

Efectos del cambio climático  
en los recursos hídricos en México · Vol. IV



Divulgación

# Adaptación al cambio climático

Editores:

• Polioptro F. Martínez Austria • Carlos Patiño Gómez





Efectos del cambio climático en los recursos hídricos en México.  
Volumen IV

# Adaptación al cambio climático

2012





Efectos del cambio climático en los recursos hídricos en México.

Volumen IV

# Adaptación al cambio climático

**Editores**

**Polioptro F. Martínez Austria**

**Carlos Patiño Gómez**

577.22072	Martínez Austria, Polioptro F. (editor)
M33	Adaptación al cambio climático: efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México: volumen IV / editado por Polioptro F. Martínez Austria y Carlos Patiño. Gómez. -- Jiutepec, Mor. : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, ©2012. 120 p. ISBN: 978-607-7563-55-6
	1. Cambio climático 2. Efectos del clima 3. Recursos hídricos 4. México

### **Coordinación editorial**

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Coordinación de Hidráulica

### **Cuidado de edición y diseño**

Coordinación de Comunicación, Participación e  
Información  
Subcoordinación de Vinculación, Comercialización  
y Servicios Editoriales

Primera edición 2012

D.R. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Paseo Cuahunáhuac 8532,  
Progreso, Jiutepec, Morelos  
CP 62550  
MÉXICO

ISBN: 978-607-7563-55-6

Impreso en México/*Printed in Mexico*

# CONTENIDO

<b>Prólogo</b> <i>Poliopiro F. Martínez Austria</i>	7
<b>Gobernanza en el sector hídrico. Políticas públicas y propuestas de adaptación en el sector social</b> <i>Gerardo Torres Salcido</i>	9
<b>Adaptación en la calidad del agua ante el cambio climático</b> <i>Gabriela E. Moeller Chávez</i> <i>Norma Ramírez Salinas</i> <i>Camilo Vázquez Bustos</i>	27
<b>Identificación y evaluación de medidas de adaptación en el sector hídrico</b> <i>Carlos Patiño Gómez</i> <i>Norma Ivette Reza García</i>	47
<b>Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático</b> <i>Waldo Ojeda Bustamante</i> <i>Ernesto Sifuentes Ibarra</i> <i>Abraham Rojano Aguilar</i> <i>Mauro Íñiguez Covarrubias</i>	71



# PRÓLOGO

**E**l cambio climático ha sido reconocido como uno de los retos principales que enfrentará la humanidad en el presente siglo. Previsiblemente afectará cada uno de los diferentes aspectos de la vida humana, tanto en lo particular como en lo social. Se espera que sus principales afectaciones se manifiesten en, o a través de, los recursos hídricos del planeta, entre las más evidentes: el derretimiento de los glaciares, la disminución de las precipitaciones en regiones áridas y semiáridas, la disminución de la productividad agrícola en zonas irrigadas, la menor recarga de los acuíferos, el aumento en intensidad y frecuencia de los fenómenos hidrometeorológicos extremos y de sus riesgos correspondientes, la intrusión salina en acuíferos costeros y el incremento de la vulnerabilidad en deltas costeros.

La investigación en cambio climático, a pesar de su importancia, no ha hecho sino empezar. Así, los primeros trabajos se concentraron en la elaboración de inventarios de gases de invernadero y en el desarrollo de modelos climáticos globales con los cuales es posible elaborar escenarios del clima futuro. Posteriormente, se iniciaron estudios acerca de la vulnerabilidad global y, más recientemente, de las regionales y las locales. Ello ha permitido determinar con mayor precisión los efectos previsibles de este fenómeno. La siguiente etapa, ahora más urgente cuando ya se dejan sentir los primeros efectos del cambio climático global, corresponde al diseño de medidas de adaptación.

Con base en estudios de vulnerabilidad realizados durante los últimos años, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua plantea en el presente libro una serie de recomendaciones, relacionadas con diversas medidas de adaptación ante el cambio climático, descritas en cuatro capítulos: Gobernanza en el sector hídrico. Políticas públicas y propuestas de adaptación en el sector social, Adaptación en la calidad del agua ante el cambio climático, Identificación y evaluación de medidas de adaptación en el sector hídrico, y Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático.

En el aspecto social, los estudios existentes sobre este sector han conferido, en lo general, un valor a las actividades que se desarrollan desde una perspectiva local y, a partir de ello, se ha generado una serie de propuestas de política pública ante el cambio climático. En este capítulo se aborda una hipótesis crítica elaborada a partir del estudio de los Sistemas Agroalimentarios Localizados (SIAL) como alternativas para paliar la pobreza rural y la inseguridad alimentaria.

En cuanto a la calidad del agua se refiere, se proponen medidas de adaptación enfocadas principalmente a los centros urbanos, ya que es ahí donde se considera habrá un mayor impacto para los seres humanos.


El presente texto es sin duda apenas un primer esfuerzo en el diseño de las necesarias medidas de adaptación al cambio climático en el sector hídrico de México que, esperamos, originen y estimulen una mayor participación de científicos, técnicos, tomadores de decisiones y constructores de políticas públicas en la búsqueda de soluciones a esta importante problemática que afectará a nuestro país en las próximas décadas y cuyos primeros efectos son ya evidentes.

*Polioproto F. Martínez Austria*









# GOBERNANZA EN EL SECTOR HÍDRICO. POLÍTICAS PÚBLICAS Y PROPUESTAS DE ADAPTACIÓN EN EL SECTOR SOCIAL

GERARDO TORRES SALCIDO

## INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más importantes que se plantean al abordar los procesos de adaptación en el sector hídrico frente al cambio climático es, sin duda, la gestión del agua en la agricultura y en la transformación de los alimentos. Según las estimaciones oficiales el 77% del agua extraída del subsuelo se dedica a usos agrícolas, lo que hace de México un país relativamente ineficiente en este rubro, pues España dedica el 68%; Brasil el 62%; Estados Unidos de América el 41% y Francia sólo el 10% (CONAGUA, 2011).

Algo semejante ocurre con el agua superficial empleada en la agricultura. Esta situación es relevante en nuestro país, ya que, por su situación geográfica es particularmente vulnerable al cambio climático. No obstante, las manifestaciones del cambio climático no afectan por igual a todas las regiones ni a los grupos humanos. La desigualdad en la distribución de los recursos hídricos se manifiesta en el hecho de que la mayor parte de la población, y por tanto, las actividades económicas, se concentran en la región centro-norte del país en donde la escasez del recurso es notable en los últimos años, lo que provoca conflictos y competencias entre diversos tipos de agricultura, entre el campo y la ciudad, y entre las mismas comunidades.

Todo lo anterior plantea la necesidad de abordar los problemas del cambio climático desde alternativas tecnológicas, organizativas e institucionales que fortalezcan los procesos de coordinación de la gestión del agua.

El enfoque adoptado en este capítulo es que los recursos hídricos superficiales y subterráneos son un bien común sujeto a reglas y convenciones (Ostrom, 2000) que determinan la acción colectiva como las reuniones o asambleas para fijar objetivos comunes, la autorregulación, la vigilancia de los recursos y las

sanciones implícitas o explícitas a los infractores en el marco de instituciones formales o informales.

Los resultados de algunas investigaciones (Carabias, 2005; Landa, 2008) han hecho referencia a experiencias en las que el agua ha sido y sigue siendo un recurso común desde la perspectiva local; así como los saberes que se han construido para elaborar acuerdos sobre dicho recurso. Muchas de las formas de organización social descritas en esas investigaciones pertenecen al llamado Sector Social de la Economía (SSE) relacionado básicamente con las comunidades y los ejidos.

Se reconoce, sin embargo, que la Ley de Aguas Nacionales (LAN) establece la necesidad de la gestión integral de los recursos hídricos e incorpora, así sea limitadamente, la participación social (DOF, 1992).

A diferencia de los estudios señalados anteriormente, en este capítulo se adopta una visión crítica pero empática de la gestión en las comunidades rurales derivada de la descripción de algunos casos en el occidente, centro y oriente de México que muestran las dificultades para generar acuerdos en los contextos locales. Los problemas de coordinación, las dificultades de la gestión, la escasa rendición de cuentas y los



Esos mismos estudios han llamado la atención sobre los problemas de gestión como producto de la reconversión de los cultivos agrícolas, la apropiación del recurso por parte de las grandes empresas, la presión urbana sobre las localidades rurales y la emigración. Estas investigaciones critican la visión dominante de las políticas públicas que ignoran la complejidad del cambio climático y la relación eco-social de los sistemas.

Se atribuye a dicha visión, la exclusión de las instituciones locales de manejo del agua, lo que ha tenido como consecuencia la intensificación de conflictos o la aparición de nuevos problemas sociales.

obstáculos para implementar una nueva cultura del agua que valore el recurso por sus aportaciones económicas, sociales y ambientales, se encuentran presentes, aunque en honor a la verdad no son exclusivos de las áreas rurales (Montero *et al.*, 2009).

En este capítulo se expondrán algunos casos que pueden ubicarse en lo que se denomina el SSE, entendido en un sentido amplio, como las formas de organización social de producción, distribución y consumo de bienes y servicios. La hipótesis de que el Sector Social puede representar una alternativa organizativa e institucional para disminuir la vulnerabilidad frente al cambio climático, es factible,



pero enfrenta varios retos entre los cuales pueden ser mencionados los siguientes:

- Las zonas en las que se encuentra una mayor densidad económica del sector social son las más expuestas a los eventos hidrometeorológicos extremos.
- Estas zonas coinciden con las localidades en las que la intensidad de la pobreza es mayor. La pobreza extrema es más aguda en las regiones del sur-sureste del país y la exposición al desastre puede provocar una profundización de la pobreza extrema; asimismo, puede afectar más ampliamente a mujeres, a niños y personas mayores.
- Los eventos hidrometeorológicos intensos afectan a los sistemas campesinos y de producción local de alimentos, por lo que inciden en la inseguridad alimentaria y provocan procesos de entropía en las organizaciones, por el desaliento, la emigración y la dependencia de los programas de asistencia alimentaria.

Lo anterior plantea un dilema a las políticas y programas públicos de combate a la pobreza: apoyar para activar al SSE o persistir en políticas de atención asistencial que tienden a reforzarse después de eventos extremos que afectan a la población de una manera puramente reactiva.

Una de las probables salidas a este dilema coincide con el desarrollo, afianzamiento y consolidación de inteligencias territoriales, entendidas como la construcción de lazos de confianza, reciprocidad y solidaridad; es decir, de capital social que garanticen la difusión de formas de aprendizaje y de resiliencia frente a los desastres (Adger, W. Neil 2003). Otra salida, que presupone la construcción y consolidación del capital social, consiste en el desarrollo de Sistemas Agroalimentarios Localizados (SIAL) que sintetizan la vinculación de la acción colectiva con las características territoriales de los alimentos ligados a la cultura y el territorio. Diseñar e implementar políticas públicas de apoyo a estos sistemas posibilita una valorización y activación de

los recursos territoriales mediante la construcción y fortalecimiento de empresas agrupadas en torno a uno o varios productos que pueden ser característicos de una región. Lo anterior, implica construir capacidades para salvaguardar la seguridad alimentaria y acceder a los mercados en distintos niveles (dependiendo de las capacidades de esos sistemas). Para analizar y reflexionar sobre estas alternativas se propone estructurar este capítulo en cuatro partes:

- Relaciones entre la pobreza y el cambio climático, así como entre las políticas implementadas para atacar las carencias. Se ubica al SSE en el ámbito de la pobreza, porque la gran mayoría de las empresas ligadas a dicho sector surgen en territorios marginados, aunque se sabe que no necesariamente todas las empresas sociales coinciden con la situación de pobreza.
- Políticas públicas y la gobernanza del recurso hídrico. Se analizan y discuten dichos conceptos y algunas leyes como la de Aguas Nacionales.
- Exposición de resultados de una investigación realizada en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) sobre los SIAL llevada a cabo entre 2008 y 2011. Aunque dicha investigación no tuvo por objetivo estudiar específicamente la gestión del recurso hídrico, es posible encontrar elementos que contribuyen a comprender los conflictos sobre el agua en las localidades rurales; la influencia de las instituciones locales; el papel de la cohesión social y la innovación tecnológica y organizativa; en fin, es posible describir y analizar el papel de la coordinación de la acción colectiva con instancias gubernamentales y académicas para fortalecer la gestión del recurso.
- Reflexiones y propuestas. Aquí se debate sobre los mecanismos que se requieren para incrementar la resiliencia del llamado sector social ante los usos del agua en una situación de cambio climático.



