestar?
- ¿Cuál es el nivel de preparación institucional a nivel municipal contra riesgos y la incidencia histórica de algunos programas y mecanismos de gestión de riesgo en México, tales como el Programa de Empleo Temporal (PET), el Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACC ahora CADENA) y el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN)?

MARCO CONCEPTUAL

Como ya se señaló, por su condición geográfica, México es un país sujeto a gran número de amenazas naturales, tanto de carácter hidro-meteorológico (inundaciones, huracanes, sequías, heladas), como geológico (sismos, tsunamis).

Varias de las regiones del país cuentan con una importante densidad poblacional y desarrollo, lo que ocasiona un alto grado de exposición de la población y del PIB: Es muy probable que este nivel de exposición ante amenazas naturales se mantenga en las zonas urbanas, ya que la gente y los activos económicos seguirán concentrándose en las ciudades debido al crecimiento poblacional, la migración, la urbanización y el desarrollo económico. México es uno de los países más urbanizados de América Latina (y ésta a su vez una de las regiones más urbanizadas del planeta: se estima que para 2050 alrededor de 150 millones de personas habitarán en zonas propensas a terremotos en la región, incluyendo el Caribe (Banco Mundial 2010). De manera similar, a pesar de que la participación de la agricultura en el PIB nacional ha disminuido en las últimas tres décadas, la tercera parte de la población en situación de pobreza todavía habita en zonas rurales¹.

Una mayor densidad y exposición de las personas y las actividades económicas a las amenazas naturales no tiene por qué devenir en un desastre, especialmente cuando los hogares y las comunidades se preparan adecuadamente. Las viviendas y la infraestructura física bien construida y reforzada reducen el nivel de vulnerabilidad física. De igual forma, la capacidad para evacuar a las comunidades afectadas durante un huracán es señal de fortaleza institucional. Cuando no es posible evitar que ese riesgo se transforme en un desastre natural, los préstamos de amigos y vecinos, así como los ahorros y las transferencias rea-

1 Conforme a las estimaciones de CONEVAL de la población en situación de pobreza en 2010 (52 millones de personas) 35 millones se ubican en zonas urbanas y 17 millones en rurales

lizadas por familiares, sirven para mitigar los efectos de dicho evento. Asimismo, gobiernos y donadores proporcionan ayuda, asistencia médica de urgencia y refugios temporales. Sin embargo, todos estos mecanismos privados y públicos de apoyo ante desastres naturales, rara vez protegen a los hogares afectados de manera integral. Los desastres naturales pueden entonces provocar muertes, interrumpir las actividades socioeconómicas y dañar o destruir propiedades, cosechas, recursos naturales y otros bienes físicos, todo lo cual puede eventualmente orillar a la gente hacia una situación de pobreza de manera repentina.

Cabe señalar que la interacción entre amenazas-exposición-vulnerabilidad-desastres-bienestar es dinámica, reconociendo que existen cambios a lo largo del tiempo originados por fluctuaciones externas y el reacondicionamiento permanente del portafolio de activos y las actividades de sustento de los hogares en respuesta a tales fluctuaciones. En este sentido, las comunidades en situación de pobreza pueden ver agravadas sus condiciones de riesgo por la desinversión en infraestructura física y social a nivel hogar (viviendas) y comunitario (puentes, caminos, escuelas). Ambas situaciones como resultado de factores geográficos (aislamiento), así como de la escasez de activos físicos y financieros.

En resumen, los desastres naturales se derivan de (a) la exposición de los hogares y los activos económicos y sociales ante amenazas naturales, las cuales son eventos que tienen consecuencias potencialmente dañinas, y (b) su vulnerabilidad a sufrir pérdidas derivadas de tales eventos debido a dicha exposición. La población y las economías pueden tomar medidas antes de que ocurra una contingencia para reducir sus niveles de vulnerabilidad, o una vez ocurrida, para mitigar las pérdidas y recuperarse. Los efectos económicos y en materia de bienestar estarán determinados por la capacidad para prevenir desastres o resistir las pérdidas que éstos ocasionan, y estos a su vez pueden reforzar las condiciones de exposición y vulnerabilidad ante futuras amenazas naturales (Ver *Figura 1*).

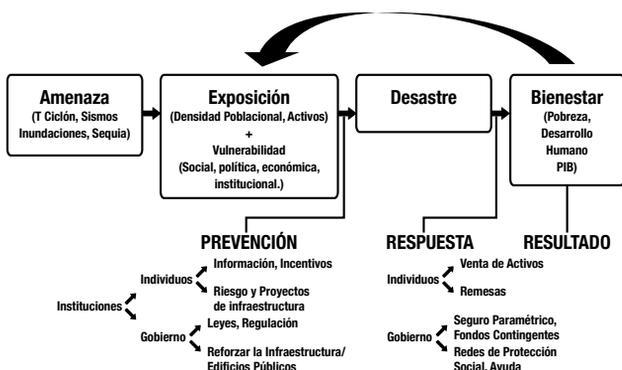


Figura 1. Marco Conceptual Riesgo-Pobreza.

(Fuente: Adaptado de Banco Mundial-Naciones Unidas 2010).

Durante el presente capítulo, todas las variables descritas (amenazas, activos y población expuestos, mecanismos y capacidad de gestión de riesgo de desastres y las pérdidas o daños esperados tras la ocurrencia de dichas amenazas, así como los indicadores en materia de bienestar – Ver Glosario para definiciones) fueron extraídas/construidas a partir de distintas bases de datos y mapeadas a un nivel común de agregación “el nivel municipal” para analizar sus patrones geográficos y temporales.

Con base en el marco conceptual arriba descrito, se describe brevemente la incidencia de los desastres naturales ocurridos en nuestro país a lo largo del periodo 2000-2012, así como la distribución de los daños y pérdidas (humanas y materiales) que han ocasionado en el país por tipo de amenaza. Después se describen y analizan las amenazas de sismo, ciclón tropical e inundación, que constituyen los principales riesgos a los que se encuentra sujeto el país (además de sequía).

También se realiza un análisis de exposición de cinco tipos activos (hospitales, escuelas, infraestructura hidráulica, caminos y puentes federales y viviendas en condición de pobreza patrimonial) y de la población en general y bajo pobreza, para identificar sus concentraciones en el territorio nacional. Esto proporciona información importante respecto a la composición y exposición

del inventario total expuesto a las amenazas consideradas. En la sección siguiente se procede a evaluar el riesgo de los activos descritos, definido como el valor promedio esperado de las pérdidas de un activo ocasionadas por un evento de gran magnitud. Se presentan las correlaciones entre los indicadores de amenaza y riesgo construidos con diversos indicadores de bienestar. La sección 7 presenta un perfil de los municipios de alto riesgo. La sección 8 concluye.

DESASTRES NATURALES EN MÉXICO

Habitualmente se asocia una catástrofe natural con la ocurrencia de un evento de grandes proporciones en una ubicación geográficamente delimitada, y en términos económicos, con un evento que afecta un gran número de activos, de tal suerte que pueda poner en riesgo la estabilidad económica de una región, estado o país. Los desastres pueden generarse a partir de amenazas clasificadas en dos grandes categorías: i) fenómenos geológicos (terremoto, erupción volcánica, maremoto, movimiento de tierra) y, ii) fenómenos climatológicos (inundación, avalancha, tempestad y ciclón, sequía, granizo, helada e incendios forestales).

México, debido a su situación geográfica, tiene una alta ocurrencia de eventos catastróficos de índole hidro-meteorológica y geológica. De acuerdo con el Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres, la ocurrencia de estos eventos en el país durante las últimas cinco décadas ha ido en ascenso, similar a la tendencia mundial *Figura 2*.

Respecto a la frecuencia de declaratorias de emergencia emitidas cuando las entidades federativas se encuentran ante la inminencia o presencia de una amenaza natural,² durante el periodo

2 Una amenaza natural puede ser definida como una situación anormal generada por un fenómeno perturbador de origen natural, que puede causar un daño a la sociedad y propiciar un riesgo excesivo para la seguridad e integridad de la población. Cuando las Entidades Federativas determinan la presencia de

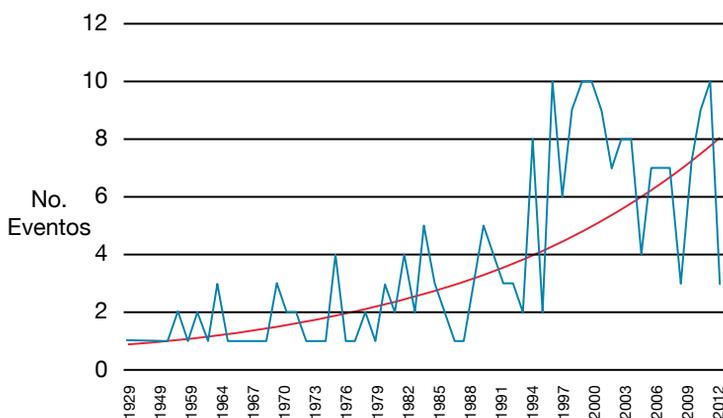


Figura 2. Incidencia de Catástrofes Naturales en México (1960-2012)
(Fuente: Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres,
Universidad Católica de Lovaina).

2000-2012 se han presentado alrededor de 6 mil 511 declaratorias de fenómenos geológicos e hidrometeorológicos a nivel municipal. En las declaratorias de emergencia del periodo considerado, destacan los eventos de lluvia, huracán e inundación, que –en conjunto– concentran casi el 75% de los casos (Figura 3).

En la concentración por entidades federativas de declaratorias de emergencia destaca el hecho de que el 50% se concentran en sólo tres estados: Veracruz, Oaxaca y Chiapas. Los riesgos hidrometeorológicos tienen una alta recurrencia e impacto, mientras que los temblores, a pesar de que el país posee un nivel de actividad sísmica excepcionalmente alta³ y se estima que experimenta

un fenómeno natural perturbador solicitan la Declaratoria de Emergencia a la Coordinación Nacional de Protección Civil, quien a su vez solicita dictamen de corroboración a la Instancia Técnica Facultada que corresponda (CONAGUA, CENAPRED, CONAFOR). Si se confirma la existencia de la emergencia, la Coordinación Nacional de Protección Civil emite la declaratoria de Emergencia a través de un boletín de prensa y las Entidades Federativas solicitan insumos para atender las necesidades urgentes de la población afectada.

3 La fuente de esta inestabilidad tan extendida es la Placa de Cocos, la cual se mueve lentamente por debajo de la Placa del Caribe en la mitad sur del país e interactúa con la Placa Norteamericana en el norte del mismo.

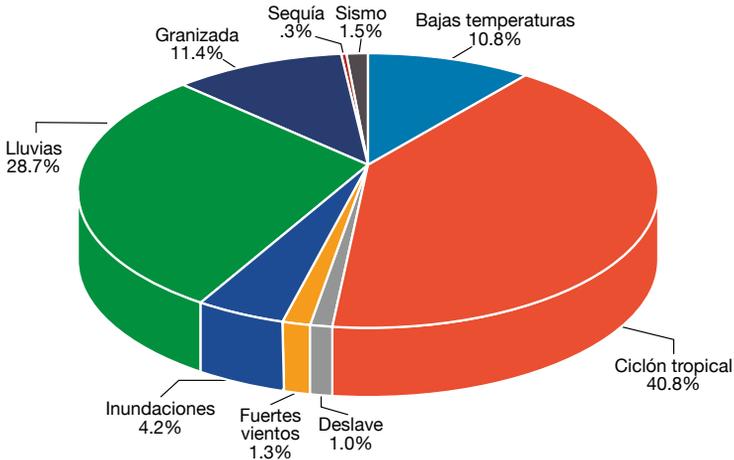


Figura 3. Declaratorias de Emergencia por Amenaza (2000-2012).
(Fuente: Atlas Nacional de Riesgos. CENAPRED, Secretaría de Gobernación).

temblores sobre una base diaria son, en su mayoría, imperceptibles y no generan daños.

IMPACTO ECONÓMICO

En México, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) constituye la entidad encargada de evaluar el impacto socioeconómico de los desastres que ocurren año con año, con base en la metodología de la CEPAL. Además de evaluar el impacto socioeconómico, el CENAPRED analiza los orígenes físicos del fenómeno y mide sus efectos directos (por ejemplo, daños a infraestructura) e indirectos (por ejemplo, pérdidas de empleo, disminución de turismo). En este sentido, el CENAPRED estima que en el periodo de 2000 a 2010 el costo acumulado de los desastres ascendió a poco más de 23 mil 200 millones de dólares, con una proporción de daños directos y daños indirectos de 66%-34% respectivamente. Los años que destacan por la magnitud de los daños experimentados son el 2005, 2007 y 2010, que acumulan el 75% de los gastos del periodo analizado.

Durante el periodo de análisis, los tres eventos de mayor magnitud en términos de los daños que generaron en orden de importancia son: (1) El terremoto de 1985, (2) La inundación de Tabasco de 2007 y (3) El huracán Alex en Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas de 2010. (Agregar nota al pie con el siguiente texto: Posterior al periodo de análisis se han presentado eventos sísmicos e hidrometeorológicos de relevancia por el monto de los daños ocasionados: En 2013, los huracanes Ingrid y Manuel generaron pérdidas por 31,365 mdp donde el 75% de las mismas se concentraron en el Estado de Guerrero. En 2014 las pérdidas por el huracán Odile en Baja California Sur ascendieron a 24,133 mdp. Finalmente, las pérdidas económicas por los sismos del 7 y 19 de septiembre de 2017 se estiman en 48,000 mdp y las pérdidas humanas en 471).

Uno de los terremotos más grandes en la historia moderna de México devastó la parte central del país el 19 de septiembre de 1985, matando cerca de 9,500 personas en la ciudad de México. El evento con magnitud 8.1, fue seguido por réplicas posteriores que duraron horas. Las pérdidas económicas totales alcanzaron los cuatro mil millones de dólares americanos, que actualizados a precios de 2012 representan ocho mil setecientos millones de dólares americanos.⁴

En cuanto a los huracanes, en 2005, los tres huracanes más importantes, en función de los daños económicos que generaron fueron: el huracán Emily que afectó las costas de Yucatán y generó daños económicos cercanos a los 350 millones de dólares; el huracán Stan que afectó las costas del Pacífico y originó pérdidas de casi mil 700 millones de dólares y el huracán Wilma que afectó la península de Yucatán y causó daños de más de mil 500 millones de dólares. Por su parte, los huracanes que desta-

4 En los últimos 15 años se han presentado dos fenómenos sísmicos de relevancia por el monto de los daños ocasionados, en Oaxaca el 30 de septiembre de 1999 con una intensidad de 7.5 grados en la escala de Richter y pérdidas por 200 millones de dólares y el otro, ocurrido en Mexicali el 4 de abril de 2010, cuya intensidad fue de 7.2 grados y alcanzó pérdidas por 723 millones de dólares.

can durante el 2010 son: el huracán Alex que afectó los Estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila generando pérdidas por casi 2 mil millones de dólares y los huracanes Karl y Matthew que afectaron el estado de Veracruz y generaron pérdidas por 2 mil 64 millones de dólares. En 2013, los huracanes de Ingrid y Manuel afectaron 20 estados del país.

Por otro lado, de septiembre a octubre de 2007, la combinación del Frente Frío no. 4 con una baja presión vinculada a la Tormenta Tropical “Noel”, generó un sistema de lluvias constantes sobre el área de Tabasco y Chiapas. El efecto de este sistema de lluvias intensas y constantes, por encima de las medias históricas observadas hizo que la Comisión Nacional del Agua corroborara como zona de desastre 11 municipios del Estado de Tabasco a causa del fenómeno de inundación. Este evento generó pérdidas por 3 mil 75 millones de dólares, lo que representó el 63% del total de las pérdidas registradas en el país a causa de desastres naturales en ese año (Figura 4).

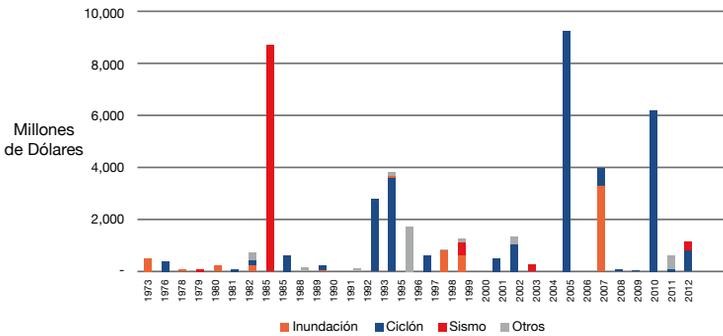


Figura 4. Principales Eventos Catastróficos en México (1970-2012).
(Fuente: Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres, Universidad Católica de Lovaina).

IMPACTOS MACROECONÓMICOS

Respecto al análisis macroeconómico, este implica conocer los efectos sobre el desarrollo económico o las repercusiones del fenómeno sobre la economía, por lo que el primer paso consiste en analizar el comportamiento económico de las variables de no haber ocurrido el fenómeno y la forma en que ese comportamiento se habría reflejado en los principales agregados, tanto para el año en que ocurrió el desastre como para los siguientes dos a cinco años. El agregado que mejor expresa las variaciones en el nivel general de la actividad económica es el PIB, por lo tanto, se requiere realizar una estimación de los efectos del desastre sobre la tasa de crecimiento de esta variable.

Otros efectos secundarios relevantes que un desastre tiene sobre las principales variables macroeconómicas, sobre todo hablando de economías pequeñas, se refieren por ejemplo al empleo, que puede disminuir por efectos de la destrucción de la capacidad productiva o infraestructura social, pero por otro lado se activarán los Programas de Empleo Temporal (PET) de diversos sectores sobre todo durante la emergencia y el proceso de rehabilitación. Los efectos en el empleo tienen impacto también en términos de movilidad de las personas y flujos migratorios, tanto al interior del país –entre las regiones más y menos afectadas– como fuera de él.

Las restricciones en la oferta de bienes debidas a la destrucción de cosechas, bienes manufacturados, canales de comercialización, vías de transporte, etc., tendrán un efecto sobre los precios, por lo general existirá presión al alza por la escasez que se genera y, posiblemente, un efecto inverso para los productores que destinan sus excedentes a las regiones afectadas.

El efecto de los daños sobre el PIB nacional dependerá de la magnitud del evento, el número de estados afectados/beneficiados, el sector con mayor afectación/beneficio y su aportación porcentual a los valores nacionales y en muchos casos podría parecer

poco representativo, si observamos la proporción Daños/PIB. El año en el que se observan las mayores pérdidas (2010) representa el 0.75% del PIB, le siguen los años 2005 y 2007 que representan 0.5% del PIB, como se puede apreciar en la *Figura 5*.

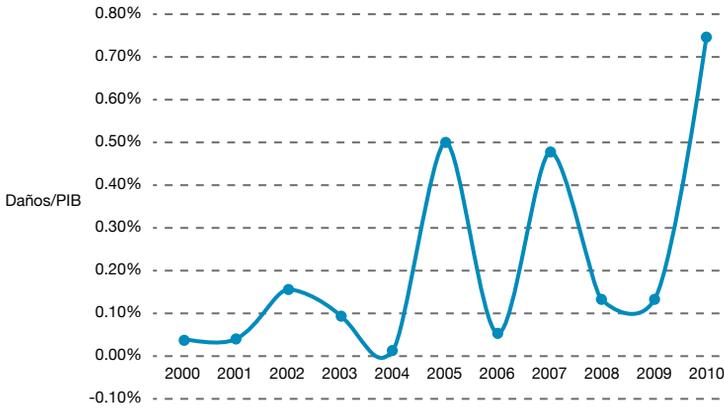


Figura 5. Proporción que representan los Daños por Desastres respecto al PIB Nacional (2000-2010).

(Fuente: Elaboración propia con datos de CENAPRED y de INEGI).

Sin embargo, una cifra igual al 0.75% del PIB representa casi el presupuesto destinado a salud y al de desarrollo social en el Presupuesto de Egresos de la Federación autorizado para 2012 (PEF 2012), los cuales representan 0.79% y 0.59 del PIB respectivamente cada uno. Es decir, los daños observados en 2010 equivalen al 88% del presupuesto asignado a salud, 40% de educación y 117% de desarrollo social, que constituyen los tres rubros de mayor importancia del gasto programable del PEF 2012.

La perspectiva del impacto de los daños ocasionados por un desastre se amplifica si nos ceñimos únicamente a las economías locales, es decir, la relación entre los daños respecto al PIB Estatal se eleva. Por ejemplo, los daños ocasionados por el huracán Stan representaron el 9.2% del PIB de Chiapas, mientras que el huracán Wilma fueron de 14.4% para Quintana Roo y la

Inundación de Tabasco impactó el 10% para su economía. Los daños de este último evento ascendieron a poco más de 3 mil millones de dólares, lo que representa 1.96 veces el presupuesto destinado a educación, salud y desarrollo social del Estado de ese mismo año. Los daños ocasionados por el huracán Wilma representan 6 veces el presupuesto de educación y salud de Quintana Roo en 2005, mientras que los daños por el huracán Stan equivalen al presupuesto total destinado a educación, salud y desarrollo social del Estado de Chiapas de 2005.

Como ya se mencionó anteriormente, el evento histórico que mayores daños ha generado fue el sismo ocurrido el 19 de septiembre de 1985 en la Ciudad de México, pues significó el 2.7% del producto interno bruto de ese año; el 13.5% de la formación bruta de capital, o el 11% del gasto total del Gobierno Federal. Tuvo, además, un efecto perceptible sobre las finanzas públicas y el sistema de intermediación financiera, debido a que unas 150 mil personas quedaron temporalmente sin empleo. Se estima que hubo una reducción de unos 84 millones de dólares en el ingreso personal (Bitrán 2001).

Finalmente, es importante mencionar que un desastre afecta el presupuesto en su condición de ejercicio de programación financiera, que detalla cómo el gobierno planifica gastar sus ingresos. En él, presenta un nivel esperado de ingresos y ciertas expectativas de nivel de gasto, por lo que, cuando un desastre natural ocurre, muchas veces el Gobierno Federal tiene que reasignar las partidas presupuestales para hacer frente a todos los gastos durante la emergencia y la reconstrucción, lo cual implica costos de oportunidad, generalmente no valuados.

IMPACTO SOCIAL

El número de víctimas por desastres se encuentra estrechamente relacionado con el tipo de evento. En el caso de sismo, por sus características inciertas, las pérdidas en viviendas y víctimas ge-

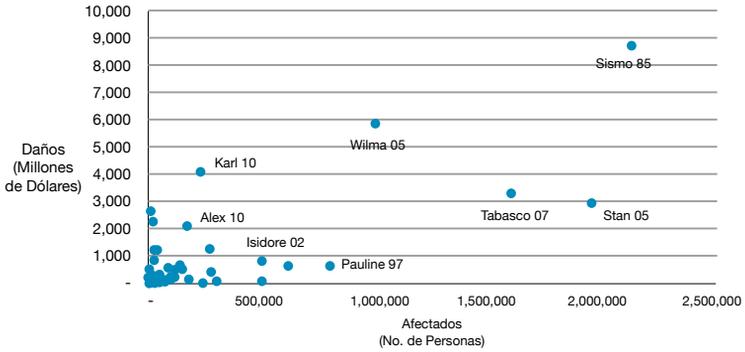


Figura 6. Relación entre Personas Afectadas y Daños.

Nota: Personas afectadas son aquellas que requirieron asistencia inmediata en un periodo de emergencia, puede incluir personas desplazadas o reubicadas.

(Fuente: Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres, Universidad Católica de Lovaina).

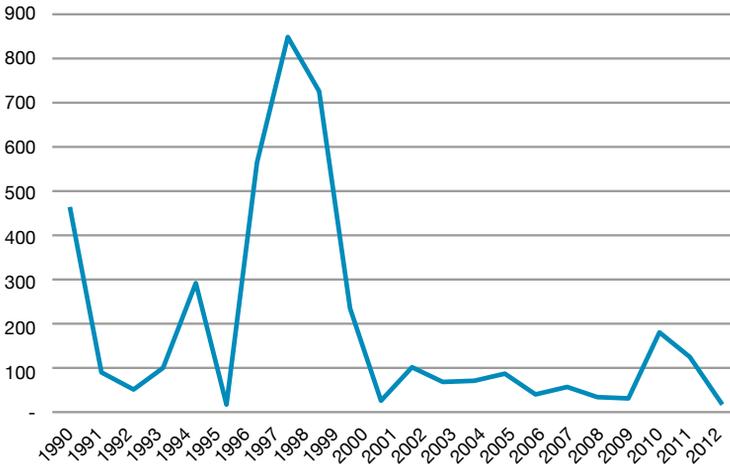


Figura 7. Relación de Personas Fallecidas por Año por Desastres Naturales en México.

(Fuente: Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres, Universidad Católica de Lovaina).

neralmente son más numerosas. Para fenómenos ciclónicos e inundaciones, las pérdidas humanas son menores debido a que el tiempo de ocurrencia de los eventos hace posible la instrumentación de medidas de protección para la población (*Figura 6*).

Respecto al número de personas afectadas destaca en primer término el sismo de 1985 (2,130,204), le siguen en orden de importancia el huracán Stan (1,954,571), la inundación de Tabasco (1,600,000) y el Huracán Wilma (1,000,000). Posteriormente destacan algunos eventos como los huracanes Pauline en 1997 e Isidore 2002 con personas afectadas que oscilan entre 500 mil y 800 mil. Sin embargo, en la mayoría de los eventos históricos que corresponden a desastres naturales las personas afectadas oscilan entre los 40 mil y 300 mil entre los que se incluyen los huracanes Karl y Alex del 2010.

Como se observa en la *Figura 7* el número de personas fallecidas por desastres naturales ha venido a la baja en la última década. De acuerdo al Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres, las muertes han sido en promedio menores a 200 personas. Anterior a los últimos veinte años, destaca, desde luego el año de 1985 donde la cifra reportada es de 9,500 personas fallecidas (Sismo).

Una vez ilustrados los impactos sociales y económicos que pueden ocasionar los desastres, el resto del estudio pretende analizar los desastres en sus diferentes componentes (amenazas, exposición y vulnerabilidad). Para elaborar el presente diagnóstico y examinar las hipótesis de trabajo sugeridas en la sección anterior, se requiere información en tres frentes: (i) amenazas naturales, con una identificación de su frecuencia, magnitud y alcance geográfico, en la medida de lo posible; (ii) población y activos a nivel municipal; y (iii) indicadores de bienestar, que a grandes rasgos serían determinados por la interacción de los dos primeros componentes, y que pueden ir desde tasas de pobreza hasta indicadores en materia de desarrollo humano y nutrición.

El Anexo 2 explica la construcción de las variables utilizadas en el presente diagnóstico y sus respectivas fuentes de información.

ANÁLISIS DE AMENAZAS

México es, indudablemente, un país amenazado por contingencias naturales: Entre 25 y 30 por ciento de sus municipios presentan un grado elevado de amenaza ante sismos, ciclones e inundaciones. Para la cuantificación del riesgo, el análisis de los eventos históricos y sus pérdidas es útil pero limitado, ya que sólo presenta información de eventos que ocurrieron en el pasado y no presenta información acerca del rango de las pérdidas posibles ni su probabilidad de ocurrencia; para solventar lo anterior, se desarrollan modelos catastróficos. En este sentido, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y la Secretaría de Gobernación promovieron el desarrollo del proyecto “Diseño de los Mecanismos Financieros para la Protección del Patrimonio del Fideicomiso FONDEN contra los riesgos de Sismo, Inundaciones y Ciclón Tropical” para la creación de un sistema que modelara las pérdidas catastróficas por estas amenazas.⁵

Esta sección proporciona un acercamiento más detallado de las amenazas de sismo, ciclón tropical e inundación en el país.

Sismo

México es uno de los países del mundo con mayor actividad sísmica. Según datos estadísticos, se registran más de 90 sismos por año con magnitud superior a 4 grados en la escala de Richter, lo que equivale al 6% de todos los movimientos telúricos que se

5 La Unidad de Seguros, Pensiones y Seguridad Social de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público proporcionó a los autores información y resultados del proyecto “Diseño de los Mecanismos Financieros para la Protección del Patrimonio del Fideicomiso FONDEN contra los riesgos de Sismo, Inundaciones y Ciclón Tropical” para la elaboración del presente capítulo.

registran en el mundo. Durante cada década del siglo pasado se presentaron sismos de elevada intensidad causando daños materiales significativos y un número considerable de muertes.

Lo anterior se debe fundamentalmente a que su territorio está localizado en una región donde interactúan cinco importantes placas tectónicas: Cocos, Pacífico, Norteamérica, Caribe y Rivera; además de importantes fallas continentales como las de San Andrés, la Trinchera Mesoamericana y Motagua Polochic. A lo anterior se suman numerosas fallas regionales o locales con distintos grados de actividad sísmica, entre las cuales destacan la de Acambay, localizada en el centro del país, y el sistema de fallas de Ocosingo en Chiapas, al sur del país.

Las zonas afectadas por sismos cubren el territorio de 11 entidades federativas en su totalidad y parte del territorio de otras 14; abarcan más del 50% del total nacional. La Ciudad de México,

Estado	Total Municipios en Entidad	Municipios con Amenaza de Sismo Alta	Porcentaje del Total
Colima	10	10	100.0%
Oaxaca	570	568	99.6%
Guerrero	81	71	87.7%
Distrito Federal	16	7	43.8%
Chiapas	118	39	33.1%
Baja California	5	1	20.0%
Jalisco	125	21	16.8%
Puebla	217	31	14.3%
Michoacán	113	8	7.1%
Nayarit	20	1	5.0%
Veracruz	212	7	3.3%
México	125	3	2.4%
Sonora	72	1	1.4%
Total	1684	768	45.6%

Tabla 1. Número de Municipios con Alto Grado de Amenaza ante Sismos. (Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SHCP).

por las características del subsuelo, es una de las zonas que presentan mayor grado de amenaza ante la inminente ocurrencia de un sismo de gran magnitud como el que se espera se origine en la brecha sísmica de Guerrero.

Los municipios que presentan un grado alto de amenaza ante sismo se ubican en la costa del Pacífico, sobre todo, y suman 768. Se encuentran distribuidos en los estados de Baja California, Colima, Chiapas, Distrito Federal, Guerrero, Jalisco, México, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Sonora y Veracruz. Sin embargo, como se puede observar en la *Tabla 1* destacan de manera particular Colima, Oaxaca y Guerrero, donde prácticamente la totalidad de sus municipios son sujetos a un alto grado de amenaza sísmica.

Ciclón tropical

Los ciclones se encuentran concentrados en las costas y provienen de los huracanes que se generan en el Mar del Caribe y el Océano Pacífico. Las áreas más afectadas por los ciclones incluyen el Golfo de México y el del Caribe, en particular, la Península de Yucatán y el estado de Tamaulipas, así como Guerrero y Chiapas en la costa del Pacífico.⁶

Entre 1970 y 2007, México fue impactado directamente por 163 ciclones tropicales, de los cuales 102 se formaron en el Océano Pacífico y 61 en el Atlántico. En promedio el país es afectado por 4.3 eventos de este tipo al año.

El ciclón tropical constituye uno de los fenómenos hidro-me-

6 Existe un patrón general más o menos constante para distinguir una temporada propicia para la formación de ciclones, misma que puede variar según las condiciones meteorológicas. En el Atlántico, Caribe y Golfo de México comienza el 1° de junio de cada año, debido al calentamiento del agua durante el verano, y se extiende hasta el 30 de noviembre, aunque se pueden presentar huracanes todo el año (excepto marzo). En el Golfo de México y el Caribe Occidental, por ser aguas tranquilas, el calentamiento precede al resto, originándose allí los primeros sistemas ciclónicos de la temporada.

teorológicos más destructivos que existen, y los factores meteorológicos asociados con dicho fenómeno que producen daño son: (1) *Vientos*: La fuerza de los vientos del ciclón proyecta o derriba objetos, imprime movimiento a las aguas de los océanos, ejerce fuertes presiones sobre superficies y es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad del viento; y (2) *Marea de Tormenta*: Es una elevación temporal del nivel del mar cerca de la costa que se forma por el paso del área central del ciclón tropical, la cual es debida a los fuertes vientos que soplan hacia la tierra y

Estado	Total Municipios	Municipios con Amenaza de Viento Alta	Porcentaje del Total
Baja California Sur	5	5	100.0%
Quintana Roo	9	9	100.0%
Tabasco	17	17	100.0%
Yucatan	106	106	100.0%
Tamaulipas	43	38	88.4%
Baja California	5	4	80.0%
Colima	10	8	80.0%
Campeche	11	8	72.7%
Sinaloa	18	13	72.2%
Nuevo León	51	32	62.7%
Veracruz	212	132	62.3%
Nayarit	20	8	40.0%
San Luis Potosí	58	18	31.0%
Guerrero	81	25	30.9%
Coahuila	38	8	21.1%
Sonora	72	13	18.1%
Puebla	217	39	18.0%
Oaxaca	570	93	16.3%
Chiapas	118	19	16.1%
Hidalgo	84	12	14.3%
Jalisco	125	11	8.8%
Michoacán	113	6	5.3%
Total	1983	624	31.5%

Tabla 2. Municipios con Alto Grado de Amenaza ante Ciclón.
(Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SHCP).

a la diferencia de presión atmosférica entre el ojo del ciclón y los alrededores. Esta marea puede alcanzar una altura mayor de seis metros. Asimismo, una pendiente suave del fondo marino puede propiciar la acumulación de agua por el viento y por tanto una marea de tormenta más alta.

La estratificación de los municipios para el caso de ciclón se realizó considerando los vientos (las inundaciones causadas por ciclones tropicales junto con las lluvias típicas y frentes fríos fueron incorporadas en la modelación de la amenaza de inundación). Los municipios que presentan un grado de amenaza elevado suman un total de 624 y se ubican en ambas costas oceánicas (Pacífico y Golfo), lo cual representa el 25% de los municipios del país. Como lo indica la *Tabla 2*, tales municipios se encuentran distribuidos en un mayor número de estados (22) que aquellos con alta exposición a sismos: destacan los casos de Baja California Sur, Quintana Roo, Tabasco, Yucatán, Tamaulipas, Baja California, Colima, Campeche y Sinaloa.

Inundación

En la República Mexicana el fenómeno de inundación se materializa principalmente por el efecto de las lluvias derivadas de diversos fenómenos hidro-meteorológicos, tales como los ciclones tropicales. Por ello, las zonas más propensas a sufrir inundaciones se encuentran en las zonas costeras del país.

En el verano, el país se encuentra sujeto a la acción de ciclones tropicales, mientras que durante el invierno es afectado por frentes polares originados en latitudes altas que viajan hacia el sur y causan fuertes precipitaciones en todo el país, sobre todo en el norte. A estos fenómenos se suman los efectos orográficos y las precipitaciones originadas por fenómenos convectivos (fenómenos atmosféricos potencialmente generadores de mal tiempo), los cuales producen tormentas muy intensas, aunque de poca duración y extensión.

Estado	Total Municipios	Municipios con Amenaza de Inundación Alta	Porcentaje del Total
Campeche	11	11	100.0%
Colima	10	10	100.0%
Nayarit	20	20	100.0%
Quintana Roo	9	9	100.0%
Tabasco	17	17	100.0%
Yucatan	106	106	100.0%
Sinaloa	18	17	94.4%
Guerrero	81	67	82.7%
Baja California Sur	5	4	80.0%
Jalisco	125	84	67.2%
Tamaulipas	43	28	65.1%
Michoacán	113	68	60.2%
Veracruz	212	110	51.9%
Chiapas	118	32	27.1%
Oaxaca	570	114	20.0%
San Luis Potosí	58	10	17.2%
Hidalgo	84	8	9.5%
Sonora	72	6	8.3%
Nuevo León	51	3	5.9%
Puebla	217	11	5.1%
Zacatecas	58	2	3.4%
Durango	39	1	2.6%
México	125	2	1.6%

Tabla 3. Municipios con Alto Grado de Amenaza ante Inundación.
(Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SHCP).

Los resultados de la modelación indican que los municipios que presentan un alto grado de amenaza de inundación ascienden a 740, lo cual representa el 30% del total de los municipios del país. La Tabla 3 indica que se encuentran distribuidos en un total de 23 estados, entre los que destacan Campeche, Colima, Nayarit, Quintana Roo, Tabasco, y Yucatán, con la totalidad de sus municipios sujetos a un alto grado de amenaza a inundaciones.

Conviene señalar que diez estados del país tienen al menos un municipio con un grado alto de peligro de sismo, ciclón e

Estado	Total Municipios	Municipios con Amenaza de Sismo Alta	Porcentaje del Total	Municipios con Amenaza de Viento Alta	Porcentaje del Total	Municipios con Amenaza de Inundación Alta	Porcentaje del Total
Colima	10	10	100%	8	80%	10	100%
Oaxaca	570	568	100%	93	16%	114	20%
Guerrero	81	71	88%	25	31%	67	83%
Chiapas	118	39	33%	19	16%	32	27%
Jalisco	125	21	17%	11	9%	84	67%
Puebla	217	31	14%	39	18%	11	5%
Michoacán	113	8	7%	6	5%	68	60%
Nayarit	20	1	5%	8	40%	20	100%
Veracruz	212	7	3%	132	62%	110	52%
Sonora	72	1	1%	13	18%	6	8%
Total	1538	757	49%	354	23%	522	34%

Tabla 4. Número de Municipios con Grado Alto en las 3 Amenazas.
(Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SHCP).

inundación a la vez; destacan en particular los casos de Colima y Guerrero (ver *Tabla 4*).

De los 2 mil 456 municipios con que cuenta el país, 128 presentan un grado elevado de amenaza a sismo, ciclón e inundación en forma simultánea. Cabe señalar que, de ellos, 70 tienen un grado de marginación alto y muy alto, y la mitad de su población (47%) en promedio padece pobreza por ingresos. Estos municipios están distribuidos en siete Estados: Oaxaca, Guerrero, Chiapas, Jalisco, Colima, Michoacán y Nayarit.

ANÁLISIS DE EXPOSICIÓN

Como se ha mencionado anteriormente, la exposición se encuentra determinada por la distribución geográfica de los hogares y activos en relación con la distribución de las amenazas, su frecuencia e intensidad. El objetivo de esta sección es revisar la composición de cinco tipos de activos (infraestructura hospitalaria, educativa, caminos y puentes, hidráulica y viviendas en situación de pobreza patrimonial) en función de su valor de reposición, es decir, el costo que tendría reconstruir cada tipo de activo si fuera totalmente destruido por un fenómeno natu-

ral ante las amenazas de sismo, inundación y ciclón tropical.⁷ De igual forma, se intenta conocer el número de personas (en general y en situación de pobreza) expuestas a los tres tipos de amenazas consideradas. Una vez ubicadas las acumulaciones de valores para los cinco tipos de activos mencionados, se detalla su distribución para los tres tipos de amenazas consideradas y por niveles de marginación.

INFRAESTRUCTURA PÚBLICA Y VIVIENDAS EN POBREZA

A partir de un inventario nacional con los cinco tipos de activos considerados, se adoptaron criterios acordados de manera conjunta con los responsables de cada dependencia que permitieran inferir sus costos (valores de reposición); sin embargo, es claro que cada dependencia deberá invertir a futuro para la obtención de información con la finalidad de disminuir la incertidumbre generada en la estimación. A continuación, se mencionan algunos de los criterios utilizados para inferir costos:

- Infraestructura hospitalaria. - En función del número de consultorios y camas censables.
- Infraestructura educativa. - Valor promedio por metro cuadrado construido.
- Infraestructura carretera. - Valor promedio por kilómetro lineal de la Red Federal Pavimentada Libre de Peaje.
- Infraestructura hidráulica. - Valor promedio por kilómetro lineal para tubería PVC obtenido a partir de los kilómetros de vialidades en cada AGEB
- Viviendas en pobreza.- Costo de viviendas de 24 m² de acuerdo a las Reglas de operación del FONDEN.

⁷ La infraestructura considerada en este proyecto ha sido proporcionada por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público en el marco del proyecto denominado “Diseño de los mecanismos financieros de protección del patrimonio del Fideicomiso FONDEN contra los riesgos de sismo, inundación y ciclón tropical”.

El valor total de los activos y viviendas considerados en el estudio es de aproximadamente 3.4 billones de pesos. Los estados con los porcentajes más altos de valor de reposición con respecto al total nacional son: Estado de México (9.96%), Veracruz (6.61%) Michoacán (5.40%), Chiapas (4.95%) y Jalisco (4.82%) los cuales acumulan casi una tercera parte del valor total (31.74%).

Al analizar la concentración de valores de los activos a nivel municipal (normalizados por población) se observa una notoria disparidad. Una forma de medir la desigualdad en la distribución del valor de activos es través del coeficiente de Gini, que es un número entre 0 y 1, en donde 0 se corresponde con la perfecta igualdad (en nuestro caso, todos los municipios tendrían el mismo valor de activos) y 1 se corresponde con la perfecta desigualdad (un municipio concentra todos los activos y los demás ninguno).

Los coeficientes de Gini obtenidos por tipo de activo son los siguientes: escuelas (0.14591), viviendas en pobreza (0.20348), hospitales (0.49823), carreteras (0.57035) y puentes (0.68831). Para el portafolio público el coeficiente asciende a 0.57220, mientras que para el portafolio en su totalidad asciende a 0.46623.

Visualmente, la distribución relativa del valor de los activos considerados a nivel municipal se puede plasmar en una curva de Lorenz. La *Figura 8* muestra las curvas de Lorenz para cada uno de ellos, en donde si el valor de los activos estuviera distribuido de manera perfectamente equitativa, la curva coincidiría con la línea de 45 grados que pasa por el origen (por ejemplo, el 40% de los municipios contiene el 40% del valor de los activos). Si existiera desigualdad perfecta, o sea, si un municipio poseyera todo el valor en los activos considerados, la curva coincidiría con el eje horizontal hasta el punto (100,0) donde saltaría el punto (100,100).

En general las curvas se encuentran en una situación intermedia entre estos dos extremos. Para el caso de México, las carreteras y puentes exhiben una distribución más desigual que el

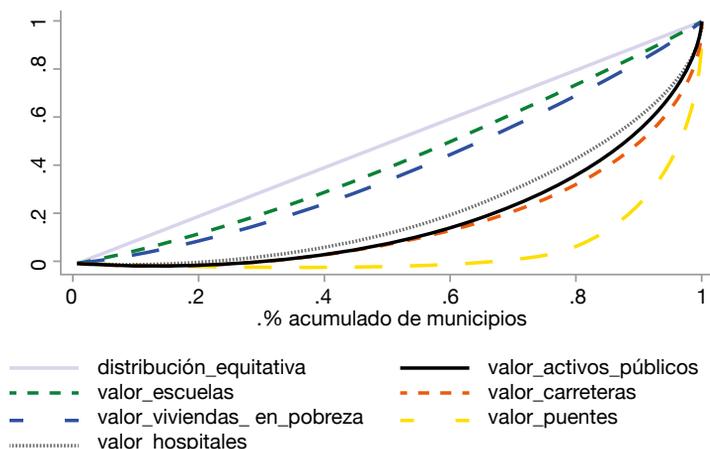


Figura 8. Curvas de Lorenz para valor de activos municipales (normalizados por población).
(Fuente: Elaboración propia).

resto de los activos analizados. Otro dato igualmente revelador es que 20 municipios, concentran casi una décima parte del valor total de los activos públicos, siendo la mayoría de ellos las capitales políticas o económicas de su Estado, así como municipios de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

Además, la notoria disparidad en la concentración de activos a nivel municipal va en detrimento de las regiones más desfavorecidas del país. Por ejemplo, con el 6.3% del portafolio total nacional, diez municipios (Toluca, Iztapalapa, Tlalnepantla de Baz, Mexicali Juárez, Ecatepec de Morelos, Puebla, Hermosillo, Culiacán y Ensenada) concentran prácticamente el valor total en infraestructura carretera, hidráulica, educativa, hospitalaria y de viviendas en pobreza contenido en la totalidad de los 437 municipios que están clasificados como de muy alta marginación en el país.

La concentración de menos activos en los municipios más desfavorecidos del país implica menores niveles de exposición en la infraestructura pública crítica dentro de ellos, pero también involucra menor capacidad para atender emergencias origi-

nadas por desastres, al menos en términos de accesos carreteros e infraestructura hospitalaria, así como en el número de escuelas que puedan ser utilizadas como albergues.

La anterior situación puede resultar particularmente crítica para aquellos municipios que se encuentran expuestos de ma-

Exposición a Ciclón	Valor Activos per Cápita	Grado de Marginación				
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Absolutos	136,346,631	13,222,924	18,815,933	62,185,274	34,457,410	7,665,089
Alto	36,968,501	3,426,445	5,932,124	17,113,891	7,755,167	2,740,874
Medio	27,178,241	4,870,760	4,827,222	9,395,644	6,918,134	1,166,481
Bajo	72,199,889	4,925,719	8,056,587	35,675,739	19,784,109	3,757,734
Porcentaje Total	100.0%	9.7%	13.8%	45.6%	25.3%	5.6%
Alto	27.1%	2.9%	4.4%	12.6%	5.7%	2.0%
Medio	19.9%	3.6%	3.5%	6.9%	5.1%	0.9%
Bajo	53.0%	3.6%	5.9%	26.2%	14.5%	2.8%
Porcentaje por Columna	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Alto	27.1%	25.9%	31.5%	27.5%	22.5%	35.8%
Medio	19.9%	36.8%	25.7%	15.1%	20.1%	15.2%
Bajo	53.0%	37.3%	42.8%	57.4%	57.4%	49.0%
Porcentaje por Región	100%	10%	14%	46%	25%	6%
Alto	100%	9%	16%	46%	21%	7%
Medio	100%	18%	18%	35%	25%	4%
Bajo	100%	7%	11%	49%	27%	5%

Tabla 5. Exposición del Valor Promedio de Activos per Cápita (Sin Vivienda) por Grado de Marginación y Grado de Amenaza a Ciclón.
(Fuente: Elaboración Propia con datos de CONAPO y de la SHCP).

nera recurrente a los embates de fenómenos naturales. Como se aprecia en la *Tabla 5*, prácticamente una tercera parte (27.1%) del valor total en carreteras, hospitales y escuelas federales se ubica en zonas con alto grado de amenazas ante ciclones, pero únicamente el 9% de ese total se localiza en municipios con muy alto grado de marginación. Los municipios más desfavorecidos también poseen una proporción relativamente menor del total de activos per cápita concentrados en el grupo de municipios altamente propensos a sismos y ciclones tropicales.

EXPOSICIÓN POBLACIONAL

En la presente sección se analizará la exposición de la población a nivel municipal realizando un cruce entre los diferentes grados de marginación de CONAPO y el grado de amenaza de cada uno de ellos.

Población en Marginación

El índice de marginación para los 2 mil 456 municipios existentes en el año 2010, confirma que nuestro país se encuentra marcado por una profunda desigualdad en la participación del proceso de desarrollo y el disfrute de sus beneficios. Un total de 849 municipios tienen grado de marginación alto y muy alto, donde viven 11.5 millones de personas, esto es 10.2 por ciento de la población nacional. En el otro extremo, 663 municipios tienen grado de marginación bajo y muy bajo, donde residen 79.6 millones de personas, es decir, 70.9 por ciento de los habitantes del país. Por su parte, el conjunto de municipios con grado de marginación medio asciende a 944, con 21.2 millones de personas, 18.9 por ciento de la población total. Destacan de manera particular Guerrero, Chiapas y Oaxaca, en virtud de que el 75%, 74% y 63%, respectivamente, de los municipios que integran estos estados presentan condiciones de alta y muy alta marginación. Esto refleja que la mayoría de la población es analfabeta o no terminaron la primaria, habitan en viviendas sin drenaje ni sanitario, sin energía eléctrica, sin agua entubada, ocupan viviendas con piso de tierra, tienen algún grado de hacinamiento y una proporción importante de los trabajadores residiendo en estas entidades obtienen ingresos de hasta dos salarios mínimos.

El análisis de los municipios por entidad federativa también deja ver pautas regionales de la marginación. Del total de entidades federativas, 14 tienen municipios con todos los grados de marginación. Por el otro lado, 64 por ciento de los municipios con grado de marginación muy bajo se localizan en ocho entidades del centro y norte del país. En el caso de los municipios con grado de marginación bajo, cabe señalar que 72 por ciento pertenece a once entidades federativas, de las cuales seis también figuran entre las que tienen el mayor número de municipios con grado de marginación muy bajo. Sin embargo, el 83% de los municipios

de alta y muy alta marginación se concentran en cinco estados de la zona sur-sureste del país.

Exposición Poblacional a Sismo, Ciclones Tropicales e Inundaciones

Existen alrededor de 17.6 millones de personas expuestas a un grado alto de amenaza sísmica, lo que representa el 15.7% de la población total. La mayor proporción de la población (67.7%) está expuesta a un grado medio y un 16.6% a un grado bajo. Sin embargo, casi una cuarta parte de la población (4.2 millones) que manifiestan una alta exposición sísmica reside en municipios de alta y muy alta marginación.

Por su parte, 34.2 millones de personas se encuentran expuestas en alto grado a la amenaza de ciclón tropical, casi dos veces más de los que se encuentran expuestos a sismo. De ese total, únicamente 3.5 millones (10.3%) reside en municipios catalogados como de alta y muy alta marginación. La mayor proporción de la población (58.0%) está expuesta a un grado bajo y un 11.6% a un grado medio.

Finalmente, el número de personas expuestas a un alto grado de amenaza de inundación es muy similar a las expuestas a un alto grado de amenaza por viento y ascienden a 35 millones de personas, lo que representa la tercera parte de la población total. De ese total, poco más de una décima parte (13.2%) reside en

Grado de Amenaza Elevado	Municipios	Población	Municipios de Alta Marginación	Población en Alta Marginación
Sismo	768	17,639,295	461	4,179,255
Ciclón	624	34,200,027	231	3,534,599
Inundación	740	35,080,743	269	4,645,261

Tabla 6. Número de Municipios y Población con Grado Alto de Amenaza a Fenómenos Naturales.

(Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SHCP).

municipios de alta y muy alta marginación. La mayor proporción de la población (55.4%) está expuesta a un grado bajo y un 13.4% a un grado medio.

ANÁLISIS DE RIESGO

El riesgo de desastres naturales, es decir, la probabilidad de experimentar pérdidas a partir de un desastre es generado por una parte en función del tipo de amenaza natural en cuestión, que resultan ser sismo, inundación o ciclón, en nuestro caso (amenazas); y por otra parte, las características estructurales de las viviendas y activos (vulnerabilidad) que se encuentran expuestos a dicha amenaza, hospitales, escuelas, infraestructura hidráulica, puentes y carreteras, en este análisis. Estos elementos junto con las estrategias existentes a nivel privado y público para reducir dicho riesgo, así como para atenuar los posibles impactos negativos ocasionados por las pérdidas y daños a los activos y medios de sustento de las familias.

Vulnerabilidad

En el caso de los activos físicos, la vulnerabilidad se define como la relación entre la intensidad de la amenaza y el nivel de daño en una estructura. El potencial de daños (o en otras palabras, la pérdida esperada en relación con el valor del activo) ocasionados por una amenaza, está directamente relacionado con sus parámetros (intensidad y frecuencia del evento), pero también con las características del activo afectado.

Para capturar la relación entre la intensidad de la amenaza y el nivel de daño en términos ingenieriles, se construyen diversas curvas de vulnerabilidad como lo muestra la *Figura 9* para el caso de la vivienda. Es plausible que tras un fenómeno natural de intensidad similar a otros anteriores, la magnitud de los daños puede ser muy distinta. Así, los activos suelen sufrir daños

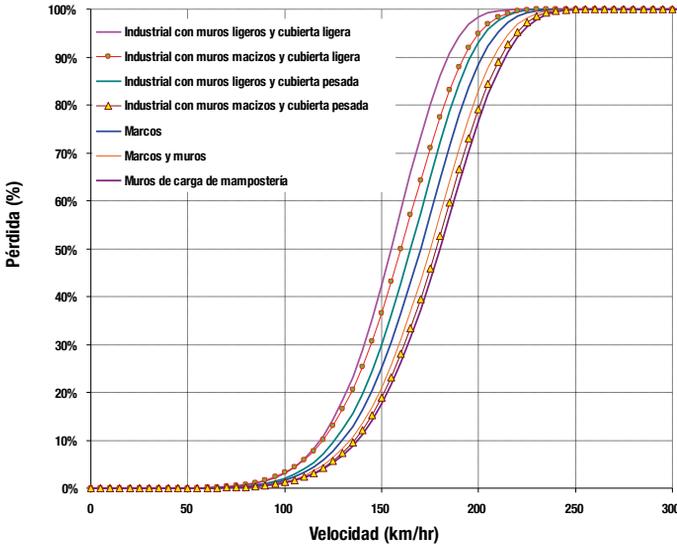


Figura 9. Funciones de vulnerabilidad para diferentes sistemas estructurales para la amenaza de viento.
(Fuente: Instituto de Ingeniería de la UNAM).

de diverso grado, en función del tipo de construcción, su edad o su altura. *El Cuadro 1* ejemplifica esta situación para el caso de la vivienda.

ESTIMACIÓN DEL RIESGO

Una vez que se tienen las curvas de vulnerabilidad se puede proceder a la estimación del riesgo de desastres, el cual generalmente se realiza a través de modelos que estiman la probabilidad de que se manifiesten pérdidas catastróficas a partir de una consideración sobre las características de la amenaza en cuestión y los activos expuestos (*Ver Figura 9*).

Para tal efecto (por ejemplo, cuantificar el riesgo), es necesario considerar todos los posibles escenarios de los fenómenos naturales bajo estudio a fin de obtener una Curva de Exceso de Pérdidas (CEP) que relacione el nivel de daño en la infraestruc-

El sector vivienda de la población marginada es uno de los sectores más dañados por la ocurrencia de fenómenos naturales por contar con viviendas construidas con materiales débiles y mampostería simple. Dichas estructuras son sumamente vulnerables en virtud de que no cuentan con materiales de resistencia, ni estructuración adecuada para soportar este tipo de eventos. Es importante mencionar que adicionalmente al daño a la infraestructura de vivienda, el impacto social generado puede ser enorme debido a la cantidad de población que puede quedar desguarnecida.



(Fotos de los autores).

Las fallas estructurales pueden ser consideradas como totales o parciales. Las fallas totales producen el colapso completo o casi completo de la estructura en forma abrupta debido a que las fuerzas que actúan sobre ella rebasan su resistencia. Las fallas parciales se presentan cuando partes específicas de la estructura son separadas debido a que la resistencia del anclaje a la misma fue rebasada por las fuerzas que actuaban sobre dicha parte. Uno de los mecanismos de falla más comunes se da en la falla de las cimentaciones de casas o casetas prefabricadas móviles. Dada la conciencia de su temporalidad, las cimentaciones son simplistas y se encuentran diseñadas tan solo para soportar su peso propio; en ocasiones se encuentran apoyadas en el suelo, sin ningún tipo de empotramiento. Las fuerzas del viento sobre la estructura, que son dramáticamente distintas a la del peso propio, hacen que estas edificaciones se volteen o sean arrastradas con suma facilidad.

Para la estimación de riesgo, se utilizó la Pérdida Promedio Anual la cual representa el monto que deberá de cobrarse durante un determinado periodo de tiempo para poder pagar todos los daños ocasionados por las amenazas que en ese lapso de tiempo se presentarán.

Para ejemplificar lo anterior supongamos que un hospital cuenta con un valor físico (o de reposición) de mil pesos y en el transcurso de 100 años ocurren eventos con diferentes intensidades que ocasionan ciertos daños al activo considerado. Por ejemplo, suponemos que en el año 3 ocurre un evento con pérdida igual a \$5 pesos y en el año 99 ocurre un evento mayor con pérdidas de \$10 pesos, lo cual acumularía \$15 pesos daños totales. Para estar en condiciones de afrontar este monto se debería de cobrar de manera anual (\$0.15 pesos durante 100 años).

Sistemas Estructurales de Viviendas en Pobreza

Cuadro 1. Vulnerabilidad en la Vivienda.
(Fuente: Instituto de Ingeniería de la UNAM).

tura y la frecuencia con que puede darse el evento que la afecte. Para ello, primero debe obtenerse el promedio de la pérdida que se puede experimentar anualmente (PPA) para cada tipo de activo y amenaza considerados.

ACUMULACIONES DE RIESGO A NIVEL MUNICIPAL

La pérdida promedio anual de activos (PPA) cuantifica qué tan expuesto se encuentra el portafolio al riesgo catastrófico en una zona geográfica definida (municipios en nuestro caso). A partir de ella se construyó un indicador de riesgo diferenciado por riesgos geológicos (sismo) e hidrometeorológicos (viento, marea de tormenta e inundación) a nivel municipal basado en la proporción de la PPA de las viviendas y activos respecto a su valor físico (reposición) total correspondiente (VF). El *Cuadro 2* ejemplifica la obtención del riesgo para el caso hipotético de un hospital.

El resultado final del presente ejercicio fue la obtención de puntajes para los 2 mil 456 municipios del país de riesgo sísmico, ciclónico y de inundación para cinco tipos de activos: vivienda en pobreza, escuelas, hospitales, infraestructura hidráulica, carreteras y puentes federales.

El resultado final del presente ejercicio fue la obtención de puntajes para los 2 mil 456 municipios del país de riesgo sísmico, ciclónico y de inundación para cinco tipos de activos: vivienda en pobreza, escuelas, hospitales, infraestructura hidráulica, carreteras y puentes federales.

RELACIÓN ENTRE POBREZA Y RIESGO

Como se indicó en la introducción de este reporte, la pobreza puede encontrarse correlacionada con (a) una mayor exposición de personas y activos en comunidades bajo esa condición a amena-

zas naturales, y (b) una mayor susceptibilidad por parte de dichos hogares y activos a sufrir daños y pérdidas proporcionalmente mayores que el resto de la población a raíz de estos eventos.

El inciso (a) se refiera a factores de localización en áreas rurales y urbanas a través de los cuales la población marginada es generalmente desplazada o suelen asentarse en áreas marginales con mayor propensión a sufrir impactos derivados de este tipo de contingencias (laderas o barrancas, barrios con malos servicios de drenaje, etc.). El inciso (b) hace alusión al hecho de que la población marginada es uno de los sectores más dañados por la ocurrencia de fenómenos naturales por contar con viviendas de materiales débiles y mampostería simple. Dichas estructuras son sumamente vulnerables en virtud de que no cuentan con materiales de resistencia, ni estructuración adecuada para soportar este tipo de eventos, así como mantenimiento de infraestructura.

Ahora bien, un reto importante en el análisis del binomio riesgo de desastres-pobreza es la existencia de una doble causalidad: La pobreza puede aumentar la probabilidad de ocurrencia de eventos endógenos tales como los incendios, desplomes de viviendas, etc. y puede afectar la magnitud del impacto de eventos exógenos como un terremoto, una tormenta, etc. Al mismo tiempo, la ocurrencia de un evento endógeno o exógeno disminuiría el bienestar de dicha población y esto se verá reflejado en su condición de pobreza. Por ello, crear un análisis contrafactual es indispensable para poder identificar impactos en uno u otro sentido. Dicho contrafactual permitiría establecer, por ejemplo, si la ocurrencia de un evento exógeno, como un terremoto es más proclive y si el impacto de su magnitud es mayor en una zona pobre en comparación con una zona no pobre, cuando ambas zonas son observacionalmente equivalentes en el resto de sus características.

La creación de un análisis contrafactual de esta naturaleza es muy demandante en términos de información. Por lo tanto, no constituye el propósito del presente análisis. No obstante,

un punto de partida para analizar el binomio riesgo de desastres-pobreza puede ser el cruce de información sobre la población y municipios que presentan niveles elevados de riesgo en relación con su grado de marginación o pobreza. Asimismo, se puede explorar la correlación existente entre ambas características a nivel municipal a partir de información transversal, sin pretensiones de establecer una causalidad. Como se ha venido enfatizando a lo largo del documento, este análisis es posible gracias a la existencia de información relacionada con indicadores contemporáneos de riesgo y pobreza a nivel municipal.

La *Tabla 7* muestra que el 58% (473) de los municipios con un grado de riesgo sísmico elevado para todo el portafolio de activos son municipios de alta y muy alta marginación, de los cuales destacan los Estados de Oaxaca, Chiapas y Guerrero, que concentran el 87.9% de los municipios en esta condición. En particular, 18 de los 20 municipios con mayor riesgo sísmico en el país se encuentran localizados en el Estado de Oaxaca.

Algo similar ocurre para el caso de municipios expuestos a riesgos hidro-meteorológicos, donde encontramos que el 51% de los municipios con un grado de riesgo alto son municipios de alta y muy alta marginación, de los cuales destacan los Estados de Oaxaca, Veracruz y Guerrero, que concentran el 73% de los municipios en esta condición. Al igual que en el caso sísmico, existirán zonas donde la exposición al riesgo es más crítica, como, por ejemplo, los estados de la Península de Yucatán, Colima, Tabasco y Sinaloa en los que más del 80% de sus municipios presentan niveles altos de riesgo de origen hidro-meteorológico.

Un total de 368 municipios (15% del total nacional) se encuentran expuestos de manera simultánea a riesgo elevados sísmico e hidro-meteorológico, de los cuales 266 presentan un grado de marginación alto y muy alto. Estos municipios se encuentran distribuidos en los estados de Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Puebla y Veracruz. La población que reside en estos 266 municipios asciende a 2.6 millones de personas, es de-

Grado de Riesgo Sísmico	Municipios	Grado de Marginación				
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Absolutos	2,456	441	408	944	401	262
Alto	819	279	194	255	53	38
Medio	818	110	138	332	147	91
Bajo	819	52	76	357	201	133
Porcentaje Total	100.0%	18.0%	16.6%	38.4%	16.3%	10.7%
Alto	33.3%	11.4%	7.9%	10.4%	2.2%	1.5%
Medio	33.3%	4.5%	5.6%	13.5%	6.0%	3.7%
Bajo	33.3%	2.1%	3.1%	14.5%	8.2%	5.4%
Porcentaje por Columna	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Alto	33.3%	63.3%	47.5%	27.0%	13.2%	14.5%
Medio	33.3%	24.9%	33.8%	35.2%	36.7%	34.7%
Bajo	33.3%	11.8%	18.6%	37.8%	50.1%	50.8%

Tabla 7. Exposición de los Municipios a Riesgo Sísmico por Grado de Marginación.

(Fuente: Elaboración Propia con datos de CONAPO y de la SHCP).

cir el 2.4% de la población total.

Si el análisis lo realizamos en términos de población expuesta, encontramos que 19.7 millones de personas se encuentran expuestas a un riesgo elevado de sismo, lo que representa el 17.5% de la población total. La mayor proporción de la población a nivel nacional (42.9%) se halla medianamente expuesta y casi el 40% está expuesta a un grado bajo. Sin embargo, el 24% de la población expuesta en grado elevado reside en municipios de alta y muy alta marginación.

Por otro lado, como lo indica la *Tabla 8*, casi la tercera parte de la población nacional (35.2 millones) se ubican en municipios que presentan un riesgo hidro-meteorológico elevado (1.8 veces más que las personas bajo alto riesgo sísmico), y el 15% de esta población reside en municipios de alta y muy alta marginación.

Finalmente, analizamos la información de riesgo de los 400 municipios incluidos en la Cruzada Nacional contra el Hambre del Gobierno Federal. Dicho programa busca garantizar la seguridad alimentaria y la nutrición de los 7.4 millones de mexicanos que hoy viven en condición de pobreza extrema, a través de

algunas acciones estratégicas: (1) Proteger el poder adquisitivo y el ingreso, (2) Mejorar la disponibilidad, el acceso físico a los alimentos y la producción rural, (3) Elevar el acceso a alimentos en localidades estratégicas a través de la comercialización y fortalecimiento de las redes de abasto populares y (4) Fomentar acciones de apoyo a la producción en zonas que sufren de poca disponibilidad de alimentos.

Los resultados arrojados por este análisis resultan interesantes, ya que casi el 70% de los municipios que participan en la Cruzada son de alta y muy alta marginación, de los cuales el 66% presentan un nivel elevado de riesgo sísmico y el 55% un nivel elevado de riesgo hidro-meteorológico (Ver *Tabla 9*).

Si bien los datos presentados en esta sección permiten suponer que existe cierta asociación positiva entre el grado de riesgo al que se encuentran sujetos los municipios y sus condiciones de pobreza, es importante corroborarlo estadísticamente. A conti-

Grado de Riesgo Hidrometeorológico	Población	Grado de Marginación				
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Absolutos	112,336,538	5,535,321	5,989,568	21,225,659	16,356,933	63,229,057
Alto	35,230,490	2,741,856	2,290,757	7,044,433	5,446,656	17,706,788
Medio	44,644,249	2,190,856	2,661,912	5,831,864	5,356,949	28,602,668
Bajo	32,461,799	602,609	1,036,899	8,349,362	5,553,328	16,919,601
Porcentaje Total	100.0%	4.9%	5.3%	18.9%	14.6%	56.3%
Alto	31.4%	2.4%	2.0%	6.3%	4.8%	15.8%
Medio	39.7%	2.0%	2.4%	5.2%	4.8%	25.5%
Bajo	28.9%	0.5%	0.9%	7.4%	4.9%	15.1%
Porcentaje por Columna	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Alto	31.4%	49.5%	38.2%	33.2%	33.3%	28.0%
Medio	39.7%	39.6%	44.4%	27.5%	32.8%	45.2%
Bajo	28.9%	10.9%	17.3%	39.3%	34.0%	26.8%
Porcentaje por Renglón	100%	5%	5%	19%	15%	56%
Alto	100%	8%	7%	20%	15%	50%
Medio	100%	5%	6%	13%	12%	64%
Bajo	100%	2%	3%	26%	17%	52%

Tabla 8. Exposición de la Población a Riesgo Hidro-meteorológico por Grado de Marginación.

(Fuente: Elaboración Propia con datos de CONAPO y de la SHCP).

nuación, se presentan los principales resultados al correlacionar (por medio de la medida de correlación de Spearman; véase Anexo 4) el nivel de riesgo de desastre al que se encuentran sujetos los distintos tipos de activos considerados en el análisis con distintos indicadores de privación, a decir, el índice de marginación, el índice de desarrollo humano y los niveles de pobreza por ingresos, con lo que se obtienen los resultados mostrados en la *Tabla 10*.

Como se puede apreciar, existe una asociación positiva entre el grado de privación del municipio y el nivel de riesgo de desastre al que se encuentra sujeto, como se había planteado en el apartado 1.3.⁸ Las correlaciones oscilan entre 0.17 y 0.47, siendo las más altas aquellas para el caso de la vivienda y el portafolio total de activos (hospitales, escuelas, infraestructura hidráulica, carreteras, puentes y viviendas en pobreza).

Cabe resaltar el caso de la vivienda pues lo que este ejercicio indica es que los hogares pobres tienen una mayor susceptibilidad a sufrir daños y pérdidas proporcionalmente mayores en su patrimonio a raíz de una contingencia natural. En otras palabras, la ocurrencia de desastres en hogares pobres conlleva pérdidas proporcionalmente mayores para sus viviendas que para las del resto de la población, esto quizás debido a las características estructurales de dichas viviendas que las hacen más vulnerables a eventos catastróficos.⁹

8 La asociación entre riesgo y el Índice de Desarrollo Humano (IDH) es inversa por la forma en que se define el IDH: Mayores puntajes indican mayores niveles de Desarrollo Humano.

9 Cabe señalar que estos hallazgos concuerdan con el Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres 2009 de las Naciones Unidas, denominado “Riesgo y pobreza en un clima cambiante”, en donde se informa que los municipios con la cifra más alta de informes de pérdidas muestran también los más altos porcentajes de población con niveles altos o muy altos de marginalidad, según el índice de marginalidad municipal elaborado por el Consejo Nacional de Población. En los municipios con niveles altos o muy altos de marginalidad hubo una alta proporción de viviendas dañadas y destruidas. En un tercio de estos municipios, entre el 10 y el 25% de las viviendas quedaron dañadas o destruidas, mientras que en otro tercio esta proporción fue superior a un 25%. En más del 20% la proporción de viviendas afectadas

Estado	Municipios	Riesgo Sísmico		
		Alto	Medio	Bajo
Chiapas	46	16	30	
Chihuahua	3			3
Durango	1			1
Guerrero	39	29	10	
Hidalgo	4		2	2
Jalisco	1			1
México	7		7	
Michoacán	1		1	
Nayarit	1		1	
Oaxaca	130	124	6	
Puebla	8	3	4	1
San Luis Potr	6			6
Veracruz	23	7	15	1
Yucatan	1			1
Total	271	179	76	16

Estado	Municipios	Riesgo Hidrometeorológico		
		Alto	Medio	Bajo
Chiapas	46	1	33	12
Chihuahua	3	1	1	1
Durango	1		1	
Guerrero	39	30	5	4
Hidalgo	4	4		
Jalisco	1		1	
México	7		3	4
Michoacán	1	1		
Nayarit	1	1		
Oaxaca	130	91	29	10
Puebla	8	1	5	2
San Luis Potr	6	5	1	
Veracruz	23	14	9	
Yucatan	1	1		
Total	271	150	88	33

Tabla 9. Coincidencias de la estratificación del riesgo con los municipios de Cruzada Nacional contra el Hambre del Gobierno Federal.

(Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SHCP y el Gobierno Federal).

Indicadores de Riesgo	Indicadores de Privación					
	Marginación	Desarrollo Humano	Pobreza Alimentaria	Pobreza Capacidades	Pobreza Patrimonial	FGT2
Sismo en Vivienda	0.464	-0.367	0.478	0.477	0.472	0.379
Sismo en Portafolio Público	0.385	-0.298	0.429	0.431	0.432	0.356
Sismo en Portafolio	0.434	-0.333	0.468	0.469	0.467	0.380
Hidro en Vivienda	0.470	-0.383	0.414	0.411	0.400	0.415
Hidro en Portafolio Público	0.175	-0.105	0.156	0.154	0.147	0.165
Hidro en Portafolio	0.324	-0.238	0.295	0.294	0.287	0.288
Sismo e Hidro en Portafolio	0.450	-0.328	0.472	0.473	0.472	0.385

Tabla 10. Correlación entre Indicadores de Riesgo y Privación.

Notas: Riesgo Hidro incluye el riesgo generado por ciclones e inundaciones. Portafolio Público incluye escuelas, infraestructura hidráulica, hospitales y carreteras federales. FGT2 es un indicador de pobreza que toma en cuenta su intensidad, al igual que la desigualdad existente en los ingresos de los pobres.

(Fuentes: Cálculos de los autores. Índices de Marginación [CONAPO], Desarrollo Humano y FGT2 [PNUD, Oficina de Investigación sobre Desarrollo Humano en México], y Pobrezas Alimentaria, de Capacidades y Patrimonial [CONEVAL]).

CARACTERÍSTICAS DE LOS MUNICIPIOS CON NIVELES ELEVADOS DE RIESGO

En esta sección se presenta el perfil de los municipios con mayores niveles de riesgo de desastre sísmicos e hidro-meteorológicos. El conjunto de variables que se emplean para caracterizarlos se dividen en tres grupos. En el primero se agrupan algunos indicadores que permiten describir a los hogares que habitan en ellos y sus miembros, en especial al jefe del hogar. Para trazar una imagen de los rasgos propios de las viviendas y su equipamiento se emplean dos variables: porcentaje de viviendas con piso de tierra y la disponibilidad de espacio en la vivienda para dormir reflejada en las condiciones de hacinamiento.

También se presenta evidencia sobre el acceso que tienen los

superó el 50%. En cambio, la proporción de viviendas afectadas en municipios con niveles de marginalidad bajos o muy bajos fue de tan solo un 8%.

hogares residentes en el municipio a servicios de salud mediante el Seguro Popular y a servicios de salud públicos en general. También se incluyó una variable que perfila las características de los jefes de hogar a través de su sexo, dado que los hogares de jefatura femenina generalmente son considerados más vulnerables a los choques externos. Otro conjunto de variables, dentro de este mismo grupo, describen la situación de pobreza que caracteriza a los hogares que se encuentran en dichos municipios. Dichas variables asumen valores distintos según el concepto de pobreza empleado. Para cerrar este primer bloque se muestra el porcentaje de población que habita en localidades rurales y urbanas al interior del municipio.

En el segundo grupo de variables, se incluyen aquellas que ayudan a identificar las estructuras institucionales y los programas existentes para gestionar dicho riesgo y sus potenciales consecuencias. Para trazar el panorama institucional se emplean tres variables básicas: el porcentaje de municipios que reportaron contar con programas de protección civil y programas que atienden la problemática de los desastres naturales, así como mapas de amenazas naturales. Otro conjunto de variables en este segundo bloque lo conforman algunos de los principales programas federales que existen en México para gestionar el riesgo de desastres. Destacan el Programa de Empleo Temporal Inmediato de la Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol), el Programa de Atención a Contingencias Climatológicas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) y el Fondo de Desastres Naturales (Fonden).

Finalmente, un tercer grupo de variables retratan la incidencia de algunos problemas que aquejan al municipio y que pueden tener repercusiones directas en su capacidad para amortiguar los efectos de un potencial desastre.

La información desplegada se puede describir desde varias ópticas; sin embargo, se mostrarán únicamente los resultados más importantes y generales que surgen de la comparación entre los

municipios con mayores y menores niveles de riesgo para las dos grandes categorizaciones de fenómenos naturales que hemos venido empleando, es decir, eventos sismológicos e hidro-meteorológicos, que agrupan inundaciones y ciclones tropicales. En todos los casos el riesgo de desastres considerados es para el portafolio total de activos que hemos estudiado, es decir, viviendas en pobreza, escuelas, hospitales, carreteras y puentes federales e infraestructura hidráulica.

Sin importar ante cuál tipo de eventos se mida el riesgo, las cifras promedio muestran en la *Tabla 11* que la población indígena, el número de personas sin derechohabencia a servicios de salud y que habita en localidades rurales, son sustancialmente mayores en los municipios con niveles elevados de riesgo. Nótese, además, que para las tres líneas de pobreza, los hogares en pobreza tienen una presencia más acentuada entre los municipios con elevados niveles de riesgo. Esto queda ratificado en una mayor existencia de viviendas con piso de tierra y que presentan niveles elevados de hacinamiento en los municipios de alto riesgo de desastres, aunque en este último caso, las brechas son mucho menores.

Por el contrario, la proporción de hogares encabezados por mujeres, generalmente caracterizados como más vulnerables, también es mayor en los municipios de mayor riesgo que entre los de menor riesgo. Sin embargo, los contrastes entre municipios de niveles disimilares de riesgo son menos acentuados. Además, la población en municipios de bajo riesgo es mayoritariamente urbana. Dada la mayor concentración de población en áreas urbanas resulta natural que también el número de personas residiendo en municipios de bajo riesgo sea mucho mayor que en aquellos de alto riesgo.

En cuanto a las herramientas y mecanismos institucionales para gestionar el riesgo al interior de los municipios se observan dos patrones claramente diferenciados, sea cual sea el riesgo considerado: En primer lugar, parece existir una mayor presencia de programas e instrumentos para gestionar el riesgo de desastres

en aquellos municipios que presentan bajos niveles de riesgo. En 2009, por ejemplo, menos de la mitad de los municipios con niveles elevados de riesgo total y sísmico contaban con programas de protección civil para gestionar dicho riesgo, y solo una tercera parte reporto contar con mapas de amenazas.

En segundo lugar, los recursos públicos de programas federales diseñados para atender contingencias naturales son claramente canalizados en mayor proporción a los municipios con mayores niveles de riesgo. Así por ejemplo, la proporción de recursos destinados a municipios por concepto de desastres entre 2002 y 2009 fue casi tres veces mayor en los municipios de alto riesgo hidro-meteorológico que en aquellos de bajo riesgo.

Finalmente, las brechas entre municipios con niveles variados de riesgo son prácticamente inexistentes en torno a algunos de los problemas que usualmente pueden conducir a una menor capacidad para gestionar el riesgo de desastres de manera exitosa. Tal es el caso para problemas como la tala clandestina, los incendios forestales y el crecimiento de la mancha urbana. La única excepción notable gira en torno al riesgo de deforestación: 7 de cada 10 municipios con alto riesgo de desastres presentan un riesgo elevado de deforestación a su vez. Esta proporción se reduce a menos del 50% de los municipios para aquellos que presentan un bajo riesgo de desastres.

En suma, los municipios con mayores niveles de riesgo son mayoritariamente rurales, con importante presencia indígena, carencias de acceso a servicios de salud y servicios básicos, alta probabilidad de deforestación y otros problemas ambientales, y ambivalencia en la disponibilidad de instrumentos para gestionar riesgos (buena incidencia de recursos, baja presencia de unidades y programas de protección civil, mapas de amenaza).

CONCLUSIONES

México es indudablemente un país amenazado por contingencias naturales: Entre 25 y 30 por ciento de sus municipios presentan un grado elevado de amenaza ante sismos, ciclones e inundaciones. La situación geográfica de México implica que el país constantemente se vea afectado por la ocurrencia de desastres naturales, sobre todo de tipo meteorológico como los ciclones y las inundaciones. Sin embargo, a pesar de que se presentan con menor frecuencia, los efectos asociados a sismos suelen ser más devastadores tanto en pérdidas económicas como en vidas humanas, dependiendo desde luego de la magnitud con que se presenten.

Por otro lado, a pesar de que no existe un significado único del término pobreza, es indudable que ésta requiere ser considerada como un asunto de atención prioritaria en México, pues incluso las cifras más conservadoras revelan la persistencia del problema en magnitudes preocupantes en nuestro país. La ocurrencia de

Características de los hogares en municipio	Unidad	Riesgo Total		Riesgo Sísmico		Riesgo Hidro		Riesgo en Vivienda	
		Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Población total	#	17,885	47,092	17,388	49,338	31,800	41,351	15,391	73,202
Población derechohabiente por seguro popular	%	4.9	13.9	4.3	14.9	11.1	11.4	4.8	12.1
Población en hogares indígenas	%	39.6	12.6	39.1	18.5	41.6	9.1	38.6	4.5
Población en hogares con jefatura femenina	%	23.4	19.9	23.6	19.1	21.0	21.5	23.5	20.6
Población sin derechohabencia a servicios de salud	%	81.7	56.9	82.7	55.2	71.3	63.6	82.0	57.6
Viviendas habitadas con piso de tierra	%	39.1	10.9	39.4	13.8	35.0	14.6	39.1	10.0
Viviendas con algún nivel de hacinamiento	%	56.2	43.6	55.9	44.9	55.8	44.7	55.8	42.3
Población en localidades urbanas	%	6.1	17.3	5.6	16.6	9.9	14.7	5.2	22.1
Población en localidades rurales	%	74.6	55.2	76.3	57.0	69.1	56.6	75.8	50.5
Hogares en pobreza alimentaria	%	42.6	23.2	42.8	24.7	40.6	25.2	42.5	21.4
Hogares en pobreza de capacidades	%	51.5	30.7	51.7	32.3	49.2	33.0	51.4	28.8
Hogares en pobreza de patrimonio	%	72.2	53.4	72.5	54.5	70.0	55.5	72.2	51.4
Características institucionales del municipio									
Existe reglamento de zonificación y uso de suelos	%	90.5	69.8	91.8	71.9	80.5	73.0	90.3	67.6
Programas en municipio cubren tema de desastres	%	12.3	21.8	11.4	25.1	21.2	16.4	12.6	20.2
Existe programa de protección civil	%	46.4	75.2	43.3	77.2	61.0	64.1	43.7	73.7
Cuenta el municipio con mapa de amenazas	%	33.8	65.8	32.0	66.9	51.4	55.2	32.8	66.2
Apoyos del PET entre 2002 y 2009	\$	600,539	408,368	573,425	598,284	800,409	131,090	648,487	154,310
Apoyos directos del PACC entre 2002 y 2009	\$	1,806,318	1,395,316	1,838,364	1,427,882	1,321,465	1,443,161	1,903,817	1,201,863
Apoyos totales (PET+PACC apoyos directos 2002-09)	\$	1,513,127	956,395	1,430,398	1,211,289	1,547,339	566,999	1,584,730	534,609
Problemáticas ambientales del municipio									
Tala clandestina - principal problemática ambiental	%	25.6	21.6	24.9	20.9	21.7	22.3	24.2	22.4
Incendios forestales - principal problemática ambiental	%	23.2	26.3	23.9	26.7	24.9	25.6	23.4	24.0
Crecimiento de mancha urbana - principal problemática	%	4.9	4.3	5.0	3.7	3.5	5.2	5.4	5.3
Riesgo elevado de deforestación en municipio	%	7.2	46.1	72.2	49.5	74.5	45.9	72.8	34.9

Nota: Todos los casos corresponden al riesgo del portafolio total (viviendas en pobreza, escuelas, hospitales y carreteras y puentes federales), excepto en donde se indica el activo en particular.

Tabla 11. Características municipales por condiciones de riesgo.
(Fuente: Elaboración propia).

desastres en contextos de pobreza puede resultar especialmente dañina, sobre todo porque las personas más pobres son las que sufren las mayores pérdidas por desastres, suelen tener una menor capacidad de recuperarse, y generalmente no tienen acceso a seguros, créditos o mecanismos públicos de protección social. Por si esto no bastara, la pobreza a su vez puede contribuir a abonar las condiciones para que contingencias naturales terminen transformándose en desastres, ya sea por la ubicación de los hogares o la falta de medios para afrontar una situación de esta naturaleza.

A la luz de estas preocupaciones, el presente estudio intentó proporcionar un mejor conocimiento, a través de un diagnóstico espacial, de las principales amenazas de desastres que se ciernen sobre el país, así como de algunos de los activos públicos primordiales (de carácter federal) y de la población, con un énfasis en los grupos más desfavorecidos, que se encuentran sujetos a tales amenazas y los medios o condiciones existentes para atenuar sus posibles impactos adversos.

Los principales hallazgos y resultados generados son los siguientes:

- Los hogares pobres tienen una mayor susceptibilidad a sufrir daños y pérdidas en su patrimonio a raíz de una contingencia natural proporcionalmente mayores al resto de la población.
- La gran mayoría de los municipios más pobres del país presentan niveles elevados de riesgo, y a la vez concentran bajos niveles de infraestructura crítica para atender emergencias, tanto en valor como en cantidad (hospitales y acceso carretero). Casi el 70% de los municipios que participan en la Cruzada son de alta y muy alta marginación, de los cuales el 66% presentan un nivel elevado de riesgo sísmico y el 55% un nivel elevado de riesgo hidrometeorológico.

- Los municipios con mayores niveles de riesgo son mayoritariamente rurales, con importante presencia indígena, carencias de acceso a servicios de salud y servicios básicos, alta probabilidad de deforestación y otros problemas ambientales, y ambivalencia en la disponibilidad de instrumentos para gestionar riesgos, reflejada en una buena incidencia de recursos públicos a través de algunos de los programas destinados para estos fines, pero baja presencia de programas de protección civil y mapas de amenaza.

Conocer la incidencia y perfil del riesgo de desastres en nuestro país constituye un primer paso para reexaminar si la población más necesitada ha sido tomada en cuenta apropiadamente en el planteamiento de las políticas económicas y sociales instrumentadas hasta ahora. Ello permitirá, por ejemplo, canalizar de manera más acertada los esfuerzos de programas como el Programa de Prevención de Riesgos en Asentamientos Humanos coordinado por la Dirección General de Desarrollo Territorial de la Secretaría de Desarrollo Social.

Dado que muchos de los municipios con un alto grado simultáneo de riesgo sísmico e hidrometeorológico, presentan a la vez condiciones de alta y muy alta marginación, los esfuerzos del Gobierno Federal debieran centrarse en establecer estrategias para reducir y/o mitigar los riesgos de la población que habita en dichos municipios, y evitar reproducir su condición de pobreza de manera perpetua.

ANEXO 1. GLOSARIO

Amenaza: Es un fenómeno o proceso natural (inundaciones, tormentas, sequías, sismos) con efectos adversos para la vida, miembros o propiedades. Las amenazas se diferencian en severidad, escala, y frecuencia y generalmente se clasifican por la causa que los originan (como hidro-meteorológicos o geológicos).

Desastre: Es el efecto que las amenazas tienen sobre la sociedad como resultado de la combinación de exposición y vulnerabilidad. Así que en estricto sentido son los desastres, no las amenazas los que provocan las muertes y los daños.

Exposición: Se refiere a las personas y activos (hospitales, escuelas, carreteras y puentes y viviendas en situación de pobreza patrimonial) propensos a ser afectados por la amenaza.

Riesgo de desastre es generalmente calculado como una función multiplicativa de la amenaza y vulnerabilidad. Es multiplicativa porque para que exista el riesgo de desastre sus varios componentes tienen que estar presentes.

Vulnerabilidad: Es una característica que tiene influencia sobre el daño: algunas comunidades absorben o se recuperan más pronto que otros por sus activos físicos (diseño de edificios y su fortaleza), capital social (estructura de la comunidad, fondos, redes familiares), y acceso político (habilidad para obtener ayuda del gobierno e incidir sobre las políticas y decisiones). Las medidas para reducir la vulnerabilidad incluyen la mitigación (que reduce la probabilidad de la amenaza, como al reforestar las pendientes para prevenir escurrimientos e inundaciones o reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para reducir la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos), prevención (medidas para reducir los daños, como bordos más altos para las inundaciones), prepararse con planes de evacuación y ayuda después de ocurrido el desastre.

Las principales características de los desastres son:

Frecuencia: La probabilidad de ocurrencia es baja y a menudo con periodos de retorno amplios. Asimismo la historia registrada de eventos pasados puede tener poca relación con los eventos futuros dado que la estimación basada en la historia supone que el riesgo se mantiene bajo las mismas condiciones, lo cual resulta

ser poco preciso debido a la alta volatilidad, la variabilidad climática y el surgimiento de nuevos factores que pueden agravar su ocurrencia; Intensidad: El impacto de estos eventos ocasiona normalmente daños en extensos territorios y afectan a múltiples activos los cuales pueden abarcar desde daños mínimos o parciales hasta pérdidas totales y la totalidad de daños puede alcanzar enormes montos que pueden llegar tener un impacto considerable en las finanzas públicas de un país.

Sismo: Se denomina sismo o terremoto a las sacudidas o movimientos bruscos del terreno producidos en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía en el interior de la Tierra o a la tectónica de placas. Esta energía se transmite a la superficie en forma de ondas sísmicas que se propagan en todas las direcciones. El punto en que se origina el terremoto se llama foco o hipocentro; este punto se puede situar a un máximo de unos 700 Km. hacia el interior terrestre. El epicentro es el punto de la superficie terrestre más próximo al foco del terremoto.

El terremoto es considerado como la fuerza de la naturaleza más destructiva, si bien no es el que acumula las mayores pérdidas económicas, posiblemente no hay otro fenómeno que tenga tantos efectos psicológicos en el mundo.

Ciclón Tropical: Término científico que se utiliza para definir una circulación meteorológica cerrada que se propaga sobre aguas tropicales. Este sistema de gran escala de baja presión ocurre en todo el mundo y su nombre varía según la región geográfica en el cual se desarrolla: en el Atlántico y en el nordeste del Pacífico son llamados como huracanes, en el noroeste del Pacífico como tifones y en el Pacífico Sur, como en el océano Indico, son conocidos simplemente como ciclones. El 75% de los ciclones tropicales se desarrollan en el hemisferio norte, donde normalmente los huracanes viajan de este a oeste, caso contrario sucede en el hemisferio sur, donde viajan de oeste a este.

En los primeros momentos de su formación, la circulación de la isobara cerrada se denomina depresión tropical. Si la velocidad sustentada del viento excede los 63 kilómetros por hora (km/h) el fenómeno se convierte en tormenta tropical, cuando excede los 119 km/h el sistema toma el nombre de ciclón tropical que se puede considerar la forma más severa de una tormenta tropical. La pérdida de energía del fenómeno ocurre normalmente cuando el ciclón tropical se mueve dentro de zonas costeras y se adentra en tierra.

Inundación: Las inundaciones pueden presentarse fundamentalmente por tres causas: (1) desbordamiento de ríos, (2) precipitaciones extraordinarias o (3) por falla de alguna estructura hidráulica de almacenamiento o control de avenidas. Cuando se tiene inundación por desbordamiento de ríos, se debe a la falta de capacidad hidráulica de los cauces, es decir, escurre un caudal mucho mayor que el que admite la sección hidráulica del río en cuestión, o el cauce presenta obstrucciones, tales como estrechamientos, puentes, e invasión de la zona federal, entre los más comunes. Por otro lado, cuando se presenta un evento de inundación por precipitación, se debe principalmente a los cambios de uso de suelo que ha venido sufriendo la cuenca, principalmente deforestación, y en las zonas urbanas a la falta de capacidad hidráulica del drenaje pluvial debido al crecimiento de la mancha urbana. Finalmente, cuando se presentan inundaciones por falla o rompimiento de alguna estructura hidráulica, ello puede deberse a errores en su diseño y construcción, fallas geológicas, daños por sismo o porque se rebasó la capacidad de diseño.

Valor Físico (VF). Se refiere al valor total de reposición o de reconstrucción del activo, este en un valor que fue estimado para todos los activos en función de la superficie construida.

Pérdida Promedio Anual (PPA). Representa el monto que debe cobrarse anualmente durante un tiempo muy grande para poder pagar todos los daños que en ese lapso pudieran presentarse.

Curva de Exceso de Pérdida (CEP). La CEP representa la función ente periodos de retorno y la pérdida esperada. Los valores de la curva son producidos al sumar todas las pérdidas que ocurren dentro de cada año simulado y ordenados de acuerdo a este nivel de pérdida individual.

ANEXO 2. FUENTES DE INFORMACIÓN Y VARIABLES UTILIZADAS

Para elaborar el presente diagnóstico y examinar las hipótesis de trabajo sugeridas, se requirió información en tres frentes: (i) amenazas naturales, con una identificación de su frecuencia, magnitud y alcance geográfico, en la medida de lo posible; (ii) población y activos a nivel municipal; y (iii) indicadores de bienestar, que –a grandes rasgos– serían determinados por la interacción de los dos primeros componentes, y que pueden ir desde tasas de pobreza hasta indicadores en materia de desarrollo humano y nutrición.

La mayor parte de la información para los componentes (ii) and (iii) se encuentra contenida o puede ser extraída de censos, bases administrativas y encuestas de hogares. Por ejemplo, los datos de pobreza utilizados son resultado de una metodología que combina información censal con encuestas de ingresos y gastos a nivel hogar. Ocasionalmente, la información sobre la incidencia, el impacto y las respuestas a los desastres naturales estará comprendida en bases administrativas e históricas de carácter público. Sin embargo, la mayor parte de información sobre amenazas provendrá de estaciones meteorológicas, tecnología satelital y sismológica. A continuación, se presentan una descripción de las principales variables utilizadas para este análisis en los tres rubros señalados.

ANEXO 3. TRATAMIENTO DE DATOS FALTANTES

La recopilación de información para los datos socioeconómicos fue obtenida de fuentes oficiales como CONAPO, CONEVAL y PNUD. Fue considerada consistente y de buena calidad para los fines planteados en este documento, por lo que no se hizo ninguna consideración respecto a la información fuente. Para el caso de la infraestructura pública y como consecuencia de la falta de información confiable respecto al inventario de infraestructura pública en el país se decidió utilizar la información recopilada en el proyecto “Diseño de los Mecanismos Financieros para la Protección del Patrimonio del Fideicomiso FONDEN contra los riesgos de Sismo, Inundaciones y Ciclón Tropical” (DMF) realizado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Si bien esta base de datos es de una buena calidad, se verificaron algunos datos con los cuales no se contaban y para los cuales se asumieron supuestos, entre los cuales se destaca:

- Valor de reconstrucción el cual fue inferido a partir de la superficie construida y de acuerdo con el tipo de bien, por ejemplo, para el caso de las unidades médicas se determinó en función del número de consultorios y las camas censables.
- Número de niveles fue estimado de acuerdo a la localización del bien y las características de operación, por ejemplo, en el caso de escuelas fue determinado por la ubicación, es decir, saber si la unidad escolar estaba en una zona rural o urbana y el nivel de educación (primaria, secundaria, etc.).
- Características estructurales las cuales en su mayoría fueron inferidas de la información de materiales en las tres principales variables de caracterización (muro, techo y piso) y con base en ellas fueron construidas sistemas estructurales tipo por cada tipo de bien.

Dimensión	Indicador	Definición	Construcción	Fuente
Educación		Porcentaje de población de 15 años o más analfabeta		
		Porcentaje de población de 15 años o más analfabeta o más sin prima censada		
Vivienda	Índice de Marginación	Porcentaje de ocupantes en viviendas particulares sin agua entubada	Índice: utiliza la técnica de Análisis de Componentes Principales, que es un método matemático que transforma un conjunto de variables (o indicadores) en uno nuevo	Consejo Nacional de Población (CONAPO), a partir de los resultados definitivos del II Censo de Población y Vivienda, el Consejo Nacional de Ocupación y Empleo (CNOE) correspondiente al cuarto trimestre del mismo año.
		Porcentaje de ocupantes en viviendas particulares sin drenaje		
		Porcentaje de ocupantes en viviendas particulares sin energía eléctrica		
		Porcentaje de ocupantes en viviendas particulares con piso de tierra		
		Porcentaje de ocupantes en viviendas particulares con algún nivel de hacinamiento		
Ingresos por Trabajo		Porcentaje de ocupantes en viviendas particulares con ingresos de hasta dos salarios mínimos		

Dimensión	Indicador	Definición	Construcción	Fuente
Infraestructura	Unidades Médicas	13,762 unidades médicas las cuales tienen un valor aproximado de reconstrucción de aproximadamente 45.5 mil millones de pesos	En función del número de consultorios y camas censables	Secretaría de Salud
	Escuelas	190,612 escuelas de educación básica y 7,390 de nivel medio y superior las cuales tienen un valor aproximado de reconstrucción de aproximadamente 341.3 mil millones de pesos	Valor promedio por metro cuadrado construido	Secretaría de Educación Pública
	Vivienda	Debido a la carencia de información a nivel vivienda se caracterizaron aproximadamente a nivel de pesos Demográficas Básicas (AGEB'S) (Censos de Población y Vivienda) que conforman una porción del territorio nacional menor al municipio. De esta manera se obtuvieron 5 tipos de vivienda para las 17,530 AGEBS rurales y las 40,074 AGEBS urbanas, obteniéndose un valor de reconstrucción de aproximadamente 8959 mil millones de pesos.	Costo de viviendas de 24 m ² de acuerdo a las Reglas de Operación del FONDO de 2005	Secretaría de Desarrollo Social Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
	Carreteras	125 mil kilómetros de carreteras y puentes libres de peaje con un valor de reposición de aproximadamente 1.7 billones de pesos.	Valor promedio por kilómetro lineal de la Red Federal Pavimentada Libre de Peaje	Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Dimensión	Indicador	Definición	Construcción	Fuente
Ingreso Corriente Total	Pobreza Alimentaria	Incapacidad para obtener una canasta básica alimentaria, aun si se hiciera uso de todo el ingreso disponible en el hogar para comprar solo los bienes de dicha canasta.		Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), a partir de datos de la Encuesta Nacional de Estadística y Geografía (INEG) en particular la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) de 2005 y de los resultados de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH), 2005; así como del Banco de México
	Pobreza de capacidades	Insuficiencia del ingreso disponible para adquirir el valor de salud y en educación, aun dedicando el ingreso total de los hogares nada más para estos fines.		
	Pobreza de Patrimonio	Insuficiencia del ingreso disponible para adquirir la canasta alimentaria, así como para realizar los gastos necesarios en salud, vestimenta, transporte y educación, aunque el ingreso disponible de los hogares sea suficiente para la adquisición de estos bienes y servicios.	Proporción estandarizada de la cobertura de necesidades mínimas (basada en el índice de pobreza) transformado sobre línea de pobreza) transformado en variable dicotómica para señalar pobreza (=1).	
Consumo/ingreso	Incidencia de Pobreza (FGT0)	Incapacidad para obtener una canasta básica de bienes y servicios considerados necesarios para satisfacer un conjunto de necesidades básicas.	Módulo o proporción estandarizada de la cobertura de necesidades mínimas (valores entre 0-1)	Oficina sobre Investigación de Desarrollo Humano en México del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
	Profundidad de Pobreza (FGT1)	Brecha promedio que existe entre los ingresos de los hogares en condición de pobreza y la línea de pobreza.	Módulo o proporción estandarizada de la cobertura de necesidades mínimas (valores entre 0-1)	
Salud	Severidad de pobreza (FGT2)	Promoción de pobres extremos en cada área geográfica. Grado de desigualdad existente en materia de ingresos entre hogares pobres en un área geográfica.	Una vez que se cuentan con todas las variables de salud se calcula el promedio de salud, índice de salud (2) índice de educación y (3) índice de ingreso. El IDH es un promedio de los tres índices anteriores	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) basado en el informe municipal para el desarrollo humano de cada una de las adaptaciones a las variables que originalmente lo conforman
Educación	Índice de Desarrollo Humano	Tasa de asistencia escolar		
		Tasa de alfabetización		
Ingreso		Ingreso promedio por cápita anual en dólares (Paridad de Poder de Compra)		

Amenaza	Sismo	Acceleración máxima del suelo (en gals)	Para la modelación de la amenaza sísmica de un sitio se relacionó la intensidad de los movimientos sísmicos que se esperan en el lugar y la frecuencia con la que se suceden.	Instituto de Ingeniería de la UNAM
	Ciclón Tropical	Velocidad del viento (kms)	Para su modelación se estimaron las pérdidas asociadas a ciclones tropicales realizando perturbaciones de las trayectorias de los huracanes históricos	Instituto de Ingeniería de la UNAM
	Inundación	Tirante de inundación (metros)	La metodología para la estimación del peligro de inundación consistió en la evaluación de la capacidad de almacenamiento hidráulico y un análisis de inundación.	Instituto de Ingeniería de la UNAM

Tabla 12. Indicadores utilizados en el Análisis. (Fuente: Elaboración propia).

- Año de construcción para los datos faltantes se asignó el año 1985 debido a que después del sismo del 19 de septiembre de 1985 se realizaron estrictas modificaciones al reglamento de construcciones.

CONSISTENCIA Y CALIDAD DE INFORMACIÓN DE INFRAESTRUCTURA

Para la determinación de la consistencia en la información respecto a las hipótesis asumidas en la ausencia de información se realizó un ejercicio para la verificación de la base de datos respecto a las variables recopiladas como asumidas a través de la visita en campo para una muestra seleccionada.

Para la aplicación de este ejercicio se determinó como población objetivo aquellos municipios identificados como altamente expuestos a por lo menos uno de los tres riesgos considerados de acuerdo con los mapas de peligro mencionados elaborados en el proyecto DMF. Para el desarrollo del marco de muestreo se conformó por la base de datos de infraestructura sin considerar alguna característica particular al elegir de entre los activos, ya que al pertenecer a la población objetivo se consideraron de igual importancia.

De esta manera, se contempló un diseño bietápico. En la primera etapa, se seleccionó una muestra de conglomerados, en este caso, municipios (Unidades Primarias de Muestreo). En la segunda se eligió, para cada municipio, una muestra de activos (Unidades Secundarias de Muestreo). Aplicado este ejercicio se obtuvieron 200 visitas a diferentes activos del marco de muestreo representadas con una desviación estándar para el estimador de la proporción de 3%.

Los municipios muestreados representaron el 2.43% de la población objetivo y cubren las zonas del país altamente expuestas a alguno de los fenómenos considerados, abarcan los estados de Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas y Yucatán.

Para la toma de la muestra se adoptaron los siguientes dos criterios generales:

Ubicación Geográfica: Por medio de un GPS, se capturaron las coordenadas de latitud y longitud de los activos conforme a lo siguiente:

- Escuelas y Unidades Médicas: En la puerta de entrada principal del inmueble.
- Carreteras y Puentes: En el punto medio del tramo carretero o puente.
- Vivienda en Pobreza Patrimonial: Debido a que se utilizó el AGEB para representar espacialmente a la vivienda, se capturó la coordenada en el centroide de estas áreas y se verificó que el tipo de vivienda correspondiera con el nivel de pobreza registrado por SEDESOL.

Características Estructurales: Estas características fueron revisadas desde el exterior y se tomó fotografía de tres puntos principales: frente (revisión de material en muros y tipo de desplante), costados (verificación de material de muros) y ángulo superior (revisión de techos).

De las visitas realizadas se destacan los siguientes resultados:

i) La diferencia promedio entre las coordenadas obtenidas en campo y las registradas en la base de datos fue de casi 200 metros, lo que en promedio sugiere que los datos de localización de los activos son adecuados y; ii) Las características estructurales revisadas en campo comparadas con los registros de la base de datos presentan diferencias inferiores a 1%.

De esta manera se puede concluir que la información recopilada, así como los criterios adoptados permiten tener una base de datos de buena calidad debido a que en su mayoría se cuenta con un alto porcentaje de variables necesarias que permiten tener una adecuada precisión en la estimación del riesgo.

ANEXO 4. CORRELACIÓN ENTRE NIVELES DE POBREZA Y RIESGO

Suponiendo que la población del país se divide en k municipios y s_k es la proporción de población en cada grupo k th, cualquier medida de pobreza de la familia FGT puede dividirse en contribuciones por grupos de la siguiente manera:

$$FGT^\alpha = \sum_{k=1}^K s_k FGT^{\alpha,k} \quad (1)$$

donde FGT puede expresarse como pobreza total y K es el número total de municipios. Por lo tanto, la pobreza agregada en México se puede derivar como la suma de poblaciones ponderadas en pobreza en cada municipio k .

Una vez que los distintos componentes de la cadena riesgo-vulnerabilidad han sido obtenidos y analizados, se ejecutaron correlaciones del riesgo hidro-meteorológico y sísmico para el portafolio global de los cuatro tipos de activos considerados contra una serie de indicadores de bienestar (pobreza monetaria, desarrollo humano, marginación).

El análisis de los varios componentes del riesgo de desastres y pobreza indica correlaciones como se muestra abajo entre categorías de riesgo por tipo de amenaza y áreas de pobreza, a nivel de k municipios.

$$\Gamma_k = \diamond S_{l,z} p_{j,z}, \text{ where } k = 1, \dots, K, \text{ and } z = 1, \dots, Z.$$

$N \times N$

En donde Γ es la matriz de correlación con N número de indicadores de bienestar (pobreza, IDH, marginación) y los distintos puntajes de riesgo creados respecto a la probabilidad de experimentar pérdidas de desastres S dentro de la unidad geográfica de interés z ; y ρ es el coeficiente de correlación entre cada puntaje S y cada indicador de pobreza p_j para cada unidad k arrojando un total de $(N \times [N-1])/2$ pares únicos de correlaciones.

$$\diamond(S, p) = \frac{\sigma_{S,p}}{\sqrt{\sigma_S^2 \sigma_p^2}} \quad (3)$$

Con $\sigma_{s,p}$ denotando covarianza y σ_s, σ_p desviaciones estándar. Finalmente, uno puede comparar la posición de cada municipio con respecto a las medidas de pobreza p_j (u otros indicadores de bienestar) en cada municipio k contra los riesgos obtenidos a través de correlaciones-rango de Spearman.¹⁰ Esto requerirá ordenar los valores de S y p a lo largo de las sub-unidades z contenidas dentro de cada unidad geográfica de interés k para evaluar la fortaleza del vínculo entre los distintos indicadores. La correlación de Spearman es similar en espíritu a (3), solo que reemplaza los valores de pobreza y riesgo por valores de posición en el ranking global.

10 El coeficiente de correlación de Spearman, es una medida de la correlación entre dos variables aleatorias continuas, determinándose su medida de correlación al ordenar sus datos y determinar su concordancia.

BIBLIOGRAFÍA

- ANZALDO, C., PRADO, LÓPEZ, M. 2006. Índices de marginación, 2005. México: Consejo Nacional de Población.
- SANGHI, A., DE LA FUENTE, A., RAMACHANDRAN, S., TONIZZO, M., SAHIN S. 2010. Natural Hazards, Unnatural Disasters: The Economics of Effective Prevention. Banco Mundial-Naciones Unidas.
- BANCO MUNDIAL. 2009. "Climate Change Aspects of Agriculture". Mexico Country Note. Washington, DC.
- BITRÁN, D. 2001. Características del Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres ocurridos en México en el período 1980-1999. México: CENAPRED.
- CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES. 2006. Características e Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en la República Mexicana en el año 2005. México.
- _____, 2009. Características e Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en la República Mexicana en el año 2007. México.
- CONSEJO NACIONAL DE EVALUACIÓN DE LA POLÍTICA DE DESARROLLO SOCIAL. 2007. Los Mapas de Pobreza en México. México.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. 2009. Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres. Ginebra.
- PORTAL WEB DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN SOBRE EPIDEMIOLOGIA DE LOS DESASTRES, Universidad Católica de Lovaina. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). Disponible en: <http://www.emdat.be/>.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO. 2008. Índice de Desarrollo Humano Municipal en México 2000-2005. México.
- RODRÍGUEZ-OREGGIA, E., DE LA FUENTE, A., DE LA TORRE, R., MORENO H., RODRIGUEZ C. 2010. "The Impact of Natural Disasters on Human Development and Poverty at the Municipal Level in Mexico, 2002-05". Center for International Development Working Paper, no. 43. Harvard University.

VULNERABILIDAD DE LOS MUNICIPIOS AL CAMBIO CLIMÁTICO Y EVENTOS RELACIONADOS CON EL CLIMA EN MÉXICO

CHRISTIAN BORJA-VEGA Y ALEJANDRO DE LA FUENTE MERAZ

INTRODUCCIÓN

México se encuentra entre los países más expuestos a los peligros naturales en el mundo (Banco Mundial 2005; de la Fuente 2011).¹ Tan solo durante el 2011 México vivió una de sus peores sequías en siete décadas² y sufrió pérdidas históricas en 2010 a causa del huracán Alex en el noreste de México, seguidas por graves inundaciones en varios estados del sur.

1 “Government Expenditures in Pre and Post Disaster Risk Management”. Nota de referencia para la Evaluación de peligros naturales, desastres no naturales: Prevención eficaz desde la perspectiva económica, Banco Mundial-ONU, noviembre de 2011.

2 Según el Gobierno mexicano, 21 estados se vieron afectados por una de las sequías más intensas en los últimos 70 años. Los estados más golpeados por esta sequía fueron Chihuahua, Coahuila, Durango, San Luis Potosí, Zacatecas y Aguascalientes; que constituyen las áreas agrícolas noroeste y central. El porcentaje de la cosecha en granos que se perdió en 2010-2011 rondaba el 60 % y las pérdidas estimadas ascienden a 100 millones de dólares (SAGARPA 2012).

Por otra parte, la evidencia y predicciones recientes indican que el cambio climático se está acelerando y dará lugar a cambios de amplio alcance en la variabilidad del clima (UNISDR 2009; IPCC 2012), con consiguientes aumentos en eventos climáticos extremos y potenciales impactos asociados con las actividades económicas relacionadas al clima.

Uno de los sectores a los cuales afectará más el cambio climático es la agricultura. El clima extremo afecta la productividad agrícola, lo que aumenta el precio de los granos, impactando la economía de las familias pobres. La participación de la agricultura en la economía ha disminuido durante las últimas décadas³, aunque quedan unos 3 millones de pequeños agricultores que cultivan maíz, principalmente para sobrevivir. La capacidad de adaptación de este sector de la población es muy limitada debido a sus bajos ingresos y activos. Por lo tanto, es pertinente evaluar la vulnerabilidad potencial del sector agrícola con relación al cambio climático.

En este capítulo se desarrolló un índice municipal multidimensional que evalúa la vulnerabilidad en contingencias climatológicas y cambio climático (tal como lo define el IPCC) del sector agropecuario en México, para comprender cómo se asocian estos dos factores con variables sociodemográficas y económicas a nivel municipal. De la misma forma que el índice de marginalidad⁴ desarrollado en México a mediados de 1990, este índice

3 En 2010, la agricultura representó solo el 3,6% del PIB, que disminuyó del 7% en 1980 y 25% en 1970; Báez y Mason, 2008; INEGI 2010.

4 El índice de marginalidad es un indicador determinado por políticas, creado por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) en México, el cual mide la falta de infraestructura pública básica, así como las condiciones de vida, materiales y de educación a nivel municipal y estatal. Se ha basado tradicionalmente en datos del censo y utiliza los siguientes indicadores para su construcción: el porcentaje de personas analfabetas de más de 15 años; la proporción de personas mayores de 15 años sin educación primaria completa; la proporción de fuerza laboral empleada que gana menos de dos veces el salario mínimo (aprox. US\$ 7 por día); el porcentaje de personas que viven en hogares en localidades con menos de 5 mil habitantes; el porcentaje de personas sin agua, electricidad, alcantarillado y materiales de piso sólido y la proporción de hoga-

podría facilitar el diagnóstico y (re)diseño de nuevas intervenciones para reducir el riesgo de las poblaciones más vulnerables, especialmente pequeños campesinos que tienen una capacidad limitada para adaptarse a eventos económicos y climáticos adversos. El índice posibilita la mejora de los planes sectoriales y el actual sistema federal de subsidios estatales agrícolas, que complementan los apoyos para el abatimiento de desastres a los sectores y grupos más vulnerables. Por último, la metodología propuesta y el uso de la información municipal comparable permiten a los analistas supervisar el progreso de las nuevas políticas de adaptación para el cambio climático en el sector agrícola.

A pesar de los importantes avances para comprender la vulnerabilidad, los cálculos estimados cuantitativos de vulnerabilidad espacial y temporal a nivel subnacional son difíciles de definir, y las metodologías para hacerlo son muy básicas.⁵ Se han calculado los índices de vulnerabilidad a nivel nacional (en Europa, [Banco Mundial 2009]); a nivel regional/provincial/distrital

res con algún grado de hacinamiento. Se realizó un análisis estadístico de los componentes principales para construir el índice, que es un puntaje normalizado que tiene una desviación estándar entre -3 y 3, y que se corresponde con una marginalidad muy baja y muy alta, respectivamente (CONAPO 2006).

- 5 La literatura sugiere dos métodos existentes para evaluar la vulnerabilidad: como un “punto de llegada”, en términos de la cantidad de daño que un evento climático en particular provoca en un sistema; y como un “punto de partida”, que examina el estado actual de un sistema antes de enfrentarse a un fenómeno particular (Kelly y Advere 2000). En el enfoque de “punto de llegada”, la vulnerabilidad es un residual de los impactos del cambio climático después de la adaptación; por lo tanto, es el impacto neto del cambio climático (Ribot 1995; Clark *et al.* 2000; Luers 2003). La mayoría de las evaluaciones de vulnerabilidad del índice han aplicado el enfoque de “punto de llegada” al examinar la variabilidad climática histórica, sin hacer proyecciones futuras del cambio climático. Los estudios basados en el enfoque de “punto de partida” evaluarían los diferentes factores que pueden hacer que una sociedad sea vulnerable. Esta investigación evalúa los procesos sociales y económicos que subyacen a la vulnerabilidad climática desde un enfoque de “punto de partida”. Estamos de acuerdo en que el “déficit de adaptación” –vulnerabilidad excesiva a la variabilidad actual del clima– es un buen determinante de la vulnerabilidad futura al cambio climático (por ejemplo, [Banco Mundial 2009b]). Esto ha llevado a configurar nuestro enfoque principal en torno a comprender la vulnerabilidad a la posibilidad de variación actual del clima.

(distritos en la India, [O'Brien *et al.* 2004]; regional en Brasil, [Fontes 2009]), pero nunca en todo el país a nivel de agregación municipal.

Recientemente, se han construido índices de vulnerabilidad de cambio climático para países de Europa Oriental y Asia Central (EAC), incluyendo Tayikistán (Fay y Patel 2008; Heltberg y Bonch-Osmolovskiy 2010). Los índices de Tayikistán combinan indicadores que reflejan la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación al cambio climático de cada región de ese país. El Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático (CCVI por su sigla en inglés) en EAC evalúa la actual vulnerabilidad al cambio climático, a nivel regional (rayones; subdivisión municipal local) o provincial (oblast; provincias autónomas Gorno-Badakshan) y es útil para integrar y dar prioridad a las políticas regionales. Sin embargo, debido a la falta de datos no se pueden configurar índices más desagregados a nivel municipal. Gran parte de los datos e indicadores necesarios para hacer cálculos del CCVI a nivel municipal se deben recolectar de forma regular y consistente.

México representa un buen caso para construir un CCVI dada su alta exposición a riesgos naturales (y al cambio climático) junto a la alta disponibilidad de datos e indicadores a nivel estatal y municipal. Además, México recoge datos cuantitativos históricos de precipitación pluvial y temperatura e indicadores socioeconómicos a nivel municipal y estatal de forma rutinaria y consistente. Realizar una imagen geográficamente desglosada de la vulnerabilidad puede ayudar a elaborar estrategias de adaptación y en la asignación de asistencia financiera y técnica a los municipios.

Esto ocurriría en la misma forma en la elaboración de mapas de pobreza, en los que México tiene una vasta experiencia, y apoya el diseño y financiamiento de programas y políticas de lucha contra la pobreza. Por otra parte, México ha establecido políticas bien fundadas de adaptación al cambio climático que son necesarias para hacer frente a futuras amenazas relacionadas con

el clima. Estos esfuerzos pueden complementarse mediante la construcción de una herramienta analítica que es útil para los responsables políticos y los gobiernos locales sobre la priorización de los recursos y las acciones necesarias que minimicen los riesgos del cambio climático en el futuro.

El estudio utiliza datos geofísicos sobre el clima en la línea base (2005)⁶ y sus proyecciones provocadas por el cambio climático (2045), con 9 modelos de clima. También se basa en encuestas en hogares y censos de municipios y productores rurales (ver anexo para una lista completa de los orígenes de estos datos). Se escogió un conjunto de indicadores considerados importantes para evaluar la vulnerabilidad agrícola en estrecha consulta con el Ministerio de Agricultura (SAGARPA) de México.

Todos los datos se fusionaron en un solo conjunto de datos para llevar a cabo la agregación estadística del índice, después de descartar aquellas variables que mostraron alta endogeneidad. Una vez seleccionada la lista definitiva de las variables, estos indicadores se combinaron mediante análisis de componentes principales (ACP) para calcular un índice de vulnerabilidad en la línea base. De esta forma, el índice se recalculó basado en escenarios climáticos proyectados. Se utilizaron indicadores alternativos sobre variabilidad climática⁷ y factores socioeconómicos para la construcción de ACP para verificar la estabilidad del índice.

6 Los datos de precipitación pluvial y temperatura incluidos en el análisis cubren el periodo comprendido entre 1960 y 2005.

7 Se estimó un modelo principal mediante grados-días de cultivo (GDD-Temp) y el coeficiente de variación de la lluvia (CVL) como medidas de variabilidad del clima para el periodo 1960-2005 y 2005-2045. Un modelo alternativo incluyó medidas de variabilidad del clima más específicas como el número total de días de helada ($<10^{\circ}$ C), el número de días con lluvia por encima de 10 mm, el número máximo de días secos consecutivos y el porcentaje de lluvia sobre el percentil 95 alto. Se seleccionaron estos indicadores porque son bien aceptados y definidos en la literatura de México (Peralta *et al.* 2009; Biasutti *et al.* 2011).

MARCO CONCEPTUAL

El marco de este artículo es una adaptación del marco de vulnerabilidad del IPCC, que distingue entre exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. Se puede reducir la vulnerabilidad disminuyendo la exposición y la sensibilidad de personas, bienes y medios de subsistencia a los riesgos climáticos y aumentando la capacidad de adaptación de los individuos, familias, comunidades y gobiernos. Un conductor exógeno de vulnerabilidad, interactúa con controladores endógenos –sensibilidad y capacidad de adaptación– para crear vulnerabilidad y su opuesto, la resiliencia. El nivel de vulnerabilidad de una comunidad determina la frecuencia y la gravedad de los impactos del cambio climático. Por el contrario, una comunidad resiliente no se verá afectada significativamente por el cambio climático.

A lo largo de este trabajo utilizamos términos como: exposición, vulnerabilidad y riesgo en formas muy específicas. Existe un debate sobre las definiciones de estos conceptos, ya que diferentes disciplinas las utilizan para definir distintas cosas. Es importante clasificar las diferencias de forma semántica para determinar las relaciones causales entre los riesgos relacionados con el cambio climático y la vulnerabilidad humana con el objeto de diseñar intervenciones que apoyen a las personas a manejar el riesgo y la vulnerabilidad. Este artículo pretende presentar un enfoque centrado en la forma en que los riesgos asociados con el cambio climático, contribuyen a incrementar la vulnerabilidad de las personas y los hogares.

En este marco, la vulnerabilidad se determina por la interacción de la exposición y la sensibilidad al riesgo, con acciones adaptativas.⁸ La definición del IPCC caracteriza la vulnerabilidad

8 Vulnerabilidad: la medida en que un sistema natural o social es propenso a prolongar los daños del cambio climático (IPCC 2001). A efectos prácticos, esto significa que una persona es vulnerable a los riesgos del cambio climático cuando tiene un alto índice de pobreza, enfermedad, o de padecer de inseguridad alimentaria debido a eventos relacionados con el cambio climático.

(al cambio climático) en función de la exposición de un sistema y sensibilidad a los estímulos climáticos y su capacidad para adaptarse a sus efectos (negativos) (IPCC 2007), lo que corresponde a la vulnerabilidad del resultado (o punto de llegada), pero no proporciona una definición clara de estos atributos o la relación entre ellos.⁹

En la práctica, es difícil hacer la distinción entre sensibilidad y la capacidad de adaptación, ya que ambas tratan temas similares. Por ejemplo, la pobreza es un buen indicador de la sensibilidad de la comunidad debido a que las comunidades pobres suelen ser más sensibles a los impactos del cambio climático; sin embargo, la falta de ingresos y acceso a recursos son características importantes de la capacidad de adaptación. Se puede decir lo mismo de otras cuestiones, por ejemplo, la cubierta forestal previene la erosión y desgaste del suelo, lo que aumenta la capacidad de adaptación; al mismo tiempo, la pérdida de cubierta forestal hace que tal erosión y desgaste del suelo ocurran con más probabilidad como consecuencia de una exposición al clima, lo que significa que las comunidades se vuelven más sensibles.