## CAMBIO CLIMÁTICO, SECTOR SOCIAL Y POBREZA EN MÉXICO

Para entender las relaciones del cambio climático, el sector social y la pobreza en México es necesario precisar lo que se entiende por cambio climático y vincularlo con los efectos que podría tener en la agricultura, pero sobre todo en las localidades caracterizadas por la pobreza y el rezago social, ubicadas casi todas ellas en las zonas rurales.

Mucho se ha señalado, desde las experiencias y conocimiento de las ciencias, acerca de los métodos para determinar el cambio de temperatura a nivel global y sus efectos en las diferentes áreas geográficas, sobre todo en las costas y en las regiones cercanas a los trópicos.

A partir de los hallazgos de las ciencias meteorológicas se ha establecido que el cambio climático global es la elevación global de la temperatura como producto del incremento de gases de efecto invernadero (GEI). La acumulación de éstos en la atmósfera impide la liberación al espacio exterior del exceso de energía solar atrapada por la Tierra. El incremento de los GEI puede tener su origen en causas naturales o antropógenas.

El interés científico sobre el cambio climático parte de la tesis de que las actividades humanas como

la quema de combustibles, las prácticas agrícola e industrial y la generación de desechos, entre las más importantes, han contribuido a la elevación en  $0.6^{\circ}$  C de la temperatura en el planeta durante el siglo pasado. Se espera que para el año 2100 registrará incrementos de entre  $1.4$  y  $5.8^{\circ}$  centígrados.

Una elevación de la temperatura bajo este último escenario sería catastrófica para el equilibrio de la compleja interacción entre la atmósfera, los océanos, los hielos y las diversas formas de vida en el planeta. Durante varias décadas (Conde, 2006), serán determinantes en la dinámica del clima las acciones de mitigación y adaptación de las actividades humanas que liberan grandes cantidades de gases de efecto invernadero: bióxido de carbono, metano y óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre.

La visión científica ha adoptado un enfoque del problema que ha permitido elaborar una serie de conceptos que ayudan a caracterizar la forma en que los sistemas y subsistemas pueden quedar expuestos a fenómenos meteorológicos extremos, así como su sensibilidad y su capacidad de adaptación.

Por medio del conocimiento de la dinámica sistémica se ha logrado conocer cómo pueden omitir una reacción ante el cambio, o bien, emprender una reestructuración para restaurar el equilibrio. El grado de omisión que el sistema presente, será su rango de



vulnerabilidad así como las acciones de adaptación se traducirán en su grado de resiliencia.

Aún existe una discusión muy amplia sobre los efectos de la acción antropógena en el desequilibrio de los sistemas y su resiliencia. Para zanjar este debate, existen instituciones que tienen la responsabilidad de medir los cambios climáticos a partir de las regularidades observadas en rangos temporales muy amplios -al menos de treinta años-, como los observatorios meteorológicos nacionales y científicos independientes, quienes desde los años 60 y 70 del siglo XX alertaron sobre la concentración creciente de carbono en la atmósfera.

Las denuncias de los observatorios y científicos dieron lugar en 1988 al Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés); en 1992 se firmó el Convenio Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) consensuado en el marco de la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo, también llamada Cumbre para la Tierra, realizada en Río de Janeiro, Brasil, y en 1997 se formuló el Protocolo de Kyoto, considerado una extensión jurídicamente vinculante del UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, (UNFCCC, 2011), que entró en vigor en 2005 no obstante que fue hasta 2010 en que se negociaron

las obligaciones de los estados durante las sucesivas Conferencias de las Partes (COP), cuya edición 16 se llevó a cabo en Cancún, México.

La presión que supone el cambio climático sobre los recursos hídricos se manifiesta en una elevación de la temperatura que afecta desigualmente a las regiones de México que, por su situación geográfica, es particularmente vulnerable a las modificaciones del clima: sequías más fuertes y prolongadas en grandes extensiones de la mesa del norte; lluvias más intensas, inundaciones y huracanes más frecuentes en el centro y sur del país que afectan la agricultura de temporal, disminuyen los rendimientos y aumentan los costos de financiamiento y seguros contra desastres.

A lo anterior se añaden otras acciones humanas como la competencia por los recursos, la contaminación de cuerpos de agua superficiales por el vertido de aguas residuales, la salinización por exceso de fertilizantes, así como por la deforestación o el cambio de uso del suelo agrícola, acciones que tienen y tendrán, de acuerdo a diversos escenarios de aumento de la temperatura, graves efectos en la agricultura y en las condiciones de vida urbana, para no mencionar las pérdidas relativas que, como proporción del Producto Interno Bruto (PIB), han empezado a observarse (Galindo, 2009; SEMARNAT, 2009).



Cabe señalar que el paradigma naturalista, que ve en el cambio climático el origen de los desastres provocados por fenómenos hidrológicos extremos, ha mostrado limitaciones graves para explicar los efectos que dichos fenómenos causan en la sociedad. Ese paradigma no explica el grado desigual de afectación, tanto entre países como entre regiones y grupos socioeconómicos, ante fenómenos semejantes o de idéntica naturaleza. Por ello, es preciso atender la emergencia del pensamiento complejo, que enfatiza la interacción del sistema climático, la organización social y la red de instituciones que pueden propiciar acciones de mitigación y adaptación.

El paradigma emergente de carácter ecosocial integra a instituciones locales, redes sociales, vínculos, convenciones y organizaciones de gestión del agua, como un bien común en ámbitos espaciales. Esto último tendrá implicaciones sobre el conocimiento y la gestión del recurso que bien valdrían el esfuerzo de ser analizadas desde la perspectiva de las políticas públicas.

La implementación de políticas cuyo objetivo sea garantizar la efectividad de las acciones de mitigación y adaptación requerirá, desde ese paradigma emergente, de todas aquellas prácticas que incluyan la acción de los sujetos, ya sea en la elaboración de propuestas específicas o en la aplicación de procesos de enseñanza y aprendizaje colectivos. En este sentido, son pertinentes las políticas públicas dirigidas al SSE de nuestro país. El artículo 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece de manera amplia e inclusiva que dicho sector se refiere a “...los ejidos, organizaciones de trabajadores, cooperativas, comunidades, empresas que pertenezcan mayoritaria o exclusivamente a los trabajadores y, en general, de todas las formas de organización social para la producción, distribución y consumo de bienes y servicios socialmente necesarios” (Cámara de Diputados, 2011).

En este capítulo se reconoce que el sector social se caracteriza por aportar soluciones dinámicas e innovadoras a los problemas del desempleo, la pobreza y la exclusión social. Las empresas sociales, a diferencia de las empresas privadas, no persiguen

la utilidad sino el beneficio para el mayor número posible de productores, para los consumidores y para el medio ambiente. En general, estas empresas se encuentran ligadas a los contextos locales y regionales, lo que les da un sentido de pequeña escala y de proximidad.

Orientadas por las necesidades de acceso a los recursos hídricos para su desarrollo, las empresas sociales se enfrentan al grave dilema de la gestión del recurso y la competencia, en muchos casos, con la empresa privada en condiciones inequitativas.

Los impactos del cambio climático en el SSE han sido abordados por múltiples investigaciones que han advertido sobre la disminución de los rendimientos en las zonas agrícolas tropicales y subtropicales, con resultados negativos sobre la seguridad alimentaria, por lo que es necesario actuar en dos frentes: el acceso a los alimentos, por un lado y en la producción bajo perspectivas sustentables, por el otro. (Gregory, 2005; Schmidhuber, 2007). De no actuar inmediatamente se prevé que, a pesar de las medidas de mitigación que puedan adoptarse ahora, la población con hambre crecerá, bajo diversos escenarios, entre un 25 y un 60% para el año 2050.

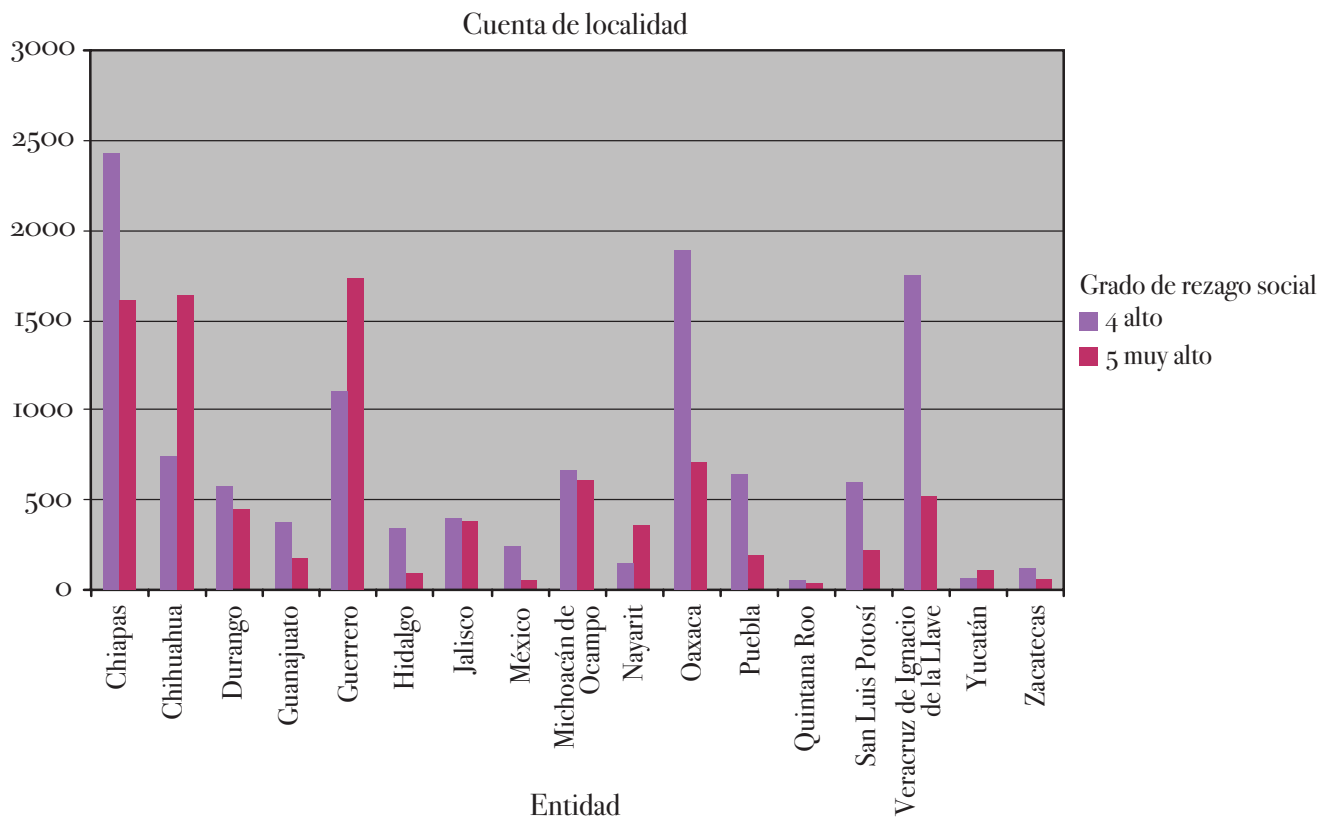
Los resultados más recientes de la medición de la pobreza en México, dados a conocer por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política Social (Coneval), nos dicen que desde el 2008 al 2010 se registró un crecimiento que va del 21 al 24% de la población en pobreza alimentaria, entendida ésta como resultado de un ingreso total familiar insuficiente para adquirir la canasta básica. Sin embargo no contamos con la evidencia completa para vincular el cambio climático con el aumento de este tipo de pobreza, misma que constituye un peldaño hacia la vulnerabilidad, pues marcha unida a otras deficiencias relacionadas con indicadores de rezago social como la insuficiente escolaridad, la salud, la precariedad de los materiales de construcción o los servicios a la vivienda. Estos indicadores han sido la base del Coneval para construir un índice de rezago social de acuerdo al número de carencias que tienen los municipios y las localidades (Coneval, 2011).

Un análisis de la base de datos de localidades del Coneval sugiere una relación directa entre la pobreza con el grado de rezago social. Sin embargo es necesario llevar a cabo una investigación más amplia para conocer la dimensión del rezago respecto del patrón de desastres en México. Por lo pronto en la siguiente gráfica se muestran las entidades federativas con un mayor número de localidades con alto y muy alto rezago social. Destacan los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero en la costa sur del Pacífico mexicano, Veracruz en el Golfo, Puebla y Chihuahua, estados en los que se registran eventos extremos.