Así que resulta problemático considerar cuestiones tales como la pobreza o cubierta forestal en categorías diferentes. Por esta razón, hemos separado los conductores exógenos de vulnerabilidad (exposición) –que no son inmediatamente afectados por la actividad humana (excepto por el papel de los seres humanos en la emisión de carbono)– de los conductores endógenos de vulnerabilidad como la sensibilidad y la capacidad de adaptación. Básicamente, la sensibilidad y la capacidad de adaptación

9 Según Fussler (2009), es crucial guiar el desarrollo de cualquier índice de vulnerabilidad o un conjunto de indicadores. Dada la diversidad de los contextos de decisión en los cuales pueden influir las evaluaciones de vulnerabilidad al cambio climático y de preferencias normativas, el diseño de índices de vulnerabilidad es una tarea tanto política como científica. Las diferencias normativas pueden influir considerablemente en la combinación de diversas fuentes de información en un índice de vulnerabilidad agregado. Los desafíos normativos incluyen la agregación de riesgos climáticos actuales y futuros.

son dos caras de una misma moneda: la primera se refiere a las características que aumentan la vulnerabilidad, y la segunda se refiere a los rasgos que la disminuyen.

FUENTES DE DATOS

La unidad de análisis para este estudio es de 2 mil 200 de los 2 mil 454 municipios en México. El marco conceptual propuesto demanda el uso de variables que capturan la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación para estimar la vulnerabilidad. El análisis utiliza cuatro tipos de datos: (i) cambios históricos y proyectados en la precipitación y temperatura, tiempo y datos de shocks climáticos, y uso de indicadores específicos de la variabilidad (días de heladas y sequías, extremos y variación de nivel de lluvia); (ii) producción agrícola, condiciones socioeconómicas, infraestructura y datos geográficos; (iii) índices de pobreza y otras variables relacionadas con la población, capitales humanos, sociales y financieros, subsidios históricos y transferencias a los municipios; y (iv) proyecciones de escenarios climáticos con base en modelos científicos de clima.

Los datos socioeconómicos y agrícolas provienen del Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) del Ministerio de Agricultura (SAGARPA). Los datos meteorológicos provienen de estaciones meteorológicas y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); y todos los modelos climáticos (incluyen proyecciones de temperatura y precipitación) se acreditan a la fase tres del proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP3) del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC) del cual se hace referencia en el tercer y cuarto informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).

Se obtuvieron los índices de pobreza a través de técnicas de estimación de mapas de pobreza que utilizan datos de la En-

cuenta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) y el Censo de Población y Vivienda de 2005. Los datos de población provienen del Consejo Nacional de Población (CONAPO). Finalmente, se obtuvieron indicadores importantes de las estadísticas de Resumen del Censo Agrícola de 2007 (INEGI).

Una gran parte de la población en los municipios depende también de la producción de maíz de secano como principal actividad económica. La información que proporcionan los municipios sobre los indicadores relacionados con el clima, muestran una marcada variabilidad. Por ejemplo, la desviación estándar de precipitación anual (mm) es casi la misma que la precipitación media anual. Los niveles máximos de lluvia registrados en los municipios son casi diez veces la precipitación media. Las características sociodemográficas también varían considerablemente.

Hay municipios en donde la población prácticamente puede acceder universalmente a servicios, mientras que otros tienen una cobertura muy baja de acceso. De manera similar, las tasas de mortalidad infantil y pobreza muestran grandes desviaciones estándar con respecto a sus posibilidades. Por último, algunas variables agrícolas se miden en unidades de producción agrícola¹⁰ y no necesariamente en relación con los hogares o poblaciones.

METODOLOGÍA: MÉTODO ACP PARA CONSTRUIR ÍNDICES MULTIDIMENSIONALES

Se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) para construir un índice compuesto de vulnerabilidad relacionada con el clima. Debido a la complejidad de las interacciones entre las dimensiones sociales, económicas, climáticas, agrícolas y de

10 Concepto definido por el Ministerio de Agricultura (SAGARPA) y el Censo Agropecuario de 2007. Una unidad de producción se refiere al acuerdo formal de la producción de más de una persona para explotar la tierra individual o colectivamente. Por lo tanto, puede haber varias unidades de producción encabezadas por hogares o una unidad de producción (empresas agrícolas) en tierras colectivas arrendadas.

desastre, utilizar el método de ACP para agregar variables en un único índice es una forma eficiente de establecer categorías de riesgo.

El problema principal al construir un índice ACP es elegir los indicadores que constituyen los principales componentes explicativos de la variabilidad climática. La mayoría de los índices sólo utilizan unas pocas variables, pero la metodología de componentes principales permite utilizar una gran cantidad de variables continuas.¹¹ Como se indicó anteriormente, se seleccionaron las variables para capturar la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación de los hogares y comunidades a los shocks o eventos relacionados con el clima. Elegir los indicadores apropiados de los componentes minimiza los errores y las diferencias en la medición entre los municipios. Al mismo tiempo, las variables deben corresponder consistentemente en las mismas categorías generales mencionadas.

ACP establece índices o componentes no correlacionados, en los que cada componente es una combinación lineal ponderada de las variables iniciales.

$$PC_1 = a_{11} X_1 + a_{12} X_2 + \dots + a_{1n} X_n$$

$$PC_m = a_{m1} X_1 + a_{m2} X_2 + \dots + a_{mn} X_n$$

Aquí a_{mn} representa la ponderación para el componente principal m th en la variable n th. Las ponderaciones de cada compo-

11 Los datos categóricos no son adecuados para el ACP, pues las categorías se convierten en una escala cuantitativa que no tiene ningún significado. Para evitar esto, se debe recodificar las variables cualitativas categóricas en variables binarias. Otra cuestión de los datos hace referencia a los valores faltantes. Cortinovis *et al.* (1993) excluyeron de su análisis los hogares con al menos un valor faltante para conformar grupos socioeconómicos. Gwatkin *et al.* (2000) sustituyeron los valores faltantes por el valor promedio de dicha variable. Dado que algunos indicadores podrían contener observaciones de los municipios en ciertas encuestas, es conveniente sustituir el valor promedio de cada unidad geográfica.

nente principal están calculadas en la matriz de correlación, o si los datos originales fueron estandarizados, una matriz de covariación (correlaciones multidimensionales). En el caso donde se interrelacionan múltiples variables, las matrices de covariación se utilizan como ponderaciones. Los componentes se ordenan para que el primer componente (PC1) explique la mayor cantidad posible de variación en los datos originales, con la condición de que la suma de las ponderaciones cuadradas ($a_{211}^2 + a_{212}^2 + \dots + a_{21n}^2$) sea igual a uno.

El segundo componente (PC2) no está correlacionado con el primer componente y explica la variación adicional, pero menor que el primer componente, con la misma condición. Los componentes posteriores están correlacionados con los componentes anteriores; por lo tanto, cada componente captura una pequeña variación adicional con respecto a otras variables dentro de los datos, mientras explica proporciones más y más pequeñas de la variación de las variables originales. Cuanto mayor sea el grado de correlación entre las variables originales en los datos, se necesitarán menos componentes.

Una vez que se han detallado las variables específicas, se deberán abordar dos temas interrelacionados sobre la construcción de un índice ACP. Es necesario convertir las variables subyacentes en escalas compatibles para que puedan combinarse para producir un índice único. Se transformaron todas las variables en una distribución normal estándar con un promedio de 0 y desviación estándar igual a la unidad. La segunda cuestión es la elección de pesos para cada variable. La cuestión es no sólo darle el peso adecuado a cada una de las estadísticas del componente, sino también tener en cuenta cualquier correlación entre las estadísticas del componente. En última instancia, las ponderaciones calculadas en la línea base (2005) para el CCVI son estructuralmente las mismas ponderaciones utilizadas para los escenarios previstos para 2045.

La variación (λ) para cada componente principal está dada

por el valor propio del vector propio correspondiente. Como la suma de los valores propios equivale al número de variables en el conjunto de datos inicial, la proporción de la variación total en el conjunto original de datos por cada componente principal está dada por λ_i/n . El segundo componente (PC2) está completamente correlacionado con el primer componente y explica la variación adicional pero menor que el primer componente, con la misma condición. Los componentes posteriores están correlacionados con los componentes anteriores; por lo tanto, cada componente captura una dimensión adicional en los datos.

McKenzie (2003) destaca que un gran desafío para los índices basados en ACP es asegurar que la gama de variables incluidas tenga suficientes valores no faltantes para evitar problemas de *agrupamiento y truncado*. En el caso de nuestro índice, utilizamos una gran variedad de variables recogidas como registros administrativos, o de datos censales (población y agricultura). En este sentido, la cantidad de datos no faltantes en cada municipio es relativamente pequeña, de forma que el agrupamiento y truncado tampoco se ven afectados por errores de cálculo. Además, según McKenzie (2004), los problemas de agrupar o truncar índices puede afectar la variabilidad del índice, por lo que el primer componente principal debe construirse para cada municipio en relación con su desviación estándar, en lugar de utilizar la desviación estándar de todos los municipios.

Se realizaron pruebas de endogeneidad para eliminar variables. En algunos casos, se sustituyeron las variables endógenas por variables representativas. Una vez que se identificaron y eliminaron las variables endógenas, se mejoró el procedimiento de estimación mediante la incorporación de otros indicadores recolectados a nivel municipal que consolidaron el modelo conceptual y las variables representativas para encontrar características relevantes.

El índice va de -0.78 (vulnerabilidad muy baja) a 1.91 (vulnerabilidad muy alta) con una DS de 0.652 y un promedio anual

de 0.525. El criterio para establecer las cinco cohortes de vulnerabilidad se basó en el conteo equitativo. De los 2 mil 456 municipios en México, el modelo ACP mantuvo 2 mil 257 municipios con datos válidos para la especificación de estimación principal.¹²

La diferencia entre los valores máximo y mínimo del índice en todos los modelos es 0.299 en promedio. Ningún estado muestra diferencias superiores a 1. Sólo dos estados (Colima y Zacatecas) muestran cambios en el índice de vulnerabilidad de negativo a positivo o viceversa. Sin embargo, las diferencias en los niveles de índice entre el punto de línea base y la predicción son estadísticamente significativas para los estados de Baja California, Campeche, Chiapas, Nayarit y Sonora.¹³ Vale la pena tener en cuenta esos cambios y la heterogeneidad que prevalece a nivel municipal para identificar con más exactitud los perfiles de riesgo de vulnerabilidad durante diferentes periodos de tiempo. Los resultados y las clasificaciones preliminares (nivel estatal) basadas en la vulnerabilidad de riesgo se muestran en la siguiente sección.

RESULTADOS DEL ÍNDICES Y PERFILES

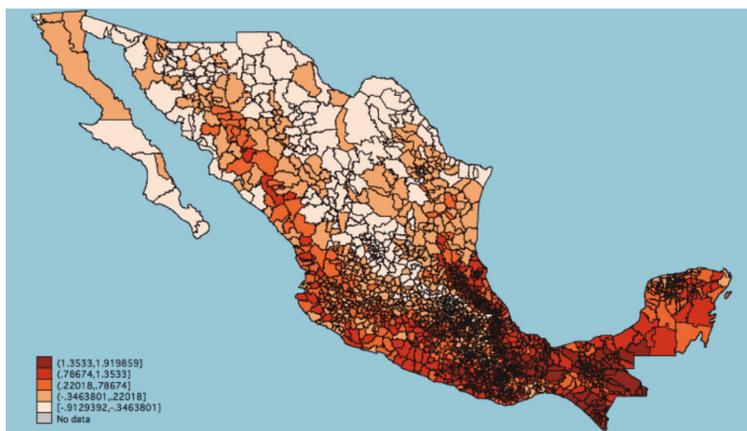
Esta sección presenta las estimaciones de los municipios que son más vulnerables al cambio climático y los desastres climáticos. Este estudio solo estima un índice compuesto, no sus partes.

¿Dónde están ubicados la mayoría de los municipios vulnerables?

En general, los resultados del estudio sugieren una amplia variación en la vulnerabilidad de los municipios en todo el país. Los

12 Las especificaciones para los controles de robustez y sensibilidad mantuvieron 2 mil 240 y 2 mil 100 municipios, respectivamente.

13 Con base en las diferencias de las medias de los valores de prueba t para desviaciones desiguales estándar a un nivel de 90%.

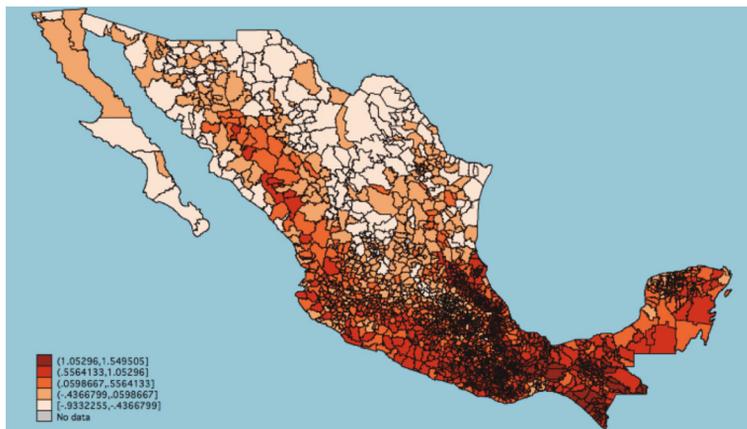


Mapa 1: CCVI por municipio (2005).

municipios más vulnerables se encuentran ubicados en las costas y en muchas áreas del sur, en consonancia con los resultados de trabajos similares en México (IMTA 2009; Martínez-Austria 2007). Las partes norte y centro del país son comparativamente menos susceptibles al cambio y variabilidad del clima, pero con algunos focos de alta vulnerabilidad.

Las zonas costeras alojan algunos de los municipios más vulnerables al cambio climático en México. Esto se debe probablemente a la exposición relativamente alta de estos municipios a los huracanes y el aumento del riesgo de inundación de estas zonas. Las regiones más secas del norte y centro de México también enfrentan una alta exposición dadas las sequías recurrentes y la falta de vegetación protectora.

Los estados sureños parecen ser los más vulnerables a eventos climáticos de todo el país. Muchos municipios en los estados del sur (Guerrero, Oaxaca y Chiapas) muestran los mayores niveles de vulnerabilidad. Con poblaciones indígenas numerosas y altamente empobrecidas, no sorprende que su capacidad relativa para manejar el riesgo climático sea menor que en otras zonas. Por el contrario, las zonas turísticas en la península de Yucatán tienen una gran capacidad para adaptarse al cambio climático.



Mapa 2: CCVI por municipio (predicción para 2045).

La industria turística ha permitido obtener mayores ingresos, menores tasas de pobreza y, por lo tanto, una menor sensibilidad y mayor capacidad de adaptación. Nuevamente, el norte muestra una mayor capacidad de adaptación que otras partes y esto podría deberse a su mayor desarrollo socioeconómico y un mayor acceso a remesas. Pero también hay focos de alta vulnerabilidad en los estados del norte. Estados como Chihuahua tienen focos de alta vulnerabilidad debido a sequías prolongadas que son cada vez más frecuentes entre los territorios tarahumaras más pobres. Las sequías recientes afectaron principalmente el norte y centro del país –los estados de Durango, Chihuahua, Coahuila, San Luis Potosí y Zacatecas– donde la economía se basa considerablemente en la actividad agrícola.¹⁴

14 El Gobierno federal, a través de la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), también está tomando medidas para aliviar la situación de los mexicanos que sufren con la sequía. A enero de 2012, CONAGUA informó haber transferido casi 60 millones de pesos para apoyar a mujeres y hombres tarahumaras. Parte de la ayuda del Gobierno consiste en proporcionar un empleo temporal a los tarahumaras cuyos cultivos hubieran sufrido en gran medida por la sequía. El tipo de empleo puede incluir la limpieza de los cuerpos de agua, canales y zanjas de dragado existentes y la construcción de presas. CONAGUA también inspecciona los sistemas de agua de México para asegurar la provisión de agua incluso durante épocas de sequía. Se reconoce que gran parte de los sistemas

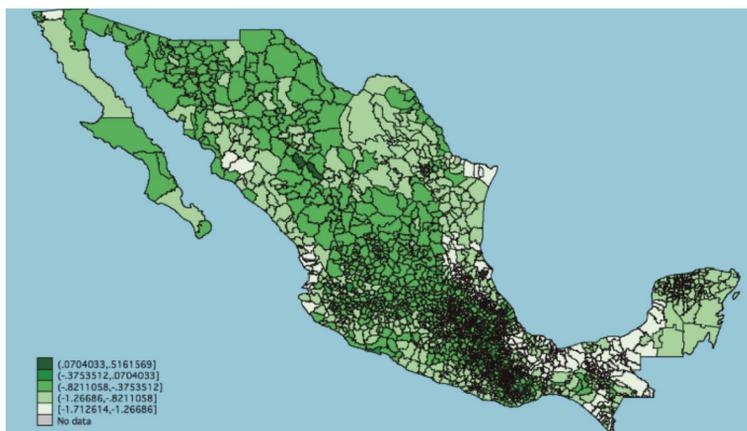
La estimación de la CCVI permite elaborar mapas mediante puntos de línea base y predicción. Los *Mapas 1 y 2* muestran la distribución espacial del CCVI en 2005 y 2045, respectivamente. Las regiones costeras mostraron una persistencia de alta vulnerabilidad particularmente en el Pacífico Sur y la península de Yucatán durante los próximos 20 años. Otros municipios de alto nivel de incidencia de pobreza en el noroeste muestran un aumento de la vulnerabilidad, en parte debido a los aumentos pronosticados en las temperaturas.

Más allá de los niveles de vulnerabilidad del cambio climático en la agricultura, es importante identificar las áreas o regiones donde la vulnerabilidad muestra los cambios relativos más altos entre 2005 y 2045. El *Mapa 3* muestra que la mayoría de los municipios con los cambios significativos se concentran en el centro de México (Bajío). Este hallazgo concuerda con estudios previos de medio ambiente y cambio climático realizados en México [Martínez 2010; IMTA 2009; Martínez y Fernández 2004; Martínez-Austria 2007].

Varios estudios pronostican una reducción del 10% en la disponibilidad de agua para la agricultura entre 2030 y 2050 para el noroeste y centro del país (Bajío). Esto afectará especialmente a estados como Sonora, Guanajuato, San Luis, que experimentarán una escasez crítica de agua en los escenarios previstos (Martínez 2010). Además, Martínez y Fernández (2004) reportan que las regiones con mayor riesgo de vulnerabilidad corresponden a la región central del Bajío (incluyendo estados como Guanajuato y San Luis Potosí).

Otros estados ubicados en la región del Bajío (Hidalgo y Querétaro) podrían experimentar un gran cambio en el riesgo de vulnerabilidad en la ausencia de inversiones para la adaptación al cambio climático. Las razones esgrimidas para explicar este

de agua de México son ineficientes debido a las fugas, y que se deben realizar mejoras en la infraestructura para evitar que las sequías tengan repercusiones tan graves para el pueblo mexicano en el futuro.



Mapa 3: Cambios en el índice de vulnerabilidad 2005-2045.

cambio en alta vulnerabilidad varían desde la disponibilidad de agua y los cambios de temperatura, a la degradación del suelo y la aplicación limitada de las políticas de adaptación.

Martínez-Austria (2007) indica que los riesgos de vulnerabilidad de sequía serán una preocupación para las políticas nacionales y regionales en la región el noroeste del país debido a los cambios previstos para 2040 de entre 3 y 4 grados (°C). Los cambios previstos en vulnerabilidad territorial asociados con sequías en las regiones del Bajío y noroeste también se confirman en un estudio reciente realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA 2009). Según este estudio, los pronósticos del clima para 2025 indican riesgos de escasez de agua en las regiones norte y centro en México, donde la superficie irrigada acelerará la escasez de agua con el paso del tiempo.

¿Quiénes son los más vulnerables?

El propósito de esta sección es identificar qué grupos sociales en las zonas rurales de México son los más vulnerables al cambio climático. En primer lugar, mostramos de qué forma cambian los perfiles de vulnerabilidad entre los municipios desde el

punto de línea base hasta la predicción. El propósito es evaluar la probabilidad y el número de municipios que recaen en diferentes categorías de vulnerabilidad en los puntos de línea base y predicción.¹⁵ En segundo lugar, los perfiles de vulnerabilidad municipal relacionan estimaciones del índice en los puntos de línea base y predicción con tres diferentes conjuntos de variables: 1) indicadores del clima, 2) categorías de productores y (3) características socioeconómicas.

Cambios en los perfiles de riesgo de vulnerabilidad

En general, casi tres de cada cuatro municipios (alrededor de mil 810 de 2 mil 454) no muestran cambios sustanciales entre los puntos de línea base y predicción. Además, 344 municipios aumentan su riesgo de vulnerabilidad, comparado con 300 que muestran disminuciones en las reducciones de vulnerabilidad. Los dos conjuntos de ganadores y perdedores se perfilan a continuación. Aunque los cambios en el riesgo de vulnerabilidad no parezcan sustanciales, el hecho de que la vulnerabilidad se mantenga en más una tercera parte de los municipios (34.6%), particularmente en las zonas costeras (Pacífico y Golfo), es relevante.

La probabilidad condicional de vulnerabilidad alta de los municipios en el punto de predicción ha demostrado un riesgo de vulnerabilidad alta en la línea base es del 41%. Este porcentaje es similar para la probabilidad condicional de los municipios en riesgo de vulnerabilidad baja en puntos de línea base y predicción (39%). Algunos autores subrayan que las repercusiones económicas de las fluctuaciones del clima en la agricultura son sustanciales si los riesgos altos prevalecen en el tiempo (Deschenes y Greenstone 2007; Lobell y Asner 2003).

Estados como Zacatecas, Yucatán, Chiapas, Guanajuato, Chihuahua, Oaxaca y Puebla exhiben los aumentos más altos en

15 Las categorías son: vulnerabilidad muy alta, vulnerabilidad alta, vulnerabilidad moderada, vulnerabilidad baja, vulnerabilidad muy baja.

Categorías de riesgo de vulnerabilidad		Vulnerabilidad alta en la línea base	Vulnerabilidad moderada en la línea base	Vulnerabilidad baja en la línea base
Vulnerabilidad alta en la predicción	Probabilidad	<i>0.406</i>	0.099	0.012
	Cantidad de Municipios	850	141	23
Vulnerabilidad moderada en la predicción	Probabilidad	0.056	<i>0.238</i>	0.127
	Cantidad de Municipios	89	218	180
Vulnerabilidad baja en la predicción	Probabilidad	0.068	0.051	<i>0.391</i>
	Cantidad de Municipios	140	71	742

Nota: los números en cursivas indican que no hay cambios en la categoría del índice entre la línea base y la predicción

Tabla 1. Probabilidades condicionales de los cambios de riesgos de vulnerabilidad (línea base y predicción).

(Fuente: Estimaciones propias).

la vulnerabilidad en el tiempo. Otros estados como Campeche, Tabasco, Sonora, Sinaloa y Nayarit mostraron reducciones en sus perfiles de riesgo de vulnerabilidad entre los puntos de línea base y predicción. En general, los pronósticos del índice muestran que prevalecerá la vulnerabilidad alta en áreas costeras meridionales (Golfo y Pacífico) con una tendencia al aumento de la vulnerabilidad en los estados de la cuenca centro-norte (Bajío).

Los estados que se muestran en la *Tabla 2* tienen los incrementos y disminuciones más extremos en los cambios del índice de vulnerabilidad entre puntos de línea base y predicción. Sin embargo, hay municipios que ocupan puestos más altos en términos de incrementos y disminuciones en el índice y que pueden o no corresponder a los estados que se presentan en la *Tabla 2*.

Por ejemplo, Oaxaca tiene 124 municipios con un incremento superior a 0.25 en el índice entre los puntos de línea base y predicción (estos aumentos son más altos que el aumento promedio de 0.069 en el índice), pero el resto de los 570 municipios de Oaxaca tienen aumentos relativamente más bajos que el promedio.

Las categorías de riesgo del índice se dividen en cinco cohortes de vulnerabilidad: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta. Con municipios organizados por categorías de vulnerabilidad en la línea base, es posible construir perfiles sociodemográficos

Estado	Índice			Vulnerabilidad en la línea base	Vulnerabilidad en predicción
	Mayor Incremento				
	Cambio	BL	Predicción		
Zacatecas	0.3749	-0.3273	0.0476	Muy baja	Baja
Yucatán	0.2667	0.5469	0.8136	Moderada	Alta
Guanajuato	0.1897	-0.2409	-0.0513	Muy baja	Baja
Chiapas	0.1725	1.3906	1.5631	Muy alta	Muy alta
Chihuahua	0.1544	0.1014	0.2558	Baja	Moderada

Estado	Índice			Vulnerabilidad en la línea base	Vulnerabilidad
	Mayor disminución				
	Cambio	BL	Predicción		
Tabasco	-0.4630	1.1752	0.7122	Muy alta	Alta
Sonora	-0.4075	-0.0196	-0.4272	Baja	Muy baja
Campeche	-0.4038	0.7842	0.3804	Alta	Moderada
Sinaloa	-0.3407	-0.0064	-0.3471	Baja	Muy baja
Nayarit	-0.3246	0.6354	0.3108	Alta	Moderada

Tabla 2. Mayores incrementos y disminuciones de vulnerabilidad, por estado (2005-2045).

(Fuente: Estimaciones propias).

y agrícolas a nivel municipal. Tales perfiles proporcionan información adicional acerca de los patrones de riesgo en el advenimiento del cambio climático en términos de variables climáticas, aquellos municipios con niveles elevados de vulnerabilidad muestran extremos climáticos más elevados según lo medido por días de heladas y días secos consecutivos, en los puntos de línea base y predicción.

Además, los municipios en las categorías más vulnerables muestran un incremento en el coeficiente de variación de lluvia y los días-grado de cultivo (DGC) entre puntos de línea base y predicción. Los cambios en este último indicador son importantes para evaluar la idoneidad de una región para producir un cultivo en particular y para estimar con más precisión las fechas de cosecha.

Los municipios con altos niveles de vulnerabilidad, también tienen el cociente más alto en el aumento del coeficiente de variación de lluvia. Cuanto mayor sea la variabilidad de la lluvia, mayor será la incertidumbre durante los periodos de cosecha para la producción y el rendimiento agrícola. En México, la agricultura de regadío contribuye aproximadamente con el 50% del valor total de la producción agrícola y representa alrededor del 70% de las exportaciones agrícolas (CONAGUA 2008).

Sin embargo, el resto de la agricultura depende en mayor medida de la recolección temporal o estacional. Los riesgos a los que se enfrentan los municipios en términos de cambios de temperatura y lluvia podrían dar forma a los cambios en los patrones de cosecha (plantación de cultivos múltiples con diferentes vulnerabilidades a fenómenos meteorológicos), sistemas de riego (para disminuir la dependencia de los agricultores de la precipitación), ingresos de producción e instrumentos financieros disponibles para que los productores puedan fortalecer su capacidad de adaptación.

La tendencia de los pequeños productores, sobre todo aquellos que lo hacen para su propio consumo, es vivir en municipios de alta vulnerabilidad, incluso en los municipios que experimentarán un aumento de “vulnerabilidad alta” durante 2005-2045. Los productores de menor capital con muchas tierras se enfrentan a cambios muy marcados en vulnerabilidad entre el punto de línea base y predicción. Generalmente los productores propietarios de grandes extensiones de tierra, reflejan una tasa mayor en la participación de programas agrícolas subsidiados. Por otro

lado, los pequeños productores con tierras pequeñas —con capitales intensivos o no intensivos— se encuentran ubicados en mayor proporción en municipios altamente rurales, es decir, municipios de alta vulnerabilidad.

De forma consistente el mayor riesgo de vulnerabilidad se asocia a condiciones socioeconómicas menos favorables. Los municipios situados dentro de las categorías de “vulnerabilidad baja” muestran proporciones promedio sustancialmente menores de a) poblaciones indígenas, b) hogares con poblaciones de ancianos y c) casas con piso de tierra; en comparación con municipios ubicados dentro de las categorías de “vulnerabilidad alta”. La dispersión de estos indicadores socioeconómicos también aumenta a medida que el riesgo de vulnerabilidad es mayor.

También se reflejan los perfiles de las variables de apoyo agrícola y de ingreso. En este sentido, el porcentaje de trabajadores agrícolas que cuentan con ahorros líquidos se reduce considerablemente de 12.4 (para municipios en la categoría de “vulnerabilidad muy baja”) a 1.8 por ciento (para municipios en la categoría de “vulnerabilidad muy alta”). La ayuda promedio de los programas agrícolas dedicados a los agricultores no varía sustancialmente y los perfiles de estas variables indican de qué forma los agricultores utilizan instrumentos financieros y otros mecanismos para hacer frente a la vulnerabilidad, lo que brinda información útil para mejorar la focalización y opciones de redistribución de los programas de apoyo y productos financieros en la actualidad.

Finalmente, se presentan los perfiles de riesgo de correlaciones por pares entre el índice (en puntos de línea base y predicción) y las variables sociodemográficas. Los resultados reflejan, en primer lugar, que los municipios con mayor riesgo de vulnerabilidad presentan mayor concentración de poblaciones indígenas en puntos de línea base y predicción (como lo demuestra una correlación positiva y significativa). Aunque las correlaciones no son tan altas, existe una asociación positiva entre mayor vulnera-

bilidad y condiciones adversas. Se encuentran correlaciones más altas dentro de las características sociodemográficas cuando los hogares tienen una tasa más alta de habitantes mayores.

México enfrentará un aumento sustancial en las poblaciones de edad avanzada durante los próximos 20 años, esto agrava los riesgos provocados por el cambio climático en una vivienda a través de los factores de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, por lo que puede haber un mayor riesgo de vulnerabilidad en este tipo de condiciones.¹⁶ También se asocia el acceso limitado a los programas de apoyo o ahorro (para las poblaciones de pequeños agricultores) con mayores niveles de vulnerabilidad. Las remesas muestran una correlación negativa con el índice de vulnerabilidad en los puntos de línea base y predicción. Se asocia una alta vulnerabilidad a bajos niveles de flujo de remesas por municipio lo que genera incertidumbre, que se agrava con los cambios climáticos (Martínez y Knerr 2000; Fiki y Lee 2004).

Con el advenimiento de la variabilidad del clima y la incertidumbre, muchos pequeños productores se verán obligados a abandonar la agricultura debido a las pérdidas financieras y a la carga de la deuda. Los instrumentos financieros implementados para aliviar la deuda provocada por los créditos agrícolas y el apoyo financiero para mejorar las actividades agrícolas, resultan ser una opción para mejorar la capacidad de adaptación de los agricultores expuestos y sensibles al clima.

CONCLUSIÓN

México se ve constantemente amenazado por desastres naturales y es uno de los países que se exponen a más peligros relacionados con el clima en todo el mundo. Predicciones y pruebas recientes indican que los cambios climáticos están aumentando

16 Otra interpretación es que el elevado número de personas mayores contribuye a la baja capacidad adaptativa/alta sensibilidad porque no son económicamente activos y son más propensos a vivir en la pobreza.

y darán lugar a gran variedad de cambios en las variables climáticas. La agricultura es uno de los sectores donde se espera que el cambio climático tenga mayores consecuencias.

Se ha producido poca evidencia cuantitativa para agregar aspectos multidimensionales sobre la calidad de vida, características sociodemográficas y económicas y escenarios históricos y previstos del cambio climático. Con una amplia variedad de datos disponibles para la mayoría de los municipios (2 mil 200 clientes de 2 mil 450) en México, se aplicó una técnica estadística (análisis de componentes principales) para estimar un índice de riesgo de vulnerabilidad en la agricultura para los puntos de línea base (2005) y predicción (2045).

El objetivo de esta herramienta analítica es entender mejor cómo y por qué la vulnerabilidad al cambio climático y la variabilidad climática varían según el municipio en México. Se puede utilizar el índice para enfocar de forma más apropiada los programas estatales y federales de adaptación a las condiciones locales y configurar el diseño de estrategias de adaptación del municipio. El marco conceptual utilizado para analizar la vulnerabilidad y construir el índice se basa en una adaptación del marco de vulnerabilidad del IPCC, que distingue entre exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación.

Los resultados del análisis sugieren una amplia variación en la vulnerabilidad municipal en todo el país en los puntos de línea base y predicción. Actualmente, algunos de los municipios más vulnerables al cambio climático en México se encuentran en zonas costeras. Esto se debe probablemente a la exposición relativamente alta de estos municipios a los huracanes y el consiguiente riesgo de inundaciones. Sin embargo, las regiones noroeste y centro probablemente experimentarán los cambios más radicales en vulnerabilidad entre 2005 y 2045, en el advenimiento de aumentos de temperatura y escasez de agua para actividades agrícolas. Estudios ambientales y de cambio climático realizados recientemente en México (Martínez 2010; IMTA

2009; Martínez y Fernández 2004; Martínez-Austria 2007) apoyan estas afirmaciones y tendencias.

El análisis presentado aquí proporciona estimaciones municipales de vulnerabilidad de la agricultura asociada a cambios de temperatura y precipitación, pero también es necesario evaluar el impacto distributivo del cambio climático en zonas urbanas y rurales y los grupos de población. Los perfiles muestran que los cambios en la vulnerabilidad a lo largo de los municipios, entre 2005 y 2045, son bastante heterogéneos debido a las diferencias en variables climáticas, socioeconómicas y agrícolas.

Los municipios altamente vulnerables presentan extremos climáticos más elevados, lo que aumenta la incertidumbre para los periodos de cosecha y para la producción y rendimiento agrícola. También los municipios con mayor vulnerabilidad presentan condiciones sociodemográficas más adversas. El perfil también muestra una correspondencia positiva entre el porcentaje de personas que no cuentan con programas de apoyo o ahorros y vulnerabilidad. Por último, los pequeños agricultores muestran una mayor vulnerabilidad al cambio climático en los puntos de línea base (2005) y predicción (2045).

SENSIBILIDAD			
Pobreza alimentaria	%	Hogares del municipio donde los ingresos de sus miembros caen por debajo de los ingresos necesarios mínimos para pagar una canasta mínima de alimentos.	Consejo Nacional para la Evaluación de la Política de Desarrollo Social en México (CONEVAL, 2008)
Porcentaje de producción de maíz en riego	%	Unidades de producción bajo sistemas de riego y no dependen de la precipitación estacional para la producción agrícola	Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) del Ministerio de Agricultura (SAGARFA). (www.siap.gob.mx)
Porcentaje de población en actividades agrícolas	%		Censo Nacional Agrícola y Ganadero (INEGI, 2007)
CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN			
Agricultores que pertenecen a organizaciones	%	Unidades de producción que pertenecen a alguna asociación de productores, especialmente para tener acceso a crédito.	Censo Nacional Agropecuario (INECIA, 2007)
Agricultores reciben remesas	%	Unidades de producción que informaron recibir remesas.	Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007 de INEGI.
Distancia del centro del municipio a la carretera más próxima	Km	La distancia de ubicación desde el Gobierno Municipal (o en su caso control de geográfica para municipios altamente rurales) a la carretera principal (de tierra o pavimentada)	Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) del Ministerio de Agricultura (SAGARFA). (www.siap.gob.mx)
Ayuda federal de desastres per cápita	\$	Suma de transferencias monetarias per cápita (población en el sector primario en el municipio) de varios programas federales (PROCAMPO, PET y PACO) entre 2002 y 2009.	Programa de Empleo Temporal (PET) Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACO);

Tabla 3.
(Fuente: Elaboración propia).

Principales variables utilizadas en el modelo MAIN (fuentes y definiciones) para el Índice de vulnerabilidad del cambio climático en la agricultura

Variables principales	UNIDAD	DEFINICIÓN	FUENTE
Superficie agrícola total	Ha	Superficie agrícola total dentro del municipio (todos los cultivos incluidos, agricultura de subsistencia y no subsistencia)	Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) del Ministerio de Agricultura (SAGARPA). (www.siap.gob.mx)
Temperatura promedio (pasada 1960-2005 y pronosticada 2005-2065)	°C	Temperatura promedio entre mayo y agosto para el periodo 1950-2000.	Atlas climático digital elaborado por la Unidad de Informática para Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIAMTOS), en el Centro de Ciencias Atmosféricas de la UNAM de México. (www.uniamtos.atmosfera.unam.mx)
Precipitación promedio (pasada 1960-2005 y pronosticada 2005-2065)	Mm	Precipitación promedio entre mayo y agosto, para el periodo 1950-2000.	Atlas climático digital elaborado por la Unidad de Informática para Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIAMTOS), en el Centro de Ciencias Atmosféricas de la UNAM de México. (www.uniamtos.atmosfera.unam.mx)
Indicadores de variabilidad de temperatura pasadas y futuras	°C	Incluye variables de la temperatura media, mínima y máxima para el periodo (1961-2005) y variables con promedios de predicciones utilizando modelos de temperatura (Echam, Hadgem (2030) y 9 modelos) Temperatura proyectada (°C) entre mayo y agosto en el escenario A2 para 2030 y 2045-2065 para 9 modelos, respectivamente. Incluye indicadores que miden la variabilidad durante periodos históricos y previstos (GDD, días de heladas, sequías consecutivas)	Atlas climático digital elaborado por la Unidad de Informática para Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIAMTOS), en el Centro de Ciencias Atmosféricas de la UNAM de México. (www.uniamtos.atmosfera.unam.mx), Mediciones de la Comisión Nacional de Agua y el Instituto de Tecnología del Agua (INTA) (1961-2005). Estimaciones basadas en predicciones de la Unidad Ambiental del Banco Mundial.
Indicadores de variabilidad de precipitación pasada y futura	Mm	Incluye variables de la precipitación media, mínima y máxima para el periodo (1961-2005) y variables con promedios de predicciones utilizando modelos de temperatura (Echam, Hadgem (2030) y 9 modelos) precipitación proyectada (mm entre mayo y agosto en el escenario para 2030 y 2045-2065 para 9 modelos, respectivamente). Incluye indicadores que miden la variabilidad durante periodos históricos y previstos (coeficiente de variación de la precipitación, número de días con precipitación > 10 mm, porcentaje de días con lluvia por encima del percentil 95 de lluvia)	Interproblemas mediante los modelos Hadgem1 y MPIEcham5_A2 para 2030. Atlas climático digital elaborado por la Unidad de Informática para Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIAMTOS), en el Centro de Ciencias Atmosféricas de la UNAM de México. (www.uniamtos.atmosfera.unam.mx), Mediciones de la Comisión Nacional de Agua y el Instituto de Tecnología del Agua (INTA) (1961-2005). Las estimaciones de 9 modelos basadas en predicciones de la Unidad Ambiental del Banco Mundial.

Variables principales	UNIDAD	DEFINICIÓN	FUENTE
		EXPOSICIÓN	
Número total de riesgos ambientales reportados	#	Suma de problemáticas ambientales (tala ilegal, incendios, plagas, pérdida de biodiversidad, contaminación del agua), informaron por municipio.	Encuesta Nacional de Gobiernos Municipales (ENDESQL 2004-2005)
Tasa de reforestación	%	Contiene el índice de toda la zona reforestada de incendios, sequía y desertificación por municipio	Datos del Censo Agrícola (INEGI, 2007) y el Instituto Nacional de Ecología (2008)
		SENSIBILIDAD	
Tasa de migración	%	Fujo de migración neta promedio por municipio	Censo INEGI (1960-2005)
Rendimiento promedio de maíz	tons/ha	Rendimiento promedio de maíz de secano durante el ciclo primavera-verano 2005.	Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) del Ministerio de Agricultura (SAGARPA), (www.siap.gob.mx)
		CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN	
Crecimiento total de la población por municipio	%	Tasa de crecimiento de la población municipal entre 1960 y 2005.	Censo de Población y Vivienda 2005 (INEGI) y Consejo Nacional de Población (CONAPO)
Densidad poblacional	Hab/km ²	Degree of agglomeration/urbanization of municipality	Datos del censo 2005 (INEGI)
Agricultores que reportan pérdidas relacionadas con el clima	%	Se refiere a la proporción de unidades de producción agrícola que declaran pérdidas debido a las contingencias climáticas de cada municipio	Censo Agrícola, Ganadero y Forestal (INEGI, 2007)
Población que no puede acceder a la atención médica	%	Porcentaje de población por municipio que tiene acceso a servicios de salud (públicos o privados)	Datos del censo 2005 (INEGI)
Población de 65 años de edad o más en el hogar	%	Porcentaje de hogares con al menos un habitante mayor. Promedio agregado por municipio.	Datos del censo 2005 (INEGI)
Población indígena por municipio	%	Porcentaje de población indígena con respecto a toda la población dentro del municipio. Definición de indígena fue auto-reconocida y corroborada al hablar la lengua en casa.	Datos del censo 2005 (INEGI)

Tabla 4. Variables utilizadas para el control de robustez (fuentes y definiciones) para el índice de vulnerabilidad del cambio climático en la agricultura. (Fuente: Elaboración propia).

ANEXO I

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL ÍNDICE

El algoritmo utilizado para la construcción de índices de vulnerabilidad en este trabajo sigue aplicaciones similares a las de Cutter, Boruff y Shirley (2003) y Schmidtlein *et al.* (2007). Primero, se basa en la inclusión de la normalización de datos para las variables de entrada y las puntuaciones finales del índice. Los cálculos se llevaron a cabo siguiendo estos pasos:

1. Estandarizar todas las variables de entrada para la media 0 y la desviación estándar 1.
2. Realizar el ACP con las variables de entrada estándar con las siguientes variables principales/de base (todas las variables agregadas a nivel municipal): Área total de superficie agrícola (ha), temperatura media (1960-2005; y pronosticada 2005-2045, promedio de precipitación (pasada 1960-2005; y pronosticada 2005-2045), escenarios pasados y futuros de variabilidad de temperatura (9 modelos climáticos, ver el documento anexo), indicadores pasados y futuros de variabilidad de precipitación (9 modelos climáticos, ver el documento anexo), pobreza alimentaria, porcentaje de producción de maíz en regadío, porcentaje de la población en actividades agrícolas, porcentaje de agricultores que pertenecen a organizaciones, porcentaje agricultores perceptores de remesas, distancia entre el centro del municipio y la carretera (km), asistencia federal de desastres per cápita (\$).
3. Rotar (varimax) la solución inicial y construir la matriz de pesos. [Las ponderaciones se mantienen en condiciones basales para permitir una relación estructural para realizar predicciones].
4. Ordenar y seleccionar los principales componentes de la matriz resultantes de la forma en que pueden influir en

la vulnerabilidad en tres dimensiones y asignar eigen valores a los componentes respectivamente. [Se utilizó un producto de las cargas de cada variable en cada factor para determinar si los altos niveles de un factor dado tienden a aumentar o disminuir la vulnerabilidad].

5. Debido a que ACP es un método sensible a los valores de las variables de entrada, el paso de estandarización de datos es necesario para que todas las variables tengan la misma magnitud. Con el conjunto de datos estandarizado, se puede realizar el ACP en el segundo paso. Produce un conjunto de componentes ortogonales que son combinaciones lineales de las variables originales. Por la construcción, el primer componente es la combinación lineal que explica la mayor variación entre las variables originales, el segundo componente explica la mayor variación restante y así sucesivamente.
6. Basándose en los resultados del ACP realizado, seleccione un subconjunto parsimonioso de componentes que explique de la mejor manera posible el conjunto de datos subyacente. [No se delimitó el índice con límites superior e inferior para permitir la evaluación total de la vulnerabilidad]
7. Llevar a cabo la sensibilidad con rotación Varimax y agregar los componentes interpretados con ponderaciones iguales para verificar que el índice no varía sustancialmente.
8. Realizar los mismos pasos para las predicciones mediante datos de predicción de la unidad de cambio climático (con peso estructural desde la base)
9. La sensibilidad de este enfoque para crear índices de vulnerabilidad se llevó a cabo en dos fases principales.
 - a. Reemplazar las variables incluidas en el ACP por otras variables representativas que puedan proporcionar resultados similares en cuanto a niveles y distribución del índice.

- b. Se calculó la correlación entre los índices de los condados para determinar con cuánta precisión el índice construido con el subconjunto de variables correspondía al índice con todo el conjunto de variables sociales.

ESCENARIOS Y MODELOS CLIMÁTICOS UTILIZADOS

Los modelos climáticos globales (MCG) se aplican ampliamente en meteorología mejorando la comprensión del clima y proyectando el cambio climático. Los modelos están diseñados para realizar predicciones climáticas proyectadas a décadas y siglos, contienen varias ecuaciones de pronósticos que se adelantan en el tiempo (típicamente: vientos, temperatura, humedad y presión superficial) junto con un número de ecuaciones diagnósticas que se evalúan a partir de los valores simultáneos de las variables. Las predicciones también se basan en las resoluciones de las secciones del mundo. En el caso de México, el INEGI construye cuadrículas de mayor resolución, en comparación con otros países, los modelos HadGEM1 y ECHAM utilizan cuadrículas con una resolución más alta en los trópicos para ayudar a resolver los procesos de transformación entre el espacio espectral y el punto de cuadrícula (pixel mayor precisión local). Los modelos más ampliamente aceptados en México para la predicción climática son ECHAM y HADGEM (2030) (UNAM 2010), que fueron utilizados para estimar la CCVI y, posteriormente, poder comparar los resultados con las predicciones climáticas de los nueve modelos para verificar la robustez y calibración. El índice divulgado en este documento contiene los nueve modelos de predicción (2045-2065) ya que los controles de calibración y robustez solo mostraban ligeras diferencias en la distribución del índice a través de los municipios. Sin embargo, los nueve modelos nos ofrecen escenarios de predicción climática más detallados. Por esa razón, solamente divulgamos el índice construido con los nueve modelos de predicción.

Para el escenario de emisiones de escenarios de cambio en 2045 utiliza el escenario A2, porque es en el extremo superior de la IE y siendo el escenario que mejor captura los cambios en la adaptación y el cambio climático. Los beneficios de utilizar otro tipo de escenario yacen en la capacidad para capturar las ligeras modificaciones del cambio climático en los escenarios extremos inferiores que son computacionalmente intensos y ofrecen poco valor añadido al índice. Potencialmente, un escenario de bajas emisiones da menos información desde el punto de vista del impacto y adaptación.

Además, la trayectoria real actual de las emisiones (1990 al presente) corresponde a un escenario de emisiones relativamente altas. Siendo este escenario considera los siguientes niveles de emisiones que alteran el clima (temperatura y precipitación). Se proyecta que las emisiones acumuladas de CO₂ durante la mitad y el final del siglo XXI serán superiores a 600 y 1850 GtC respectivamente y las concentraciones de CO₂ esperadas (en partes por millón, ppm) durante la mitad y al final del siglo XXI, en este escenario serán de unos 575 y 870 ppm, respectivamente. La actual concentración de CO₂ es de alrededor de 380 ppm. Los aumentos de metano y óxido nitroso avanzan rápidamente durante el siglo XXI. El dióxido de azufre aumenta hasta un valor máximo justo antes de 2050 (105 MtS/año) y luego disminuye en la segunda mitad del siglo (60 MtS/año para el año 2100).

Nueve modelos utilizados para construir el índice

CGCM3.1 (2045-2065): CGCM3.1 se ejecuta en dos resoluciones diferentes, con dos niveles de exactitud de las predicciones. La versión de T47 (utilizada en nuestras estimaciones) tiene una red superficial cuya resolución espacial es de aproximadamente 3,75 grados lat/lon y 31 niveles en la vertical. Esto se ajusta bien a las áreas litorales de México, pero presenta una exactitud limitada en las regiones centrales. La cuadrícula del océa-

no comparte la misma máscara de tierra que la atmósfera, pero tiene cuatro celdas de cuadrícula de océano subyacente a cada cuadrícula atmosférica. La resolución del océano en este caso es de aproximadamente 1.85 grados, con 29 niveles en la vertical.

La versión T63 tiene una red superficial cuya resolución espacial es de más o menos 2,8 grados lat/lon y 31 niveles en la vertical. Como se mencionó antes, la cuadrícula del océano comparte la misma máscara de tierra que la atmósfera, pero en este caso tiene seis celdas de cuadrícula de océano subyacentes a cada cuadrícula atmosférica. La resolución del océano es de aproximadamente 1.4 grados de longitud y 0.94 grados de latitud. Esto proporciona una resolución de corrientes zonales en el trópico meridional ligeramente mejor, más resolución casi isotrópica en latitudes centrales y problemas reducidos en cierto grado con meridianos convergentes en el Ártico.

CNRM-CM3 (2045-2065): este modelo proporciona resoluciones similares de los modelos mencionados, pero presenta un sesgo hacia el frío en la mayoría de los trópicos. Este modelo sobrestima los flujos de corriente durante el verano; lo opuesto ocurre durante el invierno en América (Saurral y Barros 2009). Aunque para el continente americano el modelo muestra algunas deficiencias en la representación del ciclo del agua en toda la región, las validaciones de los campos de temperatura y precipitaciones son relativamente precisas para el hemisferio norte de las Américas.

CSIRO-Mk3.5 (2045-2065): modelo creado por el Centro Australiano para la Investigación del Clima que utiliza un modelo dinámico del modelo atmosférico que se basa en el modelo espectral con las ecuaciones en la forma de flujo que conserva las variables previstas. La aplicación de este modelo se utiliza mucho en las simulaciones de cambio climático a largo plazo. Las mejoras más significativas se derivan del uso de un conjunto de parámetros más realista físicamente para representar cómo transportan calor y agua dulce los remolinos oceánicos.

También cuenta con una circulación y estratificación considerablemente más realista en el océano Antártico que afecta la precisión de los estimados de temperatura y precipitación durante el otoño y el invierno.

GFDL-CM2.0 y GFDL-CM2.1 (2 modelos) (2045-2065): se trata de un modelo acoplado de circulación general atmósfera-océano (MCGAO) desarrollado en el laboratorio de dinámica de fluidos geofísicos de la NOAA en los Estados Unidos. Es uno de los principales modelos climáticos utilizados en el cuarto informe de evaluación del IPCC. El componente atmosférico de los modelos CM2.X es un ambiente de 24 niveles ejecutado a una resolución de 2 grados en dirección este-oeste y 2.5 grados en dirección norte-sur. Esta resolución es suficiente para resolver los ciclones grandes de latitudes medias responsables de la variabilidad del clima. Sin embargo, resulta demasiado desigual para resolver procesos tales como brotes de tormentas intensas o huracanes. La inclusión de este modelo como parte de las estimaciones de los nueve modelos de predicción es útil para incorporar brotes intensos.

IPSL-CM4 (2045-2065): uno de los objetivos de la modelación IPSL es estudiar cómo estos acoplamientos diferentes pueden modular el clima y la variabilidad climática y determinar de qué manera las regeneraciones en el sistema de la Tierra controlan la respuesta del clima a una perturbación tal como las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero. Se trata de un modelado relativamente simple que consta de cuatro variables atmosféricas: a) componentes de viento hacia el norte y hacia el este, b) temperatura, c) disponibilidad de agua, d) presión de la superficie. Los datos utilizados en este modelo requieren que el periodo de tiempo comprenda entre 1961 y 1990, para la precipitación y temperatura, que son datos que figuran en nuestro conjunto de datos para cada municipio en México sobre una base semanal.

ECHO-G: es un modelo híbrido acoplado que utiliza los modelos ECHAM4 atmósfera y HOPE océano. El modelo contiene una simulación de control que permite simular mil años con forzamiento externo constante. El modelo es capaz de simular la climatología no convencional, lo cual es consistente con otros modelos similares con modulación ajustada del flujo en clima y gradientes, aunque el ajuste del flujo no garantiza una simulación más exacta (Latif *et al.* 2001; AchutaRao y Sperber 2002; Davey *et al.* 2002).

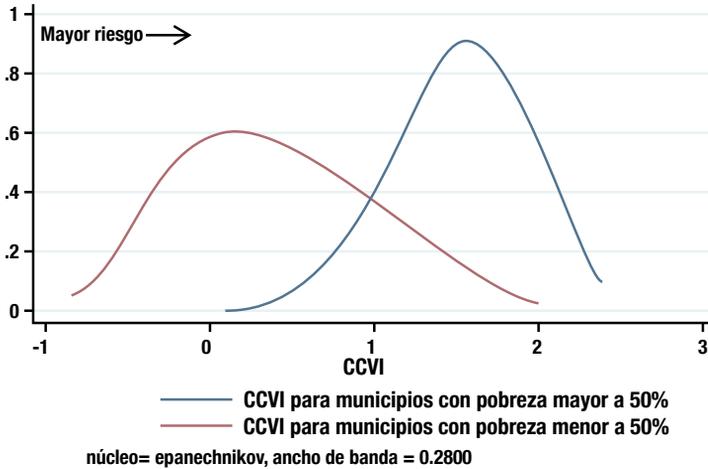
ECHAM5/MPI-OM: es la última versión del modelo ECHAM. ECHAM5 puede albergar submodelos que van más allá de los procesos meteorológicos de un MCM. El modelo puede ser utilizado en modos especiales. Este modelo se ejecuta mejor si se realiza a nivel mundial, aunque tiene algunos sesgos en ciertas regiones árticas, lo que lo convierte en uno de los modelos más consistentes para las áreas tropicales y subtropicales (Connotar, W. y Bracegirdle, T. 2007)

MRI-CGCM2.3.2: modelo acoplado del clima mundial del Instituto de Investigación Meteorológica (MRI) (CGCM; versión 2.3.2a), produce patrones de precipitación realistas en latitudes bajas. Este modelo se puede aplicar a nivel global y regional con la característica de permitir la partición de la variación total de precipitación entre intraestacional, estacional y a plazos más lejanos. El modelo reproduce esto, excepto en el Pacífico occidental donde los modelos no logran capturar las grandes variaciones intraestacionales.

Modelos utilizados para controlar la robustez

ECHAM4 (2030): Se creó al modificar los modelos de previsión del global; configuración predeterminada del modelo resuelve la atmósfera (principalmente utilizada para estudiar la atmósfera inferior), apuntando a las zonas áridas, semiáridas, subtropicales y tropicales. Dada esta distribución del clima, los datos reco-

Distribución del riesgo agrícola a la vulnerabilidad al cambio climático



Gráfica 1. CCVI a nivel estatal (2005-2045). (Fuente: Elaboración propia).

Estado	Línea base del modelo principal (2005)			Predicción del modelo principal (2045)			Cambio	
	Índice	DS	Mun.	Índice	DS	Mun.	Índice	Vulnerabilidad
Aguascalientes	-0.5009	0.1243	11	-0.4061	0.1395	11	0.0948	(+)
Baja California	-0.2540	0.1428	3	-0.3823	0.1353	5	-0.1282	(-)
Baja California Sur	-0.8512	0.1929	3	-0.7969	0.1958	5	0.0543	(+)
Campeche	0.7842	0.2973	11	0.3804	0.3055	11	-0.4038	(-)
Chiapas	1.3906	0.3856	112	1.5631	0.2786	117	0.1725	(+)
Chihuahua	0.1014	0.4552	37	0.2558	0.4139	67	0.1544	(+)
Coahuila	-0.3650	0.1360	25	-0.6504	0.1700	38	-0.2854	(-)
Colima	0.1803	0.3522	9	-0.0288	0.2696	10	-0.2091	(-)
Distrito Federal	0.4160	0.2679	7	0.2436	0.1443	10	-0.1724	(-)
Durango	-0.1372	0.4382	37	-0.1825	0.4744	39	-0.0453	(-)
Guanajuato	-0.2409	0.2064	46	-0.0513	0.2085	46	0.1897	(+)
Guerrero	0.9046	0.3753	76	0.8003	0.3178	76	-0.1043	(-)
Hidalgo	0.1700	0.7793	84	0.2691	0.5747	84	0.0991	(+)
Jalisco	0.2546	0.3200	121	0.2048	0.2689	124	-0.0497	(-)
Michoacán	0.4081	0.3588	112	0.4033	0.3149	113	-0.0048	(=)
Morelos	0.4146	0.2216	31	0.3182	0.2237	33	-0.0946	(-)
México	0.2441	0.4412	121	0.2501	0.3701	122	0.0060	(=)
Nayarit	0.6354	0.2261	20	0.3108	0.2511	20	-0.3246	(-)
Nuevo León	-0.1046	0.1926	32	-0.3072	0.2121	49	-0.2026	(-)
Oaxaca	0.7376	0.5899	557	0.8786	0.4383	570	0.1388	(+)
Puebla	0.4391	0.6530	214	0.5706	0.4504	217	0.1315	(+)
Querétaro	-0.2415	0.3416	18	-0.1551	0.3522	18	0.0864	(+)
Quintana Roo	0.5705	0.3686	8	0.6398	0.3466	8	0.0694	(+)
San Luis Potosí	0.2549	0.7717	57	0.0932	0.5224	57	-0.1617	(-)
Sinaloa	-0.0064	0.3300	15	-0.3471	0.3459	18	-0.3407	(-)
Sonora	-0.0196	0.2967	10	-0.4272	0.2403	72	-0.4075	(-)
Tabasco	1.1752	0.3408	17	0.7122	0.2461	17	-0.4630	(-)
Tamaulipas	0.0156	0.3312	38	-0.2791	0.3585	43	-0.2948	(-)
Tlaxcala	0.0301	0.1664	59	0.1221	0.2110	60	0.0920	(+)
Veracruz	1.1434	0.4075	208	0.8737	0.3701	210	-0.2697	(-)
Yucatán	0.5469	0.3142	106	0.8136	0.3116	106	0.2667	(+)
Zacatecas	-0.3273	0.3087	56	0.0476	0.2742	57	0.3749	(+)

Tabla 5. Línea base del modelo principal (2005) y Predicción del modelo principal (2045). (Fuente: Elaboración propia).

pilados para México se ajustan a este modelo. Este modelo se ha utilizado ampliamente para estudiar el clima de la tropósfera en México, lo que también permite incluir la atmósfera media. *HADGEM (2030)*: Es el modelo atmosférico más reciente (precipitación y temperatura); el componente atmosférico tiene 38 niveles que ascienden a aproximadamente 40 kilómetros de altura, con una resolución horizontal de 1.25 grados de latitud por mil 875 grados de longitud, lo que produce una cuadrícula global de celdas de 192 x 145. Estas celdas de la cuadrícula son similares en tamaño a las reportadas por la unidad geográfica de INEGI y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Una de las principales diferencias entre esta configuración del clima y las versiones anteriores es el uso de la base de la Nueva Dinámica que es no-hidrostático (supuestos de cambios en la precipitación), totalmente compresible (capacidad de desglose espacial), con un esquema de integración de tiempo semi-implícito semilagrangiano (periodos de predicción).

ANEXO II

Revisión de la literatura en aplicaciones de ACP para construir índices multidimensionales (área pequeña)

Durante muchos años, la literatura estadística careció de un criterio uniforme para combinar indicadores que resultaran en un índice compuesto de datos multidimensionales. Se ideó una serie de índices durante años, incluyendo el índice de Duncan que combina datos laborales y de ingresos de los individuos, o el índice de Townsend diseñado para explicar la variación en salud en términos de privación material (Morris y Castairs, 1991). Sin embargo, un grave problema al que se enfrentan los investigadores al construir índices es determinar una estrategia de agregación apropiada para combinar variables multidimensionales en un índice compuesto.

Durante años, los investigadores construyeron índices agregados de variables multidimensionales mediante la simple adición de variables estandarizadas (SSV). Este enfoque inicialmente desarrollado por Shevky y Bell (1955) y aplicado por Markides y McFarland (1982), utilizó la estandarización estadística de variables para sumarlas y probar la variabilidad del índice según los distintos resultados de desarrollo aplicados a la mortalidad infantil. Sin embargo, muchos expertos en estadística encontraron que tales métodos se basan en aplicar ponderaciones a las variables constituyentes que conforman los índices individuales y compuestos, que se basan en factores subjetivos, lo que plantea dudas sobre la coherencia interna y robustez de tales métodos (Gjolberg 2009).

A pesar de que la técnica ACP no es nueva, su aplicación para desarrollar índices compuestos ponderados es relativamente reciente. La técnica ACP desarrollada por Pearson (1901), aunque suele atribuirse a Hotelling (1933), es útil para transformar un gran número de variables en un conjunto de datos en un conjunto más pequeño y más coherente de factores no correlacionados (ortogonales): los componentes principales. Los componentes principales son responsables de gran parte de la variación entre el conjunto de variables originales. Cada componente es una combinación lineal ponderada de las variables iniciales, las ponderaciones para cada componente principal están calculadas por los vectores propios de la matriz de correlación o la matriz de covariación, si los datos fueran estandarizados, la variación de cada componente principal está representada por el valor propio del vector propio correspondiente.

Los componentes se ordenan para que el primer componente represente la mayor cantidad posible de variación en las variables originales. El segundo componente es totalmente no correlacionado con el primer componente y representa la máxima variación que no se contabiliza para el primero. La tercera representa lo máximo que el primero y el segundo no contabilizó y así sucesivamente.

Se utilizó el ACP por primera vez para combinar indicadores socioeconómicos en un índice único (Boelhouwer y Stoop 1999). Al reconocer la inadecuación de los procedimientos de agregación simple, Lai (2003) modificó el índice de desarrollo humano del PNUD utilizando el ACP para crear una combinación lineal de indicadores del desarrollo. Varios investigadores han utilizado el ACP, especialmente desde finales de los 90, para calcular índices socioeconómicos de la zona (Antony y Rao 2007; Fukuda, Nakamura y Takano 2007; Fotso y Kuate-defo 2005; Havard, Deguen, Bodin, Louis y Laurent 2008; Messer, Vinikoor, Laraia, Kaufman, Eyster, Holzman, Culhane, Elo, Burke y o' campo 2008; Rygel, o' Sullivan y Yarnal 2006; Tata y Schultz 1988; Sekhar, Indrayan y Gupta, 1991; Vyas y Kumaranayake 2006; Zagorski 1985).

Finalmente, el ACP es computacionalmente fácil y también evita muchos de los problemas asociados con los métodos tradicionales, como la agregación, estandarización y relaciones no lineales de las variables que afectan a las desigualdades socioeconómicas (consultar Vyas Kumaranayake 2006, para una evaluación de ventajas y desventajas del ACP y Saltelli, Nardo, Saisana y Tarantola 2004, para los pros y los contras de indicadores compuestos, en general). Gráficamente, los pasos para realizar un cálculo de ACP se basan en el siguiente diagrama:

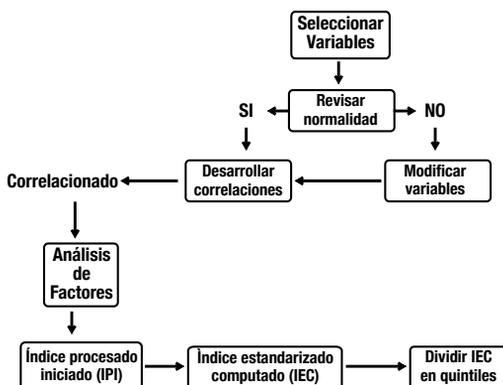


Figura 1.
(Fuente: Adaptado de Krishnan, 2010).

ANEXO III

Ejemplos de índices multidimensionales contruidos para México usando análisis de componentes principales

México tiene historia en la construcción de índices municipales importantes que captan aspectos multidimensionales de variables sociales y económicas. En 2005, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) apoyó al Gobierno de México para construir un índice de desarrollo humano en el índice municipal. Este indicador fue construido usando el análisis de componentes principales (ACP), donde se combina la esperanza de vida, tasas de alfabetización, tasas de matrícula escolar, PIB per cápita, desigualdad y composición étnica. Se utilizó el índice para clasificar municipios con el fin de dar prioridad al gasto público en los municipios y regiones con niveles más bajos de desarrollo humano (IDH 2005, PNUD). Además, el índice construido al inicio del estudio (2000) y en el seguimiento (2005) evaluó los cambios en el desarrollo humano a nivel estatal y municipal

Con un precedente en la construcción de un índice de desarrollo humano para los municipios en México, el Consejo Nacional de Población (CONAPO) en México, se embarcó en la tarea de construir un índice más refinado que incorporara otras dimensiones de bienestar social más allá del desarrollo humano. En 2000 y 2005, el CONAPO utiliza análisis ACP para construir un índice socioeconómico que mida el nivel de marginación por municipio, basado en tres dimensiones. El primero mide indicadores relacionados con la educación (años de escolaridad, nivel y tipo de educación, alfabetización), en su mayoría capturados en datos del censo. La segunda dimensión del índice estima las condiciones de los hogares y el acceso a los servicios públicos (características físicas de los hogares, acceso al agua y saneamiento y energía) provenientes de dos fuentes: datos del censo y dos encuestas de muestras amplias (ENOE y ENIGH).

La última dimensión para medir la marginalidad incorporó variables relacionadas con características municipales en términos de tamaño de la población, tasas de ocupación de la fuerza laboral y urbanización recolectadas del censo y también amplios datos de muestra. Este índice se construyó partiendo de los indicadores mencionados, incluyendo solo a las personas con mayor poder explicativo sobre la covariación de todos los indicadores. Se utilizó el ACP luego para agregar las tres dimensiones para elaborar el índice que categorizó los municipios en cinco niveles de marginalidad: muy baja, baja, media, alta y muy alta. El índice ayudó a clasificar los estados para planificar prospectivamente la asignación de recursos de los planes programáticos elaborados por el Ministerio de Hacienda, donde se le dio alta prioridad de financiamiento a estados y municipios con marginación alta y muy alta (*Gráfico 2*).

Estos ejemplos ilustran los esfuerzos anteriores por construir los índices utilizados para tomar decisiones políticas importantes. Se han construido otros índices para evaluar las múltiples dimensiones del bienestar. En 2010, el Consejo Nacional de Evaluación (CONEVAL) construyó un índice compuesto usando un análisis ACP que medía las brechas sociales que prevalecen en los municipios.

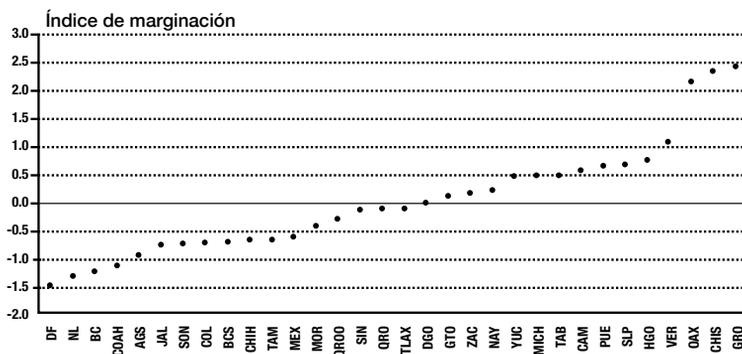
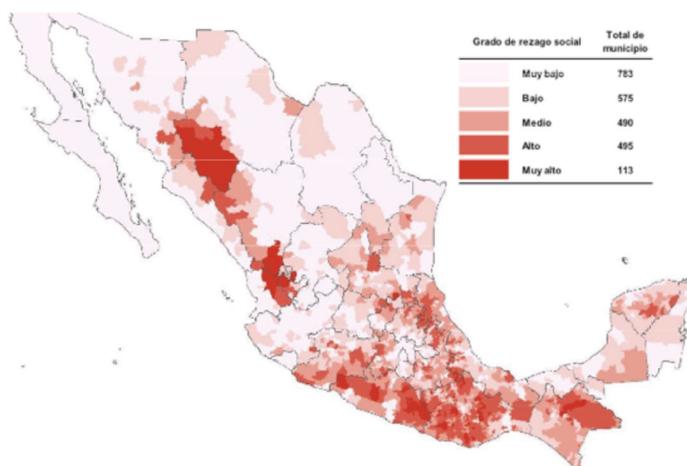


Gráfico 2: Índice de marginalidad por estado.
(Fuente: CONAPO, 2005).



Mapa 4. Índice de brecha social por municipio.
(Fuente: CONEVAL 2011).

El propósito del índice de brecha social es priorizar políticas y programas específicos dirigidos a múltiples intervenciones de desarrollo social. Este índice clasifica a los municipios con base en el desarrollo humano, acceso a servicios sociales y condiciones del hogar. El índice ayuda a remodelar las políticas sociales y las prioridades a nivel municipal y se utiliza para evaluar así las desigualdades sociales. Con esta herramienta, los gobiernos nacionales y estatales tienen pruebas para asignar fondos federales a los municipios que presentan brechas sociales más amplias.

Recientemente, se han construido otros índices para evaluar desigualdades específicas en la distribución del riesgo contra el cambio climático. El Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (IMTA) construyó un Índice Municipal para el Riesgo de Escasez de Agua debido al Cambio Climático. Este índice está totalmente sumergido en la agenda del cambio climático y tiene la ventaja de incorporar múltiples dimensiones para evaluar los riesgos de escasez de agua. Estas dimensiones incluyen salud, educación, condiciones del hogar, empleo, estructura de población y familia, género, capacidad de adaptación y percepción del

riesgo. Aunque este índice todavía está en revisión, mide de forma conceptual un reto importante al cual se enfrentarán los municipios en el futuro: el riesgo de escasez de recursos hídricos y su asignación. Estos ejemplos ilustran la importancia de utilizar abundantes datos y herramientas estadísticas para evaluar los diversos aspectos de los problemas económicos, sociales y de sostenibilidad a nivel local.

BIBLIOGRAFÍA

- ACHUTA RAO, K., SPERBER, K. R. 2002. "Simulation of the El Nino Southern Oscillation: results from the coupled model inter-comparison project". *Clima Dyn*, no. 19: 191-209.
- AGROASEMEX, S.A. 2009. Sistema de Información sobre Riesgos Agrícolas. Guía de Interpretación. Septiembre. Disponible en: <http://www.AGROASEMEX.gob.mx/index.php/es/actualizate2/mapariesgos>
- ANTONY, G. M. Y RAO, K. V. 2007. "A composite index to explain variations in poverty, health, nutritional status and standard of living: Use of multivariate statistical methods". *Salud pública*, no. 121: 578-587.
- BIASUTTI, M., ET AL. 2011. "Projected Changes in the Physical Climate of the Mexican Gulf Coast and Caribbean". To be Published in *Climate Change*, no. 1. Versión preliminar disponible en: <http://www.ldeo.columbia.edu/~biasutti/papers/Climatic-Change.pdf>
- BOELHOUWER, J. Y STOOP, I. 1999. "Measuring well-being in the Netherlands: The SCP index from 1974 to 1997". *Social Indicators Research*, no. 48(1): 51-75.
- CEPAL. 2008. Pérdidas en los Sectores Económicos de México. Comisión Económica para América Latina y el Caribe: Santiago, Chile. Disponible en: http://www.eclac.cl/publicaciones/XML/3/33373/L864_parte_6_de_8.pdf

- CONAGUA. 2008. Programa Nacional de Agua. SEMARNAT. Retrieved March. México.
- CONEVAL. 2010. Índice de Rezago Social. México: Consejo Nacional de Evaluación.
- CONNOLLEY, W., BRACEGIRDLE, T. 2007. "An Antarctic assessment of IPCC AR4 coupled models". *Geophysical Research Letters*, no. 34. L22505
- DAVIES L., GATHER U. 1993. "The identification of multiple outliers". *Journal of the American Statistical Association*, no. 88(423): 782-792.
- DAVEY, M. K., HUDDLESTON, M., SPERBER, K. R., BRACONNOT, P., BRYAN, ET. AL. 2002. "STOIC: a study of coupled model climatology and variability in tropical ocean regions". *Clima Dyn*, no. 18: 403-420.
- DE LA FUENTE, A. 2011. Government expenditures in pre and post-disaster risk management. The World Bank.
- DESCHENES, O., M. GREENSTONE. 2007. "The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather". *American Economic Review*, no. 1: 354-85.
- FAY, M. Y HRISHI P. 2008. A simple index of vulnerability to climate change. (Documento de referencia preparado para el informe del Banco Mundial). Washington, DC.
- FIKI, O.C. Y LEE, B. 2004. "Conflict Generation, Conflict Management, and Self-organizing capabilities under drought-prone rural communities in NE Nigeria". *Journal of Social Development in Africa*, no. 19: 25-48.
- FOTSO, J., KUATE-DEFO, B. 2005. "Measuring socioeconomic status in health research in developing countries: Should we be focusing on households, communities, or both?". *Social Indicators Research*, no. 72: 189-237.
- FUKUDA, Y., NAKAMURA, K., TAKANO, T. 2007. "Higher mortality in areas of lower socioeconomic position measured by a single index of deprivation in Japan". *Salud pública*, no. 121: 163-173.

- FUSSEL, HM. 2009. Development and Climate Change. Nota de referencia para el Informe sobre el desarrollo mundial 2010.
- GJOLBERG, M. 2009. "Measuring the immeasurable? Constructing an index of CSR practices and CSR performance in 20 countries". *Scandinavian Journal of Management*, no. 25: 10-22.
- HAVARD, S., DEGUEN, S., BODIN, J., LOUIS, K. Y LAURENT, O. 2008. "A small-area index of socioeconomic deprivation to capture health inequalities in France". *Social Science and Medicine*, no. 67: 2007-16.
- HELTBERG, R. Y BONCH-OSMOLOVSKIY, M. 2010. A climate vulnerability index for Tajikistan. Banco Mundial.
- HOTELLING, H. 1933. "Analysis of a complex of statistical variables into principal components". *Journal of Educational Psychology*, no. 24: 417-441.
- IMTA, 2009. Perspectivas de la gestión del agua en México al año 2025. IMTA-Estudios Prospectivos. México.
- INE. 2007. "Análisis de la precipitación histórica de la zona norte de México". En Esquivel, E. *Gaceta Ecológica*, no. 65. México.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- . (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press.
- KANAIAUPUNI, S.M. 2000. "Leaving Parents Behind: Migration and Elderly Living Arrangements in Mexico". *Center for Demography and Ecology*, 99-16. Universidad de Wisconsin.
- LAI, D. 2003. "Principal component analysis on human development indicators of China". *Social Indicators Research*, no.61(3): 319-330.
- LATIF, M., SPERBER, K., ARBLASTER, J., BRACONNOT, P., CHEN, D. ET. AL. 2001. "ENSIP: El Niño simulation intercomparison project". *Clima Dyn*, no. 18: 255–276.

- LOBELL, D.B. Y G.P. ASNER. 2003. "Climate and Management Contributions to Recent Trends in U.S. Agricultural Yields". *Science*, no. 299: 1032.
- MANLY, B.F.J. 1994. *Multivariate statistical methods. A primer*. 2nd Edition. Londres.
- MARKIDES, K. S., MCFARLAND, C. 1982. "A note on recent trends in the infant mortality-socioeconomic status relationship". *Social Forces*, no. 61(1): 268-276.
- MARTINEZ, G. Y KNERR, B. 2000. "Labor Migration as a Social Security Mechanism for Smallholder households". *Oxford Development Studies*, no. 28: 223-236
- MARTÍNEZ-AUSTRIA, P. F. 2007. *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*. Jiutepec, Mor: IMTA. Disponible en: <http://www.imta.mx/gaceta/anteriores/g07-11-2007/gaceta-imta-07.pdf>
- MARTÍNEZ, J. 2010. *ABC de Cambio Climático: Impactos y Acciones en México Vulnerabilidad y Adaptación Disponibilidad de agua: Proyecciones al 2030*. México: INE-SEMARNAT.
- MARTÍNEZ, J. Y FERNÁNDEZ, A. 2004. *Cambio Climático: Una visión desde México*. México: INE-SEMARNAT.
- MCFARLANE, N.A., J. F. SCINOCCA, M. LAZARE, R. HARVEY, D. VERSEGHY Y J. 2005. *The CCCma third generation atmospheric general circulation model*. CCCma Internal Rep.
- MCCARL, B.A., VILLAVICENCIO, X., WU, X. 2008. "Climate Change and Future Analysis: Is Stationary Dying?". *American Journal of Agricultural Economics*, no. 90(5):1241-1247.
- MCKENZIE D. J. 2003. "Measure inequality with asset indicators". BREAD Working Paper, no. 042. Cambridge, MA. Harvard University: Bureau for Research and Economic Analysis of Development, Center for International Development.
- MESSER, L. L. DE C., VINIKOOR, B. C., LARAIA, A., KAUFMAN, J. S., EYSTER, J., HOLZMAN, C., CULHANE, J., ELO, I., BURKE, J. G. Y OCAMPO, P. 2008. "Socioeconomic domains and associations with preterm birth". *Social Science and Medicine*, no. 67: 1247-1257.

- MILLIKEN KT, ANDERSON JB, RODRIGUEZ AB. 2008. "A new composite Holocene sea-level curve for the northern Gulf of Mexico". In: "Response of Upper Gulf Coast estuaries to Holocene climate change and sea-level rise". Special Paper 443: 1-11. Geological Society of America, Boulder. Disponible en: DOI 10.1130/2008.2443(01).
- MORRIS, R. Y CASTAIRS, V. 1991. "Which deprivation? A comparison of selected deprivation indices". *Journal of Public Health Medicine*, no. 13: 318-326.
- NAKICENVOIC, ET AL. 2000. Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- ONWUJEKWE O, K DE HANSON, FOX-RUSHBY J. 2006. "Some indicators of socio-economic status may not be reliable and use of indices with these data could worsen equity". *Health Economics*, no. 15: 639-44.
- PEARSON, K. 1901. "On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space". *Philosophical Magazine*, no. 2 (6): 559-572.
- Peralta-Hernandez, A.R. *et al.* 2009. "Comparative Analysis of indices of extreme rainfall events: variations and trends from southern Mexico". *Atmosfera*, no. 22 (2): 219-228.
- POLSKY, C. Y NEFF, R. Y YARNAL, B. 2007. "Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram". *Global Environmental Change*, no. 17: 472-485.
- RIBOT, J. 2010. *Vulnerability Does Not Fall from the Sky: Toward Multiscale, Pro-Poor Climate Policy*. En: Means, R., Norton, A. (Eds.), *Social Dimensions of Climate Change: Equity and Vulnerability in a Warming World*. Banco Mundial. Washington, DC.
- RUIZ-CORRAL J.A., GARCÍA MEDINA G., GONZÁLEZ-ACUÑA I.J., ORTIZ-TREJO C., FLORES LÓPEZ, S. E., MARTÍNEZ-PARRA R.A., BYERLY-MURPHY K.F. 1999. *Requerimientos Agroecológicos de cultivos*. SAGAR, INIFAP.

- RYGEL, L., O´SULLIVAN, D., YARNAL, B. 2006. "A method for constructing a social vulnerability index: An application to hurricane storm surges in a developed country". *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, no. 11: 741-764.
- SALTELLI, A., NARDO, M., SAISANA, M. Y TARANTOLA, S. 2004. *Composite indicators-The controversy and the way forward*. OECD World Forum on Key Indicators, 10-13. Palermo.
- SAURRAL, R. Y BARROS, V. 2009. *The Hydrological Cycle in Southern South America in Three General Circulation Models. CNRM-CM3, ECHAM5/MPI-OM AND GFDL-CM2.0*. CIMA y DCAO, int. Guiraldes 2160, Ciudad Universitaria, Pab. II, C1428EGA. Buenos Aires
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP). 2009. *Anuarios Estadísticos a Nivel Municipal 2001-2009*. México.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL (SMN). 2010. *Base de Datos del CLICOM*.
- SHAW, L.H. 1964. "The Effect of Weather on Agricultural Output: A Look at Methodology". *Journal of Farm Economics*, no. 46 (1): 218-230. U.S. Census Bureau. 2009. *Estimaciones de población*. <http://www.census.gov/popest/archives/>, (fecha de lanzamiento. 19 de marzo de 2009).
- SCHLENKER, W EL. Y M.J. ROBERTS. 2009. "Nonlinear Temperature Effects Indicate Severe Damages to U.S. Crop Yields under Climate Change". *PNAS*, no. 106(37): 15594-15598.
- Sekhar, C. C., Indrayan, A. y Gupta, S. M. 1991. *International Journal of Epidemiology*, (1 de 20), 246-250.
- SHEVKY, E., BELL, W EL. 1955. *Análisis del área social*. Stanford: Stanford University Press.
- TATA, R. J., SCHULTZ, R. R. 1988. "World variation in human welfare: A new index of development status". *Anales de la Asociación de Geógrafos Estadounidenses*, no. 78(4): 580-593.
- USDA/NASS. 2009. *Datos de Estados Unidos y de todos los datos estados (condados, cultivos)* Disponible en: http://www.nass.usda.gov/QuickStats/Create_County_All.jsp.

- VÖRÖSMARTY, C.J., VERDE, P., SALISBURY, J., LAMMERS, R. B. 2000. "Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth". *Science*, no. 289: 284–288.
- VYAS, S. Y KUMARANAYAKE, L. 2006. "Constructing socioeconomic status indices: How to use principal components analysis". *Advance Access Publication*, no. 9: 459-468.
- WALLACE, H.A. 1920. "Mathematical Inquiry into the Effect of Weather on Corn Yield in the Eight Corn Belt States". *Monthly Weather Review*, no. 48 (8): 439-446.
- WESTPHAL, M. I. 2008. *Summary of the Climate Science in the Europe and Central Asia Region: Historical Trends and Future Projections*. Documento de referencia preparado para el informe del Banco Mundial. Washington, DC.

EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POBREZA EN MÉXICO¹

ALEJANDRO DE LA FUENTE MERAZ Y MARCELO OLIVERA

INTRODUCCIÓN

Se prevé que el calentamiento global aumentará los promedios de temperatura y precipitación, así como su variabilidad (IPCC 2007). Tales cambios son preocupantes sobre todo para los países en desarrollo; ya que buena parte de sus poblaciones dependen de actividades relacionadas al clima y cuentan con ingresos limitados para adaptarse.

En respuesta a esto, el análisis económico intenta estimar los posibles impactos del cambio climático² en las sociedades en

1 Se trata de un documento de referencia para el estudio Dimensiones sociales del cambio climático en México (Social Dimensions of Climate Change in Mexico), coordinado por Rodrigo Serrano-Berthet. Agradecemos los comentarios a las versiones preliminares de este documento realizados por Alexandra Ortiz, Martin Henry Lenihan y Emmanuel Skoufias. Los resultados, interpretaciones y conclusiones expresadas en este documento pertenecen enteramente a sus autores y no reflejan necesariamente las opiniones del Banco Mundial, su Junta Directiva o los gobiernos que representan.

2 Se define como cambio climático, más que de la variabilidad climática, el cambio lento de las temperaturas y precipitación medias pronosticadas, resultantes de la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

desarrollo. Existe literatura que se centra en la relación entre ingreso y factores climáticos, estudios que a menudo analizan datos de diferentes países hallando en la mayoría de los casos una relación negativa entre los ingresos y la temperatura (Dell *et al.* 2009; Bansal 2009).

Otra perspectiva se centra en los efectos que provocan los desastres relacionados con el clima en los indicadores macroeconómicos o variables a nivel nacional, que incluyen el PIB o su crecimiento. Los estudios difieren en sus técnicas, datos y conclusiones: algunos encuentran efectos negativos (Auffret 2003), mientras que en otros sobresalen los efectos positivos (Skidmore y Toya 2002). Loayza *et al.* (2009) concilian los resultados aparentemente contradictorios; a mediano plazo, estiman los efectos de los desastres relacionados con el clima (sequías, inundaciones, tormentas; de forma separada y simultánea) en el crecimiento económico. Emplean un modelo que observa los tres sectores principales (agricultura, industria y servicios) relacionándolos con la totalidad económica. Los desastres graves conllevan efectos adversos (independientemente del tipo que sean), pero, por ejemplo, las inundaciones moderadas aumentan el crecimiento industrial.

Todos estos estudios sobre los efectos del cambio climático o de desastres climáticos se centran en efectos locales con respecto a toda la economía de producción. Sin embargo, las medidas de producción son una manera imperfecta de medir el bienestar general de la sociedad. Por lo tanto, este trabajo se centrará en los efectos del cambio climático en la pobreza, en lugar del crecimiento económico.

Pocos estudios han analizado los posibles impactos del cambio climático en la pobreza en México; algunos modelan los canales y la heterogeneidad de los impactos en los grupos de ingresos mientras que otros se concentran en la pobreza a nivel municipal. Hertel *et al.* (2010) utilizan un modelo global de equilibrio general computable (Proyecto de Análisis del Comercio

Mundial o GTAP) para imitar el efecto de los *shocks* de productividad en la agricultura (modelan el consumo y la producción de todos los productos básicos de la economía nacional) y luego vinculan esas estimaciones a los datos de los hogares. Utilizan tres escenarios del cambio climático en la productividad agrícola (productividad baja, media o alta)³ para evaluar los cambios hacia el año 2030 en los precios mundiales de los productos básicos y la tasa de incidencia de la pobreza (definida como la parte de la población del país que vive con menos de un dólar al día).

Ahmed *et al.* (2009) también analizan la relación clima-agricultura-pobreza. Su modelo es prácticamente idéntico al de Hertel *et al.* (2010) mostrado anteriormente y se aplica a 16 países, incluyendo México, la diferencia principal es el origen de los shocks en la agricultura. El presente trabajo parte de tres fuentes diferentes: (i) el porcentaje de precipitación anual total debido a los acontecimientos que superan el percentil 95 de 1961-1990; (ii) el número máximo de días secos consecutivos; y (iii) el índice de la duración de la ola de calor. Analizan estos efectos por periodos de 30 años en 1970-2000 y de 2071 a 2100, mediante simulaciones en el escenario A2 del IPCC. Cuando simulan los efectos en la pobreza, a partir de eventos particularmente secos, durante el periodo 2070-2100 en México, más de un 1.8% la población se empobrecería en el futuro debido al clima extremo.

Andersen y Verner (2010, 2010a) emplean datos municipales en México (y otros países de América Latina) para estimar la relación transversal entre el clima y los ingresos en el año 2000. Las relaciones estimadas se utilizan para simular el impacto de los cambios climáticos para los próximos cincuenta años. Encontraron que las precipitaciones y temperaturas medias no están

3 El escenario mundial de baja productividad presenta cambios rápidos de temperatura, alta sensibilidad de los cultivos frente al calentamiento y un efecto de fertilización de CO₂ que representa un extremo inferior en las estimaciones publicadas. El escenario mundial de alta productividad representa un ritmo de calentamiento relativamente lento, baja sensibilidad de los cultivos respecto al cambio climático y alta fertilización de CO₂.

relacionadas de forma significativa con los ingresos. Asumen que existe una relación negativa entre la pobreza y el ingreso per cápita, por lo tanto, su conclusión es que México parece ser menos vulnerable al cambio climático que muchos otros países de América Latina. Sin embargo, aunque el análisis resulta aproximado, no estiman la elasticidad pobreza-producción, como tampoco toman en cuenta las proyecciones de ingresos y población que se contabilizan en este trabajo.

Para evaluar los efectos del cambio climático en la pobreza, proponemos una regresión de mínimos cuadrados en dos etapas (MC2E) donde, primeramente, se realiza la regresión de la temperatura y la precipitación (junto con controles municipales de elevación: longitud, distancia desde la municipalidad a la carretera más cercana y los efectos fijos que se presentan por estado y año), así como el reflejo en el PIB per cápita municipal para 2000 y 2005, este PIB per cápita se utiliza en una segunda ecuación para estimar la pobreza municipal en el mismo periodo.

Los cambios en el PIB per cápita afectan en nivel de pobreza y viceversa. Por esta razón, usamos la precipitación y la temperatura en una primera etapa para instrumentar el PIB, así se elude el problema de la endogeneidad. En otras palabras: la variación del PIB per cápita se explica a través de las diferencias en las condiciones climáticas del municipio, posteriormente este dato sirve para predecir los efectos del cambio climático en la pobreza. El ejercicio funciona para calcular los niveles de pobreza en las tres medidas alternativas definidas oficialmente en México hasta el 2012: la pobreza alimentaria, la pobreza de capacidades y la pobreza de patrimonio, publicadas por el Consejo Nacional para la Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) en México. Es un hecho que el clima afecta la producción; el aumento de temperatura en un grado Celsius disminuye el PIB per cápita en alrededor de 5.6%. En general, se prevé que el cambio climático disminuye la producción en un 1.45% en promedio para toda la muestra.

En la segunda etapa del modelo se analiza la relación entre las tasas de pobreza a nivel municipal y el PIB municipal per cápita. Se establece que la elasticidad de la pobreza es alta e inversa al crecimiento: un crecimiento del uno por ciento del PIB per cápita, la pobreza disminuye en 1.74%. La prosperidad asciende en la medida en que las densidades de población y producción aumentan. Si el PIB crece según lo proyectado en los próximos 25 años, la pobreza de patrimonio caería de 49.4% en 2005 a 15.25% en 2030.

Para inferir los impactos del cambio climático en la pobreza, los impactos estimados de la temperatura y la precipitación en la producción se multiplicaron por el cambio climático previsto para 2030. Los cambios previstos en el PIB per cápita sirven, a su vez, para reestimar la pobreza. La tasa de pobreza de patrimonio esperada para 2030 a través de los cambios inducidos por el clima en el PIB es de 17.68 %. Al comparar la tasa de pobreza de patrimonio proyectada para el año 2030 con y sin cambio climático, se observa que la pobreza aumenta en 2.43 por ciento en 2030 debido al cambio climático. Una mayor densidad de población y prosperidad reducen la pobreza, pero el cambio climático frena el ritmo de reducción de la pobreza.

Existen varias advertencias a este ejercicio de simulación. Primero, los escenarios de cambio climático y producción llevan consigo cierto grado de incertidumbre. Esta incertidumbre es intrínseca a las proyecciones a largo plazo y a la escala geográfica en que fueron proporcionadas. En segundo lugar, las elasticidades del clima-producción utilizadas asumen que el cambio climático será muy gradual durante los próximos 25 años. En tercer lugar, se asume que la elasticidad de pobreza-producción permanecerá constante en el tiempo.

Aun cuando la tendencia es marcada, esta situación no es completamente improbable para un país de ingresos medios como México donde ya han ocurrido cambios profundos en la estructura económica. Y, finalmente, los escenarios de pobreza

para 2030, con y sin cambio climático, no asumen una adaptación al cambio climático, esto es porque las proyecciones de desarrollo económico y crecimiento de la población utilizada no dan cuenta del cambio climático. Las conclusiones presentadas se deben considerar como advertencias indicativas de la dirección a seguir, considerando en todo momento la magnitud que los efectos del cambio climático podrían tener sobre la pobreza en México, en lugar de concebirse como pronósticos reales.

El resto de este artículo continúa de la siguiente manera: la *Sección 2* contiene definiciones clave y fuentes de datos aplicadas. La *Sección 3* presenta la metodología empírica utilizada seguida de una discusión de los resultados en la *Sección 4*. La *Sección 5* presenta una conclusión.

DATOS

Este estudio se realiza en 2 mil 69 municipios de todos los estados de México, lo que representa el 84% del total de municipios del país. Los municipios faltantes se encuentran ubicados principalmente en Oaxaca y Puebla, que cuentan con un gran número de pequeñas localidades que no se pudieron ajustar a los modelos de proyecciones climáticas. Ambos estados muestran focos de alta pobreza (ver *Figura 3*). Sin embargo, su geografía política altamente fragmentada —especialmente la de Oaxaca— hace inviable el análisis de datos climáticos (disponibles en una resolución de aproximadamente 50 x 50 km) en algunos municipios pequeños.

Este análisis utiliza cinco tipos de información: (i) ingresos y datos geográficos, (ii) datos meteorológicos y climáticos, (iii) índices de pobreza, (iv) escenarios de cambio climático y (v) proyecciones de población y producción (PIB). Los controles geográficos y de PIB per cápita provienen del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La precipitación diaria en milímetros y la temperatura provienen de estaciones meteorológicas y del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Los datos climáticos históricos

fueron agregados a nivel de municipio a partir de un conjunto de datos históricos observados y re ensamblados en una grilla geográfica derivada de datos producidos por la Unidad de Investigación Climática (CRU) de la Universidad de East Anglia (UEA).

Se accedió a este conjunto de datos a través del Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático del Banco Mundial (CCKP). El conjunto de datos de clima global TS 2.1 de CRU está compuesto por mil 224 series de tiempo mensuales de las variables climáticas —incluyendo temperatura y precipitación— para el periodo 1901-2009 y cubre la superficie terrestre mundial, excepto la Antártida, en una resolución de 0.5 grados. Se obtuvieron las tasas de pobreza a través de técnicas de estimación de áreas pequeñas con datos del Censo de Población y Vivienda y el Censo de Población y Vivienda de 2005. Las proyecciones de población provienen del Consejo Nacional de Población (CONAPO).

PIB y datos geográficos

Los datos históricos sobre el PIB per cápita provienen del INEGI para 2000, 2005 y 2010. La ubicación geográfica del municipio afecta la productividad, que a su vez afecta la pobreza. Por lo tanto, el análisis considera la latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar de cada municipio. La distancia desde la cabecera municipal a la carretera federal y estatal más cercana también se utiliza como medida de la conectividad.

Datos meteorológicos y climáticos

Los datos climáticos históricos fueron imputados a los municipios mediante un modelo de capacidad de infiltración variable (VIC) para México, desarrollado por Liang *et al.* (1994).⁴

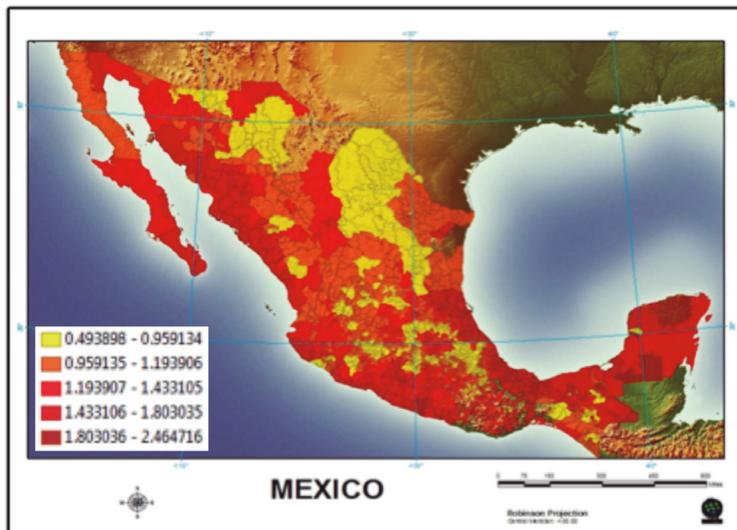
4 VIC como un modelo hidrológico de macroescala semidistribuido. VIC equilibra el agua y la energía superficial dentro de la célula de la red; y sus variaciones subcuadrícula son capturadas estadísticamente. Entre las características

Escenarios de cambio climático

El cambio climático modifica el promedio y variación de la precipitación y la temperatura. Los diferentes escenarios propuestos por el IPCC fueron adaptados a diferentes regiones en México para predecirlo. Hemos configurado un escenario global de precipitación y temperatura obtenido para 22 modelos climáticos compuestos por el Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático del Banco Mundial (2011).⁵ El cambio climático global modifica los promedios de precipitación y temperatura locales. Por lo tanto, el Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático adaptó las proyecciones resultantes de los modelos climáticos globales a distintas regiones de México a una resolución de 50 x 50 km aproximadamente. Los datos de referencia sobre la temperatura y precipitación diarias empleadas para las proyecciones cubren el periodo comprendido entre 1950 y 2000, mientras que las proyecciones para el promedio diario de temperatura y precipitación se desarrollan para el periodo 2005-2030/39.

distintivas del modelo VIC se incluyen: variabilidad subcuadrícula en clases de vegetación superficial de tierra; variabilidad subcuadrícula en la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo; drenaje de la zona inferior de humedad del suelo (flujo base) como una recesión no lineal; y la inclusión de topografía que permite que las tasas de lapso de temperatura y precipitación orográfica resulten en una hidrología más realista en las regiones montañosas. VIC utiliza un modelo de enrutamiento independiente, basado en una función lineal de transferencia para simular el flujo. Las adaptaciones para el modelo de enrutamiento se implementan en VIC para permitir la representación de los efectos de gestión del agua. Desde su existencia, VIC ha sido bien calibrado y validado en varias cuencas grandes en Estados Unidos continental y el mundo. Las aplicaciones que utilizan el modelo VIC abarcan una amplia variedad de áreas de investigación.

5 Los datos del clima a futuro se obtuvieron del Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático del BM (<http://climateknowledgeportal.worldbank.org>). Todos los modelos climáticos corresponden a la fase 3 del proyecto comparativo acoplado (CMIP3) del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC). Programa que produjo un conjunto de datos multimodal, al que se hace referencia en el tercer y cuarto informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).

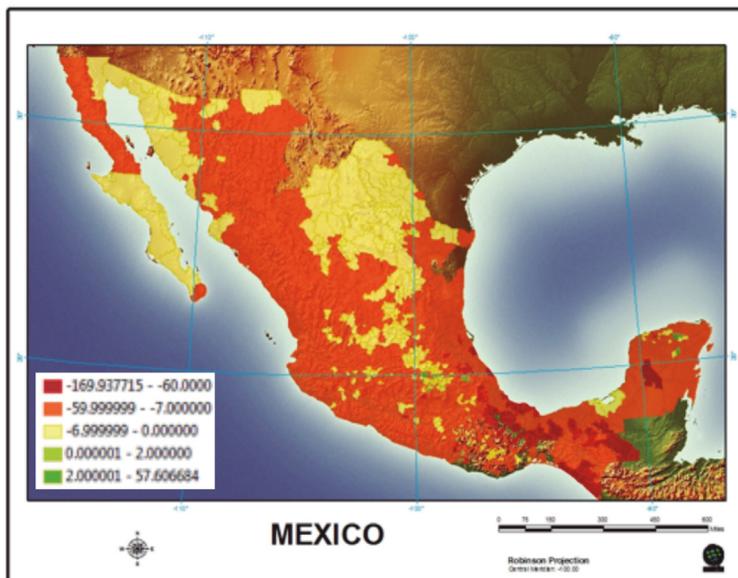


Mapa 1: Cambios absolutos de temperatura en grados Celsius en 2005-2030. (Fuente: Elaboración propia).

Para determinar de qué forma las emisiones de efecto invernadero afectarán los cambios de precipitación y temperatura, se debe combinar los modelos climáticos con modelos de emisión que predicen la cantidad de emisiones de efecto invernadero producidas por el ser humano.⁶ El tercer informe de evaluación del IPCC acepta varios modelos de emisión. Elegimos A2 que asume un escenario habitual (es decir, los mismos cambios de tendencia en el crecimiento económico, uso de combustibles fósiles y crecimiento de la población).

Se espera que las temperaturas anuales aumenten entre 0.49 y 2.46 grados Celsius en el periodo 2005-2030/39, en comparación con el promedio histórico entre 1950 y 2000. Se pronostica que los mayores incrementos en la temperatura ocurrirán en las zonas costeras, incluyendo la península de Yucatán y la región

6 Se puede encontrar información sobre las características básicas en los escenarios de emisiones del SRES: <http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm>



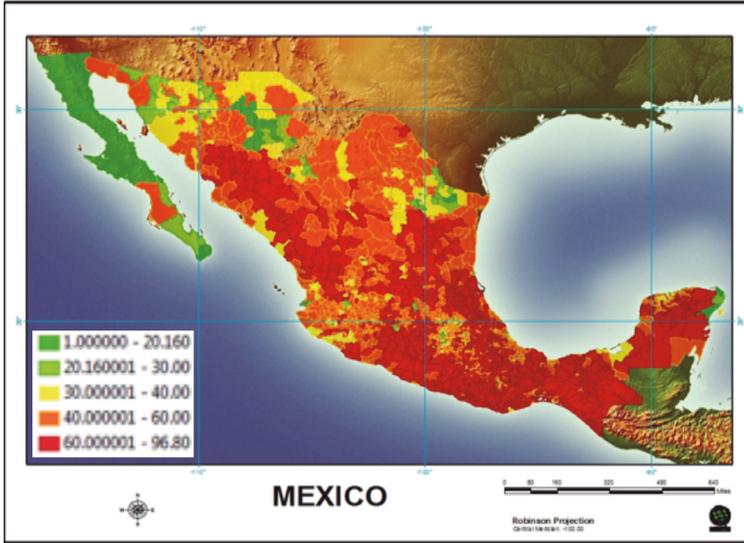
Mapa 2: Cambios absolutos de precipitación en mm en 2005-2030. (Fuente: Elaboración propia).

sur del Golfo de México, que comprende los Estados de Quintana Roo, Yucatán, Tabasco, Campeche y Veracruz. En el Pacífico, los estados de Sonora, Sinaloa, Nayarit, Guerrero y Jalisco exhiben los mayores aumentos de temperatura. México central se muestra menos caliente que las regiones costeras; aunque algunas áreas desérticas en Hidalgo y Querétaro muestran aumentos de temperatura (ver Mapa 1).

La precipitación anual cambiará entre -169 mm y 57 mm. Sin embargo, como lo muestra la Mapa 2, casi todo el país se enfrentará a un escenario más seco entre 2030 y 2039.

Pobreza

Integrar los datos de ingreso y consumo de las encuestas en hogares a los datos del censo ha permitido la elaboración de mapas



Mapa 3: Índices de pobreza de patrimonio (2005).
(Fuente: Elaboración propia)

de pobreza municipal en México.⁷ Contamos con dicha información para 2000 y 2005, con los niveles de pobreza de ingresos oficiales definidos en tres medidas alternativas de la pobreza (hasta 2011): la pobreza alimentaria, la pobreza de capacidades y la pobreza de patrimonio (algo equivalente a pobreza extrema, pobreza y pobreza moderada) como lo establece el Consejo Nacional para la Evaluación de Políticas de Desarrollo Social en México (CONEVAL 2008).

7 En primer lugar, elaborar mapas de pobreza implica descubrir las relaciones entre las características de los hogares y el nivel de bienestar de los hogares según lo revele el análisis de una encuesta de medición detallada del nivel de vida y, en segundo lugar, aplicar un modelo de estas relaciones a los datos de las mismas características de los hogares contenidas en un censo nacional para determinar el nivel de bienestar de todos los hogares en el censo. Los cálculos resultantes del bienestar de los hogares y la pobreza derivados del censo son desglosados espacialmente a un grado mucho mayor del posible si se utiliza la información de la encuesta (Elbers *et al.*, 2004; Bedi, Coudouel y Simler, 2007).

Se considera que un hogar padece de pobreza alimentaria si los ingresos de sus miembros están por debajo de los ingresos mínimos necesarios para costear una canasta básica de alimentos. Finalmente, se considera también que un hogar padece de pobreza de patrimonio si sus miembros no pueden cubrir los gastos de alimentación, salud, educación, vestido, vivienda y transporte público.

La pobreza de patrimonio promedio en nuestra muestra es de 49.4% (el promedio nacional es de 47%). Algunos de los estados más pobres del país incluyen Guerrero, Michoacán, Chiapas, Oaxaca, Puebla y Veracruz. Normalmente, los estados ubicados en el norte y centro son más ricos, aunque sin excluir focos de pobreza en algunos de ellos como muestra la *Mapa 3*.

Proyecciones de PIB y población

Las proyecciones de población provienen del Consejo Nacional de Población (CONAPO) en México. Tomamos en cuenta la dinámica de la población a nivel municipal entre 2005 y 2030. Para México, el censo de población suele estar disponible en formato de décadas y los conteos de población intercensales también constituyen un aporte para actualizar las proyecciones.

Proyecciones del PIB

La proyección del PIB sigue la metodología aplicada por Malone, *et al.* (2004) con datos históricos sobre el PIB para 2000, 2005 y 2010. Malone *et al.* construyen escenarios de crecimiento del PIB basados en supuestos para una serie de variables que incluyen: tasas de crecimiento anuales para la eficiencia laboral, stock de capital por trabajador, población mayor de 15 años en edad de trabajar y niveles de alfabetización, los cuales son usados para determinar la participación de la población en la fuerza laboral. El desempleo se mantiene estable en el tiempo. Con estos supuestos,

el PIB per cápita crecería 2.38 % al año en el periodo 2005-2030, esperando que el PIB crecería en un promedio de 4.0%.

Se calculó la tasa de crecimiento a nivel estatal y se extrapoló a nivel municipal con la participación laboral de la población y el “Valor Bruto Añadido” obtenido por el INEGI a través de un censo de producción, ambos disponibles para 2030 a nivel municipal. Asumimos que todos los municipios del estado crecen al mismo ritmo.

ESTRATEGIA DE ESTIMACIÓN

Se propone una regresión de mínimos cuadrados en dos etapas (MC2E) para evaluar los efectos del cambio climático en la pobreza. En una primera etapa se realizó la regresión de la temperatura y precipitación (junto con controles geográficos para la elevación, latitud, longitud y cercanía a carreteras del municipio, y efectos fijos por país por estado y año) en el PIB per cápita municipal y, luego, tal predicción del PIB per cápita se convierte en nuestra principal variable de interés en una segunda ecuación en la que realizamos una regresión del PIB y la pobreza.

Efectos del clima en los ingresos

Se propone utilizar el siguiente modelo para evaluar los efectos de la temperatura y precipitación (y sus proyecciones debido al cambio climático) en el ingreso municipal para el municipio (condado) m en el año t :

$$\text{LOG GDP}(m,t) = \beta_1 \text{TEMP}_{mt} + \beta_2 \text{RAINFALL}_{mt} + \beta_3 \text{TEMP}^2_{mt} + \beta_4 \text{RAINFALL}^2_{mt} + \beta_5 G_m + \varepsilon_{mt} \quad (1)$$

En la ecuación (1) nuestra variable dependiente es log PIB per cápita en el municipio m en el año t . Las variables climáticas comprenden términos lineales y cuadráticos para temperatura y

precipitación media anual y la matriz G_{mt} incluye variables geográficas (latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar y efectos fijos de estado y año).

Una vez estimados los parámetros de producción, se introdujeron los cambios de temperatura y precipitación en 2030 en la ecuación (1) para predecir los cambios de producción en 2030. En otras palabras, se obtuvo el impacto económico causado por el cambio climático multiplicando el cambio climático previsto en 2030 por los parámetros de producción estimados.

Efectos del PIB inducidos por el clima en la pobreza

Este registro instrumentado del PIB per cápita a través de la temperatura y la precipitación en la ecuación (1) se convierte en nuestro principal regresor de interés en el modelo de la pobreza MCO de la ecuación (2); en otras palabras: una vez que la producción instrumentada se utilice en forma de variables explicativas en la ecuación de la pobreza para calcular los parámetros relevantes.

$$\text{LOG POVERTY}(m,t) = \beta_1 \text{LOG GDP}(m,t) + \beta_2 G_{mt} + \varepsilon_m \quad (2)$$

En la ecuación (2), nuestra variable dependiente es el conteo de la pobreza municipal y se construye de la siguiente manera:

$$P(c,z,\alpha) = \frac{1}{N} \sum_{h=1}^n T \left[\frac{(Z-c_h)}{Z} \right] \quad (3)$$

En donde z es la línea de pobreza, c es el ingreso actual por hogar h ; N es el tamaño total de la población y la suma total T se toma solamente considerando los hogares pobres en orden ascendente: c_1, c_2, \dots, c_T . Por lo tanto, P es igual a la proporción de la población que es pobre. En la ecuación (2), el PIB se pondera por la población para cada municipio m . El término G_{mt} repre-

sentan las mismas características geográficas municipales que en el modelo (1) (es decir, latitud, longitud, altitud y proximidad a carreteras).

RESULTADOS

Resultados de la regresión en la producción

Esta sección presenta las estimaciones de la regresión transversal de mínimos cuadrados en dos etapas (MC2E) entre la pobreza y la producción per cápita, que se instrumentó mediante la temperatura y precipitación en la primera etapa de la regresión; la regresión muestra una asociación parcial entre la pobreza y los eventos climáticos analizados. En la parte inferior de la *Tabla 1* se presentan los resultados de la relación ingresos-clima. Existe una relación no lineal entre la temperatura y la precipitación con relación a la producción per cápita. La especificación más completa (*columna 2*), muestra que un aumento de 1 mm de precipitación media reduce los ingresos per cápita en 2.72 por ciento en promedio; asimismo, el aumento de 1 grado Celsius reduce el ingreso per cápita municipal en 5.60 por ciento en promedio.

La estimación también emplea controles municipales que actúan como efectos fijos en el modelo, tales como controles geográficos para la ubicación y elevación (latitud, longitud, altura sobre el nivel del mar) y conectividad del municipio (distancia a la carretera primaria y secundaria más cercana). Asimismo, se realizaron pruebas para validar el uso del modelo instrumental propuesto (MC2E). Como regla general para los modelos con un regresor endógeno, la estadística F contra el valor nulo que los instrumentos excluidos son irrelevantes en la regresión de la primera etapa.

La prueba general confirma la validez o importancia conjunta del modelo. La exogeneidad de los instrumentos también se

VARIABLES	(1) Pobreza de patrimonio (en log)	(2) PIB per cápita 2000-2005 (en log)
PIB per cápita 2000-2005 (en log)	-1.684*** (0.0923)	-1.746*** (0.104)
Coordenadas geográficas	Sí	Sí
Efectos de estado		Sí
Efectos del año		Sí
Constante	11.72*** (0.345)	10.81*** (0.903)
Observaciones	4.192	4.192
R cuadrado	0.4523	0.5222
Wald chi2	1548.84	2440.30
Prob > chi2	0.0000	0.0000
Primeras etapa de variables instrumentales		
	(1) PIB per cápita 2000-2005 (en log)	(2) PIB per cápita 2000-2005 (en log)
Precipitación	-0.0133** (0.00646)	-0.0288*** (0.00618)
Precipitación al cuadrado	0.000932 (0.000568)	0.00158*** (0.000527)
Temperatura	-0.0536*** (0.00980)	-0.0576*** (0.00945)
Temperatura al cuadrado	0.00162*** (0.000240)	0.00150*** (0.000230)
Distancia a la carretera más cercana	Sí	Sí
Coordenadas geográficas	Sí	Sí
Efectos de estado		Sí
Efectos del año (2005)		Sí
Constante	3.474*** (0.141)	4.140*** (0.436)
Observaciones	4.192	4.192
R cuadrado	0.234	0.360
Estadística F	73.64	27.67
Prob > F	0.0000	0.0000

Tabla 1 Efecto de cambio climático en la pobreza.

Notas: (errores estándar). *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$. Regresión de variable instrumental MC2E. (Fuente: Elaboración propia).

confirmó (es decir, el supuesto de que los instrumentos no están correlacionados con el término de error en la ecuación de interés) a través de la prueba de Kleibergen-Paap (2006) y de la prueba de estadística de Hansen.

Resultados de la regresión en la pobreza

La relación entre la pobreza y el ingreso per cápita es explorada en la regresión de dos etapas de la pobreza municipal en 2000 y 2005 contra el registro previsto del PIB per cápita de la *ecuación 1*. Se agregaron efectos fijos geográficos (latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar).

Se presentan las estimaciones entre el ingreso per cápita y la pobreza de patrimonio (a solicitud, se podrán proveer resultados para otras medidas de la pobreza) en el panel superior de la *Tabla 1*. Como se esperaba, el crecimiento del PIB disminuye la pobreza. El estudio reveló la elasticidad de la pobreza al crecimiento de -1.74%. En otras palabras, cuando el PIB per cápita promedio aumenta en 1 por ciento, el porcentaje de pobreza municipal disminuye alrededor de 1.74 por ciento. Estudios anteriores han encontrado una elasticidad crecimiento-pobreza de -2.59 a -0,69 (para una revisión véase Székely y Foster, 2001).

Impactos simulados del cambio climático en la pobreza y el PIB per cápita

Esta sección presenta las estimaciones de los impactos que tienen en la pobreza los cambios de la producción basados en el clima. Hasta el momento, se ha estimado el impacto de la temperatura y precipitación histórica en el PIB per cápita en cada municipio. Ahora, utilizando las proyecciones de temperatura y precipitación del IPCC para 2030 adaptadas a México para configurar un vector de clima diferente en cada municipio, lo que ayudó a obtener el cambio porcentual en la producción inducido

por el cambio climático.

Para calcular los efectos del calentamiento global en el PIB en las áreas de estudio, se calculó la diferencia en el PIB per cápita en escenarios de temperatura y precipitación proyectados de PIB previsto en la media histórica. Las repercusiones previstas del cambio climático en la producción resultan de combinar los coeficientes del modelo (1) con las proyecciones del clima. Los cálculos indican que el calentamiento global va a reducir la producción (PIB per cápita) en la muestra en 1.45 por ciento, con estimaciones específicas de municipios que van desde -2.25 a 5.86%.

¿Cuánto aumentará la pobreza tal disminución de producción provocada por el cambio climático? Para obtener los efectos del cambio climático en la pobreza hacia 2030, se proyectaron cambios de temperatura y precipitación, para después obtener su efecto en el PIB en la ecuación (1). Luego, se simulan los índices de pobreza en la ecuación (2) para las nuevas proyecciones del PIB per cápita en circunstancias de cambio climático en el año 2030. En la muestra, 48.1 millones de mexicanos viven en condiciones de pobreza de patrimonio, 25.2 millones de personas en situación de pobreza de capacidades, mientras que 18.6 millones de mexicanos están en situación de pobreza alimentaria.

Con base en las estimaciones de la *Tabla 1*, se simulan los impactos del cambio climático en la pobreza al proyectar cambios en temperatura y precipitación. Los impactos del cambio climático en la pobreza parcialmente socavan la capacidad potencial de adaptación de los municipios a través de la movilidad de población y el crecimiento económico. Sin cambio climático, la mayor densidad de población y prosperidad reduciría la pobreza en 34.15 puntos porcentuales entre 2005 y 2030 (del 49.4% en 2005 al 15.25% en 2030), pero una vez que el cambio climático se toma en cuenta, la pobreza cae sólo de 49.4% a 17.68%. Los beneficios de reducción de la pobreza serían 2.43 puntos porcentuales menos bajo un escenario que toma en cuenta el cambio

climático. El cambio climático desacelera el ritmo de reducción de la pobreza.

El monitoreo de los cambios en la pobreza en el tiempo es valioso, pero no se puede determinar concluyentemente –o en qué medida– si el calentamiento contribuye a modificar los índices de pobreza, mientras existen otros factores que afectan a la pobreza y que varían con el tiempo. En sentido estricto, el impacto del cambio climático en la pobreza no se da a partir de lo que sucede con la línea base de pobreza en 25 años (desde 2005) con un calentamiento climático, sino que se debe considerar cuáles son los índices de pobreza en el futuro (en 2030) con y sin cambio climático.

En este caso, se espera que la pobreza de patrimonio aumente 2.43 puntos porcentuales (de 15.25% a 17.68%). Se ha encontrado una magnitud similar en un estudio del impacto del cambio climático en la pobreza rural municipal hacia 2030 en Brasil, en que el cambio climático reduce la pobreza en 2 puntos porcentuales en promedio (Assunção y Chein 2009). Para México, en números absolutos, teniendo en cuenta las proyecciones de

	Pobreza alimentaria	Pobreza de capacidades	Pobreza de patrimonio
Índice de pobreza, 2005 (nacional)	18.2%	24.7%	47%
Índice de pobreza, 2005 (muestra propia)	18.50%	25.66%	49.40%
Población en la pobreza, 2005 (muestra propia)	18 673 294	25 286 752	48 157 443
Índice de pobreza al año 2030 sin cambio climático	2.05%	3.86%	15.25%
Población en la pobreza al año 2030 sin cambio climático	2 459 082	4 626 202	18 247 694
Índice de pobreza al año 2030 con cambio climático	2.36%	4.56%	17.68%
Población en la pobreza al año 2030 con cambio climático	2 822 406	5 447 740	21 150 562
Nuevos pobres al año 2030, debido al cambio climático	363 324	821 538	2 902 868

Tabla 2: Cambio climático y estimaciones de pobreza de ingresos para México, 2005-2030.

(Fuente: Elaboración propia).

Estado	Pobreza sin cambio climático	Pobreza con cambio climático	Cambio en la pobreza (pp)
Distrito Federal	11.55	11.34	-0.21
Querétaro Arteaga	6.24	8.33	2.09
México	11.44	13.67	2.23
Hidalgo	14.13	17.27	3.13
Morelos	23.54	27.96	4.42
Tlaxcala	28.33	33.05	4.73
Puebla	15.80	20.53	4.73
Guanajuato	22.15	26.91	4.77
Centro de México	16.81	14.19	2.62
Tabasco	7.81	8.19	0.38
Veracruz de Ignacio de la Llave	12.10	13.97	1.88
Tamaulipas	13.93	19.03	5.10
Golfo	14.41	11.87	2.54
Baja California Sur	2.41	2.47	0.06
Baja California	6.61	6.87	0.26
Sonora	7.27	7.95	0.68
Sinaloa	13.35	14.13	0.78
Noroeste	8.48	8.01	0.47
Nuevo León	5.81	6.99	1.18
Zacatecas	7.98	9.44	1.46
Chihuahua	8.12	10.04	1.92
Aguascalientes	7.78	10.17	2.40
Coahuila de Zaragoza	17.87	21.35	3.48
San Luis Potosí	16.23	20.62	4.39
Durango	25.89	31.68	5.80
Norte	14.23	11.60	2.63
Colima	16.07	17.31	1.24
Nayarit	8.42	9.86	1.44
Jalisco	14.07	17.81	3.74
Michoacán de Ocampo	19.14	23.83	4.69
Oeste	18.81	15.13	3.68
Campeche	40.08	40.20	0.13
Quintana Roo	6.48	7.09	0.61
Yucatán	9.93	12.54	2.61
Península	13.31	11.89	1.42
Guerrero	35.34	37.10	1.75
Chiapas	45.87	47.79	1.92
Oaxaca	28.90	33.74	4.84

Nota: Las estimaciones de la pobreza regional y estatal son ponderadas por la población.