Aún cuando las estadísticas oficiales muestran una intensificación de los fenómenos naturales, el desastre que ello conlleva se debe, también, a fallas atribuibles a dos esquemas de atención para enfrentar los retos que plantean los cambios climáticos:

- Una política asistencial basada en la transferencia de recursos, muy importantes para los hogares rurales, pero que descuida el impulso a las alternativas productivas.
- Una estructura institucional que no propicia la suficiente participación social para establecer las medidas de resiliencia de la población a la exposición al cambio climático.

Lo anterior se verifica en un contexto donde la población no es consciente de las transformaciones del clima y los escenarios a mediano y largo plazos. Por ello es necesario plantear un cambio de paradigma frente a la vulnerabilidad social mediante la consolidación del capital social y la construcción de capacidades institucionales. Ello significa fortalecer la coordinación a todos los niveles, la transparencia, la rendición de cuentas y a los gobiernos e instancias



Localidades con alto y muy alto rezago social. Entidades federativas seleccionadas.

Fuente: elaboración propia con datos del Coneval.

locales para lograr la gobernanza de los recursos hídricos e intensificar las medidas de concientización y educación de la población.

En el siguiente apartado se reflexiona acerca de los conceptos de gobernanza y participación social y su incorporación a la política del gobierno mexicano, para abordar, luego, el enfoque de los SIAL como una alternativa para mitigar la pobreza rural y la emisión de los GEI y alentar la construcción de instituciones locales.

## GOBERNANZA DEL AGUA Y MODELOS DE GESTIÓN

Para hablar de gobernanza, en este trabajo será preciso referirse, también, a los modelos de Administración Pública. De esta forma entenderemos como gobernanza los procesos que se siguen en la toma de decisiones (basadas en la argumentación y el convencimiento de los actores) cuyas características son la transparencia, rendición de cuentas y la calidad verificable, al momento de implementarse como políticas y programas públicos (Aguilar, 2006). Por su parte las visiones administrativas del agua tienden a considerarla desde tres posiciones encontradas:

- El agua como bien público. Adolece de un punto de vista estrecho determinado por los resabios del estado centralista y burocrático que implementa decisiones de acuerdo a criterios que no siempre toman en cuenta las necesidades de la población.
- El agua administrada bajo el concepto de costo-beneficio. Argumenta que el agua es un bien que debe pagarse en función de los costos de extracción, conducción y dotación.
- El agua como un bien-club o un bien-convención. Posición emergente que corresponde a la perspectiva de la nueva administración pública.

Las dos posiciones iniciales han mostrado poca sensibilidad ante el uso del recurso, pues en la

primera, el agua es un bien que es preciso llevar a la población sin preguntarse por la calidad y frecuencia de dotación a los campos agrícolas, a la industria o a los núcleos poblacionales. En tanto, para la segunda, el recurso se convierte en una mercancía que debe ser pagada de acuerdo a los costos de producción y de transporte. Esta posición del agua como bien-mercado abre la puerta al reconocimiento de la desigualdad en el acceso y disfrute del líquido. Aparentemente, bajo el supuesto del bien-mercado, pagarán por este recurso quienes más lo usen, es decir, los hogares ricos gastarían más por el acceso al agua. No obstante, son los hogares pobres los que terminan haciendo un mayor gasto debido a la precariedad de las viviendas, generalmente asentadas en las faldas de las montañas, en lechos de ríos o barrancas, a los costos de conducción y a la pésima calidad del recurso.

Las características que exige la tercera de las posiciones enunciadas, y que puede considerarse un *nuevo modelo, son la toma de decisiones con base en una gestión descentralizada; la incorporación de los actores sociales en el esquema de consulta y la toma de decisiones; el reconocimiento y construcción de instituciones locales, así como la recuperación de formas de enseñanza y aprendizaje social para el manejo de los recursos; la existencia de amplias redes de políticas públicas que contribuyen a implementar visiones integrales, y finalmente, la medición de la calidad de la gestión y el servicio. Este último modelo corresponde a la concepción de una gobernanza emergente que se inserta entre los resquicios del modelo centralizado-burocrático y el modelo autorregulado del mercado. Las virtudes del modelo emergente se basan en la recuperación de las acciones de autogestión y auto-regulación que los actores sociales han llevado a cabo por muchos años y que son la herencia de instituciones históricas.*

Bajo esta circunstancia se han llevado a cabo algunas investigaciones que han mostrado el alto costo que tiene no tomar en cuenta el conocimiento y el aprendizaje de los pobladores locales en la toma de decisiones (Eakin, 2008; Eakin, 2011).

El modelo de gobernanza es mucho más flexible para mitigar el cambio climático y para emprender las acciones de adaptación. Debe recordarse que el cambio climático abarca tres fases en la evolución de los sistemas: *exposición* que los lleva a sufrir alteraciones; *sensibilidad* para reaccionar ante los cambios; y *capacidad de adaptación* para adaptarse a la nueva situación, restaurando de esta manera el equilibrio. Dicha capacidad permite superar la vulnerabilidad de los sistemas. La adaptación puede definirse como la resiliencia que hace posible volver al estado original o a la reestructuración del sistema (Martínez-Austria, 2010).

Este punto de vista es muy importante para el sistema social pues su vulnerabilidad ante el cambio climático se relaciona con variables tales como el ingreso, el acceso a la tierra y al agua, la escolaridad, el acceso a la salud y la fortaleza institucional. De este modo, la vulnerabilidad social tiene varias dimensiones, además de las propiamente físicas, de carácter socio-económico, pero también socio-político al incluir la institucionalidad en el desarrollo de las propuestas e implementación de políticas de adaptación.

La capacidad de adaptación del sistema puede ser más fuerte en la medida que se establezcan marcos asociativos de cooperación y coordinación de los agentes facilitados por una gestión sistémica o integral de los recursos hídricos.

La gestión sistémica de los recursos hídricos supone la integración de los diversos subsistemas (recursos superficiales y subterráneos, distribución para diversos usos, mitigación y adaptación) en una política pública dirigida a la sustentabilidad.

La institucionalización del modelo de gestión integral de los recursos hídricos en México ha mostrado avances sustanciales desde la segunda mitad de la década de los ochenta del siglo pasado cuando se forman el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), ésta última como un órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) con autonomía operativa y financiera.

No obstante, el mayor impulso a las instituciones gestoras del agua se dio en 1994 con la creación en de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), en la cual se concentraron la conservación, la restauración y el uso de los recursos naturales renovables. En esta secretaría se sectorizaron el IMTA y la CONAGUA. Este proceso ha continuado hasta nuestros días aunque de manera discontinua.

En el año 2000 la SEMARNAP perdió las funciones relativas a la pesca, transformándose en Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). No obstante la capacidad de gestión hídrica se fortaleció al incorporarse el enfoque de la gestión integral en la reforma de 2004 a la Ley de Aguas Nacionales (LAN).

Además de los mecanismos de gestión centralizada y de tipo técnico (Consejo Técnico, Director General y organismos de cuenca de la CONAGUA) la ley reconoce la integración de los consejos de cuenca como mecanismos de reconocimiento de participación social regionalizada para la gestión del agua. En su establecimiento se tomaron como base los parteaguas de las regiones hidrológicas. Se trató de una delimitación pragmática para facilitar la participación (Carabias, 2005).

Los consejos de cuenca son órganos colegiados de integración mixta e instancias de coordinación, concertación, apoyo, consulta y asesoría de la CONAGUA. Se incluye en estas labores a los organismos de cuenca, al Gobierno Federal, a los gobiernos estatales y municipales, así como a los usuarios del agua y de las organizaciones de la sociedad existentes en la cuenca hidrológica o región hidrológica respectivas.

Al finalizar 2009, existían 26 consejos de cuenca, habiéndose instalado ese mismo año el del Pacífico Centro (CONAGUA, 2011). Los consejos cuentan a su vez con los comités de cuenca, que son órganos auxiliares para atender problemas localizados en microcuencas, los comités técnicos de aguas subterráneas (COTAS) para acuíferos, y los comités de playas limpias para atender a las zonas costeras del país. Estos últimos tienen por objetivo promover el



saneamiento de las playas y acuíferos relacionados con ellas, así como prevenir y enfrentar su contaminación con el fin de preservarlas y protegerlas para mejorar la calidad de vida de la población local y la del turismo.

Según los datos disponibles para 2009 se contabilizaron 176 órganos auxiliares de los consejos de cuenca.

ÓRGANOS AUXILIARES	NÚMERO
Comisiones de cuenca	30
Comités de cuenca	29
COTAS	81
Comités de playas limpias	36

Fuente: CONAGUA, 2011.

No obstante la situación antes descrita la participación social es insuficiente toda vez que los problemas relacionados con la gobernanza siguen presentes ya que los consejos de cuenca se enfocan más a los grandes problemas de carácter nacional que a los locales. A pesar de la actuación de los órganos auxiliares las microcuencas no son atendidas, convirtiéndose así en fuente de conflictos y disputas por el recurso.

Otro inconveniente es que la LAN reconoce a los consejos de cuenca y sus órganos auxiliares como instancias de tipo consultivo pero sin poder para intervenir en la agenda y la evaluación de la gestión. Asimismo, no existe una cultura del agua a pesar de que las organizaciones sociales y no gubernamentales tienen al menos un 50% de la vocalías.

Esta problemática se puede explicar en el escaso margen que aún tienen las sociedades locales en la gestión y por la poca atención que merecen las formas emergentes de organización que recuperan la economía de la proximidad y el saber acumulado de la gestión de los recursos comunes.

Sin pretender que sea una panacea, es posible pensar que el desarrollo de los SIAL con insumos de calidad y alternativas ecológicas pueden enseñar medidas de mitigación y adaptación al cambio

climático y que una gestión integral podría considerar las medidas de política e impulsar, como en la Unión Europea, sistemas de valorización local que son menos contaminantes y disminuyen la presión sobre los recursos hídricos.

#### SISTEMAS PRODUCTIVOS LOCALIZADOS. ALGUNOS PROBLEMAS DE LA GOBERNANZA DEL AGUA

Puede observarse que la gobernanza del recurso hídrico aún no es una prioridad para el sector social, salvo casos excepcionales que han despertado algún interés por su relevancia.

Como producto de una investigación sobre los SIAL relacionados con la construcción de empresas de producción, transformación industrial y servicios turísticos, se pueden hacer algunas precisiones sobre el manejo del agua y de los conflictos de la gobernanza en territorios rurales en el centro occidente, centro y oriente de México.

Los SIAL han sido vistos en el contexto del cambio climático como formas eco-localizadas de producción que pueden disminuir la emisión de los GEI como producto de la proximidad entre productor y consumidor (North, 2010), aunque también existen estudios críticos, con base en la medición de carbono, que realizan los consumidores antes de ir a comprar sus productos a las granjas (Coley, 2009).

Los estudios sobre la economía de la localización y sus efectos sobre las medidas de mitigación y adaptación son muy escasos. En cuanto a los casos a que haremos referencia, hay que hacer notar que aún cuando las investigaciones llevadas a cabo en el proyecto de la UNAM y el CONACYT al que se ha hecho referencia en reiteradas ocasiones no contemplan el manejo de recursos hídricos, las formas de organización que se encontraron en algunos territorios y los desequilibrios que están provocando, tanto el mercado global como la expansión de las zonas urbanas, sugieren una inestabilidad del sistema de gestión hídrica en zonas rurales, pero al mismo tiempo, alientan formas organizativas propias de las localidades que pueden ser la base para la construcción de alternativas.

La investigación se llevó a cabo en cuatro territorios con características geográficas distintas y con problemáticas particulares en cuanto a la producción, transformación y comercialización de los productos locales.

Aunque los objetivos de la investigación se centraron en la construcción de capital social y existencia, consolidación y construcción de instituciones facilitadoras de las capacidades locales, pudieron ubicarse algunas problemáticas hídricas en los territorios estudiados: Municipio de los Reyes de Salgado, Michoacán, que ha experimentado una expansión de la producción de zarzamora y frutillas; Municipio de Tlanepantla, Morelos, caracterizado por un crecimiento acelerado de la producción de nopal (*Opuntia nopalea*); Municipio de Ixhuatlán del Café, Veracruz, cuya producción distintiva es el café, pero que se encuentra en un proceso de deterioro ambiental por la reconversión de este cultivo hacia otros productos de mayor valor comercial como el chayote (*Sechium edule*) y la hoja de plátano, conocida como “velillo” para la producción de tamales; y San Miguel Xochitecatitla, población del Municipio de

Nativitas, Tlaxcala, caracterizada por la producción de hortalizas y de hongo cuitlacoche en invernadero. En la siguiente imagen puede observarse el ámbito de los estudios de caso.