Tabla 3. Los impactos del cambio climático en la pobreza, 2030.

(Fuente: Elaboración propia).



Mapa 4. Impactos del cambio climático en la pobreza de patrimonio en 2030.

(Fuente: Elaboración propia).

población existentes para 2030, un aumento de 2.43 por ciento representa que 2,902,868 personas caerán en la pobreza como consecuencia del cambio climático.

Los resultados son muy heterogéneos en todo el país, con una oscilación de los impactos del cambio climático en los índices de pobreza municipal de -29% a 37%. Cuando se agregan a nivel estatal, como muestra la *Tabla 3*, se espera que haya menos pobreza en las regiones Noroeste y la Península, mientras que las regiones al norte y centro de México (excepto el Distrito Federal), y del oeste y sur sufrirán más el calentamiento global. La región noroeste podría experimentar un aumento en la pobreza de 0.47 puntos porcentuales, mientras que la pobreza va a aumentar un 3.68 por ciento en la región oeste.

CONCLUSIÓN

El cambio climático aumentará la temperatura y variabilidad de la precipitación que, combinadas, reducirán los ingresos en México: el PIB per cápita de nuestra muestra de municipios en México variará en 1.45 por ciento hacia 2030 con cambios proyectados dados en precipitación y temperatura.

Es difícil prever si las pérdidas de producción (por el cambio climático) aumentarán la pobreza en las regiones de estudio. Algunos municipios experimentarán importantes reajustes en su composición productiva y la movilidad de la población modificará el panorama. Los hogares pueden adaptarse a las condiciones climáticas cambiantes a través de la movilidad espacial y el aumento de la producción per cápita promedio debido al crecimiento económico, por lo que es necesario tomar en cuenta estos dos mecanismos durante los próximos 25 años.

El principal impacto del cambio climático en la pobreza es una reducción de los beneficios que resultarían de la movilidad espacial mejorada y el aumento de la producción per cápita promedio debido a la capacidad de adaptación del crecimiento económico. Se basa en el hecho de que la prosperidad y mayores densidades poblacionales reducen la pobreza. Los cálculos indican que la población y el crecimiento económico reducen la pobreza un 34.15 por ciento para el año 2030 en relación con la línea base de pobreza en 2005. Sin embargo, esos avances en la reducción de la pobreza durante los próximos 25 años caerán 2.43% debido al cambio climático: la pobreza en el año 2030 se reduce en 31.72 pp en lugar de 34.15 pp una vez que se toma en cuenta el cambio climático.

Si bien monitorear los cambios en la pobreza en el tiempo es un ejercicio valioso, no es posible determinar concluyentemente –o en qué medida– si el calentamiento global contribuirá a modificar los índices de pobreza, mientras existan otros factores que les afecten provocando variaciones el tiempo. Según Skoufias *et*

al. (2011), la forma correcta de presentar las estimaciones de pobreza asociadas con el cambio climático a futuro sería predecir la tasa de pobreza hacia 2030 (y no el índice de pobreza en 2005), en un mundo con y sin dicho calentamiento. Tras haber obtenido las elasticidades para predecir el impacto del clima sobre la producción y, posteriormente, de la producción en la pobreza en 2005, se utilizaron dichas elasticidades con clima y producción proyectadas para comparar la tasa de pobreza en 2030 con y sin cambio climático. Según estas estimaciones, la pobreza de patri-

Variables	Unidad	Mínima	Máxima	Promedio	Desviación estándar
Pobreza de patrimonio, 2000	%	9.24	99.5	53.6	
Pobreza de patrimonio, 2005	%	1	96.8	47	
Población, 2000	#	109	1 773 343	39 615	118 947
Población, 2005	#	102	1 820 888	42 454	127 136
PIB per cápita, 2000	\$USD			4.211	756
PIB per cápita, 2005	\$USD			6.234	1.124
Lluvia (mm ³ acumulados/año)	mm	0	5.449	877	802.25
Temperatura promedio por día	C°	8.17	29.24	20.57	4.17
Proyecciones					
Población, 2030	#	611	1 900 087	51 772	172 943
PIB per cápita, 2030	\$USD			13 737	5.851
Lluvia (mm ³ acumulados/año), 2030	mm	0	3.522	619	557
Temperatura promedio por día, 2030	C°	8.70	31.00	21.80	4.37

Tabla 4: Estadísticas de resumen a nivel municipal.

Nota: N = 2.039 municipios

monio va a aumentar 2.43% debido al cambio climático.

Predecir los impactos del cambio climático en el PIB y la pobreza es un punto de partida para reducir la vulnerabilidad de las personas y los municipios que tienen un bajo nivel de adaptación a los fenómenos climáticos adversos. Queda aún por ver cuán rápido se adaptarán los municipios a las condiciones climáticas cambiantes y si las políticas actuales son propicias para ello. La capacidad de adaptación de los hogares es heterogénea y explicamos algunas de estas capacidades de adaptación a través de la movilidad espacial y el crecimiento económico. El Estado también puede mejorar la adaptación a través de precios, transferencias y seguros.

Finalmente, el análisis aquí presentado proporciona estimaciones promedio de aumentos del ingreso y la pobreza asociados a cambios de temperatura y precipitación. También es necesario evaluar el impacto distributivo del cambio climático a través de los grupos de población.

BIBLIOGRAFÍA

- AHMED, SYUD A., DIFFENBAUGH N., HERTEL, T. W. 2009. "Climate volatility deepens poverty vulnerability in developing countries". *Environmental Research Letters*, no 4(3). 034004
- ANDERSEN LYKKE E., VERNER, D. 2010. *Simulating the Effects of Climate Change on Poverty and Inequality*. Chapter 9. World Bank. Washington, D.C.
- _____ AND DORTE VERNER. 2010. "Social Impacts of Climate Change in Mexico: A municipality level analysis of the effects of recent and future climate change on human development and inequality". *Development Research Working Paper Series*, no. 09.
- ASSUNÇÃO, J., CHEIN F. 2009. *Climate Change, Agricultural Productivity and Poverty*. Rio de Janeiro, Brazil.
- AUFFRET, P. 2003. *High consumption volatility: The impact of natu-*

- ral disasters. 2962. World Bank. Washington.
- BANSAL, R., OCHOA, M. 2009. Temperature, growth, and asset prices. Working Paper. Durham: Duke University.
- BEDI, T., COUDOUÉL, A., SIMLER, K. 2007. More than a Pretty Picture: Using Poverty Maps to Design Better Policies and Interventions. World Bank.
- CLIMATE CHANGE KNOWLEDGE PORTAL. 2012. World Bank. Disponible en: <http://climateknowledgeportal.worldbank.org>.
- CONAPO. 2012. Consejo Nacional de Poblacion. México. Disponible en: www.conapo.gob.mx.
- CONEVAL (2012). National Council for Evaluation of Social Development Policy in México. México. Disponible en: www.coneval.gob.mx.
- DELL, M., JONES, B., OLKEN, B. A. 2009. "Temperature and Income: Reconciling New Cross-Sectional and Panel Estimates". American Economic Review: Papers y Proceedings, no. 99(2): 198-204.
- DERCON, S. AND CHRISTIAENSEN, L. 2011. "Consumption Risk, Technology Adoption, and Poverty Traps: Evidence from Ethiopia". Journal of Development Economics, no 96: 159-476.
- ELBERS, C., LANJOUW J. O., LANJOUW, P. 2004. Imputed Welfare Estimates in Regression Analysis. Policy Research Working Paper Series, 3264, Washington: The World Bank.
- HERTEL, T., BURKE, M., LOBELL, D. 2010. The Poverty Implications of Climate-Induced Crop Yield Changes by 2030. GTAP, Working Paper, no. 59.
- INEGI. 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: www.inegi.org.mx.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2007. Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press.
- LIANG, X., LETTENMAIER, D. P., WOOD, E. F., BURGESS, S. J. 1994. "A Simple Hydrologically Based Model of Land Surface Water and Energy Fluxes for GSMs". Journal of Geophysical Research, no. 99 (D7): 14,415-14,428.
- LOAYZA, N., OLABERRIA, E., RIGOLINI, J. AND CHRISTIAENSEN, L. 2009. Na-

- tural disasters and growth: going beyond the average. Policy Research, Working Paper 4980. World Bank.
- MALONE, E., SMITH, J., BRENKERT, A., HURD, B., MOSS, R. Y BOUILLE, D. 2004. Developing Socio-Economic Scenarios for Use in Vulnerability and Adaptation Assessments. Disponible en: <http://www.adaptationlearning.net/sites/default/files/sec.pdf>.
- MIGUEL, E., SATYANATH S., SERGENTI, E. 2004. "Economic Shocks and Civil Conflict: An Instrumental Variables Approach". *Journal of Political Economy*, no. 112 (4): 725-753.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL. 2012. Portal web del Servicio Meteorológico Nacional. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/es/>
- SKIDMORE, M. AND TOYA, H. 2002. "Do natural disasters promote long run growth?", *Economic Inquiry*, no. 40(4): 664-687.
- SKOUFIAS, E., RABASSA, M., OLIVIERI, S. 2011. The Poverty Impacts of Climate Change. A Review of the Evidence. Policy Research Working Paper 5622. The World Bank.
- SZEKELY, M., FOSTER, J. 2001. Is Economic Growth Good for the Poor? Tracking Low Incomes Using General Means. Working Paper 453. Inter-American Development Bank, Research Department.
- WATSON, R. T. ET. AL. 2001. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press Intergovernmental Panel on Climate Change.
- WORLD BANK. 2011. World Bank Climate Change Knowledge Portal: <http://climateknowledgeportal.worldbank.org>.

LA VARIABILIDAD DEL CLIMA Y SUS EFECTOS EN LAS ZONAS RURALES DE MÉXICO

EMMANUEL SKOUFIAS Y KATJA VINHA

INTRODUCCIÓN

El presente capítulo y el próximo son estudios aplicados a las zonas rurales de México. La intención es saber más sobre cómo las alteraciones en los ciclos naturales del clima y la temperatura afectan los ciclos pluviales, provocan sequías o inundaciones y catástrofes naturales. A pesar de que existe incertidumbre sobre la magnitud exacta de los cambios globales en temperatura y precipitación, generalmente se sabe cuál será el comportamiento de las desviaciones en la variabilidad del clima por los patrones históricos que presentan (IPCC 2007).¹

1 De acuerdo al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, una definición estricta del clima se refiere a la descripción estadística en términos del promedio y variabilidad de cantidades como la temperatura, precipitación y viento a través de un periodo de tiempo que va de meses a miles de años. El clima es diferente a las condiciones meteorológicas las cuales se refieren a condiciones atmosféricas en un lugar y tiempo específicos. El término “cambio climático” se usa para indicar una variación significativa (en un sentido estadístico) en el promedio del clima o en su variabilidad por un tiempo prolongado, por lo general décadas o más (Wilkinson 2006).

Millones de hogares humildes alrededor del mundo dependen de la agricultura, por esto existe mayor preocupación en torno al cambio en los patrones de la variabilidad climática, ya que este hecho incrementará aún más la vulnerabilidad de los hogares en zonas rurales de países en desarrollo, lo cual representa un reto significativo para el desarrollo global. Resulta apremiante tener un mayor conocimiento sobre la eficiencia de las estrategias de adaptación de los hogares y de medidas enfocadas a mitigar el impacto del clima errático para las personas humildes. Con estas consideraciones, se presenta un análisis del impacto de la variabilidad climática para el bienestar de los hogares en las zonas rurales de México.

Para ello se utilizarán los resultados de las Encuestas *Mexican Family Life Survey (MxFLS)* –llevadas a cabo en 2002 y 2005–2006– para examinar si la incidencia de lluvias y de días grado (una medida acumulativa de temperatura de más de una desviación estándar de la desviación base de sus respectivas medias a largo plazo) tienen un impacto significativo en la habilidad para ajustar el consumo². La inhabilidad de estabilizar el consumo puede potencialmente afectar la salud y bienestar de las poblaciones rurales y además puede ser un factor en cuanto a decisiones migratorias.

El clima errático es un fenómeno que puede impactar de forma negativa la productividad agrícola, lo que provoca una disminución de ingresos, dependiendo de la efectividad de las estrategias de minimización de riesgos *ex – ante* y *ex – post*.³ Basado

2 Existen otros medios en los que las condiciones meteorológicas pueden afectar el bienestar de las personas. Por ejemplo, los cambios climáticos pueden incrementar (o disminuir) la prevalencia de ciertas enfermedades y por ende tener impactos sobre la salud. En Skoufias y Vinha (2011) exploramos los impactos de los cambios bruscos meteorológicos en la salud de niños utilizando medidas como estatura y edad en zonas rurales de México.

3 Por lo general, los hogares son más capaces de proteger su consumo en contra de las perturbaciones idiosincráticas, (las cuales afectan solamente algunos hogares en particular como cuando tiene lugar la muerte del jefe de la casa) que de protegerse en contra de perturbaciones covariantes –aquellas que

en las experiencias históricas y la multiplicidad de limitaciones económicas e institucionales, se ha demostrado que los hogares rurales en México y en el resto del mundo han desarrollado estrategias tradicionales para el manejo del riesgo climático. Por ejemplo, los hogares podrían emprender estrategias de ajuste de ingresos ex – ante, y adoptar cultivos de riesgos e ingresos bajos y carteras de activos (Rosenzweig and Binswanger 1993).

En México, Eakin (2000) documentó la manera en la que, en Tlaxcala, campesinos de baja escala de producción se han adaptado a los riesgos del clima. Por ejemplo, alternan las cosechas de maíz –que es más rentable– con cosechas de trigo, dependiendo del clima. Otras estrategias de carácter económico en épocas de escasez son: el uso de ahorros (Paxson 1992); préstamos financieros del sector formal (Udry 1994); venta de bienes (Deaton 1992); o el trabajo de los hijos en vez de enviarlos a la escuela (Jacoby and Skoufias 1997).

Estrategias adicionales incluyen la gestión de riesgos en los ingresos, por medio de ajustes del suministro laboral, así como combinar múltiples empleos y actividades económicas informales (Morduch 1995; Kochar 1999). Estas actividades permiten que los hogares amortigüen los efectos negativos en los ingresos, a causa de las perturbaciones inesperadas. Ciertas características individuales, como el bajo nivel educativo, pueden incrementar la vulnerabilidad de los hogares (Skoufias 2007).

A pesar de que existe incertidumbre sobre la magnitud exacta de los cambios globales en temperatura y precipitación, es aceptado que tendrán lugar desviaciones en la variabilidad del clima fuera de sus patrones históricos (IPCC 2007).⁴ Dado que

afectan un alto número de hogares de la misma localidad como son las perturbaciones relacionadas a las condiciones meteorológicas– (Harrower and Hoddinott 2005).

4 De acuerdo al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, una definición estricta del clima se refiere a la descripción estadística en términos del promedio y variabilidad de cantidades como la temperatura, precipitación y viento a través de un periodo de tiempo que va de meses a miles

millones de hogares humildes alrededor del mundo dependen de la agricultura, cada vez existe mayor preocupación de que un cambio en los patrones de la variabilidad climática incremente aún más la vulnerabilidad de los hogares en zonas rurales de países en desarrollo, especialmente en los niños.

Por un lado, el clima errático puede afectar la productividad agrícola dependiendo de la efectividad de los mecanismos de mitigación de riesgos y puede traducirse en una disminución de los ingresos y disminución de los alimentos disponibles.⁵ Por otro lado, la temperatura y la precipitación pueden afectar la frecuencia de enfermedades transmitidas por vectores a través del agua, al igual que determinar niveles de exposición al frío o calor (Confalonieri *et al.* 2007).

Muchas especies parasitarias e infecciosas tienden a sobrevivir en condiciones ambientales muy específicas y prosperan en condiciones hostiles para reproducirse, por lo que ante cualquier cambio en precipitación o temperatura éstas pueden cubrir áreas previamente inhabitables para una especie parasitaria e infecciosa. En el caso específico de México, varios estudios han

de años. De acuerdo con la Organización Mundial Meteorológica, la norma es de 30 años. El clima es diferente a las condiciones meteorológicas las cuales se refieren a condiciones atmosféricas en un lugar y tiempo específicos. El término “cambio climático” se usa para indicar una variación significativa (en un sentido estadístico) en el promedio del clima o en su variabilidad por un tiempo prolongado, por lo general décadas o más (Wilkinson 2006).

5 Por ejemplo, los hogares podrían emprender estrategias de ajuste de ingresos ex-ante, y adoptar cultivos de riesgos e ingresos bajos y carteras de activos (Rosenzweig and Binswanger 1993). Más aún, se ha demostrado que los hogares usan sus ahorros (Paxson 1992), sacan préstamos de sectores formales financieros para salir adelante en tiempos difíciles (Udry 1994), venden bienes (Deaton 1992), o ponen a sus hijos a trabajar en vez de enviarlos a la escuela para poder suplementar sus ingresos (Jacoby and Skoufias 1997). Estas actividades permiten que los hogares puedan propagar los efectos de los ingresos de las perturbaciones negativas inesperadas a través del tiempo. Estrategias adicionales incluyen la gestión de riesgos de ingresos por medio de ajustes del suministro laboral, así como múltiples empleos y actividades económicas informales (Morduch 1995; Kochar 1999). Baez (2006) proporciona un resumen detallado de los mecanismos de ajuste de ingresos en países desarrollados.

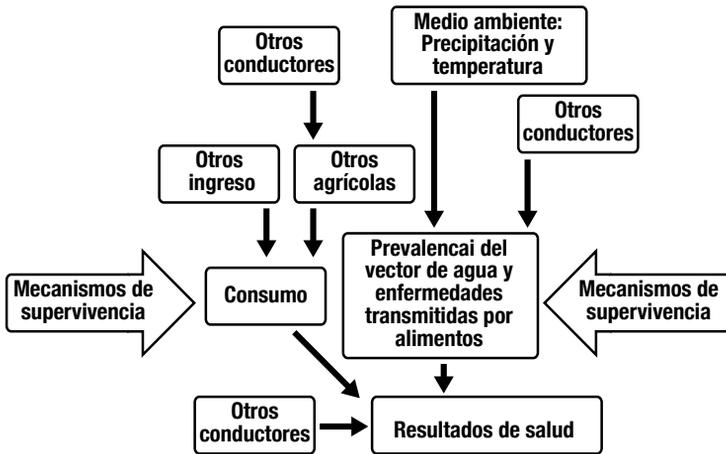


Figura 1. Canales de impacto de variabilidad climática en el bienestar de los hogares.

(Fuente: Elaboración propia)

demostrado una correlación positiva entre la temperatura, los vectores y las enfermedades transmitidas a través de los alimentos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007).

LOS IMPACTOS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LOS HOGARES RURALES

El éxito cuantitativo de las estrategias de gestión de riesgos para proteger el bienestar del hogar ante las perturbaciones climáticas en México es escaso. Otros estudios, incluyendo los de García-Verdu (2002), Skoufias (2007) y De la Fuente (2010), dependen de las percepciones de los encuestados sobre las diferentes incidencias de perturbaciones como inundaciones, sequías, heladas, incendios y huracanes, pero ninguno de ellos utilizó información meteorológica.

Los cambios en los patrones de variabilidad climática asociados con el cambio climático, reducirán aún más la efectividad de

los mecanismos de afrontamiento de riesgos actuales y por ende el de los hogares, en la medida que estos mecanismos no garanticen la protección del bienestar de los hogares, ante los patrones climáticos erráticos. Estos resultados subrayan la importancia de enfocarse en el grupo de niños pequeños al estudiar los potenciales impactos del clima errático sobre la salud. En la *Figura 1* se muestran los canales de impacto de la variabilidad climática en las diferentes dimensiones del bienestar de los hogares.

Las consecuencias en la salud producidas por la variabilidad climática pueden depender, entre otras cosas, del momento de la perturbación climática, de las características individuales y del hogar. Las perturbaciones climáticas durante periodos en los que la comida es relativamente escasa, pueden tener un efecto adverso más fuerte en la salud infantil en comparación con el impacto de las perturbaciones similares durante periodos en los que la disponibilidad de alimento es más abundante. Los niños desnutridos tienen más probabilidad de enfermarse (Scrimshaw 2003). Se investigó esta cuestión examinando cómo impacta en la salud el momento preciso de la perturbación climática dentro del ciclo agrícola.

Para visualizar quienes resultan más afectados por las perturbaciones climáticas y en qué sectores dichos efectos son más pronunciados, primero se tiene que cuantificar el efecto de las perturbaciones sobre el consumo nacional, así como las diferentes zonas climáticas basadas en el promedio de precipitación. Al separar las muestras por criterios climáticos podemos agrupar a los hogares que se enfrentan a desafíos causados por perturbaciones similares.

Se analizará el impacto del clima en el consumo per cápita de alimentos y de consumo general por separado (Skoufias *et al.* 2011a; Skoufias and Quisumbing 2005). Es probable que la elasticidad y la capacidad de adaptación a los cambios climáticos y las condiciones ambientales cambien significativamente, dependiendo del acceso a mecanismos de afrontamiento de ries-

gos. Por lo tanto, esta investigación muestra cómo el alcance a dichos mecanismos previamente mencionados –los bienes, derechos de propiedad de las tierras y educación, así como acceso a infraestructuras de transportes– alteran la habilidad de los hogares para ajustar su consumo.

Esta investigación se distingue por considerar el impacto de las fluctuaciones temporales de las perturbaciones climáticas en los ciclos agrícolas. Cada hogar se comparó contra una perturbación climática del ciclo agrícola anterior (abarcando una temporada de sequía de octubre a marzo y, una temporada de lluvia de abril a septiembre), en la temporada de lluvia anterior y en los tres primeros meses de la temporada de lluvia antes del estudio. Abril, mayo y junio –el periodo pre-canícula– son meses cruciales para muchos agricultores de maíz (Eakin 2000). Además, a pesar de que las medidas basadas en la cantidad de lluvia han sido muy utilizadas para determinar los efectos de las perturbaciones climáticas en el consumo (*cf.* Dercon and Krishnan 2000; Jacoby y Skoufias 1998; Paxson 1992; Rosenzweig y Binswanger 1993; Skoufias *et al.* 2011), las medidas basadas en la temperatura no han recibido la misma atención.

Las medidas de temperatura han sido utilizadas para determinar el impacto económico del cambio climático a través del rendimiento de cosechas (Deschenes and Greenstone 2007; Schlenker and Roberts 2008), pero no han sido incluidas en los modelos del impacto de las perturbaciones en el consumo. Para poder capturar este otro aspecto importante se consideraron las perturbaciones climáticas basadas en las temperaturas acumuladas durante los tres periodos antes mencionados.

El resto del estudio se organiza de la siguiente forma: Se hará una semblanza del clima y agricultura en México, se describirán las fuentes de información, se presentará un análisis empírico, finalmente se presentarán las observaciones finales para cerrar con las conclusiones.

EL CLIMA Y AGRICULTURA EN MÉXICO

Tanto la lluvia como la temperatura son factores importantes que afectan el rendimiento de las cosechas y presentan una relación cóncava con respecto a la productividad agrícola. Tanto los extremos de lluvia (sequías o inundaciones) y de temperatura (frío o calor extremo) afectan negativamente el rendimiento de las cosechas y por ende, potencialmente los ingresos y el consumo.

Dentro de un margen normal de lluvia y temperatura, lluvias adicionales y temperaturas más altas podrían incrementar el rendimiento de las cosechas en un clima, pero también reducir el rendimiento en otro. En el caso de México, Galindo (2009) identificó dos estados mexicanos en donde las temperaturas altas resultan en rendimientos más altos y más reducidos, lo cual sugiere heterogeneidad en cuanto a las perturbaciones climáticas en México. Por ejemplo, por una parte, la producción de maíz se beneficia de altas temperaturas en los estados de Hidalgo, Estado de México, Puebla y Querétaro, pero disminuye a causa de temperaturas altas en Baja California Sur, Campeche, Chiapas y Guerrero (Galindo 2009). Igualmente, se encontró que los niveles óptimos de lluvias –tanto inferiores como superiores– que resultan en cosechas de bajo rendimiento, dependen de la clase de cultivos. Utilizando una muestra de siete municipios productores de maíz (estado de México, Puebla, Veracruz y Jalisco), Conde et al. (1997) encontraron que, a largo plazo, un cambio climático de 2 grados centígrados y 20% menos de lluvia incrementó la cantidad de tierras inadecuadas para el cultivo del maíz en un 8%.

Del mismo modo, el incremento de 2 grados centígrados en la temperatura más el incremento de 20% de lluvia aumenta la cantidad de tierras no adecuadas para el cultivo del maíz en un 18%. Simulando un incremento de 4 grados centígrados por encima de la temperatura promedio, el aumento de tierras inadecuadas para la producción –con un incremento del 20% y una caída del 20% de lluvias– representa un 20% y 37% respecti-

vamente. Basado en la producción real, Appendini y Liverman (1994) estiman que, en México, las sequías son responsables de la pérdida de más del 90% de las cosechas.

El año agrícola abarca el periodo de octubre a septiembre y se compone de una temporada seca (de octubre a finales de marzo), y una temporada de lluvia (de abril a finales de septiembre). Aproximadamente un 82% de las tierras cultivadas son de carácter secano (INEGI 2007) y por lo tanto son muy susceptibles a fluctuaciones climáticas. Durante la temporada de lluvia, el maíz se produce en un 59% de las tierras disponible bajo la modalidad de cultivos de temporal, y en la temporada de sequía 31% de la tierra en cultivos de temporal son de maíz.

El área total cultivada es seis veces más grande durante la temporada de lluvia, que durante la temporada de sequía (INEGI 2007). Aún más importante, el maíz no solamente es utilizado como fuente de ingresos para los agricultores de pequeña escala, sino también directamente como un cultivo de subsistencia. Se considera como un último recurso cambiar el cultivo a trigo o cebada, que tienen un ciclo de crecimiento más corto, por ser menos útiles para el consumo en el hogar (Eakin 2000).

El ciclo de crecimiento del maíz se puede dividir en tres fases (Neild y Newman).⁶ La primera fase (fase vegetativa) dura entre 60 y 40 días. Mientras más tarde la semilla en germinar (cuanto más frío hace después de plantar la semilla) es más alta la probabilidad que la semilla sea débil y más susceptible a enfermedades, resultando en una cosecha más baja. Cuando el crecimiento se encuentra por encima de la tierra, la escarcha puede causar daños significativos a la planta.

La fase reproductiva se da cuando comienzan a formarse las mazorcas; dicha fase dura aproximadamente 20 días y se requieren de 20 a 30 días adicionales para la fase en que se rellenan los granos. Cantidades inadecuadas de agua en esta fase afec-

6 La descripción del ciclo de crecimiento del maíz se ha adaptado de Neild y Newman.

tan mucho las cosechas. Y son mayores los impactos negativos sobre la planta durante la fase de crecimiento de las mazorcas. Además, las temperaturas extremadamente calientes (por encima de los 32 grados centígrados) durante la segunda mitad de la fase vegetativa y de la fase reproductiva reducen las cosechas. La última fase (maduración) comprende entre 20 y 35 días.

Sembrar más tarde en la temporada asegura que las semillas germinen más rápido, pero la espera prolongada no permite que el cultivo complete la fase de maduración, antes de que se acabe la temporada. Durante los meses de julio y agosto, en México hay un periodo de sequía llamado canícula (*véase Fig. 1*) que afecta las decisiones de cultivo de los agricultores. En general, los agricultores prefieren que el maíz florezca (la fase de crecimiento de las mazorcas) antes de empezar la canícula, para mejorar las probabilidades de que sobreviva la cosecha, en caso de que sea una canícula más seca de lo normal (Eakin 2000). Esto implica que los meses previos a la canícula son de especial importancia en México.

FUENTES DE INFORMACIÓN

En cuanto a la información sobre los hogares, utilizaremos dos grupos de resultados de las Encuestas Mexico Family Life Survey (MxFLS; Rubalcava y Teruel 2006). En el primer grupo de resultados de la encuesta se entrevistó a 3 mil 353 hogares rurales en 75 localidades diferentes en todas las regiones del país. Estas encuestas se realizaron entre marzo y agosto de 2002, pero la mayoría de la información fue recabada durante abril, mayo y junio (*véase Fig. 1* para distribución).⁷ El segundo grupo de resultados de la encuesta fue recabado entre 2005 y 2007, en su mayoría entre mayo y septiembre de 2005. En la encuesta de seguimiento se entrevistó a 3 mil 271 hogares.

⁷ Los hogares rurales son aquellos que se encuentran en localidades con una población de menos de 2 mil 500 habitantes.

Ambos grupos de resultados recabaron información detallada sobre cada miembro del hogar, incluyendo información sobre características básicas, nivel de educación e información migratoria, así como información sobre los gastos del hogar.⁸ De igual manera, se realizaron encuestas separadas a los líderes de cada localidad sobre la infraestructura y programas accesibles en dicha localidad.⁹

La información del clima para este trabajo proviene del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). El instituto ha recopilado información climática diariamente, proveniente de más de 5 mil estaciones meteorológicas dispersadas a lo largo del país. La información abarca un periodo largo de tiempo – desde la década de 1920 hasta 2007– y contiene datos sobre la precipitación y temperaturas máximas y mínimas. Las estaciones meteorológicas registraron estas variables diariamente, utilizando la información climática para interpolar valores diarios de estas variables para un punto central geográfico en cada municipio de México.¹⁰

El punto central se determinó como el promedio simple de las coordenadas de latitud y longitud de todas las localidades listadas en el catálogo INEGI 2005 correspondientes a cada municipio, lo que resulta en un punto central basado en la localidad. Elegimos este método en vez de una media ponderada en la población, dado que la alternativa resultaría en una interpolación

8 MxFLS recopila información sobre el valor gastado en la compra de una variedad de artículos –alimentos, comidas fuera de casa, salud, transporte, artículos personales, educación, recreación, servicios de limpieza, comunicaciones, juguetes para bebés, cuidado de niños, artículos de cocina, ropa, tabaco, juegos, electrodomésticos, muebles entre otros –al igual que el valor de los bienes consumidos de producción propia o recibidos en forma de regalos. No es posible estimar el valor de bienes consumidos de producción propia puesto que ese valor se reporta junto con el de bienes recibidos de terceros.

9 Existen varias localidades en cada municipio. En MxFLS 1, solamente dos municipios tenían más de una localidad encuestada.

10 Utilizamos las definiciones geográficas del INEGI 2005 que contiene 2 mil 451 municipios.

preferente hacia zonas urbanas y no rurales. El método de interpolación utilizado es el de Shepard (1968) y es comúnmente utilizado ya que incorpora la distancia relativa y dirección entre las estaciones meteorológicas y los puntos centrales (para una descripción más detallada *cfr.* Skoufias *et al.* 2011b).

Se llevó a cabo una interpolación independiente de cada día entre 1950 y 2007 para cada municipio. Dado que no todas las estaciones meteorológicas existían a lo largo de este periodo y que en ocasiones no reportaban la información, cada interpolación está basada en un número diferente de puntos de información y de diferentes estaciones meteorológicas. Estos problemas, al igual que la exactitud de la información recopilada, empeoran al analizar años anteriores, lo cual tiene un efecto en nuestras interpolaciones. Por ende, las interpolaciones del año 1950 son menos fiables que las de 2007.

De esta información climática se calculó el total de lluvia y días grado para cada año agrícola (octubre a septiembre), para cada temporada de lluvia (abril a septiembre), y para cada periodo pre canícula (abril, mayo y junio) o para los meses previos a la canícula, desde 1951 hasta 2007.¹¹ En vez de usar el máximo de temperaturas mínimas usamos la suma de días grado, una medida acumulativa de temperatura basada en las temperaturas mínimas y máximas diarias. La suma de días grado mide la contribución diaria a la maduración del cultivo. Cada cultivo, dependiendo del tipo de semilla y otros factores ambientales, tiene sus propios requisitos de maduración. Por ejemplo, algunas variedades de maíz requieren 2 mil 450 días de días grado, mientras que otros requieren 3 mil para su maduración; algunas variedades de trigo solamente requieren mil 800 mientras que otras requieren de 2 mil días de días grado.¹²

11 Dado que el año agrícola empieza en octubre y acaba en septiembre, en esta serie solamente se usaron los últimos tres meses de año 1950.

12 Para los cultivos importantes en México se requieren son 2 mil 400 días grado para frijoles y 2 mil 200 a 2 mil 370 días grado para el sorgo. Los valores de

Cada cultivo tiene una temperatura base y límite (T base y T límite respectivamente) que contribuye al crecimiento. El grupo base marca la temperatura mínima requerida para el crecimiento y el grupo límite marca la temperatura sobre la cual la tasa de crecimiento no incrementa, y de hecho las temperaturas máximas podrían perjudicar el crecimiento. Por lo tanto, la contribución diaria j , a días grado acumulativos es la siguiente:

$$(T_{j\min} + T_{j\max})/2 - T_{base} = GDD_j$$

$T_{j\min}$ y $T_{j\max}$ son las temperaturas diarias mínimas y máximas truncadas en los valores base y límite. En otras palabras, cualquier temperatura diaria (mínima o máxima) por debajo de la temperatura base se le asigna el valor de la temperatura base, y cualquier temperatura diaria por encima de la temperatura límite se le asigna el valor de la temperatura límite.¹³ Para determinar los días grado acumulativos de un cultivo específico en cualquier momento, se deben sumar los días grado desde que se sembró la semilla.

Para los cálculos sobre las perturbaciones climáticas, primero se construyó un historial municipal del promedio de lluvia y de días grado entre 1951 y 1985 para cada año agrícola, para la temporada de lluvias y para el periodo pre canícula; de igual manera se incluyeron las desviaciones estándar. Se eligió este rango de fechas para balancear la necesidad de calcular el promedio histórico incluyendo la información de todos los años posibles, pero excluyendo años recientes que pudieran haber sido afectados por los cambios climáticos.

días grado son del Institute of Agriculture and Natural Resources Cooperative Extension University of Nebraska-Lincoln. Growing Degree Days and Crop Water Use.

13 Usamos la fórmula Modified Growing Degree Days en la cual las temperaturas mínimas y máximas han sido ajustadas antes de tomar el promedio. Véase Fraisse *et al.* (ND) para ejemplo.

Además, se citó un periodo de 35 años como punto de referencia porque hay información incompleta de algunos meses en varios municipios.¹⁴ En nuestra muestra de municipios rurales, el clima promedio está basado en un rango de 15-35 años de información. El 75% de los hogares rurales de nuestra muestra viven en localidades ubicadas en municipios con un mínimo de 30 años de información meteorológica completa desde 1951 a 1985.

Durante este periodo, hubo más perturbaciones de temperatura (tanto negativas como positivas) que perturbaciones de lluvia, lo cual sugiere que la temperatura fue un aspecto más variable que la lluvia cuando se compara al clima antes de 1986.¹⁵ La fecha de la encuesta se utilizó para emparejar la información del clima con cada hogar. A cada hogar se le asignó una temporada de lluvia y de sequía antes de la fecha de la encuesta. Es decir, si la encuesta de un hogar se realizó durante la temporada de sequía t , las perturbaciones se basan en el clima de la temporada de sequía $t - 1$ y la temporada de lluvia $t - 1$. Pero si al hogar se le hizo la encuesta durante la temporada de lluvia del año t , las perturbaciones climáticas se basan en el clima de la temporada de sequía t y de la temporada de lluvias $t - 1$. Por ejemplo, para los hogares del grupo de resultados MxFLS de 2002, las variables climáticas de interés son la lluvia y días grado basados en el clima de abril de 2001 hasta marzo de 2002 (véase *Figura 1*).

Por ende, los ingresos y la producción del hogar estarán basados en las cosechas de la temporada de lluvias de 2001 y de la temporada de sequía de 2002, y no en la cosecha de la temporada de lluvia de 2002, la cual fue contemporánea a la encuesta.

14 Un mes en particular se codifica como ausente si ninguna de las veinte estaciones meteorológicas cercanas reportó datos por cinco o más días consecutivos.

15 Las desviaciones de la precipitación respecto a la media de los distintos periodos (anual, temporada de lluvia y periodo pre-canicula) se correlacionan positivamente con la lluvia anual, y la lluvia de la temporada de lluvia se correlacionó altamente. Debido a las altas correlaciones dentro de los diferentes periodos, solamente incluimos variables de clima de un periodo en cada regresión.

Dado el tiempo prolongado de recolección de información del segundo grupo de resultados del MxFLS, no todos los hogares están emparejados con una perturbación climática de las dos temporadas (como es el caso del primer grupo de resultados), pero si están emparejados con las temporadas previas de sequía y lluvia antes de realizar la encuesta. El periodo alargado de la encuesta implica que hay más de 75 pares de climas posibles en la muestra de municipios del MxFLS de 2002.

A pesar de que el número de municipios de donde se sustrajeron las encuestas es relativamente pequeño, todavía tenemos cierta variabilidad en las variables meteorológicas. Hay municipios que tuvieron lluvia positiva y negativa al igual que días grado. Hay más perturbaciones de días grado que de lluvia, lo que corresponde con la acumulación de las tendencias nacionales de 1986 a 2002.

En la muestra se utilizó información de trece estaciones climatológicas para calcular las perturbaciones climáticas. La estación se encuentra a trece kilómetros del punto central municipal.¹⁶ Dado que el clima interpolado podría reflejar con más exactitud el clima actual de un municipio, mientras más cerca se encuentren las estaciones, también se consideró una muestra de municipios con una distancia media de menos de 20 kilómetros de la estación.

Otra posible preocupación es que, dado que la ubicación de las estaciones no es aleatoria, si las áreas menos productivas –en donde los hogares pueden ser más vulnerables a las perturbaciones climáticas– tienen una peor cobertura, entonces el algoritmo de interpolación puede resultar en errores de medición sistemática. Para probar esto, se hizo una correlación de la distancia media de una estación meteorológica, para calcular el

16 Estos promedios suponen que la estación meteorológica está a menos de 13 km del punto central municipal y dado que se les asigna más importancia a estas estaciones al determinar las condiciones climáticas, los valores asignados deberían ser similares al clima que se vivió en el punto central municipal.

clima con lluvia promedio. No se encontró ninguna correlación estadísticamente significativa en la distancia promedio del punto central municipal a la estación climatológica promedio o a la temperatura promedio del año de la encuesta MxFLS. Las correlaciones son más altas para los años anteriores.

Los municipios originales donde se llevó a cabo la MxFLS, provienen de 16 estados mexicanos y de todas las regiones del país. A pesar de que estos estados varían en el porcentaje de tierras cultivadas, de acuerdo con tecnologías de carácter seco en su mayoría, por lo menos un 75% de las tierras son secas y por ende la producción es altamente susceptible a las condiciones climáticas. Igualmente, la mayoría del maíz se cultiva en por lo menos el 50% de las tierras dedicadas a cultivos estacionales en la temporada de lluvias. El área cultivada en las temporadas de lluvias es superior al área cultivada durante las temporadas de sequía en todos los estados. Estas cifras sugieren que es probable que un hogar rural promedio que se encuentra dentro de nuestra muestra de ingresos tenga una dependencia relativamente alta al clima, especialmente durante la temporada de lluvias. También dada la relativa importancia del maíz, el periodo *pre-canícula* es de interés.

ANÁLISIS EMPÍRICO

Adaptamos una ecuación comúnmente usada (Cochrane 1991; Mace 1991; Townsend 1994 1995) para calcular el grado de ajuste de ingresos.

$$\Delta \ln \text{PCE}_{h,m,t} = \alpha + \beta \Delta W_{m,t} + \gamma X_{h,m,t} + \Delta \varepsilon_{h,m,t}$$

$\Delta \ln \text{PCE}_{h,m,t}$ es la primera diferencia en el logaritmo de gastos per cápita de un hogar, h , ubicado en el municipio m entre los años $t0$ y $t1$. $X_{h,m,t}$ es el vector de otros factores que explican los

niveles de consumo como los bienes y características de cada hogar. $\Delta\beta h_{m,t}$ capta los cambios en la variante del tiempo de las preferencias no observables de los hogares. $\Delta W_{m,t}$ es un vector que describe los cambios en un conjunto de perturbaciones climáticas en el municipio, m , durante el tiempo $t0$ y $t1$. Usamos perturbaciones agregadas tanto como desagregadas. Para la medida agregada, si el periodo de lluvia t no está dentro de una desviación estándar del promedio a largo plazo, entonces $W_{1,t}^{\text{rainfall,agg}}=1$, de lo contrario equivale a cero. Del mismo modo, si los días grado en el periodo t no se encuentran dentro de una desviación estándar de largo plazo, entonces $W_{1,t}^{\text{GDD,agg}}=1$, y de lo contrario es igual a cero.

Para las perturbaciones desagregadas, diferenciamos entre las perturbaciones negativas y positivas, ya que los efectos de las perturbaciones climáticas sobre los ingresos pueden ser diferentes dependiendo de la dirección de la perturbación. Una localidad tiene, específicamente, una perturbación climática negativa o positiva respectivamente, cuando la variable del clima (lluvias o días grado) en el periodo t es por lo menos una desviación estándar menos de, o más que el clima promedio a largo plazo en esa localidad. Así hay tres posibles valores para $\Delta W_{m,t}$. Será de -1 si en $t0$ se produce un tipo particular de perturbación (por ejemplo, de lluvia agregada o de días grado positivos), pero en $t1$ dicha perturbación no tuvo lugar. Será de 1 si dicha perturbación ocurrió en $t1$ pero no en $t0$, y será de cero si en ambos periodos el municipio tuvo tal perturbación o si en ninguno de los periodos experimento tal perturbación. De esta manera, β mide el impacto de las perturbaciones climáticas en el consumo.

Con tal que la perturbación sea exógena, es decir $E(W\varepsilon_{i,t})=0$, el coeficiente estimado β es objetivo. Dada nuestra definición de perturbaciones climáticas, $E(W\varepsilon_{i,t})=0$ debería persistir. La probabilidad de tener una perturbación climática es la misma en todos los municipios. En la ausencia de una total cobertura en cuanto a perturbaciones sobre el ingreso, cualquier per-

turbación climática que reduce los ingresos también reduce el consumo y prevemos $\beta < 0$. Si las estrategias *ex-ante* y *ex-post* protegen exitosamente a los hogares de las perturbaciones sobre los ingresos, entonces será $\beta = 0$. Si la perturbación beneficia la producción agrícola prevemos que los ingresos incrementen $\beta > 0$ o permanezcan constantes $\beta = 0$. Paxson (1992) encontró que una porción grande (probablemente toda) de los ingresos transitorios se ahorran, lo cual sugiere $\beta = 0$.

Se usaron dos medidas distintas para el consumo –alimentos y productos no alimenticios– dado que los diferentes tipos de consumo podrían ser afectados de diferentes maneras (Skoufias *et al.* 2001^a; Skoufias and Quisumbing 2005). En primer lugar, en cuanto a los gastos no relacionados con la salud y alimentos, se empleó un logaritmo de gastos anuales per cápita para los hogares. Los datos están basados en los gastos reportados por los hogares la semana anterior, para tabaco y transporte público; gastos del mes anterior en artículos personales y de limpieza, ropa, juguetes y artículos para bebés, artículos para el hogar, salud, mantenimiento de vehículos; y los gastos anuales para electrodomésticos, muebles, reparaciones de la casa, vehículos, vacaciones, impuestos y gastos de educación para el periodo escolar actual. Siguiendo a Thomas *et al.* (2010), restamos el gasto anual de salud a los gastos totales, ya que en promedio son alrededor del 11% de los gastos totales, dado que en su mayoría son resultados de enfermedades y, por lo tanto, no son para mejorar el bienestar.

Segundo, el logaritmo de gastos anuales per cápita se utilizó para alimentos. La porción media de los gastos en alimentos en la muestra es de 41% de los gastos totales (sin considerar los gastos en salud). Incluido en los gastos está el valor estimado de los bienes producidos para consumo propio y el valor de los bienes, en forma de regalos recibidos en la semana anterior a la en-

cuesta.¹⁷ Es decir, la medida de los gastos que utilizamos refleja los gastos después de incluir el valor monetario de la producción para consumo propio o de los recursos de los mecanismos de afrontamiento utilizados por los hogares para el ajuste del consumo (como la venta de activos, la ayuda de amigos y familiares, o beneficios de programas gubernamentales). Este trabajo no explora las implicaciones a largo plazo de estos impactos sobre el estatus de pobreza de los hogares.

Los mayores gastos observados pueden ser consecuencia de precios más altos en localidades específicas y no por un mayor consumo de bienes. Para responder a los efectos de los precios covariables, todos los gastos son ajustados a la variación mensual a nivel regional. Los gastos de los hogares, en cada una de las siete regiones para las que existe una línea de pobreza, se desinflan respecto a la línea de la pobreza de mayo de 2001 para las zonas rurales de la Ciudad de México, $PL_{DF,5/2001}^{rur}$.¹⁸ Es decir, para un hogar en la región i encuestada en el tiempo t , los precios son multiplicados en una proporción $PR_{i,t} = PL_{i,t}^{rur} / PL_{DF,5/2001}^{rur}$, en donde $PL_{i,t}^{rur}$ es la línea de pobreza para las áreas rurales de la región i , en el tiempo t , en el cual t equivale al mes de la encuesta.

Además de las variables de las perturbaciones climáticas, incluimos variables que capturan la composición de los hogares (número de niños y adultos, masculinos y femeninos), características del jefe de familia (años de escolarización, sexo y edad), índice de bienes¹⁹ y las características de la unidad habitacional

17 Dada la forma en que se administró la encuesta de gastos, no podemos separar el valor del consumo de la producción propia del valor de los bienes recibidos en forma de regalos. Para aproximadamente un 7% de los hogares rurales, más del 50% de sus alimentos provienen de fuentes no compradas.

18 La información en cuanto a la línea de pobreza se obtuvo del CONEVAL. Las líneas de pobreza, tanto las porciones urbanas como rurales están disponibles para las siguientes siete regiones por separado; área metropolitana de la Ciudad de México, Zona centro-norte, centro-sur, frontera-norte, noreste, noroeste y sur.

19 El índice agregado de activos si el propietario tiene título de propiedad de la tierra, una residencia, una segunda casa, bicicleta, vehículo automóvil, algún

(presencia de una cocina, acceso a agua potable dentro del hogar, inodoro, tanque séptico o drenaje, electricidad y material de los pisos). Las variables de la composición del hogar y el índice de bienes figuran como cambios entre las dos encuestas.

El resto de las variables independientes reflejan la situación del hogar en el periodo de la segunda encuesta. Además, introducimos un indicador temporal; dicha variable se introduce para cubrir la probable diferencia en la cantidad de recursos disponibles o cualquier patrón de consumo temporal, dependiendo de la época del año en la que cada hogar respondió a la encuesta²⁰. Dado que todos los hogares fueron encuestados durante la temporada de lluvia de 2002, solamente una variable temporal indicadora fue introducida para la segunda temporada de encuestas.

Para asegurar que las perturbaciones climáticas reflejen las experiencias de los hogares, solamente fueron utilizados aquellos hogares en los que los jefes de familia no emigraron en los últimos dos años anteriores a cada encuesta. Si aquellos que emigran son más propensos a migrar de un área después de una perturbación climática que afectó negativamente su producción agrícola y sus ingresos, cualquier estimación es el límite inferior. Además, el estudio excluye aquellos hogares que reporten gastos per cápita en consumo de alimentos extremadamente altos (más de dieciséis desviaciones estándar del promedio de la muestra) o en consumo per cápita de productos no relacionados con salud.

En promedio, los hogares reportaron un consumo per cápita ligeramente menor de alimentos en la segunda vuelta que en la primera. El consumo de productos no alimenticios y no de salud fue mayor en la segunda vuelta que en la primera, pero el promedio fue afectado por unos pocos hogares con gastos altos. En la segunda ronda, hubo menos niños por hogar y más adultos, lo

aparato electrónico, una lavadora o una estufa, un electrodoméstico, maquinaria o un tractor, toros o vacas, caballos o mulas, cerdos o cabras o aves de corral.

20 Por ejemplo, Paxon (1992) encontró patrones estacionales de consumo.

cual se esperaba dado que los mismos hogares fueron entrevistados tres y cuatro años más tarde. En 2005, más de la mitad de los jefes de familia no habían completado la escuela primaria y hubo menos jefes de familia sin educación primaria en los municipios áridos que en los municipios húmedos. Aproximadamente una quinta parte de los jefes de familia son femeninos y una tercera parte de los hogares no tiene acceso a alcantarillado ni a un inodoro en sus unidades habitacionales.

CONSUMO Y PERTURBACIONES CLIMATOLÓGICAS

Para empezar, estimamos la *Eq. 2* con medidas agregadas y combinamos todos los hogares, independientemente de la región climática en la que viven. Usamos dos muestras diferentes: aquellos hogares que no experimentaron ningún tipo de perturbación climática en 2002 y luego todos los hogares. Al limitar los hogares a aquellos que no experimentaron perturbaciones en 2002, simplificamos las variables de perturbaciones climáticas. La variable de perturbaciones será de cero si una perturbación en particular no ocurrió en 2005/2006 y, será de uno si dicha perturbación ocurrió. Al incluir también aquellos hogares que experimentaron alguna perturbación climática en 2002, incrementamos el número de observaciones; pero también asumimos que si las perturbaciones ocurrieron en 2002 y no en 2005 a 2006, entonces su efecto sería negativo si el hogar hubiera experimentado la perturbación en 2005 a 2006 y no en el 2002.

Por lo cual diferenciamos entre las perturbaciones por sus direcciones; es decir, perturbaciones negativas o positivas, para determinar si importa la dirección. Además, asignamos una región climática a cada hogar basado en el promedio de lluvia anual para determinar los efectos de las diferentes perturbaciones climáticas sobre los hogares en diferentes climas.

El estimado OLS de la *Eq. 2* para el consumo de productos no alimenticios y no de salud para todos los hogares rurales de

México está presentado en la *Tabla 5*; y para el consumo de alimentos en la *Tabla 6*. Los coeficientes estimados de β sugieren que el consumo promedio anual de los hogares está protegido en contra de perturbaciones negativas sobre los ingresos ocasionado por clima inusual. Es decir que no hay estimaciones de coeficientes estadísticamente significantes.

Si las perturbaciones tienen un impacto negativo en la producción agrícola (y sobre el ingreso), los resultados sugieren que los hogares son capaces de protegerse *ex-ante*, cambiando sus prácticas agrícolas en respuesta a las perturbaciones climáticas; o en el caso de ingresos agrícolas reducidos, los hogares son capaces *ex-post* de proteger el consumo (y el bienestar) del deterioro retirando bienes o recibiendo ayuda de redes tanto formales como informales de asistencia, tales como familiares o programas sociales o accediendo a créditos.

Cuando excluimos un hogar que experimentó una perturbación climática en 2002, ninguna de las estimaciones de los coeficientes de perturbaciones agregadas es estadísticamente significativa. Después de incluir a dichos hogares, observamos un incremento del 22% en el consumo de productos no alimenticios y no de salud después de una perturbación anual de lluvia y un incremento de un 18% en el consumo de alimentos después de una a perturbación de lluvia en la temporada de lluvia. Los resultados sugieren que las perturbaciones aumentan los ingresos. Dichos incrementos son posibles si las condiciones climáticas provocadas por las perturbaciones mejoran las condiciones de crecimiento de los cultivos cosechados.

Mediante la expansión del conjunto de perturbaciones negativas y positivas, observamos que las perturbaciones agregadas disfrazan algunas de las variaciones de los efectos de las mismas. Una vez más los coeficientes estimados estadísticamente significantes son todos positivos. En la muestra en la que los hogares que experimentaron una perturbación en 2002 son excluidos, hay efectos positivos de perturbaciones de días grado en

la temporada de lluvia y periodo pre-canícula. Pero estos efectos desaparecen cuando los hogares excluidos son incluidos en el análisis, lo cual sugiere que dichos efectos son particulares a un subconjunto de hogares. Ya incluidos los hogares que experimentaron una perturbación climática en 2002, las perturbaciones anuales negativas de lluvia y positivas de días grado son asociadas con un incremento del 45% en el consumo de productos no alimenticios y no de salud, y un incremento del 36% sobre el consumo alimenticio.

Es decir, después de un año agrícola más seco o más caliente de lo normal, los hogares gastan más en términos reales lo cual sugiere que si las perturbaciones incrementan la productividad, entonces, por lo menos, algo de los ingresos transitorios se gasta.

Con el fin de comprobar la viabilidad de nuestros resultados, excluimos de la muestra aquellos municipios con una distancia promedio de más de 20 kilómetros de las 20 estaciones climatológicas. Mientras más lejos estén las estaciones, más se incrementa el potencial de errores de medición. De esta manera, los efectos estadísticamente significantes y los puntos estimados son de la misma magnitud.

Los resultados medios mencionados anteriormente no captan ninguna variabilidad entre las diferentes regiones. En México hay muchas regiones climáticas y algunas perturbaciones que incrementan el rendimiento en un clima podrían reducirlo en otro. Usando las clasificaciones climáticas del INEGI (2009), clasificamos a cada municipio en categorías de baja o de alta precipitación. Los municipios de baja precipitación son aquellos clasificados como muy áridos, áridos o semiáridos. Los municipios de alta precipitación son aquellos clasificados como húmedos o sub-húmedos.²¹ En total hay 27 municipios de baja precipitación y 48 de alta precipitación.

En contraste con los resultados promedio, agrupar a los ho-

21 Los promedios anuales de precipitación tanto mínimos y máximos son de 200 y 600 mm para las regiones áridas y 900 y 1,400 mm para la región húmeda.

gares basados en el promedio de precipitación en sus municipios sugiere que no todos los hogares son capaces de ajustar su consumo después de perturbaciones climáticas. Los hogares en municipios de climas áridos tienen un consumo bajo después de tres tipos de perturbaciones climáticas.

El consumo de productos no alimenticios y no de salud es menor después de una perturbación negativa de días grado en el periodo pre-canícula; el consumo de alimentos es menor después de perturbaciones negativas de lluvias en el periodo pre-canícula y después de perturbaciones anuales negativas de días grado. Los hogares tienen un consumo per cápita más alto después de perturbaciones anuales negativas de días grado (de productos no alimenticios y no de salud) y después de perturbaciones anuales positivas de días grado (de productos alimenticios). Los resultados de una perturbación anual negativa de días grado para un municipio de baja precipitación son contradictorios.

Por una parte, el consumo de alimentos se reduce, lo cual sugiere que el consumo no está completamente protegido y que hay una reducción de ingresos; pero, por otra parte, el consumo de productos no alimenticios incrementa, lo cual sugiere ingresos superiores. Los resultados en conjunto sugieren que hay un cambio en la composición de los gastos en los municipios más áridos, después de un año más frío de lo común. En las regiones áridas, los hogares no están protegidos de las perturbaciones en los periodos pre-canícula, con periodos más secos y más fríos, afectando el consumo anual alimenticio y de productos no alimenticios y no de salud.

Los hogares en climas sub-húmedos y húmedos son más capaces de proteger su consumo anual. Solamente las perturbaciones de días grado en temporadas negativas de lluvia están asociadas a una reducción en el consumo de productos no alimenticios y no de salud, pero el efecto no es estadísticamente significativo cuando excluimos aquellos municipios que están a más de 20 kilómetros de la estación climatológica.

En contraste a los resultados para los municipios de baja precipitación, las perturbaciones durante el periodo pre-canícula no tienen un impacto estadísticamente significativo en el consumo. Tanto las perturbaciones de lluvias negativas como positivas resultan en un consumo superior de productos no alimenticios y no de salud. Igualmente, las perturbaciones negativas de las temporadas de lluvia resultan en un incremento tanto del consumo de productos alimenticios como de productos no alimenticios y no de salud, lo cual sugiere que menos lluvia del promedio mejora los ingresos.

DIFERENCIAS EN EL CONSUMO DE LOS HOGARES BASADAS EN CARACTERÍSTICAS OBSERVABLES

Para determinar si el impacto de una perturbación climática es diferente para los distintos tipos de hogares, se estimó la Eq. 2 por separado para las diferentes subpoblaciones establecidas en el estudio. Lo ideal es analizar las subpoblaciones por regiones climáticas, sin embargo, el número limitado de municipios (y los conjuntos de perturbaciones experimentadas) no facilitan un análisis detallado. En su lugar se consideraron todos los hogares rurales de la muestra y los gastos reales en alimentos como la medida del consumo. Los resultados de estos análisis solamente revelan el efecto promedio nacional y no toman en cuenta los efectos de las perturbaciones en las diferentes regiones climáticas. Sin embargo, al igual que el caso anterior con los efectos promedios para las diferentes regiones, cualquier coeficiente negativo estimado a nivel nacional sugiere que alguna porción de la población no está totalmente protegida.

Las poblaciones de interés son aquellos hogares con bajos/altos niveles de bienes, los hogares con jefes más/menos educados, con o sin títulos de tierras, y aquellos hogares en localidades con o sin una estación de autobús. Para asegurar que solamente se capturaron los efectos de una sub-población, incluyendo

aquellos hogares que no han cambiado de estatus entre las dos encuestas.

Una estrategia del manejo de riesgo ex-post es la de vender bienes para ajustar el consumo (Deaton 1992). Aquellos hogares con un mayor número de bienes podrían estar mejor posicionados para hacerlo. Por ende, los hogares son divididos en dos grupos en cuanto a sus bienes; aquellos que en la primera ronda tenían menos de cinco bienes y aquellos que tenían seis o más. El número promedio de bienes de la muestra fue de cinco. En la muestra se encontró que la escasez los bienes de hogares rurales no está asociada con una inhabilidad de ajustar el consumo después de una perturbación climática. Tampoco se encontró una inhabilidad de ajustar el consumo, aun con valores límites más bajos para la sub-población de pocos bienes.

Observando bienes específicos, si el hogar tiene el título de la tierra, sin considerar que aquellos hogares sin título de propiedad sean menos capaces de ajustar el consumo después de una perturbación climática. Los hogares con jefes de familia menos escolarizados podrían ser más susceptibles a los efectos de las perturbaciones negativas sobre los ingresos (Skoufias 2007).

El último mecanismo de la distribución de riesgos que se exploró fue la accesibilidad de la localidad. Una mayor integración de la localidad en la economía regional y acceso a oportunidades afuera de la comunidad le otorga al hogar más oportunidades para manejar los riesgos. Con este fin separamos la muestra entre aquellos hogares que están en comunidades con y sin paradas de autobús.

Las comunidades con una parada de autobús tienen por lo menos un medio de transporte público que la mantiene comunicada con otras comunidades; lo más probable es que también tengan mejores infraestructuras y mejor integración en general. Los resultados del análisis demuestran que, para la muestra de municipios, aquellos hogares en comunidades sin una parada de autobús son incapaces de ajustar el consumo después de

cualquier tipo de perturbación de días grado durante la temporada de lluvia o después de una perturbación positiva de días grado en el periodo *pre-canícula*.

Sin embargo, los resultados tienen que ser interpretados con precaución dado que solamente 37 municipios reportaron información sobre la presencia de una parada de autobús y no cambiaron su estatus entre las dos rondas de encuestas. Más aún, como la presencia de una parada de autobús no es exógena a las características de las comunidades, las estimaciones de los coeficientes podrían estar capturando efectos de otras características covariantes.

OBSERVACIONES FINALES

Se espera que el cambio climático aumente la variabilidad del clima, si mecanismos eficaces de afrontamiento para la protección del consumo no están disponibles a los hogares, entonces podrían experimentar impactos significantes en la salud y el bienestar, así como en las decisiones migratorias. Examinamos los impactos de las perturbaciones climáticas –definidas como lluvia o un incremento en días grado por encima de una desviación estándar de los promedios a largo plazo– sobre los gastos per cápita de los hogares. Nuestros resultados sugieren que los hogares no siempre pueden proteger su consumo ante las perturbaciones climáticas, de tal manera que los mecanismos disponibles de afrontamiento *ex-post* y *ex-ante* no proporcionan suficiente protección.

Pero algunas perturbaciones climáticas en realidad incrementan el consumo, probablemente por un incremento temporal en los ingresos. Los efectos sobre el consumo varían de acuerdo con el momento de la perturbación o la zona climática. A diferencia de otros estudios (Skoufias *et al.* 2001^a; Skoufias y Quisumbing 2005), no encontramos evidencia que el consumo de alimentos esté más protegido que el consumo de productos no alimenticios.

Mientras que los hogares rurales promedio de nuestra muestra son capaces de ajustar el consumo de tal manera que ninguna perturbación climática produzca un efecto negativo sobre los gastos reales, cuando los hogares son agrupados por la precipitación promedio de sus municipios, se observa que algunos hogares no son capaces de ajustar el consumo. Aquellos hogares situados en climas áridos son más propensos a disminuir el consumo después de una perturbación climática. En regiones áridas, un clima más frío o más seco que el promedio durante el periodo *pre-canícula*, afecta negativamente el consumo.

No existen pruebas definitivas de que los efectos del acceso a las diversas estrategias de afrontamiento de riesgos ayuden a un hogar promedio a reducir su consumo. Pero dada la heterogeneidad de las respuestas de los hogares en cuanto a las diferentes perturbaciones climáticas, dicho análisis debería hacerse por separado para cada región climática.

Considerar una muestra mayor en el número de municipios, resultaría en mejores estimaciones sobre los efectos de las distintas estrategias *ex-post* y *ex-ante* del manejo de riesgos en los municipios.

LA VARIABILIDAD DEL CLIMA Y LA ESTATURA DE LOS NIÑOS EN ZONAS RURALES DE MÉXICO

EMMANUEL SKOUFIAS Y KATJA VINHA

En esta etapa del estudio, que se relaciona con el capítulo anterior de esta obra, se analizan los efectos del cambio climático en la salud de los niños, usando como indicador la talla de niños menores de 48 meses que viven en zonas rurales. La salud de infantes no solo influye en su bienestar actual, sino que puede determinar su desarrollo cognitivo, así como su calidad de vida y productividad como adultos (*cf.* Doyle *et al.* 2009). Las tasas de crecimiento de los niños son más rápidas entre 0 y 3 años, por lo tanto, cualquier retraso en este periodo aumenta la probabilidad de afectar negativamente el crecimiento general (Martorell 1999).²²

Es probable que la prevalencia de enfermedades incrementa por los cambios en los patrones climáticos, lo que genera pérdi-

²² Basado en los Estándares de Crecimiento de Niños de la Organización Mundial de la Salud, la estatura promedio para niños en el primer año incrementa 25.5 cm. y para niñas 24.9 cm. En el segundo año, la estatura promedio incrementa 12.2 cm. y 12.4 cm. para niños y niñas respectivamente. En el tercer año, la estatura media incrementa 9 cm y 9.4 cm para niños y niñas respectivamente.

da en el bienestar social. Ante la amenaza para la población más pobre por los inminentes cambios en los patrones climáticos, es fundamental tener una comprensión profunda de la magnitud de las consecuencias y las medidas específicas que pudieran mitigar cualquiera de los efectos a la salud producidos por un clima errático. Con estas consideraciones en mente, se llevó a cabo un análisis del impacto de la variabilidad climática en la salud de los niños entre 12 y 47 meses de edad en las zonas rurales de México utilizando la Encuesta Nacional de Nutrición 1999 (ENN) y los datos meteorológicos del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Se cuantificó hasta qué grado el clima inusual produce impactos negativos en la salud, sobre todo en la estatura por edad de los niños. Basado en las experiencias históricas y la multiplicidad de limitaciones económicas e institucionales, se ha demostrado que los hogares rurales en México y en el resto del mundo han desarrollado estrategias tradicionales para el manejo del riesgo climático. En México, Eakin (2000) documentó cómo pequeños agricultores en la región de Tlaxcala se han adaptado a los riesgos del clima.

Por ejemplo, sembrando diferentes variedades de producto, cambiando fertilizantes o pesticidas dependiendo de las condiciones climáticas y diversificando la geografía al cambiar de lotes y tierras.²³ Sin embargo, es escasa la evidencia cuantitativa sobre el éxito de estas estrategias para proteger el bienestar de quienes las llevan a cabo.²⁴ En la medida en que los mecanismos actuales empleados para afrontar riesgos no sean efectivos para proteger

23 Por ejemplo, siembran variedades de maíz que maduran rápido, pero rinden poco y a la vez maíz que madura lentamente, pero rinde mucho; o bien, cambian las cosechas de maíz – el cual es más rentable – a cosechas de trigo dependiendo del clima (Eakin 2000).

24 Otros estudios que se apoyan en las percepciones de los participantes con respecto a la incidencia de diferentes tipos de perturbaciones como inundaciones, sequías, heladas, incendios y huracanes, incluyen García Verdu (2002), Skoufias (2007) y De la Fuente (2010). Sin embargo, ninguno de estos estudios utiliza información meteorológica actual.

el bienestar de los hogares ante patrones climáticos erráticos, se puede tener la certeza de que los cambios en los patrones de variabilidad climática asociados con el cambio climático reducirán aún más la efectividad de los mecanismos de gestión de riesgos actuales y, por ende, el bienestar de los hogares.

En los países en desarrollo a pesar de que los niños al nacer se encuentran dentro de la media de estatura estandarizada para la edad, hay una gran disminución en estatura por edad entre las edades de cero a 24 meses, sin poder alcanzar los estándares básicos en los primeros cinco años de vida (Shrimpton *et al.* 2001).

Sin embargo, hay evidencia sobre en qué condiciones adecuadas los niños con una demora en crecimiento son capaces de recuperar su curva de crecimiento después de los cinco años, de tal manera que ya no se consideran demorados (para Filipinas en Adair 1999 y para Bolivia en Godoy *et al.* 2010).²⁵ Además, Martorell *et al.* (2010) encontraron evidencia de que el aumento de peso en los dos primeros años de vida tuvo un efecto importante en el desempeño escolar, mientras que el aumento de peso entre los dos y cuatro años de edad tuvo un menor efecto en dicha variable.

Al hacer una revisión de la literatura existente sobre la relación entre el clima y el bienestar, Alderman (2010) enfatiza que los choques nutricionales causados por el clima en los primeros años de vida producen efectos duraderos en la productividad, incluso si la familia es capaz de superar la pobreza en el futuro. Los indicadores de *talla-por-edad* y *peso-por-edad* se encuentran fuertemente asociados con logros escolares, así como los retrasos

25 Sin embargo, no existe un consenso en cuanto a las condiciones para ponerse al día con respecto al crecimiento. A pesar de que el orden de nacimiento y el número de hermanos parece tener un papel importante (Adair 1999; Godoy *et al.* 2010) el efecto en las condiciones económicas depende de la población estudiada. Por ejemplo, Adair (1999) concluye que con mejoras socioeconómicas algunos niños filipinos demorados a la edad de dos años, no se consideraban tales a la edad de 8.5 años. Sin embargo, Godoy *et al.* (2010) encontró que las mejoras en las condiciones económicas están correlacionadas con los índices bajos para ponerse al día en Tsimane en Bolivia.

de crecimiento entre los 12 y 36 meses de edad se encuentran relacionados con el bajo desarrollo cognitivo (Victora *et al.* 2008).

La malnutrición producida por falta de alimentos o a consecuencia de repetidas infecciones diarreicas, puede causar daños estructurales al cerebro y afectar el desarrollo motriz de los niños, lo cual también repercute en el desarrollo cognitivo de un niño (Victora *et al.* 2008; Guerrant *et al.* 2008). Además, Eppig *et al.* (2010) encontraron una correlación entre las enfermedades infecciosas y el coeficiente intelectual. Ellos explican estos hallazgos como una competencia entre la demanda de energía para el desarrollo del cerebro y la demanda de energía necesaria para combatir una enfermedad. Señalan que es probable que las enfermedades diarreicas sean las que más energía consumen.

En general, se ha encontrado que la salud en la niñez impacta en la salud del adulto, el empleo (Case *et al.* 2005), la capacidad cognitiva (Case y Paxson 2008; Grantham-McGregor *et al.* 2007; Maluccio *et al.* 2009), el desempeño escolar (Alderman *et al.* 2006; Glewwe y Miguel 2008; Maluccio *et al.* 2009) y la productividad (Hoddinott *et al.* 2008).

En México, el ciclo agrícola está compuesto por una estación seca de octubre a marzo del siguiente año y una temporada de lluvias de abril a septiembre. Asimismo, se distinguen cuatro tipos de precipitación y perturbaciones de temperatura: precipitación y perturbaciones de temperatura en el año agrícola y la temporada húmeda anteriores ($t-1$) al periodo en que se evalúa la salud de los infantes, así como la precipitación y perturbaciones de temperatura en los años agrícolas y la temporada húmeda de dos periodos anteriores ($t-2$) al ciclo en que se evalúa la salud de los infantes.

Rose (1999) encontró efectos diferenciados de las perturbaciones de las precipitaciones en niños y niñas en el área rural en México, mientras que Behrman y Hoddinott (2005) encuentran que en México los niños que participan en PROGRESA –un programa de combate a la pobreza con un componente nutri-

cional— se ven más afectados por estos efectos. Es posible que la participación en este tipo de programas también proteja a los niños en caso de condiciones climáticas inusuales. La educación de la madre puede interactuar con las perturbaciones climáticas de manera tal que los hijos de madres menos educadas se vean más afectados que los hijos de madres con mayor educación.

Rubalcava y Teruel (2004) encontraron una correlación positiva entre la educación de la madre, la habilidad cognitiva y la puntuación de la estatura-por-edad de los niños mexicanos. De igual forma, estimaron el efecto de la variabilidad climática sobre la salud infantil medida a través de la estatura y después combinaron las perturbaciones climáticas con diferentes características individuales como: género, nivel educativo de la madre o participación en programas de nutrición suplementaria. Ellos separaron la muestra por regiones y altitud con el fin de examinar los efectos geográficamente heterogéneos.

En este capítulo se incluye una revisión bibliográfica sobre los estudios existentes en torno al impacto del clima en el consumo y la prevalencia de las enfermedades, mismas que repercuten en la salud. Posteriormente, se describe la estrategia de estimación de este trabajo. Además se proporcionan los antecedentes de las perturbaciones que fueron utilizados en la encuesta y se describen las fuentes de los datos. Finalmente, se presentan resultados y un apartado de conclusiones.

INVESTIGACIONES PREVIAS

Se podría pensar en el medio ambiente, la salud y el consumo como parte de un sistema simple en el cual la salud y el consumo son dos dimensiones importantes del bienestar. El consumo medido a nivel del hogar se ve influenciado por el medio ambiente, mientras que la salud medida a nivel individual se ve influenciada tanto por el medio ambiente como por el consumo.²⁶

26 Es probable que haya información sobre estado de salud de un individuo y su

Para ver la interacción entre los tres aspectos, es útil pensar en cada uno de los impactos independientemente.

El medio ambiente afecta el consumo en las zonas rurales, principalmente a través de su efecto en la producción agrícola o ingresos dado que los rendimientos de los cultivos van en función de la precipitación y de la temperatura. Dependiendo de la capacidad del hogar para enfrentar cambios en sus ingresos ocasionados a raíz de una perturbación negativa producida por mal tiempo, puede resultar una reducción en el consumo (Jacoby y Skoufias 1998; Dercon y Krishnan 2000).

Además, la asignación intrafamiliar de los recursos puede cambiar después de una variación climática, posiblemente dando lugar a que los miembros sean afectados de diversas maneras. Las diferencias en los resultados de salud de los habitantes dentro de una casa ocurren si los recursos alimenticios de un individuo en particular son reducidos lo suficiente como para que se experimente desnutrición o si su porción de otros recursos, como los bienes relacionados con cuidados de salud preventivos fuese menor que la de un año típico. Ciertas subpoblaciones como los niños pequeños pueden ser más propensos a sufrir consecuencias por peores condiciones económicas (Woitek 2003).

Por otra parte, una perturbación del medio ambiente también puede afectar directamente la salud de un individuo, por ejemplo, cambiando la prevalencia de enfermedades transmisibles o el riesgo de exponerse al calor o al frío. Suponiendo que no haya variaciones en las decisiones de consumo, un cambio en la prevalencia de las enfermedades transmisibles tiene un impacto en la salud del individuo, dependiendo de las características de éste y de su acceso a medidas preventivas.

El efecto final de la variación climática en la salud tiene dos

capacidad para tener un sueldo, así como los gastos de consumo al nivel del hogar. Por ahora, no se explora este dato. Además, la salud afecta el consumo directamente en dos maneras: ex-post (por ejemplo: estar enfermo requiere comprar medicinas) y ex-ante (por ejemplo: cuidado de salud preventivo).

tipos de consecuencias: directa e indirecta. La indirecta es la que tiene el clima en la salud a través de cambios en el ingreso o en la producción, mientras que la directa son los cambios en las condiciones ambientales y en los tipos de consumo que el hogar y el individuo son capaces de realizar en respuesta a la contingencia climática.

Los estudios sobre las consecuencias de las perturbaciones climáticas en el bienestar individual generalmente utilizan algunos indicadores de salud como medida preferida. La evidencia de otros países sugiere que tanto el género como la edad importan. Rose (1999) encuentra que, en zonas rurales de India, una variación positiva de lluvia aumenta las probabilidades de supervivencia de las niñas más que de los niños. Del mismo modo, Hoddinott (2006) encuentra que hay un efecto transitorio de sequía en el índice de masa corporal (IMC) de las mujeres, pero no en el de los hombres.

También importa la edad de la persona en el momento de la perturbación. Por su parte, Hoddinott y Kinsey (2001) encontraron que una sequía padecida entre los 12 y 24 meses de edad tuvo un impacto en la tasa de crecimiento anual de los menores de esa edad, la cual se mantuvo durante los cuatro años del estudio. No se encontraron efectos de este tipo producidos por choques más tarde en la vida de la persona. Maccini y Yang (2009) encontraron que en las zonas rurales de Indonesia, las perturbaciones climáticas ocurridas en el primer año de vida afecta la expectativa de vida de las mujeres, es decir, las mujeres que vivieron su primer año en una localidad donde la precipitación fue mayor que la precipitación media histórica son más altas en la adultez. Los investigadores no encuentran ningún impacto en los resultados de los hombres.

Una perturbación ambiental puede tener un impacto negativo directo en la salud, pero uno positivo indirecto a través del consumo. Tanto la precipitación como la temperatura son factores importantes que afectan las cosechas y muestran una relación

cóncava a la productividad agrícola (Galindo 2009). El aumento en la precipitación o la temperatura es benéfico para el proceso de producción agrícola, pero depende del cultivo, la región y la estación agrícola en que se produce el cambio.

En México la producción de maíz se beneficia de temperaturas adicionales en algunas regiones, mientras que disminuye con la temperatura adicional en otros (Galindo 2009). En general, dentro de un rango normal de precipitación y temperatura, la precipitación adicional o días más cálidos podrían aumentar las cosechas en los climas templados, pero lo más probable es que reducirían las cosechas en climas tropicales. Ambos extremos, tanto de precipitación (sequía o inundación), como de temperatura (extremadamente fría o caliente) impactan de manera negativa las cosechas y, por tanto, el ingreso y el consumo.

Es por eso que se puede esperar que los efectos difieran dependiendo del promedio de las condiciones climáticas subyacentes. La desnutrición y las repercusiones negativas en la salud son posibles si el consumo de alimentos se reduce como consecuencia de un evento climático, especialmente si antes del evento el hogar o individuo consumía los nutrientes mínimos necesarios.

El impacto de los cambios de clima en la salud es aún más complejo.²⁷ La prevalencia y el alcance de un patógeno específico o vector, se determina por rangos específicos de temperatura, precipitación y humedad (Patz *et al.* 2003). El incremento en la permanencia de una enfermedad debido a un periodo inusualmente lluvioso o seco depende del clima específico de la región. En los límites en los que viven los agentes patógenos, la más mínima desviación del clima puede crear grandes áreas susceptibles a enfermedades infecciosas.

Esto es, si una región es demasiado fría o muy caliente para un patógeno o vector específico, entonces un año inusualmente caliente o frío podría hacer que la región se vuelva susceptible a

27 La información sobre el impacto del clima en la salud (este párrafo y el siguiente) está basada en Patz *et al.* (2003).

la enfermedad causada por el patógeno o vector. La evidencia de la importancia de los factores climáticos se puede ver desde la estacionalidad de varias enfermedades infecciosas, como la gripe (a la temperatura), la malaria y el dengue (a la lluvia y humedad).

En general las temperaturas extremas son letales para los vectores. Un aumento en la precipitación, por lo general mejora las condiciones de reproducción. La precipitación extremadamente baja o la sequía pueden crear charcos de agua estancada proveniente de arroyos y ríos. Estos charcos son excelentes criaderos de vectores, lo cual aumenta la prevalencia de enfermedades asociadas con tales vectores. Además de los agentes patógenos de transmisión vectorial, los patógenos transmitidos por agua y alimentos causantes de infecciones entéricas también son susceptibles a la precipitación y la temperatura. A la fecha no existe evidencia de una correlación directa entre la temperatura y las enfermedades diarreicas.

ESTRATEGIA DE ESTIMACIÓN

Para el análisis empírico se utilizaron datos transversales a nivel individual. Se usó un puntaje Z estandarizado para la estatura-por-edad en la medida de salud. La ecuación estimada se puede escribir como:

$$\text{Ecuación [1]} \quad H_{-}(i,l,t) = \alpha + \beta W_{l,t} + \gamma X_{i,l,t} + \mu_l + \varepsilon_{i,l,t}$$

Donde: la estatura del individuo es i , en la localidad l , en el tiempo t , $W_{l,t}$ es un vector que describe las perturbaciones climáticas pasadas en la localidad l , en el tiempo t . X_i es un vector de otros factores que influyen en la estatura de un individuo, como las características del hogar y de la vivienda, μ_l representa efectos fijos y $\varepsilon_{i,l,t}$ es el término de error. Mientras la perturbación climática sea exógena, es decir $E(W\varepsilon_{i,l,t})=0$, la estimación del coeficiente β es imparcial.

Una localidad tiene una perturbación climática negativa o positiva ($W_{l,t}^{neg}=1$ o $W_{l,t}^{pos}=1$ respectivamente) cuando la variable clima como la lluvia en el periodo t es al menos una desviación estándar menor o mayor que el clima promedio de largo plazo en la localidad. Dada la definición de las perturbaciones climáticas, $E(W\varepsilon_{i,l,t})=0$ debe ser factible. La ecuación de estatura se puede ampliar para incluir términos de interacción para probar la relevancia de medidas o políticas públicas específicas, por lo tanto, la ecuación [1] se convierte en la ecuación [2].

Ecuación [2]:

$$H_{i,l,t} = \alpha + \beta_0 W_{(l,t)} + \beta_1 (W_{l,t} * P_{i,l,t}) + \gamma_1 P_{i,l,t} + \gamma_2 X_{i,l,t} + \mu_1 + \varepsilon_{i,l,t}$$

Donde, $P_{i,l,t}$ identifica el tipo de hogar o individuo. Con esta variable se podría indicar el género del individuo o si éste participa en un programa de nutrición suplementario. En el caso del género, se establece $P=1$ para las niñas, β_0 mediría el impacto de la perturbación climática en los niños y $(\beta_0 + \beta_1)$ el impacto del clima en las niñas. β_1 mide la diferencia en el efecto que tiene una perturbación climática en ambos sexos.

Con esta estrategia de cálculo, se pueden estimar los impactos agregados de las perturbaciones climáticas en la estatura. No se puede distinguir si un impacto negativo o positivo se debe a cambios en el consumo o si es por episodios frecuentes de alguna enfermedad. Sin embargo, como se explica en la siguiente sección, dadas las fechas en que fue recolectada la encuesta y la inclusión de las perturbaciones climáticas de los dos años agrícolas anteriores, se adquirió un mejor entendimiento en cuanto a los posibles canales a través de los cuales las perturbaciones están afectando la salud.

ANTECEDENTES Y FUENTES DE DATOS

Una gran parte de la población en México se encuentra viviendo en condiciones de pobreza. En 2005 el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) calculó que a nivel nacional el 47% de la población vivía en pobreza, con un 18% de la población viviendo en pobreza extrema. En 2006, el 15.5% de los niños de 0-5 años de edad tuvieron un puntaje Z de estatura-por-edad menor de -2, y el 3.4% de los niños de 0-5 años de edad tuvieron un *puntaje-z de peso-por-edad* menor del -2 (OMS). En las zonas rurales las tasas fueron ligeramente superiores con un *puntaje-z* menor del -2 en *estatura-por-edad* (24.1%) y *peso-por-edad* (4.9%).

Además, en México alrededor del 82% de la tierra cultivada es agricultura de secano (INEGI 2007) y, por lo tanto, es susceptible a las fluctuaciones climáticas. La dependencia en la agricultura de secano varía según la región, y las regiones del Caribe, Pacífico y Golfo dependen mucho más de ella, pero en el Norte el 68% de la superficie agrícola cultivada es de secano. En conjunto, estas estadísticas indican que una parte relativamente grande de la población del país podría estar vulnerable ante las fluctuaciones climáticas.

El año agrícola en México abarca de octubre a septiembre. Se compone de una estación seca de octubre a finales de marzo y una estación de lluvias de abril a finales de septiembre. Para todas las regiones, excepto en el Golfo y el Caribe, más del 50% de la tierra cultivada durante la temporada de lluvias es de cultivos estacionales. El maíz es de especial importancia con más de un 25% de la tierra cultivada dedicada a su producción durante la estación de lluvias. Así, el maíz es utilizado por muchos pequeños agricultores como cultivo de subsistencia y una fuente de ingresos. Por ello sembrar otros cultivos, como el trigo o la cebada que tienen un ciclo de crecimiento más corto, no son tan útiles para el consumo propio en el hogar y se considera como un último recurso (Eakin 2000).

Para el análisis empírico se utilizó la Encuesta Nacional de Nutrición (ENN), compilada por el Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática (INEGI 1999) y la Secretaría de Salud de México en el último trimestre de 1999 en el comienzo de la estación seca de 2000.

En la encuesta se entrevistó a 7 mil 180 hogares rurales en 174 municipios. La encuesta recabó información general de todos los miembros de la familia e información más detallada, incluyendo medidas antropométricas y enfermedades en las dos semanas anteriores a la encuesta para las mujeres entre 12 y 49 años de edad y para todos los niños menores a los 12 años.²⁸ Los datos climáticos utilizados en este trabajo provienen del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).²⁹ El IMTA ha recopilado información meteorológica diariamente de las más de 5 mil estaciones meteorológicas dispersadas por todo el país. Los datos abarcan un gran periodo que va desde la década de 1920 hasta 2007, y contiene información sobre la precipitación y las temperaturas máximas y mínimas.

Las estaciones meteorológicas registran estos cambios a diario y se utilizó esta información para interpolar valores diarios de estos cambios para determinar el baricentro geográfico en cada uno de los municipios del país.³⁰ El baricentro se define como

28 La encuesta ENN no permite determinar si un hogar rural realiza actividades agrícolas o qué tipo de prácticas agrícolas realiza. La ENN es representativa a nivel regional y a nivel urbano y rural; por lo tanto, debe reflejar a la población general. Incluida en esta muestra hubo hogares con pequeños lotes de tierra en los que se practica agricultura de subsistencia, así como hogares que poseen tierras con irrigación y granjas en lotes de tierra grandes. Lo que se observa es el impacto promedio sobre toda la población rural. En nuestra muestra, el 86.6% de los niños en zonas rurales viven en hogares sin agua potable, y un 74.5% no tienen acceso a inodoro dentro de su casa, lo que sugiere que la mayoría de los niños tienen antecedentes humildes.

29 Instituto Mexicano de Tecnología de Agua (IMTA), Eric III –extractor rápido de información climatológica V. II. Instituto Mexicano de Tecnología de Agua. La información de lluvia detallada puede ser vista en la página web: <http://www.imta.gob.mx>.

30 Se utilizó el catálogo de localidades del INEGI 2005, el cual contenía 2451 municipios.

el promedio simple de las coordenadas de latitud y longitud de todas las localidades que figuran en el catálogo 2005 del INEGI correspondiente de cada municipio, lo que resulta en un baricentro basado en cada localidad. Se eligió este método en vez de un promedio ponderado por población, porque esa alternativa podría sesgar la interpolación hacia zonas urbanas en lugar de las zonas rurales.

El método de interpolación utilizado se toma de Shepard (1968), un método comúnmente utilizado que toma en cuenta la distancia relativa y la dirección entre las estaciones meteorológicas y los baricentros.³¹ Dado que algunos municipios son extensos, es probable que el clima municipal promedio no corresponda exactamente al clima experimentado por todos los hogares en el municipio. Sin embargo, dado que las medias climáticas se basan en el promedio de las estaciones más cercanas estas deberían de estar altamente correlacionadas con el tiempo real.

Para cada municipio, se llevó a cabo una interpolación independiente para cada día entre 1950 y 2007. Dado que no existen todas las estaciones meteorológicas a lo largo de todo el periodo, y se tuvo en cuenta que durante el tiempo que estuvieron en uso a veces fallaron en registrar su información, además de que cada interpolación está basada en un diferente número de datos y de varias estaciones meteorológicas.

Con esos datos se calculó la totalidad de lluvia y días grado acumulado (GDD) para cada año agrícola de octubre a septiembre y para cada temporada de lluvia de abril a septiembre.³² En lugar de usar máximo de temperaturas mínimas se utilizó el GDD, una medida acumulativa de la temperatura basada en las temperaturas diarias mínimas y máximas (*véase ecuación [3]*). El GDD

31 Ver Skoufias, Vinha y Conroy (2010) para una descripción más detallada del procedimiento

32 Dado que el año agrícola va de octubre a septiembre, el primer año agrícola que se utilizó para calcular el clima promedio de los municipios es el de 1951; y solamente se usaron los últimos tres meses del año 1950.

mide la contribución del grado de temperatura de cada día hasta la maduración de una cosecha. Cada cultivo, dependiendo del tipo de semilla y otros factores ambientales, tiene sus propios requisitos de calor para madurar. Las diferentes variedades de maíz requieren entre 2 mil 450 y 3 mil GDDs para madurar, mientras que diferentes variedades de trigo sólo requieren entre mil 800 y 2 mil GDDs.³³

Es más, cada cultivo tiene temperaturas específicas de base y techo (T_{base} y T_{techo}), que contribuyen al crecimiento. El límite base establece la temperatura mínima necesaria para el crecimiento y la temperatura techo marca la temperatura en la que la tasa de crecimiento se estanca. Por lo tanto, la contribución diaria, j , a la acumulación de GDD es calculada de la siguiente manera:

$$\text{Ecuación [3]} \quad GDD_j = \frac{T_{j,min} + T_{j,max}}{2} - T_{base}$$

$T_{j,min}$ y $T_{j,max}$ son las temperaturas diarias mínimas y máximas truncadas en los valores base y límite. En otras palabras, cualquier temperatura diaria mínima o máxima por debajo de la temperatura base se le asigna el valor de la temperatura base y cualquier temperatura diaria por encima de la temperatura techo se le asigna el valor de la temperatura techo.³⁴ Para determinar los días grado acumulativos de un cultivo específico en cualquier momento, se deben sumar los días grado desde que se sembró la semilla.

33 Para otros cultivos importantes en México, el GDD requerido para el frijol es de 2400 y 2200-2370 para sorgo. Los valores GDD fueron extraídos del Institute of Agriculture and Natural Resources Cooperative Extension, University of Nebraska-Lincoln. GDD y uso de agua para cultivo. <http://www.ianr.unl.edu/cropwatch/weather/gdd-et.html>

34 Se usó la formula Modified Growing Degree Days en la cual las temperaturas mínimas y máximas han sido ajustadas antes de tomar el promedio. Véase Fraisse *et al.* (ND) para ejemplo.

Dada la mezcla de diferentes cultivos en las zonas encuestadas, se utilizaron límites generalizados de 8 a 32 grados centígrados (*cfr.* Schlenker y Roberts 2008). En este caso, cualquier temperatura diaria mínima o máxima que se encuentre por debajo de 8 grados centígrados se considera como temperatura de 8 grados centígrados y de la misma manera, cualquier temperatura diaria mínima o máxima que se encuentre por encima de 32 grados centígrados se considera como 32 grados centígrados. De este modo, un día con temperaturas mínimas y máximas de 8 grados centígrados o menos no rendirá días grado, mientras que un día con temperaturas mínimas y máximas de 32 grados centígrados o más rendirán 24 días grado. La fórmula no toma en cuenta cualquier descenso potencial en las cosechas para temperaturas más arriba de la máxima.

Para las medidas de las perturbaciones climáticas, primero se calculó el promedio de lluvia de los municipios y el GDD entre 1951 y 1985, para el año agrícola y para la temporada de lluvias. Se eligió este lapso con el fin de equilibrar la necesidad de utilizar la mayor cantidad de años de información, idealmente un mínimo de 30 años, para calcular el clima a lo largo del tiempo y excluir tanto los años más recientes que pudieron haber sido afectados por el cambio climático como los años pasados con datos menos fiables.

Dado que la información está incompleta para algunos meses y para algunos de nuestros municipios (por ejemplo, cuando ninguna de las 20 estaciones meteorológicas reportó datos durante cinco o más días consecutivos), el clima promedio se basa en un periodo de 15-35 años de información. El 75 % de los hogares rurales de la muestra viven en municipios con un mínimo de treinta años de información meteorológica completa desde 1951 hasta 1985.

Las medidas de perturbaciones climáticas elegidas, W , se basan en el grado de desviación del clima promedio desde 1951 a 1985. Una perturbación se define por una variable indicadora

que identifica las observaciones en las que la variable del clima es mayor a una desviación estándar del promedio a largo plazo. Un municipio habrá tenido una perturbación negativa de lluvia si las lluvias del periodo anterior son menores a una desviación estándar del promedio de 1951-1985. Por otro lado, un municipio habrá tenido una perturbación positiva si la lluvia del periodo anterior fue por lo menos una desviación estándar mayor que el promedio de 1951-1985.

Por ende, hay cuatro medidas para describir el clima del año en particular. Una desviación estándar de perturbaciones de lluvia equivale a un promedio de 30% más o menos de lluvia. Una desviación estándar de días grado es, por lo general, del 8% con respecto al promedio. El clima en cada una de las regiones es distinto e incluso varía dentro de una misma región. Sin embargo, en general el norte es más seco que el resto del país y el centro es más frío. Comparando los datos meteorológicos de 1986 a 2002 con sus promedios históricos (1951-1985), parece que hay un aumento en el número de perturbaciones climáticas, tanto positivas como negativas, pero no hay un incremento similar en las perturbaciones de lluvia en México.

Teniendo en cuenta que los hogares fueron encuestados durante la estación de sequía de 2000, se utilizaron los datos de clima del año agrícola de 1999, entre octubre de 1998 a septiembre de 1999, y el del año agrícola de 1998, entre octubre de 1997 a septiembre de 1998, para elaborar el conjunto de perturbaciones climáticas. Las perturbaciones del año agrícola de 1998 captan las variaciones climáticas que hubieran afectado las cosechas de la temporada húmeda y por lo tanto los ingresos/producción agrícola disponibles para los hogares en el año anterior a la encuesta y las medidas de peso. Los cambios climáticos que tuvieron lugar durante el año agrícola de 1999 afectarían la cosecha de la temporada húmeda de 1999. Por tanto, incluso si la producción fuera baja, el hogar aún no sentiría los efectos de la baja cosecha de octubre/noviembre de 1999 y aún después de

una mala cosecha, las viviendas agrícolas no enfrentan escasez durante los primeros meses de la siguiente temporada de sequía (Chambers *et al.* 1981). Sin embargo, las perturbaciones climáticas durante el año agrícola de 1999 captan los posibles cambios en cuanto a la permanencia de enfermedades transmisibles dependientes del clima en el año previo a la encuesta.

Se observó que hubo más perturbaciones de GDD que perturbaciones de lluvia en la muestra de los municipios para los años agrícolas de 1999 y 1998. Además, un número muy pequeño de municipios (8 y 9) experimentó variaciones de lluvia positivas en el año agrícola de 1998 y durante la temporada de lluvias. Por tanto, cualquier estimación de los coeficientes de las perturbaciones de lluvia positiva durante el ciclo agrícola de 1998 deberían ser interpretados con mucha precaución debido al bajo número de observaciones que experimentaron las perturbaciones.

RESULTADOS

Para analizar el impacto promedio de las perturbaciones climáticas en los resultados de los niños se evaluó la ecuación [1]. Se utilizó el *puntaje-z* estandarizado de *estatura-por-edad* para los niños entre 12 y 47 meses de edad como medida de salud.³⁵ Por tanto, se están midiendo efectivamente las perturbaciones en cuanto a estatura de los tres primeros años de vida de los niños. A diferencia del *peso-por-edad*, la *estatura-por-edad* no es tan sensible a la escasez o enfermedades de corto plazo, pero sí registran condiciones crónicas de salud en el largo plazo.³⁶

Dado que todos los datos fueron compilados durante la temporada de sequía de 1999, se abandonaron las variables del año

35 Se usó WHO Antro para computadoras personales, versión 3, 2009: Programa para evaluar el crecimiento y desarrollo de los niños en el mundo. Ginebra: WHO, 2009 (<http://www.who.int/childgrowth/software/en/>) para calcular los puntajes estandarizados de estatura-por-edad.

36 La medida no registra diferencias en mortalidad debido a clima inusual.

y estación en las ecuaciones [1] y [2]. Sin embargo, se incluyeron los efectos fijos a nivel estatal. El proceso descentralizado de decisiones en México le otorga la responsabilidad al Estado de proveer servicios de salud, abastecimiento de agua y alcantarillado, así como de desarrollo rural y servicios suplementarios (Cabrero Mendoza y Martínez-Vázquez 2000). Los efectos fijos a nivel estatal controlan el impacto de la política en las decisiones de salud, así como condiciones agro-climáticas generales que varían entre estados.³⁷

Además de las medidas de perturbaciones climáticas, también se incluyó como variable independiente en el análisis³⁸ la siguiente información sobre: la composición del hogar (número de hijos, número de varones adultos y el número de mujeres adultas), características de la madre (educación, estatura, si habla un idioma indígena), información del niño (sexo, si tiene un hermano mayor que haya nacido vivo dentro de los dos años del nacimiento del niño, partos múltiples, el orden en que nació el niño, si el niño tuvo bajo peso al nacer y la edad del niño al comienzo de las medidas antropométricas), un índice de bienes,³⁹ características de la vivienda (presencia de baño interior, agua de grifo, el tipo de piso), e información acerca de la localidad del niño (la altitud).

Existe evidencia de que la altitud y peso del niño al nacer, están relacionados (Jensen y Moore 1997; Yip *et al.* 1988; Wehby *et al.* 2010) y que los efectos se vuelven significantes a altitudes superiores a los mil 500 metros (Yip, Binkin y Trowbridge 1988).⁴⁰

37 No se pueden incluir efectos fijos a nivel municipal –los cuales controlarían más precisamente las condiciones generales agro-climáticas– ya que nuestras perturbaciones climáticas se encuentran a nivel municipal.

38 Sólo cuando se analizan los efectos de participación en un programa nutricional, se incluyó la participación en el programa nutricional como un regresor.

39 El índice de bienes está basado en un análisis de factores del hogar, tales como la posesión de un radio, televisión, videocasetera, teléfono, computadora, refrigerador, máquina de ropa, estufa, calentador, y vehículo de motor.

40 Más aún, hay impactos fisiológicos en el ser humano a estaturas arriba de los 1500 m y, específicamente en México, se ha utilizado como una estatura

Para complementar los resultados regionales y para investigar si los efectos de las perturbaciones climáticas cambian a diferentes altitudes, también se analizó el impacto en los niños que viven en altitudes menores a mil 500 m del nivel del mar y los niños que viven en altitudes elevadas a más de mil 500 m sobre el nivel del mar.

Hay 2 mil siete niños de zonas rurales entre las edades de 12 meses y 47 meses en el conjunto de datos de la ENN, y la muestra es de mil 530 niños. Sólo se incluyeron mil 882 niños cuyas madres no se mudaron de residencia en los últimos dos años, así aseguramos que las perturbaciones climáticas utilizadas corresponden con la experiencia de los niños. Otros niños están excluidos por falta de datos sobre su estatura (128 niños), *puntajes-z* poco probables (35 niños)⁴¹ o información incompleta de las covariables (189 niños).

Los niños medidos con *puntajes-z* probables tienen madres que son estadísticamente más altas y es mayor la probabilidad de que hablen una lengua indígena. Igualmente, es más probable que vivan en altitudes más bajas y es menos probable que tengan agua o sanitario dentro del hogar que aquellas que no hayan sido medidas. Esto es un problema, ya que los niños que no fueron medidos son diferentes y puede que también sean sistemáticamente incomparables en otras características no observadas.⁴²

Una perturbación de lluvia positiva en el año agrícola 1999 o durante la temporada de lluvias está asociada con muestras más

límite para algunos vectores de enfermedades. Además de la correlación entre estatura y peso al nacer, “los cambios fisiológicos ocasionados por la hipoxia hipobárica son evidentes” (Pollard y Murdoch, 2003, 1). Adicionalmente, Hernández-Avila *et al.* (2006) sólo utilizan localidades que se encuentran por debajo de los 1500 m para el estudio de la malaria en Oaxaca, mencionando que los casos reportados a estaturas más allá de los 1500 m son, probablemente, importados.

41 Es decir, los *puntajes-z* de estatura-por-edad son menores a -6 o mayores a 6.

42 Si los niños que no fueron medidos tienen más tendencia a enfermarse (y si estas enfermedades se deben al clima), entonces es probable que se obtenga un resultado más bajo sobre el verdadero impacto de las perturbaciones climáticas.

bajas en *estatura-por-edad*. Este es el caso tanto para las perturbaciones positivas anuales de lluvia como para las de temporada de lluvias. Los cálculos de los coeficientes estadísticamente significativos entre 0.87 y 0.32 puntos son significativos dado un puntaje-z de (-2) que indica un retraso en crecimiento y el puntaje-z promedio para estatura-por-edad de los niños en la muestra es (-1.4).

El mayor impacto es de una precipitación de lluvia positiva durante la estación de lluvias en el norte. Los niños que han experimentado una perturbación tienen en promedio puntajes-z de 0.87 puntos menos que los niños que experimentaron una cantidad promedio de lluvia durante la temporada de lluvias. Los efectos negativos son estadísticamente relevantes pero menores en la región Central, Pacífico, Golfo y el Caribe. Al dividir la muestra por la altitud del municipio muestra resultados negativos similares.

Los resultados de las perturbaciones de lluvia positivas del año agrícola 1998 deben ser interpretadas con precaución, ya que sólo hubo municipios con menos del 5% de la muestra con perturbaciones de lluvia positivas en el año agrícola en la estación húmeda de 1998. No se encontraron impactos estadísticamente significativos en el Pacífico, Norte o en el Caribe. El coeficiente inusualmente grande en la región Central probablemente se debe a pocas observaciones y no a una correlación causal.

Las perturbaciones negativas de lluvia tienen un efecto diferente dependiendo de la región y la altitud. Los niños que viven en la región central son más altos y tienen un puntaje-z 0.70 puntos superiores si la temporada de lluvias de 1999 fue de al menos una desviación estándar más seca de lo normal que si la temporada de lluvias estuvo dentro de una desviación estándar del promedio histórico. En las regiones del Norte, el Pacífico, el Golfo y el Caribe la relación no es estadísticamente significativa. Sin embargo, en la región del Pacífico, el Golfo y el Caribe, una perturbación de lluvia negativa en el año agrícola 1998 se asocia

con niños más altos. Los niños que viven en altitudes altas son 0.54 puntos más altos si el año agrícola 1999 fue más seco de lo normal y 0.43 puntos más altos si la temporada de lluvias de 1999 fue más seca de lo normal. Los niños que viven en altitudes bajas son 0.39 puntos más bajos si la temporada de lluvias de 1998 fue más seca de lo normal.

Las perturbaciones negativas de GDD durante el año agrícola 1999 se correlacionan positivamente con la estatura-por-edad en la región Central y en altitudes elevadas. Por otro lado, las perturbaciones negativas de GDD durante el año agrícola 1998 se asocian negativamente con la estatura-por-edad en las regiones del Centro, el Pacífico, el Golfo y el Caribe al igual que en altitudes elevadas. La mayor reducción es de 0.72 puntos en la región del Centro.

A diferencia de la mayor parte de México, en los estados del norte las perturbaciones negativas anuales de GDD se correlacionan positivamente con la estatura, ya que tienen una estatura-por-edad promedio de 0.46 puntos más después de una perturbación. Las perturbaciones positivas de GDD no están estadísticamente correlacionadas con la estatura-por-edad, independientemente de donde vive el niño o del momento de la perturbación. El resultado es consistente si se separa la muestra por regiones geográficas o por altitud.

Se presenta el resultado promedio para todo México, así como los resultados promedio para los municipios que se encuentran a menos de mil 500 m sobre el nivel del mar y los resultados promedio para los municipios que se encuentran a más de mil 500 m sobre el nivel del mar.⁴³

Aunque en esta muestra los puntajes-z de las estaturas promedio de las niñas y los niños no son significativamente diferentes a nivel estadístico, sí son diferentes cuando el niño expe-

43 Al igual que con los impactos promedio, existen algunas diferencias regionales con respecto a cómo las diferentes perturbaciones afectan a diferentes subpoblaciones. Estos resultados están disponibles a petición.

rimenta una perturbación positiva de GDD en la temporada de lluvias anterior. Los niños son más bajos cuando la temporada de lluvias anterior fue de al menos una desviación estándar más caliente que el promedio. El coeficiente estimado es más grande para los niños que viven en altitudes más altas que para los niños que viven en altitudes bajas. Las niñas son significativamente diferentes a los niños de baja estatura solo por 0.42 puntos. Entre las niñas, independientemente de la altitud, no hay diferencias entre las que pasaron un año inusualmente cálido de las no lo pasaron.⁴⁴ Sin embargo, una perturbación positiva de GDD de hace dos años agrícolas ($t-2$), no tiene un efecto estadísticamente significativo en la estatura-por-edad de los niños o de las niñas, lo que sugiere que el impacto de estas perturbaciones no persiste en el tiempo.

En cambio, en altitudes bajas, las niñas son estadísticamente más bajas que los niños (por 0.54 puntos) después de una perturbación anual negativa de GDD durante el año agrícola 1999 ($t-1$). Los coeficientes de interacción de las niñas con las perturbaciones de lluvia positivas en el año agrícola 1998 ($t-2$) también son estadísticamente significativas. Sin embargo, dado el bajo número de niños que experimentaron tales perturbaciones se deben interpretar con cautela.

La edad de los niños en el momento de la perturbación climática también hace una diferencia. Las perturbaciones de lluvia negativas ($t-1$) tienen un efecto positivo en la estatura de aquellos niños que en el momento de la encuesta tenían entre 12-23 meses en altitudes elevadas, pero no en los niños mayores o en aquellos que viven en altitudes bajas. En éstas, la perturbación de lluvia negativa anual para el año agrícola 1998 se asocia con niños más altos en el grupo más joven y una precipitación de lluvia negativa en la temporada de lluvias 1998 se asocia con niños pe-

44 Es decir, no se puede rechazar la hipótesis nula de $\beta_1 + \gamma_1 = 0$, donde β_1 es el coeficiente de la perturbación climática y γ_1 el coeficiente en interacción con el clima y la variable indicadora de la niña.

queños del grupo de los mayores. No existen diferencias estadísticamente significativas de las perturbaciones de lluvia positivas en el ciclo de 1999 por grupos de edad. Además, existen diferencias en cuanto a las consecuencias de las perturbaciones positivas de GDD en el año agrícola 1999 o en la temporada de lluvias.

Tales perturbaciones afectan negativamente al grupo más joven (12 a 23 meses), pero no a los niños mayores. Por otra parte, en las altitudes más bajas, hay un efecto negativo de las perturbaciones positivas de GDD en la temporada de lluvias de 1998 en el grupo más joven; pero no en los de mayor edad. En promedio, el nivel de educación de la madre medido por la graduación de la escuela primaria, no tiene un efecto en los puntajes de estatura-por-edad de los niños.

Sin embargo, cuando se enfrentan a ciertas perturbaciones climáticas, la salud de los niños que viven en hogares que reciben una alimentación suplementaria es peor que la salud de los niños que no participan en estos programas. Los resultados sugieren que la participación en un programa de nutrición suplementaria no equilibra las condiciones en términos de resultados de salud infantil después de cierta perturbación climática.⁴⁵ En las altitudes bajas, las perturbaciones de lluvia positiva anuales y de temporadas de lluvia en 1999 se asocian a una disminución de 0.43 y 0.57 puntos en los niños en programas de nutrición en comparación con los que no participan en dichos programas. En altitudes mayores, las perturbaciones de lluvia negativa en 1998 están asociadas con niños más bajos cuando la familia del niño participa en un programa que brinda nutrición suplementaria, que cuando no participa. Otra de las características de los hogares que puede afectar el impacto del clima en la salud es la

45 Para poder determinar el impacto causal del programa (y la interacción de las perturbaciones climáticas con la participación en el programa) se necesitará determinar los resultados de salud de los niños que participaron en dichos programas si no se hubieran beneficiado de estos, después de una perturbación climática.

participación del hogar en algún tipo de programa de asistencia. Los programas de nutrición suplementaria (como PROGRESA y LICONSA en México) intentan mejorar la nutrición infantil en los hogares pobres. Hogares que probablemente tengan menos recursos disponibles para enfrentarse a las perturbaciones climáticas. Es interesante observar que, en la muestra, los niños en hogares que participan en un programa de nutrición suplementaria son significativos estadísticamente más altos en las altitudes más bajas que los niños que no participan en este tipo de programas.

Sin embargo, cuando se enfrentan a ciertas perturbaciones climáticas, la salud de los niños que viven en hogares que reciben una alimentación suplementaria es peor que la salud de los niños que no participan en estos programas. Los resultados sugieren que la participación en un programa de nutrición suplementaria no equilibra las condiciones en términos de resultados de salud infantil después de cierta perturbación climática. En las altitudes bajas, las perturbaciones de lluvia positiva anuales y de temporadas de lluvia en 1999 se asocian a una disminución de 0.43 y 0.57 puntos en los niños en programas de nutrición en comparación con los que no participan en dichos programas. En altitudes mayores, las perturbaciones de lluvia negativa en 1998 están asociadas con niños más bajos cuando la familia del niño participa en un programa que brinda nutrición suplementaria, que cuando no participa.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los eventos relacionados con el clima pueden impactar en el bienestar de los individuos, ya sea a través de cambios en la producción agrícola y, por lo tanto, potencialmente en el consumo o a través de cambios en la presencia de ciertos tipos de enfermedades asociadas con las diferentes condiciones climáticas. Al evaluar las consecuencias del clima en la salud de un

grupo vulnerable de los niños rurales en México entre la edad de uno y cuatro años, se encontró evidencia de que las lluvias y las temperaturas inusuales afectan a los niños con respecto a estatura-por-edad y, por lo tanto, posiblemente a su salud a corto y largo plazo, así como en la productividad.

No se puede determinar si los efectos se derivan de los cambios en el consumo o de los cambios en la prevalencia de las enfermedades asociadas a las diferentes condiciones climáticas, pero los resultados sugieren que posiblemente ambas vías son importantes.

Se observan tres resultados consistentes. Primero, las perturbaciones de lluvia positiva en el año agrícola anterior (1999) tuvieron un impacto negativo en el promedio de estatura-por-edad, independientemente de la región o altitud. Aunque todas las estimaciones de coeficientes son negativas, la relevancia estadística y la magnitud del impacto varían en tiempo y espacio. En los municipios de la región Central y en los municipios en altitudes superiores a los 1500 m, las perturbaciones de lluvia positiva en el año agrícola anterior están significativamente asociadas con *estatura-por-edad* más bajas, mientras que en el Pacífico, el Golfo, la región del Caribe y en altitudes bajas es la precipitación de la temporada de lluvias la que importa. En el Norte, tanto las precipitaciones anuales como las de la temporada de lluvias afectan negativamente a la estatura.

Es más probable que una escasez de comida ocasionada por una por mala cosecha en el año agrícola 1999 se perciba finales del periodo agrícola de 2000 y que las medidas de estatura que se tomaron a principios del ciclo 2000 y sus efectos en la salud se deban a los cambios en la prevalencia de enfermedades transmisibles y no de desnutrición a consecuencia de una mala cosecha.⁴⁶ El hecho de que las perturbaciones de lluvia negativa

46 Sin embargo, es posible que parte del impacto provenga de una disponibilidad reducida de alimentos; por ejemplo, si la precipitación alta inusual viene acompañada de inundaciones que afectan las cosechas, la disponibilidad de comida podría verse afectada en la siguiente temporada seca.

en 1999 están asociadas con niños más altos sugiere que, en promedio, en las zonas rurales de México las enfermedades relacionadas con el clima son más abundantes cuando hay un aumento en la precipitación.

Después de una perturbación de lluvia positiva los niños de los municipios a menos de mil 500 m cuyas familias reciben ayuda de programas de nutrición suplementaria, son estadística y significativamente más bajos que los que no participan. De hecho, los niños de baja estatura que no participan en un programa de nutrición suplementaria no son afectados en lo absoluto por una perturbación.

En 1999 la participación en un programa de nutrición suplementaria no protegió a los niños de los efectos del clima inusual. Dado que la participación en estos programas no es al azar, los resultados sugieren que las familias más pobres no tienen recursos para poder proteger a sus hijos de los efectos producidos por cambios en la prevalencia de enfermedades de la misma manera en que las familias con más recursos lo hacen.

Los niños en los municipios de gran altitud no presentan estos efectos, posiblemente porque un porcentaje menor de los hogares en la muestra recibieron suplementos alimenticios o pudo deberse a las diferencias en que las perturbaciones afectan la prevalencia de enfermedades a diferentes estaturas. Dado que sólo unos municipios en la muestra tuvieron perturbaciones de lluvia positiva durante el ciclo 1998, no se puede determinar si una perturbación de lluvia positiva también pudo haber afectado la salud a través del canal de consumo, ni saber si los efectos observados son de corto y no de largo plazo.

En segundo lugar, las perturbaciones negativas de GDD experimentadas durante el ciclo agrícola 1998 tuvieron un impacto negativo en las medidas de estatura a principios del año agrícola de 2000. Se observó una disminución estadísticamente significativa en el promedio de estatura-por-edad, tanto en la región central como en la región sur del país, así como en las zonas de

gran altitud.⁴⁷ Los efectos negativos de la perturbación de 1998 sugieren que los hogares pueden no ser capaces en protegerse de las fluctuaciones de ingresos causados por el clima más frío de lo común en estas regiones. Además, en la región central, así como en las de grandes alturas, se observa una correlación positiva entre una perturbación negativa de GDD durante el año agrícola 1999 y la estatura-por-edad.

En conjunto, estos resultados sugieren que, aunque los efectos inmediatos de una perturbación negativa de GDD pueden ser positivos debido a una menor prevalencia de enfermedades transmisibles, un año después tales ganancias positivas pueden haberse perdido debido a la disminución de alimentos disponibles en el hogar. El impacto negativo de las perturbaciones de 1998 se observa en la región central, así como en los municipios de gran altitud y puede indicar temperaturas promedio más bajas en estos municipios. En promedio, es probable que, si estos municipios sufren temperaturas menores a cero, el nivel de daño a la cosecha puede ser tal que las familias no sean capaces de proteger su consumo del año siguiente.

Las perturbaciones positivas de GDD para el ciclo agrícola de 1999 y 1998 no parecen tener impacto en la salud del niño promedio en México. En la muestra de municipios y de niños, el clima inusualmente cálido en los dos años anteriores, no presenta efectos estadísticamente significativos en la salud a través de la estatura-por-edad. Cualquier cambio en la prevalencia o en los ingresos agrícolas son lo suficientemente pequeños y los hogares son capaces de mitigar las consecuencias de manera que no se presentan efectos adversos en la estatura. Los resultados sugieren que, en 1999, unos promedios de los hogares fueron

47 En el Norte, una perturbación negativa de GDD en 1998 está asociada con niños más altos, lo cual sugiere que el clima frío mejora la producción agrícola en esta región; y una perturbación negativa de GDD no está estadísticamente asociada con la estatura-por-edad del niño, lo cual sugiere que esta perturbación no afecta la prevalencia de enfermedades.

capaces de enfrentarse a las temperaturas altas intermitentes.

Sin embargo, se obtiene un panorama más variado al combinar la perturbación positiva de GDD con las diversas características del niño. Una perturbación positiva de GDD en el año agrícola 1999 afectó negativamente la estatura de los niños con edades entre 12 y 23 meses, mientras que una perturbación positiva de GDD en el ciclo agrícola 1998 afectó negativamente a los niños de madres menos educadas. Una posible explicación del impacto negativo en los niños es la diferencia en las tasas de mortalidad entre niñas y niños, especialmente cuando se encuentran desnutridos (Wells 2000). De la misma manera el efecto negativo en el grupo más joven puede deberse a que son más susceptibles a enfermedades diarreicas (Kosek *et al.* 2003) que pueden aumentar con la temperatura (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007).

La disminución estadísticamente significativa del promedio nacional de estatura-por-edad de los niños con madres menos educadas durante una perturbación de GDD en 1998, puede deberse a la inhabilidad de poder ajustar el consumo por los cambios en la producción agrícola provocada por un clima más cálido. Aunque no se puede determinar si los hogares serían capaces de cambiar su conducta, si el aumento de temperaturas cálidas fuera permanente, los resultados sugieren que existen tres subpoblaciones específicas –niños jóvenes y los niños entre 12 y 23 meses de edad en el momento de la encuesta y los hijos de madres menos educadas– cuyos cuidadores no pueden proteger a sus hijos de los efectos del clima más cálido.

Al considerar toda la evidencia disponible hasta la fecha que vincula la salud infantil con diversos aspectos del bienestar de los adultos,⁴⁸ los resultados sugieren que se necesita realizar

48 Se ha demostrado que la salud infantil tiene un impacto en el empleo (Case, Fertig y Paxson 2005), las habilidades cognitivas (Case y Paxson 2008; Grantham-McGregor *et al.* 2007), expectativas educativas (Glewwe y Miguel 2008), y la productividad (Hoddinott *et al.* 2008).

más investigación sobre el impacto de las perturbaciones climáticas en el bienestar y las diferentes opciones para reducir los impactos negativos del clima inusual. Aunque no se puede decir de qué manera se adaptarían los hogares, si las temperaturas y lluvias que ahora se consideran perturbaciones fueran permanentes, los resultados sugieren que ciertas poblaciones pueden necesitar recursos adicionales para contrarrestar los posibles efectos negativos, por lo menos en la fase de transición hacia el nuevo equilibrio climático. Los resultados también plantean la pregunta de si no sería más exitoso diseñar un programa “personalizado” enfocado en reducir la vulnerabilidad e incrementar la capacidad de los hogares en vez de los programas uniformes.

Agradecimientos: Deseamos agradecer a nuestros cuartos árbitros anónimos, Mariano Rabassa y Alba Safir, por sus comentarios útiles en una versión anterior de este trabajo, y a Héctor V. Conroy por interpolar la información del clima, así como a Bruno Lemonnier por sus respectivas correcciones y aportes a este capítulo.

BIBLIOGRAFÍA

- ALDERMAN, H., HODDINOTT, J., KINSEY, B. 2003. "Long-term consequences of early childhood malnutrition". Discussion paper Briefs, International Food Policy Research Institute, no. 168. Disponible en: <https://ideas.repec.org/p/fpr/fcndbr/168.html>
- _____. 2004. "Long Term Consequences of Early Childhood Malnutrition". HiCN Working Papers, no. 09. Households in Conflict Network. Disponible en: <https://ideas.repec.org/p/hic/wpaper/09.html>
- _____. 2006. "Long term consequences of early childhood malnutrition". Oxford Economic Papers, Oxford University Press, no. 58(3): 450-474. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/oup/oxecpp/v58y2006i3p450-474.html>.
- ANJINI, K. 1999. "Smoothing Consumption by Smoothing Income: Hours-of-Work Responses to Idiosyncratic Agricultural Shocks in Rural India, The Review of Economics and Statistics". MIT Press, no. 81(1): 50-61.
- BAEZ, J. E. 2006. "Income Volatility, Risk-Coping Behavior and Consumption Smoothing Mechanisms in Developing Countries: A Survey". Revista Desarrollo y Sociedad, no. 58. Universidad de los Andes, CEDE. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/col/000090/002834.html>.
- BEHRMAN, J., HODDINOTT, J. 2005. "Programme Evaluation with Unobserved Heterogeneity and Selective Implementation: The Mexican PROGRESA Impact on Child Nutrition". Oxford Bulletin of Economics and Statistics, no. 67 (4): 547-569
- DERCON, S., KRISHNAN, P. 2000. "Vulnerability, seasonality and poverty in Ethiopia". Journal of Development Studies, Taylor y Francis Journals, no. 36(6): 25-53. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/taf/jdevst/v36y2000i6p25-53.html>.
- CASE A., FERTIG, A. Y PAXSON, C. 2004. The Lasting Impact of Childhood Health and Circumstance. Working Papers 246: Princeton University, Woodrow Wilson School of Public and Inter-

- national Affairs, Center for Health and Wellbeing. Disponible en: <https://ideas.repec.org/p/pri/cheawb/36.html>
- _____ 2005. "The lasting impact of childhood health and circumstance". *Journal of Health Economics*, Elsevier, no. 24(2): 365-389. <https://ideas.repec.org/a/eee/jhecon/v24y2005i2p365-389.html>
- _____ 2006. "Stature and status: Height, ability, and labor market outcomes". Working Papers 27, Princeton University. Woodrow Wilson School of Public and International Affairs, Center for Health and Wellbeing. Disponible en: <https://ideas.repec.org/p/pri/cheawb/52.html>
- _____ 2008. "Stature and Status: Height, Ability, and Labor Market Outcomes". *Journal of Political Economy*, University of Chicago Press, no. 116(3): 499-532. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/ucp/jpolec/v116y2008i3p499-532.html>
- DE LA FUENTE, A. 2010. "Remittances and Vulnerability to Poverty in Rural Mexico". *World Development*, Elsevier, no. 38(6): 828-839. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/eee/wdevel/v38y2010i6p828-839.html>
- DOYLE, O. Y HARMON, C. Y HECKMAN, J. Y TREMBLAY, R. 2009. "Investing in early human development: Timing and economic efficiency". *Economics and Human Biology*, Elsevier, no. 7(1): 1-6. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/eee/ehbiol/v7y2009i1p1-6.html>
- ELAINA R. 1999. "Consumption Smoothing and Excess Female Mortality in Rural India, *The Review of Economics and Statistics*". MIT Press, no. 81(1): 41-49. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/tpr/restat/v81y1999i1p41-49.html>
- GLEWWE, P. Y MIGUEL, A. 2008. "The Impact of Child Health and Nutrition on Education in Less Developed Countries". *Handbook of Development Economics*, Elsevier, no. 4: 3561-3606. Disponible en: <https://ideas.repec.org/h/eee/devchp/5-56.html>
- HANAN G. Y SKOUFIAS, E. 1997. "Risk, Financial Markets, and Human Capital in a Developing Country, *Review of Economic Studies*".