Los municipios, cuyas condiciones son variables, abarcan el centro, el occidente y el oriente de México y son considerados de medio o bajo rezago social, lo que sugiere que aunque la agricultura es la actividad principal de la población, también se dan procesos de multifuncionalidad rural, tales como una incipiente transformación industrial de los productos, creación de empresas de servicios y planes para impulsar el turismo lo que ayuda a diversificar las fuentes de ingreso no agrícolas.

No obstante, estos municipios presentan un desequilibrio derivado de la transformación de las convenciones con respecto al uso y explotación de los mantos superficiales, así como de algunos conflictos que prevén la necesidad de reordenar la vida comunitaria.

De acuerdo a los recorridos de campo y a las entrevistas realizadas con el presidente municipal y productores del Municipio de los Reyes, Michoacán,



Fuente: elaboración propia con base en Google-Maps.





el proceso acelerado de reconversión productiva de caña de azúcar hacia las frutillas de zarzamora a partir de los años 90, no obstante que ha atraído importantes inversiones nacionales y extranjeras, paradójicamente, ha causado graves problemas como el incremento del rentismo de tierras y de la competencia por los recursos hídricos superficiales, lo que ha debilitado la coordinación entre la presidencia municipal, los productores y el ingenio que se encuentra en la ciudad. Este último ha pasado de ser un coordinador del mantenimiento de los canales y un activo participante en la distribución del recurso, a ser casi un espectador pasivo, pues el cultivo de la caña de azúcar ha descendido notablemente. Por otro lado, el cultivo de la zarzamora ha atraído una gran cantidad de población jornalera, lo cual ha requerido la instalación de excusados portátiles en las tierras de labor.

Una compañía privada tiene el servicio de recolección de excretas que vierte en un confinamiento municipal a cielo abierto ubicado, por añadidura, en la parte alta del lugar, de tal manera que sus lixiviados al transminarse contaminan los cuerpos de agua superficiales, problema que se agudiza con la construcción de vivienda que los jornaleros han iniciado en ese mismo sitio.

El valle de esta zona, caracterizada por la convivencia de formas de propiedad ejidal y pequeñas propiedades, era un área de cultivo fundamentalmente de caña de azúcar hasta los años 90 del siglo pasado. Los productores estaban organizados para distribuir el agua de riego y se coordinaban con el ingenio azucarero para el mantenimiento de los canales y de los caminos necesarios para el transporte de la zafra.

La alternativa del municipio para afrontar esta situación, tomada en conjunto con la mayoría de los productores, ha sido el entubamiento de los manantiales para llevar agua a las parcelas. Ello, en apariencia, detendrá momentáneamente los crecientes conflictos y la competencia por el recurso de calidad pero elevará su costo para los pequeños productores, por lo que muchos de ellos podrían salir de la actividad, lo que agudizaría la concentración del cultivo en grandes compañías productoras de la frutilla.

En el Municipio de Talnepantla, Morelos, cercano al Área Natural Protegida (ANP) del Chichinautzin, sus habitantes se han visto impedidos de explotar los recursos forestales y la biodiversidad desde la declaración de esta zona como área protegida. Con ello, los pobladores se han desentendido del cuidado

que tradicionalmente habían tenido del bosque y se han agudizado las actividades extractivas como la recolección de leña y la tala clandestina. De igual forma, han dejado en manos de la autoridad federal el combate a los incendios forestales en la época de secas. Aunque el agua de lluvia (más de 2 000 mm al año) es suficiente para el cultivo del nopal los problemas están presentes en la distribución doméstica.

A partir de los años 90 los productores del Municipio de Tlalnepantla, Morelos, han sustituido el cultivo de avena y frutales que antes los distinguían, por el de nopal que ha reportado ganancias considerables a la mayoría de los campesinos.

Dado que esta comunidad no cuenta con arroyos o ríos superficiales, el uso doméstico del agua se regulaba mediante un jagüey, construido a principios del siglo XX, alimentado mediante la recolección de agua de lluvia. En la actualidad este cuerpo de acopio es inservible por el grado de contaminación que presenta el líquido, ya que sólo se utiliza para mezclar el agua con los fertilizantes o pesticidas que son aplicados al nopal.

La solución a este problema que encontraron los presidentes municipales, elegidos por el sistema de usos y costumbres, es la de dotar de agua potable a la comunidad mediante una red a la que se encuentran suscritos aproximadamente setecientos usuarios; pipas que suben desde el poblado cercano de Tlayacapan y que cobran tarifas de 300 a 600 pesos; y cosecha de agua de lluvia (Guzmán y Nohora, 2009).

No obstante el problema de distribución de agua, aunque en menor medida, aún persiste. A éste se ha agregado el que aqueja a la producción y comercialización del nopal derivado del asesinato de un integrante de la comunidad por un conflicto que surgió en 2003 cuando la comunidad se dividió entre quienes apoyaban y quienes desconocían a un presidente municipal priísta.

Esta división, que aún persiste, determina la exclusión (abierta o velada) del grupo del entonces presidente priísta, al cual se le asignan tarifas de agua más altas, se le obstruye el abasto de agua mediante las pipas del municipio y se le prohíbe comercializar su nopal en el centro de acopio comunitario.

En el Municipio de Ixhuatlán del Café, al igual que en los otros, los productores han iniciado un proceso de reconversión productiva del café hacia el chayote, de la familia de las cucurbitáceas, por los altos costos de producción del primero y los bajos precios de su comercialización. El segundo es vendido en la Central de Abastos de la Ciudad de México (CEDA) y, en menor proporción, en las plantas de plátano que aprovechan el velillo (hojas tiernas de la planta) como envoltura para tamales.

En el caso del chayote se presenta un riesgo ambiental, ya que debe desmontarse la tierra, además de que muchos de estos cultivos se encuentran en pendientes susceptibles de erosionarse en tiempos de lluvia y provocar el azolve de los ríos.

El río Jamapa que atraviesa el Municipio es la fuente principal de abastecimiento de agua potable. Según las proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO) en el año 2009, Ixhuatlán del Café tendría 19,590 habitantes. No obstante, el presidente municipal, indicó que es muy probable que exista un subregistro del INEGI en cuanto a la población censada y que los cálculos de la población de la cabecera municipal indican que puede llegar a 10 mil habitantes, por lo que estiman alrededor de 28 mil habitantes para todo el municipio.

En cuanto a los recursos hídricos, la gestión presenta dos problemas graves: el probable subregistro de la población y su dispersión que dificulta la distribución y el acceso al agua potable. Por ejemplo, sólo benefició a veinte familias en la localidad de Ixcatla una obra de introducción de agua cuya acción principal consistió en el tendido de cables de acero para soportar 3 km de tubería y manguera sobre una cañada de 100 m, aproximadamente.

Otro de los problemas que se presentan en este municipio es el del azolve de las 10 ha del humedal La laguna, en la comunidad de Nevería, invadido por *Phragmites Australis*, una especie de carrizo formando una capa de tierra que pone en peligro la existencia de este cuerpo de agua.

El crecimiento de esta especie invasora se debe a la escorrentía de fertilizantes fosfatados de los cafetales



y chayoterías y al uso del mucílago para fertilizar los plataneros cercanos a la laguna. El peligro ambiental es muy grande, pues no existen otras lagunas en esta parte central del estado de Veracruz, por lo que su desaparición podría tener impacto en las aves migratorias y residentes.

Es evidente que se requiere de programa de prácticas agrícolas sustentables y de educación y protección ambiental, sin los cuales los esfuerzos por recuperar la laguna serían vanos puesto que las fuentes de nutrientes que eutrofizan la laguna seguirán presentes.

El trabajo de campo realizado en San Miguel Xochitecatitla, Municipio de Nativitas, Tlaxcala muestra que los agricultores de esta región, vinculados por cuatro familias emparentadas entre sí, están dedicados a la producción de hortalizas y cuitlacoche (*Ustilago maydis*) en invernadero bajo el régimen ejidal a razón de media hectárea por productor. Por ello han constituido las empresas Ecoagricultores del Sur y Tecnoagricultores del Sur que se distinguen por brindar asesoría en campos de la innovación y de la formación de profesionales enfocados a emprendimientos productivos.

Estas empresas cuentan con un Departamento de Investigación en el que trabaja un grupo estructurado por ellos mismos y por profesionales independientes y formado por ingenieros, biólogos y químicos, principalmente.

Otra característica de estos agricultores es la atención que brindan a la diversificación de ingresos monetarios no agrícolas y a la formación de nuevas empresas. Un ejemplo de esta iniciativa innovadora es la constitución del negocio de reproducción piscícola Piscicultura Xochitecatl.

El problema principal que enfrentan estos agricultores es la contaminación del agua por las compañías fabricantes de mezclilla del Valle de Puebla. De ahí la importancia de producir hortalizas y cuitlacoche en invernadero, asegurando sus propias fuentes de agua limpia.

Asimismo, los productores se preocupan por que sus productos y técnicas, como el caso de cuitlacoche por Ecoagricultores, estén libres de químicos.

Buscan la implantación y la sistematización en sus cultivos de insumos orgánicos, como la obtención de composta y realizan esfuerzos de limpieza de los cuerpos de aguas superficiales con tecnología desarrollada por sus propias empresas. Cabe mencionar que no han sido apoyados por instancias públicas como la CONAGUA ni tampoco privadas, aunque los trabajos realizados por la empresa son importantes, demostrando buenos resultados con los métodos empleados. Por último, es necesario mencionar que entre los obstáculos que enfrentan se encuentran la indiferencia y desconfianza de otros productores de la comunidad, ya que, ven con recelo las innovaciones tecnológicas y la organización de estas familias de productores, dado los altos costos económicos que le atribuyen a esas técnicas.

Los conflictos reseñados y la dinámica de los sistemas no pueden generalizarse a todos los contextos rurales, pero son un indicador que arroja algunas evidencias de que el desarrollo del mercado, la dificultad de los productores y habitantes para acceder al agua de calidad, han dado lugar a conflictos que pueden afectar la cohesión social.

No existe tampoco una conciencia clara del cambio climático, aunque de manera intuitiva aplican en algunos casos medidas de mitigación, como la aplicación de fertilizantes elaborados con compostas. En este sentido, tampoco se observa una cultura del agua que facilite la gobernanza de la adaptación al cambio climático, ello se debe en gran medida a que las políticas de subsidios y transferencias no se encuentran vinculadas a las necesidades ambientales, lo que también es urgente resolver para adecuar los compromisos internacionales del país con las políticas internas.

Aún así, los sistemas locales muestran fortaleza porque a pesar de los conflictos la cohesión social sigue jugando un papel muy importante en la dinámica de estos sistemas, además de las instituciones locales, como las presidencias municipales, las asambleas de usuarios, las escuelas, entre otras, que pueden ser mediadoras entre los contextos rurales y las instituciones encargadas de implementar las políticas y programas de adaptación. En el siguiente apartado



se busca resaltar estas características virtuosas que pueden facilitar la resiliencia de los sistemas.

## REFLEXIONES Y PROPUESTAS

### SOBRE LA GOBERNANZA DEL AGUA. AGENDA Y POLÍTICAS PÚBLICAS DESDE LO LOCAL

Como se ha podido observar, los problemas del mercado, la reconversión de cultivos, el uso no cuidadoso de fertilizantes y la presión de las ciudades ha generado escasez del recurso, competencia por el mismo, contaminación de recursos superficiales que han derivado en conflictos y problemas de coordinación en la gestión. Sin embargo, estas condiciones también han dinamizado a las comunidades para encontrar alternativas de gestión del agua, cuyos casos más claros pueden ser los productores de zarzamora en Michoacán y de hortalizas en Tlaxcala.