- Oxford University Press, no. 64(3): 311-335. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/oup/restud/v64y1997i3p311-335..html>
- HANAN G. Y SKOUFIAS, E. 1998. "Testing Theories of Consumption Behavior Using Information on Aggregate Shocks: Income Seasonality and Rainfall in Rural India". *American Journal of Agricultural Economics*, Agricultural and Applied Economics Association, no. 80(1): 1-14. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/oup/ajagec/v80y1998i1p1-14.html>
- HODDINOTT, J. Y KINSEY, B. 2001. "Child Growth in the Time of Drought: Oxford Bulletin of Economics and Statistics". *Department of Economics, University of Oxford*, no. 63(4):409-436. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/bla/obuest/v63y2001i4p409-36.html>
- HODDINOTT, J. 2006. "Shocks and their consequences across and within households in Rural Zimbabwe". *Journal of Development Studies*, Taylor and Francis Journals, no. 42(2): 301-321. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/taf/jdevst/v42y2006i2p301-321.html>
- HODDINOTT J., MALUCCIO, J., BEHRMAN, J., MARTORELL, R., QUISUMBING, A., STEIN, A. 2009. "The Impact of Improving Nutrition During Early Childhood on Education among Guatemalan Adults, *Economic Journal*". Royal Economic Society, no. 119(537): 734-763, 04. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/ecj/econjl/v119y2009i537p734-763.html>
- MACCINI, S., YANG, D. 2008. "Under the Weather: Health, Schooling, and Economic Consequences of Early-Life Rainfall". NBER Working Papers 14031: National Bureau of Economic Research, Inc. Disponible en: <https://ideas.repec.org/p/nbr/nberwo/14031.html>
- MACCINI, S., YANG, D. 2009. "Under the Weather: Health, Schooling, and Economic Consequences of Early-Life Rainfall". *American Economic Review*, American Economic Association, no. 99(3): 1006-1026. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/>

- aea/aecrev/v99y2009i3p1006-26.html
- MORDUCH, J. 1995. "Income Smoothing and Consumption Smoothing". Papers 512. Harvard: Institute for International Development. Disponible en: <https://ideas.repec.org/p/fth/harvid/512.html>
- _____. 1995. "Income Smoothing and Consumption Smoothing". Journal of Economic Perspectives, American Economic Association, no. 9(3): 103-114. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/aea/jecper/v9y1995i3p103-14.html>
- _____. 1995. "Income Smoothing and Consumption Smoothing": Harvard Institute of Economic Research Working Papers 1727: Harvard: Institute of Economic Research. Disponible en: <https://ideas.repec.org/p/fth/harver/1727.html>
- PAXSON, C. 1992. "Using Weather Variability to Estimate the Response of Savings to Transitory Income in Thailand, American Economic Review". American Economic Association, no. 82(1): 15-33. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/aea/aecrev/v82y1992i1p15-33.html>
- ROSENZWEIG, M., BINSWANGER, H. 1989. "Wealth, Weather Risk and the Composition and Profitability of Agricultural Investments". Bulletins 7455. University of Minnesota: Economic Development Center. Disponible en: <https://ideas.repec.org/p/ags/umedbu/7455.html>
- _____. 1992. "Wealth, weather risk, and the composition and profitability of agricultural investments". Policy Research Working Paper Series 1055. The World Bank. Disponible en: <https://ideas.repec.org/p/wbk/wbrwps/1055.html>
- _____. 1993. "Wealth, Weather Risk and the Composition and Profitability of Agricultural Investments". Economic Journal, Royal Economic Society, no. 103(416): 56-78. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/ecj/econjl/v103y1993i416p56-78.html>
- RUBALCAVA, L., TERUEL, G. 2004. "The role of maternal cognitive ability on child health". Economics and Human Biology, Elsevier,

- no. 2(3): 439-455. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/eee/ehbiol/v2y2004i3p439-455.html>
- SCHLENKER, W., ROBERTS, M. 2008. "Estimating the Impact of Climate Change on Crop Yields: The Importance of Nonlinear Temperature Effects". NBER Working Papers 13799. National Bureau of Economic Research, Inc. Disponible en: <https://ideas.repec.org/p/nbr/nberwo/13799.html>
- SKOUFIAS, E. 2007. "Poverty alleviation and consumption insurance: Evidence from PROGRESA in Mexico". *Journal of Behavioral and Experimental Economics (formerly The Journal of Socio-Economics)*, Elsevier, no. 36(4): 630-649. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/eee/sococo/v36y2007i4p630-649.html>
- SUNDER, M. Y WOITEK, U. 2005. "Boom, bust, and the human body: Further evidence on the relationship between height and business cycles". *Economics and Human Biology*, Elsevier. no. 3(3): 450-466. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/eee/ehbiol/v3y2005i3p450-466.html> .
- UDRY, C. 1994. "Risk and Insurance in a Rural Credit Market: An Empirical Investigation in Northern Nigeria: Review of Economic Studies". Oxford University Press, no. 61(3): 495-526. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/oup/restud/v61y1994i3p495-526.html>
- ULRICH W. 1998. "Height Cycles in the 18th and 19th Centuries". Working Papers 9811. University of Glasgow. Disponible en: <https://ideas.repec.org/p/gla/glaewp/9811.html>
- ULRICH, W. 2003. "Height cycles in the 18th and 19th centuries". *Economics and Human Biology*, Elsevier, no. 1(2): 243-257. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/eee/ehbiol/v1y2003i2p243-257.html>
- WEHBY, G., CASTILLA, E. Y LOPEZ-CAMELO, J. 2010. "The impact of altitude on infant health in South America". *Economics and Human Biology*, Elsevier, no. 8(2): 197-211. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/eee/ehbiol/v8y2010i2p197-211.html>

TERCERA PARTE
CIUDADES, CLIMA Y ECONOMÍA

IMPACTO MACROECONÓMICO DE LA MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO: UN ANÁLISIS DE EQUILIBRIO GENERAL¹

MARÍA EUGENIA IBARRARÁN Y ROY BOYD

INTRODUCCIÓN

De manera unilateral, México ha fijado un objetivo *aspiracional* de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en los próximos 50 años (SEMARNAT 2009 y 2013). A través de un modelo de equilibrio general computable para la economía mexicana (Ibarrarán y Boyd 2006), se ven diferentes conjuntos de políticas que pueden ayudar a analizar los costos y beneficios de estas acciones. En este apartado se detallan las simulaciones y presenta una discusión de los resultados. También se proponen algunos ejercicios de sensibilidad que darían mayor certidumbre a los resultados. Al final se plantean

1 Este capítulo presenta algunos resultados del proyecto realizado para el Instituto Nacional de Ecología de México, titulado Evaluación macroeconómica de políticas de mitigación de gases de efecto invernadero: Hacia una estrategia de crecimiento con bajas emisiones de carbono (LEDS (IBARRARAN 2012), que se utilizó para alimentar la Estrategia de Desarrollo Bajo en Emisiones para México – Programa MLED (USAID2012).

algunas consideraciones sobre el mejor uso de recursos y sobre el beneficio de este tipo de análisis.

POLÍTICAS DE MITIGACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE ESCENARIOS

El objetivo de este estudio es identificar los efectos macroeconómicos de distintos grupos de políticas de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI), que pueden llevar a México hacia una senda de crecimiento que sea bajo en emisiones de carbono (Low Emissions Development Strategy, LEDS). Se analiza el crecimiento tanto agregado como sectorial en el corto y mediano plazo dados los distintos costos de las medidas de adaptación y su forma de financiamiento. Como antecedente, el Instituto Nacional de Ecología hizo una serie de estudios sectoriales a partir de los cuales se identificaron medidas que se podrían aplicar dentro de los sectores estudiados para reducir las emisiones de GEI (INE 2010). Con la identificación de estas medidas individuales, se diseñaron políticas que aquí se simulan con el modelo de equilibrio general computable de la economía mexicana. Esto permite ver cómo es que las políticas propuestas afectan a los distintos sectores económicos y, por otra parte, qué tipo de interacción existe entre políticas.

Las políticas de mitigación aquí simuladas se dividen en tres grupos de acuerdo a su costo. En todos los casos se asume que las medidas se financian con recursos internos, mediante impuestos que generan incrementos en precios. Dadas estas posibilidades, primero se modelan las políticas de mitigación de bajo costo, luego se analizan las políticas de costo medio y, finalmente, se modela el escenario para las políticas de alto costo que se financian con recursos internos. Posteriormente, se hacen comparaciones entre los escenarios para determinar el beneficio marginal de políticas de mayor costo con respecto al escenario anterior. Por lo tanto, se compara el escenario de bajo costo contra el escenario tendencial para ver el efecto marginal de estas

políticas de bajo costo; el escenario de costo medio se compara con el caso bajo costo; las políticas de alto costo se comparan con las políticas de costo medio.

La descripción de las políticas bajo cada escenario se presenta más adelante.

Escenarios de calibración y tendencial

El escenario de calibración debe replicar, de manera consistente, la economía del año base, para ello es necesario asegurar que el modelo de equilibrio general computable esté balanceado de acuerdo con la Matriz de Contabilidad Social, en función de la dinámica de los mercados de capital y el laboral, todos los sectores deben crecer de acuerdo al “estado estacionario”.

El adecuado funcionamiento de la economía bajo el “estado estacionario” del escenario de calibración no refleja las condiciones particulares de la economía mexicana, por lo que es necesario incluir algunos hechos estilizados que resultan relevantes para un mejor reflejo de las características del país. Por lo tanto, en este escenario tendencial se supone que el nivel de extracción de petróleo es inicialmente de 2.6 millones de barriles por día (mbd) y se estabiliza en 3.3 mbd. Este escenario representa el caso en donde no se instrumentan políticas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y sirve como referente contra el cual se medirá el impacto de la instrumentación de paquetes de políticas de mitigación de distintos costos.

Escenarios de costos bajos, intermedios y altos

A partir del escenario tendencial se construyeron tres escenarios adicionales: uno de costos bajos, que incluye solamente las políticas que el INE (Instituto Nacional de Ecología) consideró en esa categoría; uno de costos intermedios que incluye a las

políticas de costos bajos y aquellas definidas como de costos intermedios por el INE; y, por último, el escenario de costos altos, que incluye políticas de costos altos, intermedios y bajos. Los costos de estas políticas y su categorización se desarrollaron con base en el documento del INE (2010).

Cada uno de los escenarios se simula por separado y después se comparan entre sí. Se reportan los cambios porcentuales en las variables de interés para una serie de años comprendidos entre 2010 y 2030. El análisis de estos datos permite ver las tendencias observadas en el periodo de análisis.

RESULTADOS

En esta sección se describen los resultados de los tres escenarios para el año final del análisis, es decir 2030. Por simplicidad las comparaciones entre escenarios para distintos grupos de variables están en diferentes tablas. Así, la *Tabla 1* contiene efectos en el PIB y en el nivel de bienestar de los distintos grupos de ingreso, y en las emisiones. Todos estos datos se proyectan para el año 2030. En las columnas se observa el cambio relativo entre escenarios con respecto al escenario de comparación indicado. Estos resultados están explicados en detalle en torno a cada tabla. La *Tabla 2* presenta los resultados para la producción sectorial y la *Tabla 3* para los distintos bienes de consumo.

Implicaciones macroeconómicas de distintos paquetes de mitigación

La primera simulación corresponde a la de políticas de mitigación de emisiones de GEI de bajo costo. En este caso se modifica el escenario tendencial realizando una serie de cambios en los parámetros de diversos sectores de consumo y de producción en el modelo, así como en los impuestos, para que, a partir de la recaudación, el Estado pueda financiar la inversión necesaria

Variables Agregadas	Comparación en 2030		
	Bajo Costo vs. Tendencial	Costo Intermedio vs. Bajo	Costo Alto vs. Intermedio
PIB	5.0447	0.0047	0.0228
Bienestar			
	Agente 1	1.7954	0.0571
	Agente 2	1.6868	0.0530
	Agente 3	0.6067	0.0663
	Agente 4	-0.9714	0.0922
Desempleo*	0.0680	0.0680	0.0670
Emisiones	-0.1175	1.2964	-0.0246

Tabla 1. Impacto macroeconómico de distintos escenarios (Cambio porcentual con respecto al escenario indicado).

Nota: Agente 1 está integrado por los deciles 1 y 2, el agente 2 por los deciles 3 a 5, agente 3 por los deciles 6 a 8 y el agente 4 por los deciles 9 y 10. (*) Muestra el nivel de la tasa de desempleo en 2030 en el escenario de políticas de costos bajo, intermedio y alto respectivamente.

(Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de modelo Boyd-Ibarra usado en este ejercicio).

y el cambio tecnológico para lograr los objetivos de mitigación. Concretamente, en este caso se simula el efecto de un plan integrado para aumentar la eficiencia energética en México. Aunque las inversiones que el INE propone afectan a varios sectores (es decir, agricultura, manufactura, petróleo y gas, productos químicos y plásticos, electricidad, transporte, servicios al consumidor y bienes de consumo), sólo un subconjunto entre todas las innovaciones totales propuestas se modela a fin de mantener costos bajos. En el modelo, estos cambios son introducidos por una combinación de subsidios, impuestos y cambios tecnológicos correspondientes a los niveles de las inversiones indicadas por el INE. Este conjunto de políticas está financiado internamente.

Los resultados de este ejercicio se dan en la segunda columna de la *Tabla 1* que muestra el impacto marginal de instrumentar las políticas de bajo costo con respecto al escenario tendencial. Los resultados aquí mostrados son los cambios porcentuales observados entre los dos escenarios y esto se interpreta como el cambio en las distintas variables provocado por la introducción

de las políticas propuestas. Esto permite determinar la dirección y la magnitud relativa de estas políticas. Es importante destacar que debido a la gran incertidumbre que hay en el modelo, como en todos los modelos, los resultados deben tomarse como indicativos de sentido y magnitud relativa de los cambios, dado que los números absolutos proporcionan poca información.

La introducción de estas *políticas de bajo costo*² lleva a un aumento en el nivel de inversión y a una acumulación de capital en el periodo del 2010 al 2030. Este aumento en la inversión, a su vez, conduce a un aumento en el crecimiento económico medido a través del PIB, un aumento en el bienestar de los consumidores y a incrementos en la producción, que dada la composición de la producción y la nueva tecnología, permite una reducción marginal – pero reducción al fin – de las emisiones de CO₂. Las emisiones se describirán con mayor detalle en el apartado correspondiente.

En un segundo escenario, el de políticas de costos intermedios, se mantienen en la simulación las políticas de bajo costo y se incorporan las de costo intermedio. Esto implica que se hacen cambios adicionales a diversos sectores productivos a través de mayor inversión y se aumenta la eficiencia energética en los sectores de manufactura, transporte y químicos. Además, se incrementa la eficiencia en el sector agrícola y aumenta la reforestación con el objeto de secuestrar carbono. Por lo tanto, en este escenario se incrementan los subsidios gubernamentales para promover la eficiencia energética en varios de los sectores del modelo. Como puede verse en la tercera columna de la *Tabla 1*, el nivel de PIB aumenta, en forma decreciente al introducir políticas de mayor costo. El crecimiento económico es un poco mayor, dadas estas medidas adicionales de mayor costo, pero de manera marginal, dado que la mayor parte de los beneficios vienen de la

2 Las políticas de bajo costo se llevan a cabo en la mayor parte de los sectores del modelo, es decir, electricidad, servicios, residencial, manufacturero, químicos y plásticos, petróleo, gas natural, transporte, forestal, agricultura y ganadería.

introducción de la primera serie de medidas: las de bajo costo. Esto se debe a los rendimientos decrecientes de la inversión.

Finalmente, la última simulación incluye la instrumentación de todas las políticas, incluyendo las políticas de alto costo, y estos resultados se comparan con los de la simulación, donde sólo están incluidas conjuntamente las de costo bajo e intermedio. Como en los casos anteriores, las políticas se financian a través de impuestos y se incentivan mediante subsidios e inversión en tecnología. Los cambios adicionales aquí propuestos se dan en los sectores de manufactura, químicos, ganadería, transporte y servicios. Los resultados se muestran en la última columna de la *Tabla 1*. Estas políticas en poco aumentan el crecimiento económico. Por tanto, aun cuando se inviertan más recursos en la mitigación de GEI, el impacto económico es cada vez menor.

Efecto en bienestar

En términos de bienestar de los distintos grupos de ingreso, los cambios provocados por las políticas de bajo costo son progresivos y los de mayor magnitud relativa que al introducir políticas de mayor costo, ayudando a los grupos de ingresos más bajos en mayor medida que a los grupos de ingresos más altos. De hecho, esta simulación sugiere que realmente cae el nivel de bienestar para el grupo de ingresos más alto.

En el caso de las políticas de costos intermedios, el bienestar de todos los grupos de ingresos aumenta respecto al caso de bajo costo. Sin embargo, los efectos distributivos son neutrales con todos los consumidores ya que se benefician aproximadamente lo mismo en términos porcentuales. En el caso de las políticas de costos altos, los impactos sobre el bienestar de los distintos grupos también son relativamente neutrales y aún más pequeños que en la columna anterior.

Efectos en desempleo

El nivel de la tasa de desempleo, como lo muestra la *Tabla 1*, se mantiene constante al final de la implementación de las políticas de costo bajo, intermedio y alto. Esto se debe a que los cambios propuestos son principalmente en torno a una mayor productividad del capital y en general no implican sustitución a favor del trabajo.

Efecto sobre las emisiones de CO₂

Al introducir las políticas de bajo costo, se logra un crecimiento del PIB de largo plazo de 5% mayor que en el escenario tendencial. Esto en sí mismo debiera llevar a un aumento en las emisiones. Sin embargo, la *Tabla 1* muestra en su segunda columna que las emisiones se reducen en 0.12% aproximadamente. Aun cuando este resultado puede parecer trivial, es un gran logro dado dicho crecimiento económico, que típicamente va acompañado de un mayor uso de energía y por ende de mayores emisiones. Si se analiza la *Tabla A1* del Anexo, se observa que las políticas de bajo costo llevan a un menor nivel de emisiones que en el escenario tendencial, especialmente en el periodo intermedio de 2020. Los niveles de emisiones hacia el final del periodo de análisis logran bajar moderadamente, aunque estas pequeñas variaciones enmascaran el efecto del logro de estas políticas en desacoplar el crecimiento económico del aumento en el uso de energía. Esto ocurre debido a dos efectos que se contraponen. El primero de ellos es el crecimiento económico. Cuando se invierte en eficiencia energética, al sustituir gas natural y capital por petróleo, se reducen las emisiones y el consumo total de combustibles fósiles. Esto se denomina “efecto sustitución”. Sin embargo, el aumento de las inversiones derivadas de la introducción de más medidas conduce al crecimiento de la economía y a una mayor demanda de energía. Este es el “efecto ingreso”. Estos efectos funcionan en

general en dirección opuesta y, con el tiempo, el efecto ingreso es mayor que el efecto sustitución, llevando a mayores emisiones. Al mismo tiempo, un mayor precio relativo del petróleo lleva a la sustitución a favor de carbón, y esto también aumenta las emisiones. Estos argumentos de la teoría económica se ven reflejados en los resultados numéricos del modelo.

Al introducir las políticas de costos intermedios, se observa que el nivel total de emisiones aumenta en todos los periodos a pesar de la disminución del consumo de refinados (*Tabla A4*). A partir de los cambios para reducir el uso de petróleo y el consumo de refinados, el precio relativo del petróleo aumenta con respecto al del carbón (un combustible de alto contenido de emisiones) y el consumo de carbón aumenta, llevando a mayores emisiones.

Por último, al introducir políticas de costos altos, las emisiones se reducen, pero de manera muy marginal (*Tabla 7*). Una vez más, este es un resultado importante dado que esta reducción en emisiones está asociada a mayor crecimiento económico, por pequeño que este sea.

En suma, es de esperarse que las emisiones no aumenten con respecto al escenario tendencial, a pesar de haber crecimiento económico de más del 5% si las políticas son pro-ambiente, como LEDS. Sin embargo, es importante resaltar que solo se reportan cambios en emisiones de CO₂ que se derivan de la quema de combustibles fósiles. Se espera también que se reduzcan las emisiones de otros gases de efecto invernadero (que este modelo no puede contabilizar), además de las emisiones por el cambio en el uso del suelo que tampoco están reflejadas en estos resultados. Por tanto las emisiones de gases de efecto invernadero son un punto sobre el que se debe tener cuidado en la interpretación.

Impactos sectoriales en la producción

La instrumentación de estas políticas de bajo costo lleva a una reducción en el uso de petróleo en el largo plazo, como lo mues-

Producción	Comparación en 2030		
	Bajo Costo vs. Tendencial	Costo Intermedio vs. Bajo	Costo Alto vs. Intermedio
Agricultura	9.7492	-0.0431	0.0000
Ganadería	10.0987	-0.1054	0.1055
Silvicultura	10.8635	22.8643	0.0000
Pesca	3.0303	0.0000	0.0000
Petróleo	-0.2143	0.4773	0.0000
Gas Natural	3.6926	0.0000	0.0000
Minería	0.7414	13.7075	0.0000
Refinación	8.7558	-0.0847	0.0000
Transportes	4.2497	0.0183	0.0182
Electricidad	3.5855	0.1422	0.0236
Químicos	6.3770	-0.1081	0.0241
Servicios	3.0604	-0.0070	0.0133
Manufactura	13.9427	-0.0774	0.0325

Tabla 2. Efecto sobre los distintos sectores productivos (Cambio porcentual con respecto al Escenario Tendencial) (Fuente: Elaboración propia).

tra la segunda columna de la *Tabla 2*. Asimismo, aumenta el uso de gas natural en vez del petróleo y se llevan a cabo inversiones importantes en las refinerías, volviéndolas más intensivas en el uso de capital.

Por su parte, con las políticas de costos intermedios, la producción de algunos sectores se beneficia mientras que otros pierden. Las mayores ganancias se reportan en el sector minero y en el forestal, como muestra la tercera columna de la *Tabla 2*. El incremento en la producción de la minería es importante dado que exalta la ventaja de hacer análisis de equilibrio general: es un resultado inesperado que contribuye de manera negativa a la mitigación. A partir de los cambios por las políticas para reducir el uso de petróleo y el consumo de refinados, el precio relativo del petróleo aumenta con respecto al del carbón (un combustible de alto contenido de emisiones) y el consumo de carbón aumenta. Esto último se debe a que no se propusieron (ni se modelaron) políticas concretas para reducir el uso del carbón, lo que lo llevó a una reducción de su precio relativo y a un aumento en el consumo. Por ello, el nivel total de emisiones aumenta en todos los periodos a pesar de la disminución del consumo de refinados.

Consumo	Comparación en 2030		
	Bajo Costo vs. Tendencial	Costo Intermedio vs. Bajo	Costo Alto vs. Intermedio
Alimentos	0.2777	0.1172	0.0212
Consumo de Bienes	4.1291	0.2925	0.0280
Servicios	-0.3825	0.1162	0.0211
Autos	-0.7569	0.1618	0.0230
Electricidad y gas	-4.8138	0.2863	0.0000
Transporte	0.3812	0.0863	0.0172
Gasolina	-0.5408	0.1208	0.0201
Agua	0.1947	0.0972	0.0000
Vivienda	-0.3239	0.0975	0.0324

Tabla 3. Efecto sobre los distintos bienes de consumo final (Cambio porcentual con respecto al Escenario Tendencial) (Fuente: Elaboración propia).

Pasando ahora los cambios sectoriales producto de la introducción de las políticas de costos altos además de las de costos bajos e intermedios, los efectos son positivos pero modestos. La producción se ve modificada en menos de 0.1%, o se mantiene constante en todos los sectores en el 2030, con mejoras modestas en aquellos sectores donde se llevó a cabo la inversión.

Cambios en el consumo y en el ámbito internacional

Los cambios observados en los sectores de consumo bajo los distintos conjuntos de políticas se muestran en la *Tabla 3*, para el 2030. La segunda columna compara los impactos en el consumo de la introducción de políticas de bajo costo con respecto al escenario tendencial. El consumo de automóviles, gasolina y energía se reduce, pero sube el gasto en transporte, dado que los consumidores se enfrentan a mayores precios de gasolina y, por tanto, deciden hacer un mayor uso del transporte público.

Al introducir políticas de costo intermedio, hay pequeños aumentos en todos los sectores de consumo. Uno de los mayores incrementos es en el consumo de energía, debido a los aumentos en la producción en los sectores de minería y electricidad que aumentan la generación de energía y reducen su precio. Esto se

observa en la tercera columna de la *Tabla 3*. Por último, el consumo se mantiene básicamente constante en el caso de la introducción de políticas de costo alto, dado que los incrementos son menores al 0.1%.

En resumen, estos son los principales resultados de las simulaciones de estrategias que pudieran llevar México a un mayor crecimiento económico pero que, a su vez, promovieran un bajo crecimiento en las emisiones de bióxido de carbono asociado a la quema de combustibles fósiles. Es fundamental destacar que al incorporar todas las políticas aquí propuestas e incrementar la tasa de crecimiento, las emisiones solamente aumentan de manera marginal a lo largo del periodo del análisis que es 2010-2030. Aun cuando los resultados son robustos, hay algunos ejercicios de sensibilidad que valdría la pena llevar a cabo más adelante, mismos que se presentan en la siguiente sección.

PROPUESTAS DE ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Hay algunos aspectos que son determinantes en los resultados. Para tener resultados más robustos es necesario correr otra serie de simulaciones variando algunos de los supuestos iniciales. Se han hecho algunas de estas simulaciones adicionales y revisado los efectos sobre los resultados iniciales. En esta sección se mencionan algunos de estos resultados. En otros casos, por cuestiones de tiempo y porque los cambios requerirían modificaciones sustanciales en la modelo desarrollado, este análisis no se ha desarrollado, sin embargo, a partir de la experiencia en el uso de este modelo y en ejercicios anteriores se pueden aventurar algunos resultados.

Modificaciones en parámetros

La elasticidad de sustitución entre insumos en los distintos sectores productivos es crucial para ver cómo se ajustan los secto-

res ante en cambios en precios de los factores de producción. Ejercicios anteriores con este modelo, en el caso de adaptación al cambio climático, han mostrado que mientras más alta sea la sustitución entre insumos, menos costosa es la adaptación.³ Este resultado se podría extrapolar a este caso, donde si variara el grado de sustitución se observarían menores costos de ajuste en la economía ante la introducción de políticas de crecimiento con bajas emisiones de carbón. Aun cuando los datos alimentados al modelo son los más recientes que han sido publicados, se podría hacer un análisis de sensibilidad en este sentido.

Otro parámetro que se podría variar es la tasa de crecimiento de la economía. En este caso se usó una tasa del 3%. Sin embargo, existen elementos para hacer ejercicios con quizá 2% y 4%. Esto permitirá ver como distintos escenarios de crecimiento inicial se podrían potenciar con estas políticas, aunque se esperaría un cambio en las emisiones provocado por el distinto ritmo de crecimiento inicial.

El cambio climático es un evento que afectará a la economía mexicana en el mediano plazo. Si bien es cierto que en este ejercicio no se introdujo esta variante, podría afectar la productividad de distintos sectores, sobre todo el agropecuario y forestal y la generación de energía eléctrica a partir de hidroeléctricas, reduciendo la productividad de proyectos específicos propuestos entre las medidas aquí simuladas.

MODIFICACIONES EN LA MODELACIÓN

Un aspecto interesante e importante a incluir en el modelo es una mejor manera de captar las emisiones. Por lo pronto solamente se contabilizan las emisiones de CO₂ que se obtienen del consumo de combustibles fósiles a partir de coeficientes fijos que

3 En concreto las emisiones de gases que tienen mayor potencial de calentamiento global (metano y óxido nitroso, por ejemplo) ya que son las que tienen más impacto en el calentamiento global.

se aplican al uso de combustibles que resultantes de las distintas simulaciones. Sin embargo, sería importante captar otro tipo de emisiones y poderlas convertir en CO₂ equivalente.⁴ Otros gases y emisiones de otras fuentes como el cambio en el uso de la tierra enriquecerían los resultados del modelo.

INFORMACIÓN

Los resultados del modelo dependen en forma crucial de los costos de las políticas. Así, los datos que se proporcionaron al modelo se basan en estimaciones que hizo el propio Instituto Nacional de Ecología. Es crucial hacer una revisión de los costos para asegurar que son la mejor información disponible.

Por último, sería de gran interés contar con matrices insumo-producto a nivel regional. Esto permitiría hacer análisis regionales de políticas sectoriales. Sería un proyecto interesante trabajar para tener esta información y por tanto, un modelo de equilibrio general que además de lo económico pudiera dar información detallada para las distintas regiones del país.

IMPLICACIONES DE POLÍTICA PÚBLICA

En este ejercicio de simulación se han estudiado los efectos de una serie de políticas de distintos costos para poner a México en una senda de crecimiento de menores emisiones de carbono. Los resultados señalan la importancia de dar cuenta de los efectos de equilibrio general y las consecuencias económicas no deseadas que pueden tener algunas de las políticas. En general estas políticas logran sus objetivos de crecimiento con bajo impacto en emisiones y reducciones en la tasa de desempleo, sin embargo, se debe tomar en consideración que en muchos de los casos hay

4 En concreto las emisiones de gases que tienen mayor potencial de calentamiento global (metano y óxido nitroso, por ejemplo) ya que son las que tienen más impacto en el calentamiento global.

dos efectos que se contraponen. El efecto sustitución explica la reducción de emisiones por el uso de combustibles más limpios incentivado por el conjunto de impuestos y subsidios que se proponen como política. Sin embargo, el efecto ingreso se da por el aumento en la inversión, que a su vez lleva a un mayor nivel agregado de producción y a crecimiento económico. Así, el efecto ingreso provoca un aumento en la demanda de energía y, en cierta medida, crecimiento en las emisiones, que se compensa con menor crecimiento en las mismas por la sustitución de los combustibles fósiles.

A la luz de estos resultados, sería prudente proceder con cautela y en un principio sólo implementar las políticas del escenario de menor costo. Los recursos ahorrados al no instrumentar las políticas de costos intermedios y altos podrían invertirse en reducir la vulnerabilidad de la población más expuesta al cambio climático mediante medidas de adaptación de gran impacto.

ANEXO

Escenario de Costos Bajos vs. Escenario Tendencial

Variables Agregadas		Escenario Bajo Costo vs. Tendencial		
		2010	2020	2030
PIB		0.0137	0.5818	5.0447
Inversión		0.2814	2.5129	23.9711
Gobierno		0.4556	0.4528	0.5243
Acervo Final de Capital			-----	7.5377
Bienestar				
	Agente 1		-----	1.7954
	Agente 2		-----	1.6868
	Agente 3		-----	0.6067
	Agente 4		-----	-0.9714
Nivel de Desempleo		0.028	0.049	0.068
Emissiones		-----	-0.7430	-0.1175

Tabla A1. Impacto Macroeconómico del Escenario de Bajo Costo.

(Fuente: Elaboración propia).

Producción		Escenario Bajo Costo vs. Tendencial		
		2010	2020	2030
Agricultura		0.1200	1.2383	9.7492
Ganadería		0.0489	1.1914	10.0987
Silvicultura		0.0000	1.4184	10.8635
Pesca		0.0000	0.5464	3.0303
Petróleo		-0.0488	-0.6680	-0.2143
Gas Natural		0.0000	0.6224	3.6926
Minería		0.0000	1.5187	0.7414
Refinación		-0.1051	0.5648	8.7558
Transportes		0.0209	0.7786	4.2497
Electricidad		0.0000	-0.3688	3.5855
Químicos		0.0166	2.2177	6.3770
Servicios		-0.0140	0.2710	3.0604
Manufactura		0.0394	1.5411	13.9427

Tabla A2. Efecto sobre los distintos sectores productivos.

(Fuente: Elaboración propia).

Consumo		Bajo Costo vs. Tendencial		
		2010	2020	2030
Alimentos		0.1582	0.1914	0.2777
Consumo de Bienes		-0.0968	1.4722	4.1291
Servicios		-0.4693	-0.4589	-0.3825
Autos		-0.8904	-0.8472	-0.7569
Electricidad y gas		0.0739	-2.9060	-4.8138
Transporte		0.0863	0.2851	0.3812
Gasolina		-0.5812	-0.5148	-0.5408
Agua		0.1675	0.1250	0.1947
Vivienda		-0.4457	-0.3744	-0.3239

Tabla A3. Efecto sobre los distintos bienes de consumo final.

Escenario de Costos Intermedios vs. Costos Bajos

Variables Agregadas		Costo Intermedio vs. Bajo Costo		
		2010	2020	2030
PIB		0.0181	0.0426	0.0047
Inversión		0.0935	0.1442	-0.3140
Gobierno		-0.1620	-0.1745	-0.1020
Acervo Final de Capital			-----	-0.0081
Bienestar				
	Agente 1		-----	0.0571
	Agente 2		-----	0.0530
	Agente 3		-----	0.0663
	Agente 4		-----	0.0922
Nivel de Desempleo		0.0280	0.0490	0.0680
Emisiones		0.0000	-2.8811	1.2964

Tabla A4. Impacto Macroeconómico del Escenario de Costo Intermedio
(Fuente: Elaboración propia).

Producción	Costo Intermedio vs. Bajo Costo		
	2010	2020	2030
Agricultura	0.000	0.060	-0.043
Ganadería	0.049	0.037	0.105
Silvicultura	0.000	17.483	22.864
Pesca	0.000	0.000	0.000
Petróleo	0.000	-0.274	0.477
Gas Natural	0.000	-7.216	0.000
Minería	0.000	0.115	13.707
Refinación	0.035	0.000	-0.085
Transportes	0.031	0.024	0.018
Electricidad	0.040	0.123	0.142
Químicos	0.033	0.106	-0.108
Servicios	-0.006	-0.012	-0.007
Manufactura	0.012	0.099	-0.077

Tabla A5. Efecto sobre los distintos sectores productivos.
(Fuente: Elaboración propia).

Consumo	Costo Intermedio vs. Bajo Costo		
	2010	2020	2030
Alimentos	0.0425	0.0409	0.1172
Consumo de Bienes	0.0388	0.1823	0.2925
Servicios	0.0484	0.0452	0.1162
Autos	0.0391	0.0884	0.1618
Electricidad y gas	0.0000	0.1761	0.2863
Transporte	0.0575	0.0219	0.0863
Gasolina	0.0308	0.0493	0.1208
Agua	0.0000	0.0000	0.0972
Vivienda	0.0560	0.0418	0.0975

Tabla A6. Efecto sobre los distintos bienes de consumo final.
(Fuente: Elaboración propia).

Escenario de Costos Altos vs. Costos Intermedios

Variables Agregadas	Costo Alto vs. Costo Intermedio		
	2010	2020	2030
PIB	0.001	0.004	0.023
Inversión	0.000	0.000	0.045
Gobierno	-0.019	-0.015	-0.008
Acervo Final de Capital		-----	0.016
Bienestar			
	Agente 1	-----	0.011
	Agente 2	-----	0.009
	Agente 3	-----	0.010
	Agente 4	-----	0.011
Nivel de Desempleo	0.027	0.049	0.067
Emisiones	0.000	0.000	-0.025

Tabla A7. Impacto Macroeconómico del Escenario de Alto Costo con Financiamiento Interno. (Fuente: Elaboración propia).

Producción	Costo Alto vs. Costo Intermedio		
	2010	2020	2030
Agricultura	0.040	0.000	0.000
Ganadería	0.000	0.074	0.106
Silvicultura	0.000	0.000	0.000
Pesca	0.000	0.000	0.000
Petróleo	0.000	0.000	0.000
Gas Natural	0.000	0.000	0.000
Minería	0.000	-0.115	0.000
Refinación	0.000	0.000	0.000
Transportes	0.000	0.000	0.018
Electricidad	0.000	0.000	0.024
Químicos	0.000	0.015	0.024
Servicios	-0.002	0.005	0.013
Manufactura	-0.002	0.018	0.032

Tabla A8. Efecto sobre los distintos sectores productivos. (Fuente: Elaboración propia).

Consumo	Costo Alto vs. Costo Intermedio		
	2010	2020	2030
Alimentos	0.006	0.014	0.021
Consumo de Bienes	0.010	0.007	0.028
Servicios	0.006	0.009	0.021
Autos	0.039	0.000	0.023
Electricidad y gas	0.000	0.000	0.000
Transporte	0.000	0.022	0.017
Gasolina	0.031	0.000	0.020
Agua	0.000	0.000	0.000
Vivienda	0.000	0.000	0.032

Tabla A9. Efecto sobre los distintos bienes de consumo final. (Tabla: Elaboración propia).

BIBLIOGRAFÍA

- IBARRARÁN, M.E., BOYD, R. 2006. *Hacia el futuro: Energy, Economics and the Environment in 21st Century*. México: Springer.
- _____. 2012. *Evaluación macroeconómica de políticas de mitigación de gases de efecto invernadero: Hacia una estrategia de crecimiento con bajas emisiones de carbono (LEDS)*. México: INECC.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. 2010. *Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional*: México: INE/SEMARNAT.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT). 2009. *Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012*: México: SEMARNAT.
- _____. 2013. *Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40*: México: SEMARNAT.
- USAID. 2012. *Estrategia de Desarrollo Bajo en Emisiones para México*. Programa MLED, TetraTech-USAID. Disponible en: <http://www.mledprogram.org/destacadas/estrategia-de-desarrollo-bajo-en-emisiones-para-mexico-programa-mled.html>.

EL ROL DE LAS ÁREAS NATURALES PARA LA RESILIENCIA AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS METRÓPOLIS: UNA APROXIMACIÓN DESDE LA ADAPTACIÓN

RAFAEL CALDERÓN CONTRERAS

La metropolización es una característica dominante en los procesos de crecimiento urbano a nivel mundial; asimismo, uno de los principales problemas que enfrentan las metrópolis es el cambio climático. Con el objeto de caracterizar la adaptación al cambio climático en las metrópolis, la literatura reciente ha utilizado el concepto de “resiliencia” como modelo teórico para entender la forma en la que una ciudad se constituye como un sistema socio-ecológico, con capacidad y la habilidad para resistir los embates del cambio climático. El presente artículo caracteriza la relevancia que tienen las Áreas Naturales Protegidas periurbanas de la Zona Metropolitana del Valle de México y su contribución para la resiliencia general de dicho sistema urbano. El artículo contiene dos contribuciones principales, primero, utiliza el caso de la Ciudad de México para ilustrar la forma en la que una metrópoli se constituye como un sistema socio-ecológico con potencial y habilidad para resistir los efectos esperados del cambio climático; y segundo, caracteriza la importancia y la forma en la que las áreas naturales protegidas metropolitanas coadyuvan a incrementar la resiliencia urbana.

INTRODUCCIÓN

La metropolización, entendida como el proceso de expansión física, socio-económica y espacio-temporal de una ciudad, es una característica dominante de los procesos de crecimiento urbano. La creciente concentración de la población urbana en el mundo implica la necesidad de aumentar la provisión de servicios ambientales para las ciudades. Dada la estrecha sinergia y la interdependencia ecológica y social entre las áreas metropolitanas y las reservas naturales que la rodean, las comunidades asentadas en dichas áreas y sus recursos naturales desempeñan un papel fundamental en la prestación de los servicios ambientales. Por otra parte, las reservas naturales y comunidades periurbanas son esenciales para entender la manera en que diferentes metrópolis enfrentan las amenazas del cambio ambiental global.

Este documento proporciona un análisis sobre la importancia de las áreas naturales protegidas para la construcción de la resiliencia al cambio climático en las ciudades. A través del análisis del caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México es posible ilustrar las características de las áreas protegidas periurbanas para contribuir a la resiliencia general de la metrópoli. Este artículo describe las sinergias entre la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y las áreas naturales protegidas que la circundan en torno a la resiliencia al cambio climático. Asimismo, se analizan los desafíos y las respuestas sobre la dinámica ecológica y la gestión pública que implica la creciente presión sobre los recursos de comunidades periurbanas. Este artículo concluye identificando las principales características de resiliencia que constituyen las reservas naturales de la periferia de las ciudades como elementos clave para la adaptación al cambio climático global.

El presente artículo se divide en cuatro secciones, incluyendo esta introducción. La segunda sección analiza los principales y más recientes postulados alrededor de la resiliencia urbana y

metropolitana. Esta sección busca, en general, contribuir con la definición teórica del tema, y en particular identificar a las metrópolis como Sistemas Socio-Ecológicos (SSE); asimismo, analiza los principales retos de la resiliencia metropolitana en torno a la política pública de cambio climático. La tercera sección analiza el caso de las Áreas Naturales Protegidas (ANPs) de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Este caso de estudio permite identificar el rol de dichas áreas protegidas para la construcción de la resiliencia metropolitana en relación a dos temas principales: la provisión de servicios ambientales y la seguridad alimentaria. Dichos temas enmarcan las principales discusiones académicas alrededor de las ANPs para la construcción de la resiliencia metropolitana. La última sección del artículo incluye las conclusiones generales.

RESILIENCIA, ADAPTACIÓN Y SUS COMPONENTES URBANOS

Existe un amplio abanico de conceptos que son utilizados de manera discrecional en la literatura académica y el discurso político alrededor de los riesgos asociados con el cambio climático global. Muchos de estos conceptos están alcanzando categorías discursivas que las identifican como “buzz words”, o términos de moda utilizadas por políticos, activistas y científicos para justificar acciones políticas. “Adaptación”, aunada a otros términos mediáticos como “sustentabilidad”, o “gobernanza”, se posicionan como aspiraciones políticas y discursivas, sobre todo en un contexto urbano en el que se presentan importantes retos relacionados con el crecimiento poblacional, metropolización y el subsecuente incremento en la demanda de servicios ambientales para las ciudades y sus habitantes.

Recientes investigaciones que tratan sobre los retos que implica la dependencia de las ciudades a nivel mundial a los recursos naturales circundantes han optado por analizar las ciudades y metrópolis como Sistemas Socio-Ecológicos (SSE) (Folke 2006;

Barthel y Isendahl 2013; Colding y Barthel 2013; Collier, Nedo-
vić-Budić *et al.* 2013). De acuerdo a esta perspectiva, las ciudades
son sistemas que presentan relaciones de dependencia y coexis-
tencia entre la sociedad y sus recursos. Al respecto, los SSE son
susceptibles de recibir los impactos externos de procesos tanto
naturales como antropogénicos, tal es el caso de los eventos re-
lacionados con el cambio climático global.

El análisis de los impactos del cambio climático en SSE uti-
liza el concepto de resiliencia como principal marco analítico.
La resiliencia es entendida como la capacidad para “absorber
los disturbios y reorganizarse mientras se lleva a cabo un cam-
bio en el sistema, reteniendo sus mismas funciones esenciales,
identidad y retroalimentación” (Folke 2006, 259). Esta definición
ha sido utilizada para caracterizar la capacidad de distintos SSE
(incluidas las metrópolis) para afrontar los efectos de impactos
externos al sistema (Folke 2006; Barthel y Isendahl 2013; Col-
ding y Barthel 2013). En términos de riesgos y desastres asocia-
dos al cambio climático, se han identificado diez características
principales que conforman la resiliencia de SSE: alta diversidad;
gobernanza e instituciones efectivas; habilidad para trabajar en
un entorno de incertidumbre y cambio; participación de comu-
nidades locales y la apropiación del conocimiento tradicional;
preparación y planeación de disturbios; alta equidad social y eco-
nómica; valores y estructuras sociales robustas; reconocimiento
de las dinámicas de no-equilibrio; aprendizaje continuo y efec-
tivo; y la adopción de una perspectiva de análisis inter-escalar
(Bahadur, Ibrahim *et al.* 2013; Bahadur y Tanner 2014).

Las características anteriormente mencionadas permiten ana-
lizar la resiliencia de SSE ante los efectos de impactos externos
que incluyen los riesgos asociados al cambio climático. Asimis-
mo, analizar estas características en SSE permite distinguir las
concepciones de términos relacionados al cambio climático,
principalmente entre resiliencia y adaptación. “Adaptación” es
un concepto que se relaciona con la presencia de efectos espe-

cíficos y esperados; en este sentido, adaptación se relaciona con otros conceptos que hacen referencia a los desastres esperados por eventos climáticos específicos, como inundaciones por aumento en el nivel del mar o intensificación de procesos hidrometeorológicos, como los huracanes. Dichos conceptos regularmente se vinculan con políticas de Reducción de Riesgo de Desastres (RRD), los cuales tienden a enfocarse en horizontes temporales a corto plazo y hacen énfasis en los riesgos actuales, es decir los riesgos que acontecen en el presente (Folke 2006; Janssen y Ostrom 2008).

Mientras adaptación y riesgo son concepciones que abordan eventos actuales, resiliencia busca indagar los efectos de impactos externos a largo plazo. El enfoque “a futuro” es una de las principales características que diferencia al concepto de resiliencia en SSE del concepto genérico de adaptación (Bahadur y Tanner 2014; Li, Shi *et al.* 2014). Otra característica que distingue resiliencia de adaptación es que al poner énfasis en sistemas dinámicos no-lineales, la resiliencia toma en consideración los elementos de sorpresa e incertidumbre que suponen los procesos climáticos extremos (Djordjević, Butler *et al.* 2011; Bahadur, Ibrahim *et al.* 2013; Bahadur y Tanner 2014). La sorpresa y la incertidumbre pueden ser manejadas por medio de atributos como la redundancia, la flexibilidad y el aprendizaje continuo de programas y políticas que abordan los impactos climáticos y sus consecuencias (Folke 2006; Ferreira, Pardal *et al.* 2013).

La complejidad y el pensamiento sistémico son característicos de la resiliencia en SSE. La idea de que los sistemas se conforman de la suma de elementos interconectados que interactúan en múltiples formas ha sido utilizada para cuestionar la linealidad del concepto (y las políticas públicas) de adaptación, por un lado, y por el otro, para enfatizar que hablar de resiliencia es tomar en consideración la indivisibilidad del hombre y la naturaleza (Folke 2006; Walker y Salt 2006; Ramalingam 2008; Bahadur, Ibrahim *et al.* 2013).

De acuerdo con Walker y Salt “Pensar en resiliencia es considerar que el Sistema Socio-Ecológico, al cual pertenecemos todos, es un sistema interrelacionado [...] el sistema bio-físico en el que nos desarrollamos todos limita y le da forma a las personas y sus comunidades, de la misma forma que las personas le dan forma al sistema bio-físico (Walker y Salt 2006, 33).” La idea de un sistema interconectado que puede presentar características de resiliencia ha llevado a pensar que las metrópolis pueden ser consideradas como SSE, cuya resiliencia puede ser caracterizada para el diseño e implementación de políticas públicas de cambio climático y sus efectos.

La metrópoli como Sistema Socio Ecológico (SSE)

El contexto rural ha acaparado la atención académica, política y mediática en torno al cambio climático y sus efectos. La resiliencia a los impactos esperados del cambio climático en zonas urbanas continúa siendo un elemento poco estudiado y abordado en la política pública y la academia internacional; sobre todo en países con desarrollo económico limitado o emergente (Manzana 2006; Gasper, Blohm *et al.* 2011; Bahadur y Tanner 2014; Tidball y Stedman 2013).

Dada la tendencia preponderante del crecimiento urbano internacional hacia la conformación de metrópolis, y la subsecuente concentración de personas, infraestructura industrial y de servicios, viviendas, capital físico, y residuos; el interés por el estudio de la resiliencia al cambio climático en las ciudades y sus zonas metropolitanas está incrementándose (Gasper, Blohm *et al.* 2011; Ferreira, Pardal *et al.* 2013; Friend, Jarvie *et al.* 2014; Friend y Moench 2013; Kärholm, Nylund *et al.* 2014).

El rol de la planeación metropolitana en este sentido es importante. Las políticas de planeación metropolitana, frecuentemente, no toman en consideración las características de resiliencia que presentan las ciudades, y como consecuencia, la escasa po-

lítica pública de cambio climático se cimienta en parámetros de adaptación que infieren que la ciudad es un sistema en equilibrio estable, negando la posibilidad de considerar a la metrópoli como un SSE con múltiples relaciones e interdependencias (Manyena 2006; Walker y Salt 2006; Gasper, Blohm *et al.* 2011). Dicha aceptación se combina con el hecho de que, característicamente, los gobiernos locales en ciudades de países de bajo desarrollo económico no cuentan con los recursos económicos y humanos para enfocarse e inclinarse a favor del estudio y la construcción de la resiliencia urbana a los impactos esperados del cambio climático (Gasper, Blohm *et al.* 2011; Bahadur y Tanner 2014).

Debido a que las políticas de planeación urbana se enfocan en la adaptación de las ciudades al cambio climático, es decir, se enfocan en la RRD, los procesos de urbanización frecuentemente aumentan la vulnerabilidad metropolitana al incrementar su exposición a cambios ambientales que puedan originar riesgos tanto sociales como económicos y fragmentar sus sistemas naturales (Alberti y Marzluff 2003; Satterthwaite, Huq *et al.* 2007). Por dicha situación, literatura reciente busca identificar las características de resiliencia que se mencionan en el apartado anterior en metrópolis a nivel mundial (Bahadur y Tanner 2014; Colding y Barthel 2013; Collier, Nedović-Budić *et al.* 2013; Friend, Jarvie *et al.* 2014; Friend y Moench 2013). De esta manera, las metrópolis están siendo entendidas como SSE que cumplen con las características de complejidad y de pensamiento sistémico. Dicha aseveración implica que la resiliencia se constituye como un elemento teórico-analítico propicio para analizar la forma en la que las metrópolis afrontan el cambio climático (Alberti y Marzluff 2003; Folke 2006; Manyena 2006; Bahadur y Tanner 2014).

En un afán por caracterizar a las metrópolis como SSE, la resiliencia urbana ha sido definida como “la habilidad de una ciudad o un sistema urbano para soportar una amplia variedad de impactos y efectos externos” (Leichenko 2011, 164). Dicha caracterización implica que la ciudad o el sistema urbano tie-

nen la habilidad intrínseca para absorber disturbios, mientras retienen su identidad, estructura y principales funciones. La definición de resiliencia urbana implica no sólo que las ciudades y metrópolis pueden ser categorizadas como SSE, sino también que la resiliencia urbana es una función de actividades humanas y factores naturales interrelacionados (Gasper, Blohm *et al.* 2011; Bahadur y Tanner 2014). Por lo tanto, la construcción de la resiliencia urbana requiere el mantenimiento de un balance óptimo entre servicios humanos y ecosistémicos (Alberti y Marzluff 2003; Leichenko 2011).

La resiliencia urbana y la política de cambio climático

El estudio de la resiliencia urbana ha tomado en consideración la importancia que tienen los gobiernos urbanos y los provinciales. De acuerdo con Leichenko (2011), para construir la resiliencia urbana es necesario que los gobiernos urbanos y metropolitanos sean inclusivos y flexibles, y –además– que a su vez tengan atributos como policentralidad, transparencia y rendición efectiva de cuentas. En el mismo tenor, algunos estudios afirman que las metrópolis pueden afrontar de mejor manera los impactos futuros del cambio climático en la medida en la que los gobiernos locales cubran sus responsabilidades en la provisión de infraestructura y servicios (Bahadur y Tanner 2014; Barthel y Isendahl 2013; Colding y Barthel 2013; Ferreira, Pardal *et al.* 2013). Algunos otros estudios sugieren que el enfoque de resiliencia permite solventar algunas de las debilidades del enfoque de adaptación basada en políticas de predecir y proveer, sobre todo porque el enfoque de resiliencia considera la incertidumbre que acompaña al cambio climático.

Los proyectos y programas relativos al cambio climático a nivel mundial se han enfocado en influenciar la política pública y la planeación urbana para promover la adaptación. Los conceptos relacionados con la resiliencia urbana no son tomados

en cuenta; en principio, por la complejidad que implica el concepto, y adicionalmente, por la poca reflexión crítica acerca de los alcances de la política pública, la forma en la que el cambio político se puede desarrollar y el contexto particular de urbanización en el que la política pública se aplica (Tyler y Moench 2012; Bahadur y Tanner 2014).

De manera más apremiante, los principios fundamentales de la literatura sobre resiliencia al cambio climático y sus recomendaciones hacia el proceso de diseño e implementación de políticas públicas no necesariamente se adaptan a las realidades de la gobernanza metropolitana de países con menor desarrollo económico (Alberti y Marzluff 2003; Gasper, Blohm *et al.* 2011; Tyler y Moench 2012; Bahadur y Tanner 2014). En muchos casos, el discurso de resiliencia urbana está siendo vinculado con otros conceptos que se convierten en las tendencias de la política de cambio climático, tal es el caso de la sustentabilidad, la adaptación y la reducción del riesgo (Bahadur, Ibrahim *et al.* 2013). En estos casos, los discursos y narrativas hegemónicas sobre el rol del ser humano ante los efectos del cambio climático solamente refuerzan jerarquías políticas, de conocimiento y de poder.

Otro factor que enmarca el rol de la política pública de cambio climático en las ciudades a nivel internacional, es el de los parques urbanos, reservas naturales y áreas protegidas cuya localización las vincula con las dinámicas metropolitanas. Dichas áreas naturales han sido principalmente estudiadas como SSE aislados; sin embargo, literatura reciente sobre resiliencia al cambio climático ha realizado esfuerzos por encontrar la relevancia de dichas zonas para la construcción de la resiliencia urbana en las metrópolis que circundan (Bowler, Buyung-Ali *et al.* 2010; Emmanuel y Krüger 2012; Friend y Moench 2013; Lwasa, Mugagga *et al.* 2014; Mues, Manders *et al.* 2013; Vargo, Habeeb *et al.* 2013; Brown, Schebella *et al.* 2014).

Además de ilustrar los principales elementos de la resiliencia urbana, las zonas naturales protegidas de las metrópolis con-

centran las discusiones políticas y la implementación de política pública de adaptación a nivel mundial (Lwasa, Mugagga *et al.* 2014; Vargo, Habeeb *et al.* 2013; Wamsler, Brink *et al.* 2013). A continuación, se utiliza el caso de la Zona Metropolitana del Valle de México para ilustrar algunos de los aspectos anteriormente mencionados.

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS Y RESILIENCIA METROPOLITANA: EL CASO DEL VALLE DE MÉXICO

Las Áreas Naturales Protegidas (ANPs) en contacto con urbes a nivel mundial han sido analizadas de acuerdo a su rol para la construcción de la resiliencia urbana. La importancia de las ANPs para la construcción de la resiliencia metropolitana se ha analizado desde un abanico amplio de factores; sin embargo, la mayoría de estas aportaciones tienen relación con a) los servicios ambientales que las ANPs proporcionan, y b) su potencial para incrementar la seguridad alimentaria regional (Lwasa, Muggagga, *et al.* 2014). Analizar estos dos aspectos por medio del marco analítico de resiliencia permite identificar las características de los SSE en el ambiente metropolitano. Es decir, que no sólo las metrópolis pueden ser consideradas como SSE, sino que también es posible analizar las conexiones e interrelaciones entre el medio natural y social que le permiten resistir a los efectos futuros del cambio climático. Dicho enfoque rebasa la noción de riesgos y vulnerabilidad actual que conlleva el diseño de políticas públicas basadas en adaptación, para situarse en el análisis de los componentes de resiliencia mencionados en las secciones anteriores.



Mapa 1. Localización General de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

(Fuente: Laura Elisa Quiroz Rosas con información de SEMARNAT 2003).

En el caso de México, la creación de ANPs¹ se ha enfocado en la protección de especies, hábitats y ecorregiones. Sin embargo, la mayoría de las ANPs en México se centran en la protección de zonas y ecosistemas relativamente homogéneos, ignorando el hecho de que cada ANP forma parte de un SSE más grande y que existen interrelaciones vitales al exterior (Ortiz-Lozano, Gutiérrez-Velázquez *et al.* 2009). *El Mapa 1* muestra la localización de las principales zonas metropolitanas en México y la distribución de ANPs.

1 La clasificación de ANPs federales incluye (en orden de importancia de acuerdo a su extensión a nivel nacional): Reservas de la Biosfera, Parques Nacionales, Monumentos Naturales, Áreas de Protección de Recursos Naturales, Áreas de Protección de Flora y Fauna, y Santuarios.

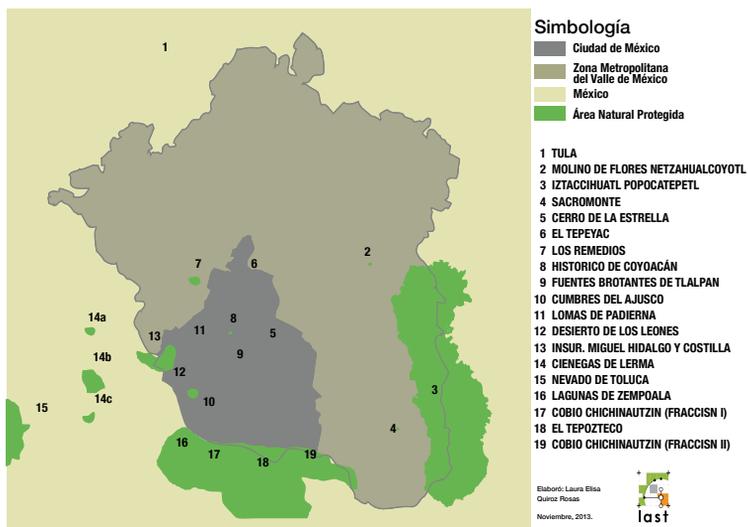
Como se puede advertir en el mapa anterior, la mayoría de las ANPs de México se encuentran localizadas en las periferias de las zonas metropolitanas. Su localización geográfica implica, por sí misma, que existen interrelaciones y dependencias importantes para la resiliencia al cambio climático, tanto de las zonas metropolitanas, como de las ANPs por igual. Las siguientes secciones analizan dichas interdependencias en torno a las aportaciones de las ANPs para la construcción de la resiliencia al cambio climático general de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la cual alberga a la Ciudad de México.