Lo valioso de estas experiencias consiste en destacar la posibilidad de sinergias locales basadas en el reconocimiento del conflicto y la implantación de medidas de innovación social. En este sentido es preciso enfatizar que las empresas sociales, bajo sus distintas modalidades en el sector rural, plantean posibilidades muy amplias de activar territorios conflictivos y acometer la construcción de una economía de proximidad, para disminuir la emisión de GEI -aun cuando deben encontrarse formas de comercialización que impliquen un menor uso del automóvil para el consumidor- y reducir el uso consuntivo del agua en la agricultura, así como promover la resolución de conflictos mediante el fortalecimiento de los SIAL conjuntando al sector social en la definición de los esquemas de esta nueva economía local, que por cierto no es autárquica, pues se basa en la valorización de los productos y en su distribución en sistemas que pueden ser regionales o nacionales.

La agenda desde lo local tiene que ver con la participación de las comunidades y asociaciones, de las administraciones públicas y de las instituciones para la definición de políticas y programas de gestión participativa del recurso hídrico.

Una propuesta en este sentido es adecuar el marco jurídico de la LAN para permitir una mayor participación de las comunidades en la distribución del agua desde una perspectiva de seguridad alimentaria; vinculando esta participación en los consejos de cuenca y sus órganos auxiliares al fortalecimiento de los SIAL. Esta propuesta se complementa con la exigencia de coherencia de las políticas públicas.

Es necesario avanzar en la coordinación de los programas condicionando los subsidios y las transferencias monetarias a la adopción de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, previendo un uso racional del agua mediante la agricultura protegida o riego más eficiente; disminución o sustitución de fertilizantes químicos y una mayor vinculación con las entidades tecnológicas.

Por otra parte, el sector social necesita fortalecer sus organizaciones para trabajar en los escenarios del cambio climático, de acuerdo a la información científica, y adoptar las medidas de adaptación. Debe entenderse que las áreas rurales no sólo son el espacio de la producción agrícola, sino que proporcionan importantes servicios ambientales. De ahí, que el apoyo a estas organizaciones esté condicionado también a la conservación de sumideros de carbón y a la reforestación para incrementar el secuestro de CO<sub>2</sub>, lo que, de hecho, permite acceder a los bonos de carbón establecidos para la mitigación del cambio climático. También pueden impulsarse programas de remediación de suelos, por ejemplo, que pueden dar empleo masivo en el campo.

Para que el sector social sea competitivo es menester desarrollar nuevos productos, mejorar su calidad, brindarles mayor valor añadido e identidad territorial mediante el uso de etiquetas y denominaciones de origen para que sean identificados fácilmente en los mercados locales y regionales. Por ello, se requiere impulsar las certificaciones biológicas u orgánicas con el objetivo de adoptar una cultura del consumo responsable.

En este contexto es preciso adoptar programas encaminados a fomentar una nueva cultura del agua, que eleve la eficiencia en los usos agrícolas

y domésticos en todos los niveles educativos y organizaciones, que promueva el valor ambiental, económico y social de este vital líquido de cara a la necesaria sustentabilidad de los sistemas. En fin, las medidas de adaptación deben implicar una gestión federal del agua cada vez más eficiente y un mayor involucramiento de las instituciones locales, para generar con ello procesos de aprendizaje y adaptación frente a los cada vez más frecuentes e intensos fenómenos hidrometeorológicos.

## REFERENCIAS

- Adger, W. N. (2003). *Social capital, collective action, and adaptation to climate change*. *Economic Geography*, 79(4), pp. 387-404.
- Aguilar Villanueva, L.F. (2006). *Gobernanza y Gestión Pública*. México, D.F.: FCE
- Alba, F. (2007). *Geopolítica del agua en México: la oposición entre la hidropolítica y el conflicto sociopolítico. Los nuevos rostros de las "luchas" sociales. Interações (Campo Grande)*, 8(1), 95-112.
- Cámara de Diputados. (2011). *Leyes Federales*. Disponible en <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/>
- Carabias, J., y Landa, R. (2005). *Agua, Medio Ambiente y Sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México* (Primera ed.). México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México; El colegio de México; Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Carrillo González, G., y Quintas Pereira, I. (2009). *El consumo de agua en la agricultura de la Zona Metropolitana del Valle de México*. En D. Montero Contreras, E. Gómez Reyes, G. Carrillo González y L. Rodríguez Tapia (Eds.), *Innovación tecnológica, cultura y gestión del agua* (Primera ed., pp. 75-92). México, D.F.: Cámara de Diputados, LX Legislatura, UAM, Miguel Ángel Porrúa.
- Coley, D., Howard, M., y Winter, M. (2009). *Local food miles and carbon emission: a comparison of farm shop and mass distribution approaches*. *Food Policy*, 34, 150-155.
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, CICC. (2007). En Secretariado Técnico: Cervantes Sánchez, Miguel, González Dávila G., Martín Chávez L., Landa Ordaz R., Ozawa Meida L. y Challenger Jones A. (Eds.), *Estrategia nacional de cambio climático, México, 2007* (Primera ed.). México, D.F.: SEMARNAT.
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, CICC. (2009, Edición vespertina, viernes 28 de agosto de 2009). Programa especial de cambio climático, 2009-2012. *Diario Oficial De La Federación*, pp. 1-118. Disponible en [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5107404&fecha=28/08/2009](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5107404&fecha=28/08/2009)
- Comisión Nacional del Agua, CNA. (2011). En Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT (Ed.), *Estadísticas del agua en México. Edición 2011* (Primera ed.). México, D.F.: CNA;. Disponible en <http://www.CONAGUA.gob.mx>
- Conde, C. (2006). En Álvarez R., Tonda J. (Eds.), *México y el cambio climático global* (Primera ed.). México: Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM;. Disponible en [http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/mexico\\_cambio\\_climatico/Mexico\\_y\\_el\\_cambio\\_climatico\\_global.pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/mexico_cambio_climatico/Mexico_y_el_cambio_climatico_global.pdf)
- CONEVAL. (2011). *Medición de la pobreza*. Disponible en [www.coneval.gob.mx](http://www.coneval.gob.mx)
- Decreto por el que se expide la Ley General de Cambio Climático*, (2011). Disponible en <http://www.pan.senado.gob.mx/seguimiento.php>
- Diario Oficial de la federación, DOF. (1992). Disponible en: [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx)
- Eakin, H., & Appendini, K. (2008). *Livelihood change, farming, and managing flood risk in the Lerma Valley, Mexico*. *Agriculture and Human Values*, 25, 555-566.
- Eakin, H., Eriksen, S., Eikeland, P., y Oyen, C. (2011). Public sector reform and governance for adaptation: Implications of New Public Management for adaptive capacity in Mexico and Norway. *Environmental Management*, 47, 338-351.
- Ley de aguas nacionales, Ley Federal U.S.C. Capítulo IV (1992). Disponible en <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16.pdf>; <http://www.CONAGUA.gob.mx/CONAGUA07/.../> <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/Combo/L-5.pdf>
- Galindo, L. M. (Ed.). (2009). *La economía del cambio climático en México*. (Primera ed.). México, D.F.: SEMARNAT. Disponible en <http://www.semarnat.gob.mx>
- Galindo, L. M. (Ed.). (2009). *La economía del cambio climático en México. Síntesis* (Primera ed.). México, D.F.: SEMARNAT. Disponible en <http://www.semarnat.gob.mx>
- García, R. V. (1981). *Drought and man the 1972 case history*. Oxford: Pergamon.
- Gregory, P. J., Ingram, J. S. I., y Brklacich, M. (2005). *Climate change and food security*. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 360(1463), Food Crops in a Changing Climate, 2139-2148.
- Guzmán Ramírez, N. B., y Vargas Velázquez, S. (2009). *De la gestión comunitaria y la gestión gubernamental del agua: fragmentación de la gestión local del agua en Morelos*. (VI Congreso de la Red de Investigadores en Gobiernos Locales de México (IGLOM ed.). Mazatlán, Sinaloa: PUEC-UNAM.
- Jones, C. F., y Darkenwald, G. G. (1971). *Geografía Económica*

- [Economic Geography] (T. Ortiz, L. Guaschi Trans.). (Tercera en español, de la segunda en inglés, 1965 ed.). México, D.F.: FCE.
- Landa, R., Magaña, V., y Neri, C. (2008). *Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático* (Primera ed.). México, D.F.: SEMARNAT-Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Disponible en <http://www.semarnat.gob.mx>
- Martínez Austria, P., y Patiño, C. (Eds.). (2010). *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Volumen III. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático* (Primera ed.). Jiutepec, Morelos, México: Instituto Mexicano del Tecnología del Agua, IMTA;. Disponible en <http://www.atl.org.mx/atlas-vulnerabilidad-hidrica-cc>
- Montero Contreras, D., Gómez Reyes, E., Carrillo González, G., y Rodríguez Tapia, L. (Eds.). (2009). *Innovación tecnológica, cultura y gestión del agua. Nuevos retos del agua en el Valle de México* (Primera ed.). México, D.F.: Cámara de Diputados, LX Legislatura, UAM, Miguel Ángel Porrúa.
- North, P. (2010). *Eco-localisation as a progressive response to peak oil and climate change – A sympathetic critique*. *Geoforum*, 41(4), 585-594.
- Ostrom, Elinor (2000) *El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva*, Primera edición en español, Traducción: Corina de Iturbide, Cuidado de la edición: Leticia Merino y Fabrice Lehoucq, UNAM-CRIM-FCE
- Parry, M., Evans, A., Rosengrant W., M., y Wheeler, T. (2009). *Climate change and hunger. responding to the challenge*. Roma, Italia: World Food Programme. Disponible en <http://wfp.org>
- Schmidhuber, J., y Tubiello, F. N. (2007). *Global food security under climate change*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104(50), 19703-19708.
- SEMARNAT. (2009). *Consecuencias sociales del cambio climático en México. Análisis y propuestas* (Primera ed.) SEMARNAT. Disponible en <http://www.semarnat.gob.mx>
- SEMARNAT. (2009). *Cuarta comunicación nacional ante la Comisión Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (informe No. 4). México, D.F.: SEMARNAT. Disponible en <http://semarnat.gob.mx>
- SEMARNAT. (2009). En Alviar Nieto M. (Ed.), *Impacto del cambio climático en las tierras y sus características* (Primera ed.). México, D.F.: SEMARNAT.
- Stern, N. (2006). *STERN REVIEW: The economics of climate change*. Londres: HM Treasury. (stern review). Disponible en [http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview\\_index.htm](http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm)
- Thynne, I. (2008). *Climate change, governance and environmental services: Institutional perspectives, issues and challenges*. *Public Adm.Dev.*, 28(5), 327-339.
- United Nations Framework Convention on Climate Change, (UNFCCC). (2011). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Disponible en <http://unfccc.int/2860.php>

## AGRADECIMIENTOS

A Elizabeth Jiménez Yáñez por participar en la búsqueda de bibliografía y en la edición de este capítulo.

La información acerca de la *Phragmites Australis* (página 21) fue proporcionada por el Biólogo Esteban Martínez del Instituto de Biología de la UNAM, 20 de marzo de 2009.







# ADAPTACIÓN EN LA CALIDAD DEL AGUA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO



GABRIELA E. MOELLER CHÁVEZ  
NORMA RAMÍREZ SALINAS  
CAMILO VÁZQUEZ BUSTOS

## INTRODUCCIÓN

La adaptación, de acuerdo con el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), consiste en las modificaciones que sufren los sistemas humanos y naturales como respuesta a diversos estímulos climáticos, ya sean proyectados o reales. Para comprender cabalmente esta situación es necesario conocer otros dos conceptos: el cambio climático y la calidad del agua. De esta manera podremos establecer los posibles efectos en esta última, así como las medidas adaptativas correspondientes.

## CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático se refiere a una importante variación estadística, durante un largo período (decenios) en el estado medio del clima, ocasionada ya sea por procesos naturales internos y externos o bien por cambios antropogénicos persistentes en la atmósfera o en el uso del suelo.

El IPCC ha recopilado evidencia fidedigna que permitirá cuantificar la magnitud de, por lo menos, dos situaciones atribuibles al cambio climático: el incremento de la temperatura ambiente y la reducción en la precipitación. En México, Magaña y Caetano (2007) han proyectado un aumento de la temperatura del aire en las diferentes regiones del país. Por medio de escenarios regionalizados, predicen que se puede esperar una reducción de entre 6 y 26% en la precipitación, aunado a un incremento en la temperatura media anual de entre 0.5 y 3.2 °C para el año 2100 (Magaña, 2008).



## Impactos climáticos

Los impactos climáticos son consecuencia del cambio climático en sistemas humanos y naturales. Dependiendo de la medida de adaptación, se puede distinguir entre impactos potenciales e impactos residuales. Los impactos potenciales son aquellos que se deben a un cambio proyectado en el clima, sin tener en cuenta la adaptación, siendo los impactos residuales aquellos ocasionados por el cambio climático que se registran después de la adaptación (ilustración 1).



Ilustración 1. Clasificación de los impactos climáticos de acuerdo al IPCC.

El impacto neto de los cambios en la precipitación sobre la calidad del agua de los ríos y lagos es un fenómeno multifactorial que depende de características regionales y locales específicas (Gleick y Adams, 2000). No se encontró información que evalúe la resultante de la suma de los efectos, sin embargo Leal y colaboradores (2009) consideran que en México se dan las condiciones para que se presenten.

### CALIDAD DEL AGUA

El concepto de calidad del agua incluye las características químicas, físicas y biológicas del recurso, las cuales determinan su composición en la medida en que esta se ve afectada por la concentración de sustancias naturales o artificiales. Por ejemplo, la erosión de los suelos provocada por la actividad humana y el escurrimiento de agua pluvial, entre otros factores, generan turbidez la cual es una condición de los cuerpos de agua donde los sólidos suspendidos coloidales determinan la cantidad la luz que llega a diversas profundidades. Ello inhibe las funciones del crecimiento de las plantas que se encuentran sumergidas y afecta a las especies que dependen de ellas.









La calidad del agua, entonces, se establece de acuerdo con la normatividad aplicable y los parámetros correspondientes a los diversos usos: consumo humano, agrícola, industrial, recreativo y ambiental, entre otros. En las ciencias ambientales la calidad se relaciona con la capacidad de un cuerpo de agua para soportar y sostener la vida y el equilibrio entre las especies.

### Impacto del cambio climático en la calidad del agua

El incremento de la temperatura ambiente y la reducción en la precipitación debido al cambio climático tiene un efecto en la calidad del agua, ya que al aumentar el calor disponible en la atmósfera la temperatura del agua también lo experimenta. De acuerdo con el IPCC (2007) el agua absorbe el 75% del calor disponible. Si bien el incremento no es tan notorio puede tener un efecto muy significativo. La temperatura del agua se encuentra en equilibrio con la temperatura del aire. Se ha registrado un incremento de 1 a 3 °C en los últimos 100 años en

ríos europeos como el Danubio y el Rin (EEA, 2007). Hammond y Pryce (2007) demostraron también que existe una tendencia al incremento de la temperatura del agua, especialmente a partir de 1990 en los ríos de Gran Bretaña. Dichos investigadores calcularon el incremento actual en 1 °C, con promedios por década entre 0.03 y 0.7 °C, en las diversas regiones de ese país. En Suiza se ha demostrado un incremento importante en temperatura, para ríos en todas las altitudes (Hari *et al.*, 2006). En México a través del estudio de cinco sitios, se ha encontrado que la temperatura del agua presentó un incremento promedio de 0.9 °C. (IMTA, 2011).

El calentamiento global tiene un impacto sobre la “calidad ambiental” que incluye la calidad del agua, la biodiversidad, disponibilidad, salud humana, usos del agua, turismo, entre otros, y que, de manera directa o indirecta repercutirá en el abastecimiento de agua potable.

En los cuadros 1 y 2 se mencionan algunas manifestaciones del cambio climático generadas en sistemas y servicios en ciudades, debido a los fenómenos de incremento de la temperatura ambiente y la reducción en la precipitación.



Cuadro 1. Manifestación del cambio climático en sistemas y servicios vulnerables en las ciudades.

Manifestaciones del cambio climático					
	Aumento del nivel del mar	Aumento de las precipitaciones torrenciales e inundaciones	Descenso de las precipitaciones, escasez de agua y sequías	Incremento de las temperaturas	
Sistemas y servicios vulnerables en las ciudades Sistemas que dependen del agua	Suministro de energía local	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las condiciones cambiantes afectan la toma de decisiones e instalaciones.</li> <li>Las mareas de tempestad, ocasionan daños a la infraestructura costera y la energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción de los caudales, lo que afecta a las plantas de energía que utilizan el agua de refrigeración.</li> <li>Reducción en el flujo de las corrientes que afectan la producción de energía hidroeléctrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En lo referente a ríos, reducción en la eficacia de la refrigeración en centrales térmicas. El aumento de las necesidades de refrigeración, aumenta la extracción de agua para la refrigeración termoeléctrica.</li> <li>Ocasiona en la nieve y el hielo cambios en la cubierta: la producción de energía hidroeléctrica se ve afectada por el tiempo de deshielo.</li> <li>El derretimiento del permafrost amenaza la estabilidad de los oleoductos y gasoductos.</li> </ul>	
	Áreas verdes urbanas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inundaciones; impactos en la composición de especies y su distribución, pérdida de hábitat.</li> <li>Desplazamiento de las plantas y las comunidades costeras de los animales hacia el interior, debido a mayores niveles de agua y mayor salinidad de los estuarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En los espacios verdes urbanos: menos lluvia y disminución del agua de riego.</li> <li>Desaparición o destrucción de los ecosistemas de humedales por evaporación.</li> <li>Cambios en los Ecosistemas, en las comunidades de plantas y animales, con posibles extinciones locales.</li> <li>Mortalidad de los bosques y posible disminución de la capacidad de recuperación, acompañada por los daños causados por plagas y patógenos.</li> <li>Disminución del flujo de ríos, lo que ocasiona que se degrade el hábitat de especies acuáticas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temperaturas más altas de agua degradan el hábitat de especies acuáticas como el salmón y la trucha.</li> <li>Expansión de muchas especies invasoras de malezas acuáticas y de plagas de insectos que afectan a las plantas.</li> <li>Incendios forestales: cambios en las estructuras de la comunidad de plantas.</li> <li>Mayor demanda de agua de refrigeración en el sector energético que conduce a un aumento de la contaminación térmica de cuerpos de agua y los consiguientes impactos sobre la biota de agua dulce.</li> <li>En ecosistemas: cambios en las comunidades de plantas y animales, con posibles extinciones locales</li> </ul>	
	Transporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inundaciones y tormentas: daño y degradación de toda la infraestructura de transporte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inundaciones y deslizamientos de tierra, afectan puentes y ocasionan daños de infraestructura de transporte, carreteras, metros y ferrocarriles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interrupción del transporte en barco por río, debido a la disminución de los niveles del río.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temperaturas más altas en carretera y caminos llenos con baches.</li> </ul>
	Salud humana	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intrusión de agua salada en los acuíferos, reducción del acceso al agua potable en zonas dominadas por la extracción de aguas subterráneas costeras.</li> <li>Lesiones y mortalidad por las inundaciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las inundaciones causan la contaminación del agua al desbordarse las aguas residuales, escurrientas y otros contaminantes, lo que lleva a problemas de salud, incluido el aumento de las enfermedades infecciosas.</li> <li>Las inundaciones pueden causar daños a la salud e infraestructura.</li> <li>Desplazamiento de la población, con impactos en la salud asociados</li> <li>Lesiones y mortalidad, así como impactos en la salud mental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción de los flujos del río, lo que conduce a una mayor concentración de agentes patógenos y sustancias químicas.</li> <li>Desplazamiento de la población, con impactos en la salud asociados.</li> <li>Aumento de la mortalidad, la desnutrición, enfermedades infecciosas y de las vías respiratorias, y enfermedades transmitidas por el agua.</li> <li>Falta de alternativas que lleven al consumo de agua contaminada con flúor, arsénico y otras sustancias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cambios en la distribución espacial, la intensidad de la transmisión y la estacionalidad de los vectores y las enfermedades transmitidas por el agua, causando el 7% de morbilidad y la mortalidad.</li> <li>Aumento de casos de floraciones de algas tóxicas que son peligrosas para la salud humana y aparición de las cianotoxinas.</li> <li>Inundaciones, los lagos glaciares representan una amenaza para la vida humana.</li> <li>Aumento en la incidencia de la intoxicación alimentaria por los mariscos afectados.</li> <li>Empoisonamiento de los efectos urbanos de isla de calor, con los consiguientes impactos negativos en la salud.</li> </ul>
	Producción y suministro de alimentos urbanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inundaciones periódicas: la salinización de las tierras agrícolas costeras.</li> <li>Intrusión de agua salada en los acuíferos: disponibilidad reducida de agua dulce para el riego.</li> <li>Alteración de las pesquerías costeras ya que dependen de los estuarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Daños a los cultivos.</li> <li>La erosión del suelo</li> <li>Declinación de los rendimientos debido a la inundación</li> <li>Creación de condiciones que favorecen las infestaciones por hongos y otros agentes en determinados cultivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de disponibilidad de agua para el riego, que lleva a un impacto negativo sobre la producción de la agricultura y disminuye el rendimiento.</li> <li>Disminución del caudal, lo que aumenta la salinidad de los estuarios y humedales, y disminuye la salida de sedimentos y nutrientes, afectando negativamente a la pesca costera.</li> <li>Disminución en el reclutamiento de las especies de peces del río.</li> <li>Aumento de la mortalidad de ganado y otros animales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Clima más favorable para las plagas de insectos y malezas, reduciendo el rendimiento de cultivos.</li> <li>Incendios forestales: la interrupción de la producción de alimentos.</li> <li>Aumento de enfermedades transmitidas por vectores, y por el agua: y la mortalidad en la población.</li> <li>La productividad agrícola se reduce en un aumento de la morbilidad y la mortalidad de la población.</li> <li>Secado más rápido de la tierra después de la lluvia o de riego.</li> <li>Impacto negativo en la pesca de agua dulce y diadromas, incluyendo la extinción local.</li> <li>Impactos directos negativos sobre la salud del ganado y los cambios en la periodicidad de las enfermedades que lo afectan.</li> </ul>

Fuente: IGLEI, 2011

Cuadro 2. Manifestación del cambio climático en sistemas de abastecimiento de agua y alcantarillado.