Provisión de Servicios Ambientales

México fue el segundo país de Latinoamérica, después de Costa Rica, en establecer un programa nacional de Pago por Servicios Ambientales (Pagiola, Arcenas et al. 2005; Muñoz-Piña, Guevara et al. 2008). El programa estaba dirigido a asegurar la provisión de agua potable, sobre todo en zonas donde el crecimiento poblacional implicaba una mayor presión sobre los recursos hídricos, tal es el caso de la Ciudad de México (Aguilar y Santos 2011; Neitzel, Caro-Borrero et al. 2014). Aproximadamente 20 millones de habitantes en la ZMVM (aproximadamente 9 millones sólo en la Ciudad de México) dependen directamente de las áreas de recarga de acuíferos que se localizan en las ANPs que la rodean o que se encuentran en el interior de la misma (Neitzel, Caro-Borrero et al. 2014).

A pesar de que la provisión de agua potable y la recarga de acuíferos fueron los primeros servicios ambientales reconocidos en un esquema de pagos en México, la ZMVM depende de otros servicios ambientales provistos por las ANPs que lo rodean.² A continuación, se muestra la localización de las ANPs en el contexto metropolitano del Valle de México.

2 Para una lista completa de Servicios Ambientales asociados a las ciudades ver Alam, Dupras y Messier (2016).



Mapa 2. Áreas Naturales Protegidas aledañas a la ZMVM.
(Fuente: Laura Elisa Quiroz Rosas con información de SEMARNAT 2003).

Como se observa en el mapa, la superficie de ANPs cercanas o aledañas a la ZMVM se concentra en las afueras de la misma. Las ANPs más importantes son el Parque Nacional Izta-Popo (3) y las zonas de protección correspondientes a la serranía del sur de la Ciudad de México (16-19). La importancia de estas ANPs en torno a la provisión de servicios ambientales para la ciudad se ha hecho evidente en literatura reciente (Cruz-Núñez, Hernández-Solís *et al.* 2003; Aguilar y Santos 2011; Shapiro-Garza 2013; Neitzel, Caro-Borrero *et al.* 2014), sin embargo, su rol para la construcción de la resiliencia metropolitana ha sido poco estudiado.

Los principales estudios relacionados con las ANPs metropolitanas se enfocan en la provisión de servicios ambientales vitales para la ciudad como son la regulación del clima (Alberti y Marzluff 2003; Bowler, Buyung-Ali *et al.* 2010; Emmanuel y Krüger 2012), la protección de la biodiversidad (Jo, Golden *et al.* 2009; House-Peters y Chang 2011; Shapiro-Garza 2013; Vi-drih y Medved 2013), y otros servicios ecosistémicos, como los

servicios paisajísticos, de salud y recreacionales (Cruz-Núñez, Hernández-Solís *et al.* 2003; Pagiola, Arcenas *et al.* 2005; Muñoz-Piña, Guevara *et al.* 2008; Emmanuel y Krüger 2012; Colding y Barthel 2013; Kärholm, Nylund *et al.* 2014).

En este sentido, es necesario hacer categorización entre el potencial para construir resiliencia metropolitana dependiendo del tamaño y localización de las ANPs. Mientras que al interior de la Ciudad de México las ANPs son más reducidas en tamaño, las ANPs con mayores superficies se localizan en la periferia de la ZMVM. Esta categorización tiene implicaciones importantes para la construcción de la resiliencia metropolitana. Mientras las ANPs pueden resultar importantes para algunos aspectos de la resiliencia al interior de la ciudad y específicamente alrededor de las zonas donde se localizan, las ANPs de mayor extensión pueden representar puntos nodales para la resiliencia general de todo el SSE que representa la metrópoli.

La construcción de la resiliencia metropolitana depende en gran medida de que se asegure la provisión de servicios ambientales para las ciudades. Es necesario realizar más investigación sobre los servicios ambientales específicos que contribuyen a la resiliencia general, sin embargo, es posible afirmar que la provisión de servicios ambientales, en general, es uno de los temas que abarca la resiliencia metropolitana. En otras palabras, la construcción de resiliencia debe considerar el rol de las ANPs para la provisión de servicios ambientales, así como los intercambios y dependencias sociales al interior de todo el SSE que representa la metrópoli.

Seguridad Alimentaria Regional

La seguridad alimentaria se ha consolidado como una de las facetas de la resiliencia en las ciudades (Barthel y Isendahl 2013). Estudios históricos han demostrado que en sistemas urbanos la seguridad alimentaria ha dependido de la distribución, la tem-

poralidad y sobre todo de la disponibilidad de alimentos (Barthel y Isendahl 2013). Conforme la innovación, la modernidad y el progreso se asocian con procesos de metropolización, la política pública y la sociedad en general tienden a separar, al menos conceptualmente, los espacios rurales de los urbanos. La idea de la división y separación entre lo urbano y lo rural se ha sustentado en grandes innovaciones que permitieron transportar recursos (especialmente relacionados con la alimentación) desde grandes distancias. Dichas innovaciones han permitido el crecimiento urbano y metropolitano. El acelerado crecimiento poblacional, y la cada vez menos importante distancia geográfica a las fuentes de producción de alimentos, han permitido que las metrópolis contemporáneas dependan de combustibles fósiles para la transportación de alimentos, e incluso la transformación de alimentos potenciales en combustible. Esta paradoja se hace más evidente cuando se analiza el potencial para producir alimentos al interior de sistemas metropolitanos.

Así como dicha interconectividad y facilidad de transporte de alimentos podría ser analizada como un factor que reduce la vulnerabilidad de las ciudades a sufrir crisis alimentarias y crear resiliencia durante crisis severas (van der Leeuw *et al.* 2010), también implica la pérdida de sistemas de producción de alimento tradicionales y la mayor dependencia a líneas de abastecimiento; lo cual aumenta los riesgos futuros a la seguridad alimentaria urbana (Allouche 2011; Barthel y Isendahl 2013). En este sentido, las ANPs metropolitanas pueden ser nodos de resiliencia en torno a la conservación de sistemas de producción de alimentos tradicionales y contribuyentes a la seguridad alimentaria general.

La superficie de conservación en una ciudad está relacionada con la posibilidad de incrementar la producción de alimentos a escala local, sobre todo cuando dentro de estas áreas existen sistemas de manejo y producción tradicional de alimentos (Pothukuchi y Kaufman 2000). La siguiente tabla analiza la superficie de ANP en el caso de estudio.

	Superficie Total (Hectáreas)	Superficie Total de ANPs	
		Hectáreas	%
Ciudad de México	148412	4808.5	3.23
ZMVM	785998.2	60965.5	7.75

Tabla 1. Superficie de Áreas Naturales Protegidas aledañas a la ZMVM. (Fuente: Laura Elisa Quiroz Rosas con información de SEMARNAT 2003).

La *Tabla 1* muestra la superficie bajo algún régimen de protección natural. Es necesario tomar en cuenta que los datos mostrados no incluyen los parques metropolitanos que, tal como lo muestra la sección anterior, y a pesar de que contribuyen con importantes aspectos para la resiliencia metropolitana, no están considerados como una ANP. Los datos vertidos en la *Tabla 1* muestran la escasa proporción de territorio que podría contener los sistemas tradicionales de alimentación vitales para la construcción de la resiliencia metropolitana. Un sistema tradicional de alimentación es definido como “La cadena de actividades que conectan la producción de alimentos, su procesamiento, distribución, consumo y manejo de residuos, así como las actividades e instituciones regulatorias asociadas” (Pothukuchi y Kaufman 2000, 113).

Las ANPs que circundan a la ZMVM cuentan con comunidades rurales que dependen de los recursos de las mismas, y que a su vez concentran sistemas de producción de alimentos y sistemas de alimentación que podrían coadyuvar a la construcción de la resiliencia metropolitana. Además de su importante rol en la producción de servicios ambientales, las ANPs albergan importantes reservorios de conocimiento tradicional y sistemas de gobernanza que, sin duda, forman parte de la resiliencia general de las metrópolis. Es importante considerar que estas áreas de protección no sólo contienen las reservas naturales de las que depende el sistema metropolitano y su resiliencia, sino también importantes reservas de capital social y cultural que reciben los impactos directos del cambio climático.

CONCLUSIONES

El discurso de sustentabilidad y adaptación ha sido utilizado en el diseño de política pública de manera discrecional. Los impactos asociados al cambio climático son vinculados a procesos de reducción del riesgo, y en ocasiones no se toman en cuenta las vinculaciones de dependencia y comunicación entre los elementos metropolitanos. El presente artículo utiliza el concepto de resiliencia y resiliencia metropolitana para enfatizar que las metrópolis pueden ser analizadas como Sistemas Socio-Ecológicos (SSE), y que, a su vez, es posible identificar las conexiones antes mencionadas dentro de un sistema metropolitano. En este sentido, el presente artículo incluye un breve recuento teórico del concepto de resiliencia, sus componentes y principios, así como su posición analítica frente a otros discursos como la reducción de riesgos y la adaptación urbana.

A pesar de que resiliencia es un concepto que va cobrando fuerza mediática, y que ha incrementado su presencia en discursos políticos de diversas instituciones político-legales y sociales, el presente artículo argumenta que es posible utilizar la noción analítica y conceptual de resiliencia para identificar los principales aspectos y principios que le permitirían a las zonas metropolitanas resistir y adaptarse de mejor manera a los embates asociados con el cambio climático en general, y utiliza el ejemplo de las ANPs cercanas a la ZMVM para ilustrar dos elementos de resiliencia metropolitana. A pesar de que es necesario llevar a cabo más investigación sobre la importancia de las áreas protegidas para la resiliencia de las metrópolis, el presente trabajo busca abrir una ventana de discusión en la que se retome el análisis de las ANPs, desde una perspectiva de resiliencia metropolitana; más allá de los enfoques hegemónicos de análisis que se basan en la diversidad biológica y ecosistémica.

El enfoque propuesto revaloriza los recursos tanto naturales como sociales que tienen las ANPs metropolitanas con base en

su potencial para coadyuvar a que todo el sistema metropolitano se recupere de impactos externos; y, en segundo lugar, rebasar los discursos de sustentabilidad, los cuales han resultado convenientes para esconder la naturaleza política detrás de los esfuerzos oficiales para adaptarse al cambio climático global.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, A. G. Y C. SANTOS. 2011. "Informal settlements' needs and environmental conservation in Mexico City: An unsolved challenge for land-use policy". *Land Use Policy*, no. 28(4): 649-662.
- ALAM, M., DUPRAS, J., MESSIER. C. 2016. "A Framework Towards a Composite Indicator for Urban Ecosystem Services". *Ecological Indicators*, no. 60: 38-44.
- ALBERTI, M., MARZLUFF, J. 2003. "Ecological resilience in urban ecosystems: linking urban patterns to human and ecological functions". *Urban Ecosystems*, no. 7: 241-265.
- ALLOUCHE, J. 2011. "The sustainability and resilience of global water and food systems: Political analysis of the interplay between security, resource scarcity, political systems and global trade". *Food Policy*, no. 36, Supplement 1: S3-S8.
- BAHADUR, A., IBRAHIM, M., TANNER, T. 2013. "Characterizing resilience: unpacking the concept for tackling climate change and development". *Climate and Development*, no. 5(1): 55-65.
- BAHADUR, A. V., TANNER, T. 2014. "Policy climates and climate policies: Analyzing the politics of building urban climate change resilience". *Urban Climate*, no. 7: 20-32.
- BARTHEL, S., ISENDAHL, C. 2013. "Urban gardens, agriculture, and water management: Sources of resilience for long-term food security in cities". *Ecological Economics*, no. 86: 224-234.
- BOWLER, D. E., BUYUNG-ALI, L., KNIGHT, T. M., PULLIN, S. 2010. "Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence". *Landscape and Urban Planning*, no. 97(3): 147-155.

- Brown, G., Schebella, M. F., Weber, D. 2014. "Using participatory GIS to measure physical activity and urban park benefits". *Landscape and Urban Planning*, no. 121: 34-44.
- Colding, J., Barthel, S. 2013. "The potential of 'Urban Green Commons' in the resilience building of cities". *Ecological Economics*, no. 86: 156-166.
- COLLIER, M. J., NEDOVIĆ-BUDIĆ, Z., AERTS, J., CONNOP, S., FOLEY, D., FOLEY, K., NEWPORT, D., MCQUAID, S., SLAEV, A., VERBURG, P. 2013. "Transitioning to resilience and sustainability in urban communities". *Cities*, no. 32 Supplement 1: S21-S28.
- CRUZ-NÚÑEZ, X., HERNÁNDEZ-SOLÍS, J. M., L. G. RUIZ-SUÁREZ. 2003. "Evaluation of vapor recovery systems efficiency and personal exposure in service stations in Mexico City". *Science of The Total Environment*, no. 309(1-3): 59-68.
- DJORDJEVIĆ, S., BUTLER, D., GOURBESVILLE, P., MARK, O., PASCHE, E. 2011. "New policies to deal with climate change and other drivers impacting on resilience to flooding in urban areas: the CORFU approach". *Environmental Science and Policy*, no. 14(7): 864-873.
- EMMANUEL, R., KRÜGER E. 2012. "Urban heat island and its impact on climate change resilience in a shrinking city: The case of Glasgow, UK". *Building and Environment*, no. 53: 137-149.
- ERNSTSON, H., SANDER, E., VAN DER LEEUW, S. E., REDMAN, C. L., MEFFERT, D. J., DAVIS, G., ALFSEN, C., ELMQVIST, T. 2010. "Urban transitions: on urban resilience and human-dominated ecosystems". *Ambio*, no. 39(8): 531-545.
- FERREIRA, A. J. D., PARDAL, J., MALTA, M., FERREIRA, C. S. S., SOARES, D., VILHENA, J. 2013. "Improving Urban Ecosystems Resilience at a City Level the Coimbra Case Study". *Energy Procedia*, no. 40: 6-14.
- FOLKE, C. 2006. "Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses". *Global Environmental Change*, no. 16: 253-267.
- FRIEND, R., JARVIE, J., ORLEANS REED, S., SUTARTO, R., THINPHANGA, P., CANH TOAN, V. 2014. "Mainstreaming urban climate resilience

- into policy and planning; reflections from Asia". *Urban Climate*, no. 14: 6-19.
- _____, MOENCH, M. 2013. "What is the purpose of urban climate resilience? Implications for addressing poverty and vulnerability". *Urban Climate*, no. 6: 98-113.
- GASPER, R., BLOHM, R., RUTH, M. 2011. "Social and economic impacts of climate change on the urban environment". *Current Opinion of Environmental Sustainability*, no. 3: 150-157.
- HOUSE-PETERS, L. A., CHANG, H. 2011. "Modeling the impact of land use and climate change on neighborhood-scale evaporation and nighttime cooling: A surface energy balance approach". *Landscape and Urban Planning*, no. 103(2): 139-155.
- JANSSEN, M., OSTROM, E. 2008. "Resilience, vulnerability, and adaptation: a cross-cutting theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change". *Global Environmental Change*, no. 16: 237-239.
- JO, J. H., GOLDEN, J. S., SHIN, S. W. 2009. "Incorporating built environment factors into climate change mitigation strategies for Seoul, South Korea: A sustainable urban systems framework". *Habitat International*, no. 33(3): 267-275.
- KÄRRHOLM, M., NYLUND, K., PRIETO DE LA FUENTE, P. 2014. "Spatial resilience and urban planning: Addressing the interdependence of urban retail areas". *Cities*, no. 36: 121-130.
- LEICHENKO, R. 2011. "Climate change and urban resilience". *Current Opinion in Environmental Sustainability*, no. 3: 164-168.
- LI, Y., SHI, Y., QURESHI, S., BRUNS, A., ZHU, X. 2014. "Applying the concept of spatial resilience to socio-ecological systems in the urban wetland interface". *Ecological Indicators*, no. 42: 135-146.
- LWASA, S., MUGAGGA, F., WAHAB, B., SIMON, D., CONNORS, J., GRIFFITH, C. 2014. "Urban and peri-urban agriculture and forestry: transcending poverty alleviation to climate change mitigation and adaptation". *Urban Climate*, no. 7: 92-106.
- MANYENA, S. B. 2006. "The concept of resilience revisited". *Disasters*, no. 30(4): 433-450.

- MUES, A., MANDERS, A., SCHAAP, M., VAN ULFT, L. H., VAN MEIJGAARD, E., BUILTJESA, P. 2013. "Differences in particulate matter concentrations between urban and rural regions under current and changing climate conditions". *Atmospheric Environment*, no. 80: 232-247.
- MUÑOZ-PIÑA, C., GUEVARA, A., TORRES, J. M., BRAÑA, J. 2008. "Paying for the hydrological services of Mexico's forests: analysis, negotiations and results". *Ecological Economics*, no. 65(4): 725-736.
- NEITZEL, K. C., CARO-BORRERO, A. P., REVOLLO-FERNANDEZ, D., AGUILAR-IBARRA, A., RAMOS, A., ALMEIDA-LEÑERO, L. 2014. "Paying for environmental services: Determining recognized participation under common property in a peri-urban context". *Forest Policy and Economics*, no. 38: 46-55.
- ORTIZ-LOZANO, L., GUTIÉRREZ-VELÁZQUEZ, A. L., GRANADOS-BARBA, A. 2009. "Marine and terrestrial protected areas in Mexico: Importance of their functional connectivity in conservation management". *Ocean and Coastal Management*, no. 52(12): 620-627.
- PAGIOLA, S., ARCENAS, A., PLATAIS, G. 2005. "Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America". *World Development*, no. 33(2): 237-253.

INCENTIVOS E INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PARA EL CONTROL DEL CALENTAMIENTO GLOBAL EN MÉXICO

EMILIO GUTIÉRREZ

INTRODUCCIÓN

La concentración de contaminantes en la atmósfera no solamente tiene un impacto en el calentamiento global. La evidencia sobre su efecto en la salud es también creciente y sólida. Si bien los contaminantes que están directamente asociados con el calentamiento global (en particular los gases de efecto invernadero)¹ son distintos de aquéllos para los que existe evidencia más precisa sobre su impacto en la salud (partículas suspendidas), muchas de las acciones que pueden implementarse para la reducción de emisiones atacan directa o indirectamente a ambos.

Los argumentos tradicionales que sostienen que países en vías de desarrollo no deben hacer esfuerzos tan grandes para combatir las emisiones de gases de efecto invernadero deben contrastarse con la creciente evidencia que sugiere que las concentraciones de partículas suspendidas tienen efectos negativos más grandes (en particular, en la salud de las personas) en es-

1 Existe muy poca evidencia con respecto al impacto directo de los gases de efecto invernadero en la salud.

tos países, que en países desarrollados. El control de los contaminantes en México, entonces, si bien puede representar altos costos en el corto plazo, en particular si se trata de la adopción de tecnologías más eficientes, también puede representar importantes beneficios en términos de la salud de sus habitantes.

Este trabajo, por un lado, sostiene que la evidencia de los impactos en la salud de los contaminantes en México sugiere que los efectos positivos de políticas de control de emisiones son una invitación a los hacedores de política para aplicar y diseñar medidas de mitigación efectivas. Por otro lado, reconociendo la debilidad institucional en los países en vías de desarrollo (relativa al conjunto de países desarrollados), ejemplifica cómo también es posible el uso de instrumentos de política que puedan reducir los altos costos de monitoreo que enfrentan los reguladores en el contexto mexicano.

Este capítulo se divide en cinco secciones. La primera introduce el tema haciendo una breve revisión de los argumentos alrededor de que los costos de combatir el calentamiento global para países como México son mayores de aquéllos que enfrentan países desarrollados. La siguiente sección contrasta estos argumentos con la evidencia existente sobre los efectos nocivos que tiene en la salud de los individuos la concentración de partículas en el ambiente y cómo las características de los países en vías de desarrollo y en particular México, magnifican estos efectos. La tercera sección discute cómo, a pesar de que los contaminantes responsables del calentamiento global difieren de aquéllos para los que existe evidencia más sólida sobre su impacto en salud, muchas políticas de mitigación de emisiones atacan directa o indirectamente a ambos. La cuarta sección ejemplifica políticas novedosas y exitosas en los países en vías de desarrollo (en particular México) para combatir las emisiones de contaminantes en un contexto de debilidad institucional y con altos costos de operación de las políticas de mitigación tradicionales. Finalmente, se presentan algunas conclusiones.

	1999	2009	Crecimiento en niveles* 1999-2009
Estados Unidos	22.8	16.5	-4.1
China	13.7	24.0	131.7
Rusia	6.3	4.9	2.3
India	4.7	6.2	73.0
México	1.6	1.4	16.9
América Latina	5.5	5.0	19.4

*Toneladas métricas.

Tabla 1. Porcentaje del total de emisiones de CO₂ por fuentes fijas por país. (Fuente: Carbon Dioxide Information Analysis Center).

MÉXICO Y LOS PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO ANTE EL CALIENTAMIENTO GLOBAL

La *Tabla 1* muestra el total de emisiones de gases de efecto invernadero que arrojan Estados Unidos, China, Rusia, India (los principales emisores de estos gases), México y América Latina en su conjunto en los años 1999 y 2009, de acuerdo con el CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center). Mientras que en 2009 China emitía alrededor del 23% del total de CO₂ que se emitió en el mundo y Estados Unidos generó más del 16% de las emisiones globales, México generó apenas el 1.4%, y América Latina y el Caribe, en su conjunto, el 5% de las emisiones globales de CO₂.

El argumento principal de quienes consideran que países como México no deben incurrir en los costos que implican los esfuerzos por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero es evidente en esta tabla: su contribución a las emisiones globales es pequeña.

Un argumento, también evidente en la *Tabla 1*, es que en el mediano y largo plazos no sólo importan los niveles, sino también las tasas de crecimiento. Efectivamente, el aumento en las emisiones de los países en vías de desarrollo como India y China

ha sido mucho mayor al crecimiento de las emisiones globales, mientras que en Estados Unidos se han mantenido relativamente estables durante los últimos diez años. China, en el mismo periodo, duplicó el total de sus emisiones de gases de efecto invernadero. Aunque ni México ni América Latina en su conjunto muestran tasas de crecimiento en sus emisiones tan alarmantes entre 1999 y 2009, estas tendencias podrían cambiar si se acelera su proceso de industrialización y crecimiento económico.

La siguiente sección presenta un argumento alternativo, presente en la literatura, pero no tan frecuentemente utilizado por quienes piden la participación de los países en vías de desarrollo en los esfuerzos por detener el calentamiento global: el impacto de los contaminantes en la salud. En contextos donde los niveles y la desigualdad en el ingreso son altos, el nivel educativo es relativamente bajo, y el acceso a servicios de salud es limitado, las concentraciones de contaminantes en la atmósfera representan un mayor costo en términos de vidas humanas por su impacto directo en la salud. Independientemente de las contribuciones directas a las emisiones de gases de efecto invernadero, los países en vías de desarrollo y –dada la evidencia– México en particular, pueden beneficiarse directamente si se aplican medidas efectivas de control de las emisiones.

EL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LA SALUD

La literatura que mide el impacto de la contaminación ambiental (en específico, las partículas suspendidas) en la salud es extensa y creciente, aunque la mayoría de los estudios existentes se enfocan en medir estas relaciones en contextos de países desarrollados (Pope *et al.* 1992; Schwartz 2000; Chay y Greenstone 2003; Currie y Niedell 2004; Currie y Walker 2010).

Los primeros estudios sobre el tema se centraron en buscar correlaciones entre el nivel de contaminación en el aire y las medidas de salud (ver, por ejemplo, Pope *et al.* 1992; Schwartz 2000; Cu-

rie y Niedell 2004), todos encuentran evidencia que sugiere que la contaminación en el aire perjudica la salud, en particular porque aumentan considerablemente las tasas de mortalidad infantil.

Sin embargo, debido a los sesgos potenciales, resultado del error de medición en las concentraciones de contaminantes y de las variables omitidas que pueden tener un impacto directo en la salud, la consistencia de los estimadores encontrados en estos estudios está en duda. Por estas razones, artículos más recientes utilizan cambios exógenos en los niveles de contaminación a partir de experimentos naturales para aislar la relación entre la contaminación y su efecto en la salud. Como ejemplos de estos experimentos se encuentran las recesiones económicas y los cambios en la regulación (Chay y Greenstone 2003) y la introducción de casetas automatizadas de pago en las autopistas (Currie y Walker 2010). Estos experimentos naturales proporcionan una estrategia de identificación que aísla los cambios en los niveles de contaminación de otros factores no observados. Dichos estudios evidenciaron que los estimadores obtenidos por regresiones de Mínimos Cuadrados Ordinarios presentaban un sesgo considerable hacia cero.

Los países en vías de desarrollo, dados sus menores niveles de ingreso, educación y acceso a la salud, podrían estar más expuestos a los efectos adversos que la contaminación ambiental tiene en la salud. Sin embargo, la literatura que mide estas relaciones en dichos contextos es más escasa, resultado de la relativa falta de información estadística y de mediciones precisas sobre las concentraciones de contaminantes.

Como resultado, la mayoría de los estudios existentes sobre los países en vías de desarrollo se centran en ciudades grandes, para las que existen medidas directas de concentraciones de contaminantes en el aire. Los primeros estudios al respecto, como aquéllos para países desarrollados, simplemente correlacionan los niveles de contaminación con las medidas de salud (*cf.* Saldiva *et al.* 1994). Con respecto a aquéllos que explotan

variación exógena en la calidad del aire, Bharadwaj (2008) considera las variaciones en los niveles de contaminación inducidos por la precipitación para estimar el impacto de la contaminación en el aire en la salud para Santiago de Chile. Más recientemente, Arceo-Gómez *et al.* (2013) miden el impacto de la contaminación en el aire en la mortalidad infantil en la Ciudad de México, explotando las variaciones en los niveles de contaminantes causadas por las inversiones térmicas. Todos estos estudios, sin embargo, centran su análisis en ciudades grandes, para las que existen medidas precisas de la calidad del aire.

Respecto a los estudios para los países en vías de desarrollo, y en particular para México, que estiman el impacto de la calidad del aire en la salud para extensiones territoriales mayores, destaca Gutierrez (2010), pues remonta el problema de la escasez de información sobre calidad del aire explotando medidas de concentraciones de partículas suspendidas en el aire tomadas a partir de imágenes satelitales. Sin embargo, el estudio no cuenta con variación exógena en los niveles de contaminantes. Algunos ejemplos de estudios que explotan variación exógena en los niveles de contaminantes para otros países en vías de desarrollo son Cesur *et al.* (2013), Tanaka (2010) y Jayachandran (2009).

Tanaka (2010) estudia el impacto de la contaminación en el aire sobre la mortalidad infantil en China usando cambios en la regulación ambiental como una fuente de variación exógena sobre los niveles de contaminación. Cesur *et al.* (2013) analiza el impacto de la introducción de un sistema de gas natural sobre la contaminación en el aire y posteriormente su relación con la mortalidad infantil en varias provincias de Turquía. Jayachandran (2009) estima el impacto de la contaminación generada por incendios forestales en Indonesia en la mortalidad infantil de ese país. La *Tabla 2* enlista los trabajos de investigación arriba mencionados (entre los que es posible hacer comparaciones) y especifica el impacto estimado de las concentraciones de partículas suspendidas en las tasas de mortalidad infantil por cada uno. To-

Estudio	Contexto	Fuente de Variación	Impacto *
Chay and Greenstone (2003)	Estados Unidos	Recesión Económica en 1982 -1983	0.284
Tanaka (2010)	China	Cambios en Regulación Ambiental	0.95
Arceo et al (2012)	Ciudad de México	Inversiones Térmicas	0.415
Cesur et al (2013)	Turquía	Adopción de Gas Natural	1.25

*Elasticidad de la tasa de mortalidad infantil con respecto al nivel de partículas suspendidas.

Tabla 2. Estimaciones del Impacto de las Concentraciones de Partículas Suspendidas en la Mortalidad Infantil. (Fuente: Elaboración propia).

dos encuentran que los impactos de las concentraciones de partículas suspendidas en la salud (generalmente en la mortalidad infantil) son mayores a los estimadores para países desarrollados.

Para el contexto mexicano, Gutierrez (2012) utiliza las mismas medidas de concentraciones de contaminantes en la atmósfera obtenidas de imágenes satelitales que Gutiérrez (2010), esta vez aislando los cambios en niveles de contaminantes de otros factores, explotando la variación en las concentraciones de partículas suspendidas inducida por la instalación de plantas de autoabastecimiento de energía eléctrica a lo largo del país. Utiliza entonces una fuente de variación en niveles de contaminación que muy probablemente no se encuentra relacionada con cambios en la actividad económica local. De esta manera, aísla el impacto causal de la contaminación sobre indicadores de salud en el contexto mexicano. Por tratarse de este país, a continuación, se describen a detalle los métodos y resultados de dicha investigación.

Desde 1994, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) ha autorizado a diversas empresas privadas la instalación de plantas de generación de electricidad. Entre 2000 y 2006, el aumento en el número de permisos otorgados de este tipo se incrementó considerablemente. La capacidad total de generación no se encuentra limitada al tamaño de la planta, ya que en caso de producirse un excedente puede venderse a la Comisión Federal de Electricidad (CFE). En el 2000, las plantas operando con estos permisos repre-

sentaban el 0.7% de la energía generada en México. Sin embargo, para 2006 ya representaba el 36.58% de la energía generada en territorio mexicano.²

Una de las innovaciones del estudio de Gutierrez (2012) con respecto a la literatura existente es que cuenta con medidas de concentraciones de partículas suspendidas en la atmósfera para todo el territorio mexicano, obtenidas a partir de imágenes satelitales. En concreto, utiliza medidas de la Densidad Óptica de Aerosoles (Aerosol Optical Depth, AOD) a partir de las imágenes satelitales tomadas en días no nublados para todo el territorio mexicano desde 2001 hasta 2006. Dicha información fue obtenida del espectrómetro de formación de imágenes de resolución moderada (por sus siglas en inglés MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), el cual se encuentra a bordo del Satélite Terra y que pertenece al Centro de Información del Goddard Space Flight Center de la NASA (DAAC).

Los aerosoles son partículas líquidas y sólidas suspendidas en el aire. Las medidas de AOD se obtienen a partir de la distorsión observada de los rayos solares causada por la presencia de estas partículas en la atmósfera. Kumar *et al.* (2007), Chu *et al.* (2003) y Gupta *et al.* (2006) muestran que las medidas de AOD predicen de manera correcta los niveles de partículas suspendidas en el aire tomadas en tierra. Sin embargo, las medidas de AOD cuentan con una limitante: no permiten hacer una distinción entre cuáles contaminantes se encuentran en el aire.

El estudio de Gutierrez (2012) utiliza entonces la fecha de entrada en operación de las plantas de autoabastecimiento de energía eléctrica como la fuente de variación exógena en los niveles de contaminantes a nivel local, y la aprovecha para estimar el impacto de las concentraciones de partículas suspendidas en la mortalidad infantil.³ El resultado principal, al igual que el de los

2 Este porcentaje incluye la generación eléctrica realizada por las Productoras Independientes de Electricidad (PIE's).

3 Los municipios donde se instalan estas plantas de autoabastecimiento no son

estudios arriba mencionados, es que las concentraciones de partículas suspendidas tienen un impacto en las tasas de mortalidad infantil, y que éste es considerablemente mayor al de países desarrollados. La elasticidad en las tasas de mortalidad infantil con respecto a los niveles de partículas suspendidas estimada oscila entre 0.58 y 0.84. Pero, dado que las plantas de autoabastecimiento fueron abiertas en distintos municipios del país, la estrategia empírica permite analizar si los efectos adversos de la contaminación en la salud infantil varían de acuerdo con características socioeconómicas de los municipios donde los individuos viven. Los resultados sugieren que en contextos de niveles de ingreso y educación bajos, así como falta de acceso a servicios de salud, los efectos adversos de la contaminación en la salud infantil son considerablemente más grandes. En particular, parece que el acceso a los servicios de salud básicos es la variable que más mitiga los efectos de la concentración de partículas suspendidas en la mortalidad infantil.

Los resultados de todos estos estudios sugieren entonces que, efectivamente, los habitantes de países como México son mucho más vulnerables a los posibles efectos adversos que los contaminantes pueden tener en su salud, que los habitantes de países desarrollados. Si bien todos estos resultados sugieren que la expansión de los servicios de salud y el crecimiento económico (que se traduzca en un aumento del ingreso individual) pueden mitigar los efectos adversos de la contaminación en la salud, también sugieren que, en el corto plazo, los esfuerzos por reducir las concentraciones de contaminantes en estos contextos deben ser mayores.

comparables con aquellos donde no se instalaron. Por este motivo, el estudio restringe la muestra a municipios donde al menos una de estas plantas fue instalada y controla por cambios en el tiempo en los niveles de partículas suspendidas. Explota, entonces, el cambio discreto en los niveles de partículas suspendidas alrededor de la entrada en operación de las plantas.

	NO _x ¹	SO _x ²	COV ³	CO ⁴	PM ₁₀ ⁵	PM _{2.5} ⁶	CO ₂ ⁷
Generación de Energía Eléctrica	18.2	56.2	0.5	0.3	10.0	10.9	24
Vehículos Automotores	30.6	0.9	22.1	62.3	2.6	3.3	18

¹Óxidos de Nitrógeno. ²Óxidos de Sulfuro. ³Compuestos orgánicos volátiles. ⁴Monóxido de Carbono.

⁵Partículas de 10 micrómetros o menos. ⁶Partículas de 2.5 micrómetros o menos. ⁷Dióxido de Carbono.

* Porcentaje del total de emisiones a nivel nacional (excluyendo fuentes naturales).

Tabla 3.

Fuente: SEMARNAT e INE. Inventario Nacional de Emisiones e Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

LAS PARTÍCULAS SUSPENDIDAS Y LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO

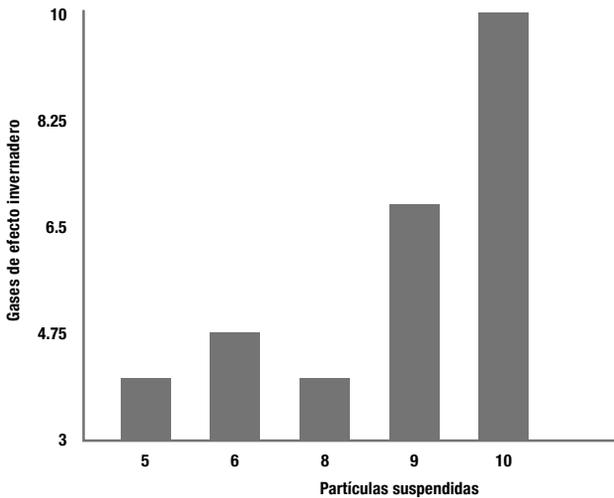
Los gases de efecto invernadero son los que contribuyen en mayor medida al calentamiento global. No obstante, la evidencia sobre los impactos de la contaminación en la salud es con respecto a otros contaminantes. ¿Por qué entonces esta evidencia constituye un argumento a favor de que los países en vías de desarrollo participen también en los esfuerzos por reducir el calentamiento global?

La generación de energía eléctrica y el transporte son los dos sectores que mayores emisiones de gases de efecto invernadero presentan en México y en el mundo. De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de México de 2002, la generación de energía contribuyó con el 24 por ciento de las emisiones totales de CO₂ del país, mientras que el transporte contribuyó con el 18 por ciento. La Tabla 3 muestra que la contribución de estos dos sectores a las emisiones de otros contaminantes es también muy alta. Por ejemplo, la generación de energía eléctrica contribuye con el 18.2 por ciento de las emisiones de óxido de nitrógeno y los vehículos automotores contribuyen con el 30.6 por ciento de las emisiones de este mismo contaminante a nivel nacional. La generación de energía eléctrica contribuye con el 10 por ciento de las emisiones de partículas y, aunque el transporte contribuye con un porcentaje menor, generalmente lo hace en zonas de alta densidad poblacional, magnificando los posibles impactos de estos contaminantes en la salud.

Particularmente en estos dos sectores, dos de las formas más evidentes de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero son a través de cambios en el tipo de combustible usado, y el uso de tecnologías más eficientes en el uso de combustibles. Ambas estrategias pueden disminuir significativamente tanto las emisiones de gases de efecto invernadero como de otros contaminantes.

Distintos combustibles están relacionados con diferentes niveles de emisiones. En particular, es reconocido que el gas natural con respecto a otros combustibles sólidos, como el carbón y el petróleo, emite niveles de gases de efecto invernadero y de partículas mucho menores. La combustión de gas natural produce óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono, pero en cantidades considerablemente menores que otros combustibles, como el carbón y los derivados del petróleo. Las emisiones de dióxido de sulfuro y mercurio son también muy pequeñas. En comparación con la combustión de carbón, el gas natural emite la mitad de dióxido de carbono, menos de un tercio de óxidos de nitrógeno, y uno por ciento de los óxidos de sulfuro que se emiten con la combustión de carbón (Environmental Protection Agency. Clean Energy: Natural Gas, 2012). Es entonces un combustible mucho más “limpio” en términos no solamente de sus emisiones de gases de efecto invernadero. Efectivamente, Cesur *et al.* (2012) muestra que la adopción de gas natural con respecto a otras alternativas para la generación de energía redujo considerablemente las concentraciones de contaminantes en la atmósfera en Turquía (y tuvo un impacto directo en la salud de sus habitantes).

Por otro lado, la eficiencia en el uso de combustibles es también una alternativa para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Mientras más eficiente sea el uso del combustible, menos de éste se utiliza y menos gases de efecto invernadero se emiten. Pero la eficiencia en el uso de combustibles también está altamente correlacionada con las emisiones de partículas. Es decir, un uso más eficiente de los combustibles reduce, al mismo



Gráfica 1. Desempeño ambiental de los automóviles medianos nuevos en California, EEUU. Ranking de Emisiones de Partículas y de Gases de Efecto Invernadero. (Fuente: Elaboración propia).

tiempo, las emisiones de gases de efecto invernadero y de partículas suspendidas.

Por ejemplo, la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) publica, para cada uno de los estados de ese país, dos rankings (del uno al diez) para todos los automóviles en circulación, que indican el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero y partículas suspendidas. Mientras mayor sea el ranking, menor es el nivel de emisiones. La Gráfica 1 muestra el promedio en el ranking de emisiones de gases de efecto invernadero con respecto al ranking obtenido en términos de emisiones de partículas para automóviles medianos nuevos en el estado de California.⁴ Es evidente que aquellos automóviles que emiten menores niveles de partículas suspendidas, también emiten, en promedio, menos gases de efecto invernadero (la correlación entre ambos rankings es 0.57).

⁴ Desafortunadamente, no existe un ranking de este tipo para el contexto mexicano.

El argumento se puede extender a otras tecnologías pero, dada la contribución de los vehículos automotores tanto a la emisión de gases de efecto invernadero como otros contaminantes, es evidente que políticas que incentiven el uso de vehículos eficientes en la utilización de combustibles, se pueden alcanzar considerables mejoras tanto en las emisiones de gases de efecto invernadero como en la salud de los individuos, por su impacto directo en las emisiones de otros contaminantes que afectan la salud.

Este trabajo no pretende defender la idea de que sólo aquellas acciones que afecten directamente al control de la emisión de partículas suspendidas deben ser las que países como México implementen para combatir la emisión de gases de efecto invernadero. Sin embargo, dada la evidencia, sí sugiere que políticas que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y, al mismo tiempo, los niveles de partículas suspendidas, pueden traer consigo beneficios importantes en la salud que por sí mismos justifiquen su implementación.

EL USO DE INSTRUMENTOS DE POLÍTICA EN CONTEXTOS DE DEBILIDAD INSTITUCIONAL Y ALTOS COSTOS DE MONITOREO⁵

Los países en vías de desarrollo enfrentan retos adicionales con respecto a los países desarrollados en términos del control efectivo de emisiones. La relativa falta de capacidad de monitoreo e implementación de la ley puede generar incentivos perversos a los distintos agentes que implican el incumplimiento de la regulación vigente. En particular, la baja demanda por un medio ambiente limpio resultado de los bajos niveles de ingreso y la falta de información, junto con la limitada capacidad de monitoreo y control de las emisiones por parte de las autoridades en estos

5 El contenido de esta sección está basado en el siguiente artículo: Foster, Andrew and Emilio Gutiérrez, "The Informational Role of Voluntary Certification: Evidence from the Mexican Clean Industry Program." *American Economic Review*, 103(3): 303-08.

contextos (Duflo *et al.*, 2013), pueden implicar que los costos del control de emisiones sean mayores.

En el contexto mexicano, destaca la evidencia con respecto al programa “*Hoy No Circula*”. Davis (2008) muestra que el diseño original del programa puesto en marcha en 1989 en la Ciudad de México generó incentivos perversos con respecto al tipo de automóvil que los individuos decidieron comprar, reduciendo su efectividad para controlar los niveles totales de emisiones. Oliva (2010) muestra también que el sistema de verificación vehicular de emisiones está sujeto a altos niveles de corrupción. El correcto diseño e implementación de la regulación ambiental parece entonces ser crucial para su efectividad en la reducción de emisiones.

Habiendo descrito entonces la importancia del control de emisiones de contaminantes en México, esta sección ejemplifica cómo, en un contexto de altos costos de monitoreo, los instrumentos de política disponibles existentes pueden ser adaptados para hacer más eficiente y menos costoso para las agencias reguladoras el control de emisiones. En particular, se centra en describir la interacción entre la información revelada por los programas de certificación voluntaria y el uso que hacen de ésta las agencias reguladoras.

El uso de la certificación voluntaria como un instrumento de política para regular el desempeño ambiental de las empresas en países desarrollados es común, y basa su eficacia en la respuesta de los mercados, en particular los consumidores, al comportamiento ambiental de las empresas. Las empresas tienen un incentivo directo a participar en un programa de certificación voluntaria porque pueden, entre otras cosas, vender sus productos a precios más altos. En contextos como el mexicano, la efectividad de estos programas no es tan clara, dados los bajos niveles de ingreso (es decir, baja demanda por productos “verdes”) y la baja capacidad reguladora del estado. Foster y Gutierrez (2012, 2013) investigan en qué medida, en México, un programa de certifica-

ción voluntaria revela información sobre las características de las empresas, sugiriendo que la interacción entre estos programas y la actividad reguladora del estado es crucial para entender su posible efectividad.

En un contexto en el que el comportamiento de las empresas en términos de emisiones fuera perfectamente observable, un programa de certificación voluntaria carecería de sentido. No obstante, los problemas de monitoreo, que son posiblemente más severos en los países en vías de desarrollo, sugieren que la existencia de estos programas puede también afectar el comportamiento de las agencias reguladoras y los mercados. Identificar que estos programas revelan información a los mercados y las agencias reguladoras tiene entonces importantes implicaciones para entender su efectividad.

El tipo de información que es revelada por estos programas depende de qué empresas participan en ellos. En particular, si el proceso de selección a programas de este tipo revela información sobre las empresas que participan, también lo hace indirectamente sobre aquellas que no lo hacen. Esta información puede entonces ser usada por las agencias reguladoras para mejorar sus políticas de inspecciones, afectando por ejemplo el comportamiento de las empresas que no se certifican.

En México, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) es la principal responsable del diseño e implementación de medidas de control de emisiones por parte de las empresas. PROFEPA, por un lado, realiza inspecciones a las empresas con el fin de determinar si cumplen con la legislación vigente en términos de emisiones. Estas inspecciones son aleatorias y realizadas más frecuentemente en sectores industriales que la misma PROFEPA identifica como de “alto riesgo”, así como a empresas más grandes. En caso de que el resultado de la inspección sea insatisfactorio, las empresas generalmente enfrentan el pago de una multa.

Desde 1994, PROFEPA introdujo un programa de certificación voluntaria: el Programa de Industria Limpia (también conocido como el Programa Nacional de Auditoría Ambiental). Para participar en el programa, las empresas deben pagar por una auditoría ambiental por parte de una empresa independiente, certificada por PROFEPA, con el fin de determinar las acciones necesarias para que la empresa cumpla con la regulación ambiental vigente. El resultado de dicha auditoría generalmente condiciona la certificación a la realización de acciones específicas de control de emisiones dentro de la empresa. Una vez que la empresa satisface las recomendaciones de los auditores externos, PROFEPA le otorga un “*Certificado de Industria Limpia*” que, en particular, exenta a dicha empresa de ser sujeta a inspecciones por al menos dos años.

Foster y Gutierrez (2012) desarrollan un modelo de regulación ambiental que integra el comportamiento de las empresas y la agencia reguladora basado y probado empíricamente en el contexto del Programa de Industria Limpia. El modelo supone que las empresas tienen tres opciones: cumplir con la legislación vigente en términos de emisiones sin obtener un certificado; obtener un Certificado de Industria Limpia, en cuyo caso cumplen también con la legislación; y no cumplir con la legislación. Cada una de estas opciones tiene un costo distinto para cada empresa, que depende de su sector industrial y de otras características específicas de cada una, generalmente no observables directamente por la agencia reguladora. Cada empresa elige la opción que menor costo implica. Por su parte, la autoridad reguladora no observa el costo de cumplir con la legislación para cada empresa en particular, pero conoce el costo promedio que enfrenta cada sector industrial para cumplir con la misma. El modelo supone, sin embargo, que la autoridad reguladora conoce la distribución de los costos no observables entre empresas dentro de cada sector, y que esta distribución es la misma entre sectores.

Los costos (netos de los beneficios potenciales) de obtener un Certificado de Industria Limpia tampoco son observables en los

datos. Pueden diferir entre empresas por posibles beneficios en términos de su capacidad para promocionarse como “industrias limpias”, la exención de ser sujeto a inspecciones y la necesidad de hacer inversiones en tecnología para cumplir con la legislación.

Por este motivo, el modelo supone entonces que los costos de certificación son una función lineal de los dos componentes que determinan los costos de cumplimiento con la legislación sin estar certificado (el costo promedio a nivel industria multiplicado por un factor fijo, más el costo individual, no observado, multiplicado por otro factor constante). Finalmente, los costos de no cumplir con la legislación son simplemente la multa esperada dada la probabilidad que enfrenta cada empresa de ser sujeta a una inspección.

En ausencia del programa de certificación, sólo las empresas con menores costos de cumplimiento satisfarán la legislación vigente. La agencia reguladora, dado que conoce los costos promedio de cumplir con la legislación, asigna una probabilidad de ser sujeto a una inspección a cada sector con base en esta información e impone entonces una probabilidad de inspección más alta en aquellos sectores con un costo de cumplimiento más alto.

En presencia del programa de Industria Limpia existen tres posibles escenarios: que sean las empresas con los menores costos de cumplimiento dentro de cada sector, con costos intermedios de cumplimiento dentro de cada sector, o las empresas con los costos más altos de cumplimiento dentro de cada sector las que decidan participar en el programa de certificación voluntaria.

Determinar cuál de los tres escenarios es el vigente es importante para identificar qué tipo de información revela el programa de certificación. Si las empresas certificadas son aquellas con mayores costos de cumplimiento, la autoridad reguladora tiene incentivos a disminuir la frecuencia con que inspecciona a las empresas no certificadas en ese sector, pues sabe que, en promedio, las empresas no certificadas, en ausencia de una política de inspecciones, son las más propensas a cumplir con la legisla-

ción vigente dentro de dicho sector industrial. Foster y Gutierrez (2012, 2013) presentan estadísticas a nivel de sector industrial con respecto a la frecuencia con que la PROFEPA inspecciona a empresas y la tasa de incumplimiento en cada sector industrial antes y después de la entrada en vigor del Programa de Industria Limpia, así como tasas de certificación por sector industrial.

Las relaciones encontradas en los datos entre todas estas variables son las siguientes: 1) las tasas de incumplimiento antes (y después) de la entrada en vigor del programa no están correlacionadas con las tasas de inspección; 2) los sectores que enfrentan las tasas de inspección más altas antes de la entrada en vigor del programa son también los que muestran mayores tasas de participación en el mismo; y 3) la intensidad de las inspecciones en los sectores con mayores niveles de certificación creció en mayor medida que en aquellos sectores donde las tasas de inspección son menores.

De acuerdo con la estructura del modelo, estas relaciones sugieren varios puntos. Primero, las empresas con menores costos de cumplimiento dentro de cada sector son las que participan en el programa de Industria Limpia. En segundo lugar, por medio del proceso de certificación, estas empresas revelan indirectamente a la autoridad reguladora información sobre empresas similares (en el mismo sector industrial) no certificadas. En particular, la autoridad reguladora aprende que, en promedio, los costos de cumplir con la regulación ambiental entre las empresas no certificadas son mayores que entre el total de empresas certificadas en cada sector, y que esta diferencia es mayor mientras mayor sea el nivel de certificación en cada sector industrial. Finalmente, como resultado, la autoridad reguladora utiliza esta información imponiendo tasas de inspección mayores a las empresas no certificadas en sectores con mayores grados de certificación.⁶

6 Vale la pena destacar que la evidencia sugiere importantes impactos de este programa en las tasas de mortalidad infantil en México (Foster *et al.*, 2009).

Los resultados de este estudio sugieren que los impactos de programas de certificación voluntaria están directamente ligados con el tipo de información que revelan. Evidencian también que programas como el de Industria Limpia pueden representar una herramienta de política útil para reducir las emisiones en contextos de países en vías de desarrollo, donde el proceso de inspección es costoso. Asignando el costo de las auditorías a las empresas y permitiéndoles disfrutar de beneficios tangibles, la agencia reguladora puede enfocar sus recursos destinados a inspecciones más eficientemente y conseguir niveles de cumplimiento más altos.

Medir el impacto total del programa en los niveles de emisiones no es una tarea fácil, pues requiere de calcular también en la reducción de emisiones por parte de las empresas certificadas, pero también el impacto indirecto de estos programas a través del cambio en la política de inspección por parte de la autoridad reguladora. Sin embargo, de acuerdo con los resultados del estudio mencionado, un aumento en diez por ciento en los niveles de certificación implicaría una reducción en las concentraciones de partículas suspendidas de 4.5 por ciento.

CONCLUSIONES

Las contribuciones de México a las emisiones de gases de efecto invernadero no son tan importantes como las de países desarrollados u otros países en vías de desarrollo. Sin embargo, la evidencia sobre los efectos adversos que las concentraciones de partículas suspendidas tienen en la salud de los individuos sugiere que estos no sólo son importantes, sino más grandes en México que en países desarrollados, como muestra la *Tabla 2*. Los costos de combatir las emisiones de gases de efecto invernadero en el corto plazo deben contrastarse con los beneficios potenciales en términos de salud que pueden traer consigo. A pesar de que los contaminantes responsables del calentamiento global no son los

mismos que afectan directamente los niveles de salud, el diseño de políticas que incentiven el uso de combustibles más limpios o tecnologías más eficientes, por ejemplo, puede tener como resultado una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero y de partículas suspendidas.

La debilidad institucional en los países en vías de desarrollo también sugiere que los costos potenciales para la correcta implementación de las políticas de regulación ambiental son altos. Sin embargo, como se ejemplifica en este capítulo, los instrumentos de política disponibles en contextos de países desarrollados, como los programas de certificación voluntaria, pueden adaptarse a escenarios que permitan aprovechar la información revelada por los mismos y eficientar las políticas de control de emisiones en los países en vías de desarrollo, con el consiguiente efecto en las tasas de mortalidad infantil.

BIBLIOGRAFÍA

- ARCEO-GOMEZ, E. O., HANNA, R., Y OLIVA, P. 2012. "Does the Effect of Pollution on Infant Mortality Differ Between Developing and Developed Countries? Evidence from Mexico City". Working Paper, no. w18349. National Bureau of Economic Research.
- BHARADWAJ, P., EBERHARD, J. 2008. Atmospheric Air Pollution and Birth Weight. Disponible en: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1197443
- CESUR, R., TEKIN, E., ULKER, A. 2013. "Air pollution and infant mortality: Evidence from the expansion of natural gas infrastructure". Working Paper, no. w18736: National Bureau of Economic Research.
- CHAY, K. Y., GREENSTONE, M. 2003. "The impact of air pollution on infant mortality: evidence from geographic variation in pollution shocks induced by a recession". *The quarterly journal of economics*, no. 118(3): 1121-1167.

- _____. 2003. "Air quality, infant mortality, and the Clean Air Act of 1970". Working Paper, no. w10053. National Bureau of Economic Research.
- CHU, D. A. 2006. Analysis of the relationship between MODIS aerosol optical depth and PM_{2.5} in the summertime US. Optics and Photonics. International Society for Optics and Photonics: 629903-629903.
- _____, KAUFMAN, Y. J., ZIBORDI, G., CHERN, J. D., MAO, J., LI, C., HOLBEN, B. N. 2003. "Global monitoring of air pollution over land from the Earth Observing System—Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)". Journal of Geophysical Research: Atmospheres, no. 108(D21).
- CURRIE, J., Y NEIDELL, M. 2005. "Air Pollution and Infant Health: What Can We Learn from California's Recent Experience?". The Quarterly Journal of Economics, no. 120(3): 1003-1030.
- _____, Y WALKER, R. 2011. "Traffic Congestion and Infant Health: Evidence from E-ZPass". American Economic Journal: Applied Economics, no. 3(1): 65-90.
- DAVIS, L. W. 2008. "The effect of driving restrictions on air quality in Mexico City". Journal of Political Economy, no. 116(1): 38-81.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2012. "Clean Energy: Natural Gas". Disponible en: <https://www.epa.gov/energy>
- FOSTER, A., Y GUTIERREZ, E. 2012. Direct and Indirect Effects of Voluntary Certification: Evidence from the Mexican Clean Industry Program. Mimeo.
- DUFLO, E., GREENSTONE, M., PANDE, R., Y RYAN, N. 2012. Truth-telling by Third-party Auditors and the Response of Polluting Firms: Experimental Evidence from India. Mimeo.
- _____. 2012. "What Does Reputation Buy? Differentiation in a Market for Third-Party Auditors". American Economic Review, no. 103(3): 314-319
- FOSTER, A., GUTIERREZ, E. 2013. "The Informational Role of Voluntary Certification: Evidence from the Mexican Clean Industry Program". American Economic Review, no. 103(3): 303-308.

- _____, Y KUMAR, N. 2009. "Voluntary Compliance, Pollution Levels, and Infant Mortality in Mexico". *The American Economic Review*, no. 99(2): 191-197.
- GUPTA, P., CHRISTOPHER, S. A., WANG, J., GEHRIG, R., LEE, Y. C., Y KUMAR, N. 2006. "Satellite remote sensing of particulate matter and air quality assessment over global cities". *Atmospheric Environment*, no. 40(30): 5880-5892.
- GUTIERREZ, E. 2010. "Using satellite imagery to measure the relationship between air quality and infant mortality: an empirical study for Mexico". *Population and Environment*, no. 31(4): 203-222.
- _____. 2013. "Air Quality and Infant Mortality in Mexico: Evidence from Variation in Pollution Levels Caused by the Usage of Small-Scale Power Plants". ITAM working paper, no. 1301. ITAM: Centro de Investigación Económica.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO 2002. *Inventario Nacional de Emisiones de Efecto Invernadero 1999-2002*. México.
- JAYACHANDRAN, S. 2009. "Air Quality and Early-Life Mortality Evidence from Indonesia's Wildfires". *Journal of Human Resources*, no. 44(4): 916-954.
- KUMAR, N., CHU, A., Y FOSTER, A. 2007. "An empirical relationship between PM 2.5 and aerosol optical depth in Delhi Metropolitan". *Atmospheric Environment*, no. 41(21): 4492-4503.
- OLIVA, P. 2010. *Environmental regulations and corruption: Automobile emissions in Mexico City*. Manuscript. Santa Barbara. University of California.
- POPE III, C. A., SCHWARTZ, J., Y RANSOM, M. R. 1992. "Daily mortality and PM10 pollution in Utah Valley. *Archives of Environmental Health*". *An International Journal*, no. 47(3): 211-217.
- SALDIVA, P. H., LICHTENFELS, A. J. F. C., PAIVA, P. S. O., BARONE, I. A., MARTINS, M. A., MASSAD, E., Y BOHM, G. M. 1994. "Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report". *Environmental Research*, no. 65(2): 218-225.

- SCHWARTZ, J. 2000. "Harvesting and long term exposure effects in the relation between air pollution and mortality". *American journal of epidemiology*, no. 151(5): 440-448.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT) E INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (INE). 2006. *Inventario Nacional de Emisiones 1999*. SyG editores S.A. de C.V. México.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT) E INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. 2006. *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002*. SyG editores S.A. de C.V. México.
- TANAKA, S. 2010. "Environmental Regulations in China and their impact on air pollution and infant mortality". *Job Market Paper*. Boston University. Disponible en: http://bellarmine2.lmu.edu/economics/papers/TANAKA_JMP.pdf.

Impactos socioeconómicos del cambio climático en México

Versión electrónica

Octubre de 2019

En su formación se utilizó la tipografía
Scala Offc Pro y su variante Scala Sans Offc.

IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

Las consecuencias sociales y económicas de recientes catástrofes naturales en distintas partes del planeta han evidenciado la necesidad de introducir consideraciones relacionadas con una gestión exitosa en contra de las catástrofes naturales como parte de la agenda global de combate a la pobreza. En paralelo, si bien existe incertidumbre respecto a impactos y escenarios específicos, existe un consenso generalizado que el cambio climático traerá consigo mayor variabilidad climática, derivando en amenazas naturales de mayor intensidad, tales como los huracanes e inundaciones.

México no puede ser indiferente a las tendencias anteriores. Sus costas son destino y cruce de huracanes y tormentas tropicales que se originan en el Mar Caribe y los océanos Atlántico y Pacífico. Asimismo, la sequía es un fenómeno recurrente que se extiende a lo largo de los trópicos semiáridos del país. Comprender entonces las consecuencias sociales y económicas del cambio climático y las catástrofes naturales sobre nuestro país se impone como una tarea de primer orden.

El presente trabajo es una compilación de estudios que buscan atender precisamente esta necesidad, es decir, comprender los impactos sociales del cambio climático y los riesgos climáticos en México. En el libro se abordan tópicos de muy diversa índole tales como las catástrofes naturales y su relación con la pobreza, las huellas del urbanismo, y las políticas públicas sobre el calentamiento global. Se busca también ilustrar las consecuencias del cambio climático y proponer alternativas de solución. Si bien el cambio climático y algunos riesgos naturales asociados constituyen los hilos conductores de este libro; cada estudio es independiente y, por tanto, puede ser consultado sin seguir un orden específico.

Los estudios contenidos en este volumen fueron realizados por investigadores del Banco Mundial, así como por académicos de diversas universidades mexicanas provenientes de distintos campos del conocimiento, como la economía, la geografía, las ciencias atmosféricas y las políticas públicas.

Esperamos que el presente volumen abone ideas para la generación e integración exitosa de esfuerzos públicos y privados en la gestión del cambio climático y del riesgo de desastres naturales en México.