Manifestaciones del cambio climático					
	Aumento del nivel del mar	Aumento de las precipitaciones torrenciales e inundaciones	Descenso de las precipitaciones, escasez de agua y sequías	Incremento de las temperaturas	
Servicios y sistemas vulnerables en ciudades, abastecimiento de agua y alcantarillado	Ríos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intrusión de agua salada (agua salina) en las desembocaduras de ríos, reducción de la oferta disponible de agua potable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosión de suelos, provocando un aumento de sólidos en suspensión. Esta turbidez puede afectar el suministro de al interferir con los procesos de desinfección, el aumento de los costos de operación, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disminución de la capacidad de auto-purificación de los ríos por niveles reducidos de oxígeno disuelto.</li> <li>Decreto de las características químicas biológicas del río.</li> <li>Incendios forestales arrastre de materiales disueltos a cuerpos de agua receptores, cambios en la turbidez y química del agua.</li> <li>Cambio de nevadas no erosivas a lluvias erosivas, aumentando la turbidez del agua.</li> <li>Efecto indirecto: Mayor demanda de agua de enfriamiento en el sector de energía, lo que conlleva a un aumento de la contaminación térmica.</li> </ul>	
	Lagos/embalses		<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento en la erosión y el transporte de sedimentos, dando lugar a mayor cantidad de sedimentos en los embalses y disminución en la capacidad de almacenamiento de agua.</li> <li>Disminución en la capacidad de almacenamiento de agua potable debido a la necesidad de mantener un mayor flujo en la capacidad de almacenamiento.</li> <li>Erosión de suelos por efecto de precipitaciones torrenciales, provocando un aumento de los sólidos en suspensión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento de la evaporación.</li> <li>Reducción de la calidad del agua debido a la disminución en la concentración de oxígeno disuelto, liberación de fósforo de los sedimentos.</li> <li>Mayor incidencia de la eutrofización y la proliferación de algas tóxicas.</li> <li>Eventos de lluvias erosivas, aumentando la turbidez del agua.</li> <li>Efecto indirecto: Una mayor demanda de agua de enfriamiento en el sector energía que conduce a aumento de la contaminación térmica.</li> </ul>	
	Aguas subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intrusión de agua salada en los acuíferos. La salinización de las aguas subterráneas y la reducción asociada en la disponibilidad de agua dulce para consumo humano y para riego.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento de virus y bacterias en carga contaminante en las aguas subterráneas.</li> <li>Disminución en la recarga de aguas subterráneas, capacidad de infiltración del suelo superada por las fuertes precipitaciones y como consecuencia aumento en la escorrentía superficial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Descenso de los niveles en agua subterránea debido a la reducción de la recarga y disminución de caudal de los ríos. Incremento en el uso de aguas subterráneas a medida que disminuye la disponibilidad del agua superficial.</li> <li>Reducción en la recarga de acuíferos, lo que lleva a la intrusión de agua salada en los acuíferos costeros interiores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento de la evaporotranspiración e incremento en el crecimiento de la biomasa, lo que afecta las aguas subterráneas.</li> <li>Salinización de las grasas subterráneas debido al aumento de la evaporotranspiración.</li> <li>Disminución en las tasas de recarga.</li> </ul>
	Aguas residuales e infraestructuras de abastecimiento de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desajustes de alcantarillado en el mar expuestos a daños durante las inundaciones costeras.</li> <li>Infraestructura de tratamiento de aguas residuales costeras dañada.</li> <li>Inundaciones costeras: Aumentos temporales de la salinidad de los afluentes a las plantas de tratamiento de aguas residuales, dando lugar a la interrupción de los procesos biológicos y la corrosión de los equipos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad sobrepasada de las plantas de tratamiento de agua y agua residual.</li> <li>Alcantarillado combiando y desbordamientos de letrinas, causando inundaciones urbanas y la contaminación del agua.</li> <li>Contaminación difusa: Incremento de los nutrientes, patógenos y toxinas, lo que requiere más tratamiento.</li> <li>Plantas de tratamiento de agua y extracción de agua, cercanas a ríos, primeras en ser afectadas por las inundaciones, causando daños y contaminación del agua.</li> <li>Erosión en la infraestructura de las tuberías debido a las fuertes lluvias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Funcionamiento intermitente de los suministros de agua urbana en periodos de sequía, afectando la calidad del agua.</li> <li>Actividades para contrarrestar el aumento de suelos áridos agravará la salinización secundaria.</li> <li>Aumento en las extracciones de agua de baja calidad debido a la escasez, lo que aumentará los requerimientos de tratamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento de la demanda de agua, dando lugar al incremento en la extracción de agua para riego, agua de enfriamiento en las plantas de energía y al consumo directo.</li> <li>Aumento en el crecimiento de algas que afectan los costos de operación y confiabilidad del sistema de tratamiento de agua.</li> <li>Incremento en el contenido de bacterias, algas y hongos en agua, por lo que se requerirá un tratamiento adicional para eliminar el olor y el sabor.</li> <li>Aumento de la actividad microbiológica, lo que lleva a un aumento de los niveles de concentración de los subproductos de desinfección.</li> <li>Impacto en los procesos de tratamiento de aguas por incremento en la temperatura, por ejemplo, reducción de los niveles de oxígeno disuelto y las tasas de transferencia.</li> <li>Reducción del contenido de oxígeno disuelto en el cuerpo receptor de aguas residuales, lo que lleva a los requerimientos más estrictos de tratamiento de las aguas residuales.</li> <li>Corrosión de las alcantarillas por actividad biológica anaerobia.</li> </ul>

Fuente: ICLEI, 2011



## EVIDENCIAS DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CALIDAD DEL AGUA EN MÉXICO

En el presente documento, de acuerdo a los resultados del proyecto *Impacto del cambio climático en la calidad del agua en México (IMTA, 2011)*, las correlaciones con valores entre el 70 y 95% muestran una estrecha relación entre las temperaturas del agua y del aire. En cinco sitios de estudio, entre ellos el lago de Chapala y la laguna de Catemaco, se ha encontrado que la temperatura promedio del agua presenta un incremento para el período 1991-2008 con respecto al período base (1975-1990). Cuantitativamente este incremento fluctúa, en función de las características del cuerpo de agua, entre 0.7 y 1.3 °C, considerándose un valor promedio de 0.9 grados centígrados.

Otros resultados en materia de calidad del agua en México respecto de los efectos del cambio climático se presentan en el *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático (IMTA, 2010)* don-

de se establece una metodología desarrollada para la evaluación del impacto del cambio climático sobre los parámetros indicadores de calidad del agua DBO<sub>5</sub> y DQO para las cuencas Río Bravo, Lerma-Chapala y Río Grijalva. Como resultado de la evaluación se generaron mapas para las cuencas en estudio.

Los mapas de dichas cuencas presentan el comportamiento futuro probable de los parámetros indicadores DBO<sub>5</sub> y DQO, para los escenarios A1B y A2 proyectados para los años 2020, 2050 y 2080. En los mapas presentados en el Atlas, se puede observar que para el año 2020, la calidad del agua en las cuencas, en general, se mantiene como aceptable para ambos indicadores. Sin embargo, para los años 2050 y 2080 se espera que la calidad del agua cambie a “contaminada” (DBO 30-120 mg/L y DQO 40-200 mg/L) y “fuertemente contaminada” (DBO > 120 mg/L, DQO > 200 mg/L), CONAGUA, 2010, respectivamente, independientemente del escenario.

Sin embargo, en ambos documentos se concluye que no se podrán tomar decisiones acertadas para



la protección del recurso hídrico si no se cuenta con una sólida, completa y confiable base de datos de calidad del agua que considere los parámetros que permitan realizar una evaluación de impactos. Para ello es necesario, en una primera etapa, redefinir y/o complementar los sitios de monitoreo, así como los parámetros de calidad del agua medidos, pues ellos, en primera instancia fueron seleccionados sin considerar el tema de cambio climático. Por supuesto que, esto implica un gasto importante que los tres niveles de gobierno Federal, Estatal y Municipal deberán cubrir en el corto plazo, para poder proponer acciones fundamentadas que permitan atenuar los impactos de manera regionalizada y eficiente.

Con base en los resultados obtenidos queda de manifiesto que es necesario incorporar el tema de cambio climático en la planeación y gestión del recurso hídrico. Lo anterior nos lleva a considerar que el objetivo más relevante es la incorporación del binomio “cambio climático-calidad del agua” en la Ley de Aguas Nacionales (LAN) tal y como lo plasman las recomendaciones de políticas públicas propuestas en *Impacto del cambio climático en la calidad del agua en México* (IMTA, 2011). En este sentido, será un compromiso de los gobiernos Federal, Estatal y Municipal y de las instituciones académicas revisar en forma coordinada y, a la postre, impulsar estas recomendaciones con el fin de alcanzar un nivel razonable de sustentabilidad en el uso del recurso hídrico en México

## Adaptación

Las características multifactoriales de la contaminación y sus efectos no permiten establecer medidas generales de adaptación, en este apartado se presentan las bases para que los responsables de implementar medidas de adaptación específicas, puedan tomar las mejores decisiones acerca de la adaptación regional o local (IMTA, 2011) y así enfrentar los problemas que seguramente habrán de presentarse.

Las proyecciones sugieren que la magnitud de los ajustes es de tal dimensión que las medidas de adaptación, cuyo costo es significativo, serán

insuficientes para resolver los problemas e impactos derivados del cambio climático, mismos que también tienen un costo susceptible de reducirse si se llevan a cabo las medidas de adaptación correspondientes (SHCP, 2010).

Es importante considerar la capacidad de adaptación de las distintas actividades y agentes económicos. Por ejemplo, existen diversas condiciones de adaptación entre los sectores público y privado:

- En el sector privado el proceso de adaptación se basa en los ajustes realizados al comportamiento de las variables (*i.e.* cambio de días de siembra), de la tecnología y del capital disponible.
- El sector público requiere de instituciones públicas fuertes y eficientes que promuevan y ordenen el proceso de adaptación. Asimismo, es común que las instituciones públicas tengan otros intereses, como sus impactos distributivos que pueden interferir en un proceso de adaptación exitoso.

En ambos casos, un país se adaptará mejor al cambio climático en la medida de su nivel de desarrollo y congruencia con la aplicación de sus políticas.

La construcción de un proceso de adaptación eficiente y exitoso debe considerar los puntos siguientes:

- Una adaptación es eficiente cuando los beneficios exceden los costos. Por desgracia, con la estructura de precios relativos actuales el sector privado puede buscar una adaptación que aparezca como eficiente, pero que no incluye las externalidades negativas que genera. Así, esta adaptación privada es ineficiente en la medida en que genera externalidades negativas adicionales no contabilizadas en los precios de los mercados actuales. Por ejemplo, en la agricultura se compensa el aumento de la temperatura con un incremento del riego,

probablemente sobrexplotando los mantos acuíferos. Asimismo, los impactos climáticos se aplican sobre grupos heterogéneos que reaccionan de manera distinta, que tienen capacidades diferenciadas y que probablemente tengan incluso interacciones entre los distintos grupos.

- La adaptación se hace bajo incertidumbre, lo que aumenta sus costos y reduce su eficiencia ante la falta de información oportuna y de largo plazo (SHCP, 2010).
- La adaptación privada puede ser ineficiente en la medida en que genera externalidades que no son corregidas. Es por ello necesario que el sector público lidere el proceso de adaptación, aunque debe de cualquier forma reconocerse que ello no garantiza eficiencia. De cualquier forma una adaptación eficiente debe tener costos menores que sus beneficios, incluyendo las externalidades negativas.

## PROPUESTAS DE ADAPTACIÓN

Las medidas de adaptación se pueden desarrollar desde diversas perspectivas. En este caso, en los resultados de un incremento promedio en la temperatura del agua, y los posibles efectos en los parámetros indicadores de la calidad del agua. De acuerdo con la problemática detectada, se diseñan algunas acciones que pudieran incrementar la resiliencia o recuperación de los sistemas acuáticos, entendida ésta como la capacidad de volver al estado inicial una vez que el impacto ha pasado. Debe señalarse que una medida de adaptación incluye efectos benéficos en diferentes niveles en una suerte de cascada (IMTA, 2011).

De manera general se han referenciado los impactos generados por el incremento en el contenido de los gases de efecto invernadero (GEI), que han modificado la concentración de algunos componentes del agua, específicamente la alcalinidad y el potencial de hidrógeno (pH), permitiendo una mayor solubilidad de los metales presentes

si el pH decrece (acidificación). Asimismo, como consecuencia del incremento en la temperatura ambiente la precipitación aumenta en intensidad aunque, paradójicamente, disminuya en cantidad.

De lo anterior se desprenden diversas consecuencias para diferentes sistemas y servicios; así como algunas recomendaciones para abordarlas:

## Ambiente acuático

Efecto:

Incremento de los niveles de nitrificación, toxicidad por metales y tóxicos en el agua así como disminución de la concentración de oxígeno disuelto.

Medidas:

- Realizar vigilancia sobre cuerpos de agua afectados por hipoxia (disminución de la concentración de oxígeno disuelto).
- Limpiar acequias y canales.
- Manejar los desechos comunitarios (líquidos y sólidos).
- Realizar acciones de reducción de nutrientes en cuerpos de agua.
- Mejorar el tratamiento de agua residual a nivel cuenca para la reducción de contenido de materia orgánica en descargas a ríos.
- Remediación en cuerpos de agua para reducir la disponibilidad de nutrientes.
- En casos extremos implementar acciones de oxigenación y oxidación de materia orgánica.
- Elaborar mapas de riesgo y monitoreo por florecimiento algales.
- Realizar vigilancia especial en cuerpos de agua donde se presenten valores de pH bajo, contaminación por metales y lluvia ácida.
- Realizar mapeo de cuerpos de agua con alta probabilidad de solubilizar metales provenientes de sedimentos afectados por acidificación.



## Disponibilidad de agua

Efecto:

Reducción en su disponibilidad.

Medidas:

- Reforestación de cuencas y recuperación de vegetación riparia.
- Acciones de captación y tratamiento del agua de lluvia.
- Optimizar infraestructura para la disminución de fugas en el sistema de agua potable.
- Reforzar las prácticas de ahorro en el consumo de agua.
- Sectorizar las redes de distribución de agua potable.
- Realizar la recuperación de caudales en ríos con gastos mayores al ecológico.
- Llevar a cabo la recuperación de caudales por reúso de agua en otros usos.
- Establecer un programa de reducción de la extracción del agua en cuerpos de agua afectados.
- Mejorar la gestión de los sistemas públicos.

## Fuentes de abastecimiento de agua y su relación con la salud humana expuesta a metales y compuestos orgánicos persistentes (COPs)

Efecto:

Reducción de la disponibilidad de fuentes de abastecimiento de agua y concentración mayor de los contaminantes (metales y COPs).

Medidas:

- Establecer un programa especial de reducción de nutrientes en fuentes de abastecimiento con presencia de florecimientos algales, metales, COPs, y materia orgánica por descargas a cuerpos de agua.

- Implementar un programa de acciones de retención de sólidos suspendidos en cauces de ríos (prácticas conservacionistas).
- Realizar acciones de retención de suelos y disminución de la erosión en pendientes altas.
- Llevar a cabo monitoreo y vigilancia de oxígeno disuelto, metales y COPs.
- Realizar reingeniería de los procesos de potabilización para la remoción de cianotoxinas, metales, COPs y presencia de turbiedad.

## Costas

Efecto:

Incremento en el nivel del mar.

Medidas (DEFRA, 2010):

- Realizar mapas de zonas prioritarias de protección costera.
- Separar el drenaje pluvial del de agua residual.
- Establecer mayores acciones de infiltración de agua de lluvia en zonas costeras.
- Modificar los reglamentos de construcción para permitir la infiltración de agua de lluvia tratada en cada predio.
- Protección de los ecosistemas costeros de la urbanización, especialmente los humedales.

También se pueden establecer medidas que incrementen la resiliencia y recuperación de los sistemas o permitan vigilar los cambios. Entre ellas están la rehabilitación de cuerpos de agua fuertemente contaminados, el monitoreo y generación de información sobre calidad del agua, el incremento de la eficiencia del riego, la mejora del manejo de los sistemas operadores de agua, la inclusión y adaptación de la legislación al cambio climático (DCC, 2010).

## Medidas prioritarias

A continuación se proponen aquellas medidas que se consideran prioritarias para ser establecidas con diferentes niveles de aplicación:

- Realizar acciones conjuntas e integradas de los tres órdenes de gobierno.
- Integrar un programa de monitoreo de calidad del agua de cuerpos y apoyo de iniciativas locales que lo impulsen.
- Apoyar acciones de monitoreo comunitario coordinadas.
- Realizar una gestión integrada y sustentable de aguas superficiales y subterráneas.
- Adoptar tecnologías mejoradas, apropiadas y sustentables.
- Establecer mercados eficientes y tarifas reales para el agua.
- Separar drenajes sanitarios y pluviales.
- Elaborar una legislación y marcos normativos que contemplen el cambio climático.
- Otorgar apoyo financiero a acciones de mitigación de los impactos a la calidad del agua.

- Elaborar planes estatales y municipales de adaptación.
- Dar apoyo financiero y técnico a acciones de adaptación.
- Implementar acciones de educación ambiental en el tema.

Es importante señalar que para llevar a cabo el establecimiento de las medidas identificadas, es necesario realizar una evaluación de la capacidad de adaptación, ya que de ello dependerá el éxito o fracaso de las mismas. En el cuadro tres se presentan las cuatro principales determinantes que se deben considerar al realizar una evaluación de capacidad de adaptación.

Una de las medidas enunciadas es la administración sustentable del agua. En el cuadro cuatro se enuncian diferentes opciones y sus beneficios.



Cuadro 3. Determinantes a considerar en una evaluación de la capacidad de adaptación.

Determinante	Economía	Sociedad	Gobernabilidad	Ecosistemas
<b>Descripción</b>	Esta categoría abarca las actividades de todos los sectores económicos (agricultura, industria, servicios, I + D) que se alimentan o son generados por una ciudad. Cubre toda la gama de sistemas, incluida la energía, el agua, el desarrollo tecnológico, servicios de salud, etc.	El determinante social abarca una serie de factores, que incluyen: información (disponibilidad y acceso a), capital social (las conexiones dentro y entre redes sociales y grupos) y capital humano (la suma de los conocimientos, la educación y las habilidades que poseen los individuos dentro de una sociedad).	Gobernabilidad se refiere a todos los niveles de la sociedad, describe el proceso por el cual una sociedad toma decisiones y tiene claro quién está involucrado en el proceso de toma de decisiones. Las instituciones están en el centro de gobierno.	Los ecosistemas están compuestos de la vida vegetal y animal, del medio ambiente no vivo en que existen, así como de la interacción entre estos elementos.
<b>¿Por qué considerar este factor?</b>	Debido a que no existe, en principio, una correlación positiva entre un mayor ingreso, sistemas eficientes con redundancia incorporada y accesos a soluciones tecnológicas por un lado, y una mayor capacidad de adaptación por el otro.	Por la importancia que tiene la Adaptación, la que es una respuesta de la sociedad al cambio climático, y que conlleva a una planificación e implementación de medidas de adaptación que requieren la aplicación del conocimiento y las habilidades de la sociedad. Dando como resultado, una correlación positiva con una mayor capacidad de adaptación. Además, las conexiones entre las redes sociales permiten la difusión de este conocimiento y la información a través de la sociedad, lo cual otorga un valor inherente.	Por que los principios de la buena Gobernanza (PNUD, 1997) son similares a aquellos sobre los cuales se basan la planificación e implementación de una adaptación exitosa, por lo tanto, se necesita una buena Gobernanza de la adaptación.	Principalmente porque los ecosistemas influyen en la sensibilidad de una ciudad, ya que ambos se ven afectados y tienen la capacidad de absorción de los impactos del cambio climático. Esta sensibilidad afectará su capacidad para contribuir a la saludables mejoran la capacidad de adaptación de los sistemas económicos y sociales, porque los ecosistemas son una parte integral del funcionamiento de otros sistemas y porque pueden proporcionar una amplia gama de soluciones para hacer frente.
<b>Áreas clave a considerar para determinar la capacidad de adaptación</b>	Desarrollo económico. Distribución de la riqueza. Sostenibilidad energética y la independencia. Productividad industrial. Solidez tecnológica del estado y funcionamiento de los sistemas. Balanza comercial. Disponibilidad de recursos y eficiencia en el uso de recursos.	Calidad de vida. Niveles de educación y las competencias profesionales. Nivel de compromiso en la acción colectiva de la sociedad civil. Participación en redes sociales y grupos. Conciencia de los riesgos. Preparación para situaciones de emergencia. Situación demográfica.	Participación en la toma de decisiones. Creación de consenso entre los grupos de interés. Respuesta de las instituciones a las necesidades de los tomadores de decisiones. Eficacia y eficiencia de las instituciones. Rendición de cuentas de los responsables de las decisiones. Transparencia de los procesos a través del acceso a la información. Equidad de oportunidades entre los grupos de la sociedad. Perspectiva temporal del desarrollo. Aplicación de marcos jurídicos.	Los ecosistemas de los servicios: roles, regulación, provisión, soporte y cultural. Interacciones e interdependencias de los servicios de los ecosistemas. La biodiversidad. Zonas de amortiguación de los riesgos. Registro de historial de la función de los ecosistemas en respuesta a los peligros y la explotación antrópica. El estado de salud y las presiones naturales/antrópicas que los afectan (estrés y/o explotación niveles). Políticas existentes que afectan a los servicios del ecosistema.

Fuente: ICLEI, 2011



Cuadro 4. Beneficios de una administración sustentable del agua (área urbana).

Opciones	Beneficios de gestión del agua	Calidad seleccionada de los beneficios de la vida y co-beneficios para otros sectores de gestión urbana
Fuentes alternativas de suministro para la demanda de agua no potable	Suministro de agua: reduce la demanda Suministro de agua: Reduce costos de tratamiento y bombeo	Ecosistemas: Menos agua debe ser extraída del medio ambiente Actividades económicas urbanas: Aumento de la disponibilidad de agua para otros fines La agricultura y las zonas verdes urbanas: Proporciona una fuente barata de agua de riego
Medición y las tarifas	Suministro de agua: reduce la demanda Suministro de agua: Reduce costos de tratamiento y bombeo	Ecosistemas: Menos agua debe ser extraída del medio ambiente Calidad de vida (capital social): Los aranceles variables aseguran de bajo costo satisfacción de las necesidades básicas de agua para grupos de bajos ingresos.
Cambio de comportamiento	Suministro de agua: reduce la demanda Suministro de agua: Reduce costos de tratamiento y bombeo	Ecosistemas: Menos agua debe ser extraída del medio ambiente Actividades económicas urbanas: Aumento de la disponibilidad de agua para otros fines Energía: Reducción del consumo energético mediante el uso de menos agua caliente
Medidas eficientes de agua	Suministro de agua: reduce la demanda Suministro de agua: Reduce costos de tratamiento y bombeo	Ecosistemas: Menos agua debe ser extraída del medio ambiente Actividades económicas urbanas: Aumento de la disponibilidad de agua para otros fines Energía: Reducción del consumo energético mediante el uso de menos agua caliente
Gestión de fugas	Suministro de agua: reduce la demanda Suministro de agua: Reduce costos de tratamiento y bombeo	Ecosistemas: Menos agua debe ser extraída del medio ambiente Actividades económicas urbanas: Proporciona un suministro más confiable de agua Calidad de vida (ruido y perturbación): Reparaciones en el futuro se evitan mediante la sustitución de la tubería Calidad de vida (salud): Reduce el riesgo de entrada de contaminantes en las tuberías
Acuífero de almacenamiento y recuperación (AAR)	Suministro de agua: Aumenta la capacidad de almacenamiento Suministro de agua: Protege la calidad del agua Manejo de aguas pluviales: la reducción de la escorrentía Tratamiento de aguas residuales: la eliminación de contaminantes	Ecosistemas: Flujos base del subsuelo de AAR se pueden utilizar para apoyar a los ecosistemas naturales La agricultura y las zonas verdes urbanas: Proporciona una fuente barata de agua de riego Calidad de vida (salud): AAR proporciona una protección natural de la contaminación orgánica y escorrentía de aguas pluviales contaminadas
Inodoros con desviación de orina	Tratamiento de aguas residuales: Reducción de costos	Ecosistemas: La reducción de la carga de nutrientes de efluentes de aguas residuales La agricultura y las zonas verdes urbanas: Proporciona un fertilizante barato, y aumenta la seguridad alimentaria urbana
Tratamiento de suelos acuíferos	Manejo de aguas pluviales: la reducción de la escorrentía pico Tratamiento de aguas residuales: Reducción de costos	La agricultura y las zonas verdes urbanas: Proporciona una fuente barata de agua de riego
Los humedales artificiales	Tratamiento de aguas residuales: Reducción de costos Manejo de aguas pluviales: la reducción de la escorrentía Suministro de agua: reduce la demanda de agua potable	Ecosistemas: La creación de los ecosistemas urbanos Calidad de vida (el goce estético y el valor recreativo): Aumento de espacio verde urbano. Desarrollo urbano: El tratamiento in situ de las aguas grises y de aguas pluviales
Residuos de lagunas de estabilización	Tratamiento de aguas residuales: Reducción de costos Suministro de agua: reduce la demanda de agua potable	La agricultura y las zonas verdes urbanas: Proporciona una fuente barata de agua de riego Calidad de vida (renta disponible): Fuente de ingresos por medio de la cosecha de peces y plantas
Producción de biogas a partir de lodos	Tratamiento de aguas residuales: Reducción de costos	Actividades económicas urbanas: Proporciona una fuente de energía barata y renovable. La agricultura y las zonas verdes urbanas: Proporciona una fuente barata de agua de riego Calidad de vida (ingresos disponible): Reduce los costos de consumo de gas en la cocina y las facturas por calefacción
Reutilización de lodos	Tratamiento de aguas residuales: Reducción de costos Manejo de aguas pluviales: Mejora la retención de humedad del suelo.	Ecosistemas: Fuente de nutrientes. Actividades económicas urbanas: Proporciona una energía barata y renovable o fuente de combustible. La agricultura y las zonas verdes urbanas: Proporciona un fertilizante barato y acondicionador de suelos.
Reutilización de aguas grises	Suministro de agua: reduce la demanda de agua potable Tratamiento de aguas residuales: Reducción de costos	Ecosistemas: La creación de los ecosistemas urbanos. La agricultura y las zonas verdes urbanas: Proporciona una fuente barata de agua de riego. Calidad de vida (el goce estético y el valor recreativo): Aumento de los espacios verdes urbanos
Sitio de la planificación	Manejo de aguas pluviales: la reducción de la escorrentía Tratamiento de aguas residuales: Los contaminantes se encuentran en el origen y la contaminación difusa se administra	Ecosistemas: Protección y mejora de los hábitats locales. Calidad de vida (el goce estético): Jardinería con Aguas Pluviales, enfatizan las características estéticas. Desarrollo urbano: El desarrollo de la tierra se puede implementar de forma rentable
Pavimento poroso, cunetas, etc	Manejo de aguas pluviales: la reducción de la escorrentía Suministro de agua: La recarga de los acuíferos subyacentes Tratamiento de aguas residuales: eliminación de contaminantes	Actividades económicas urbanas: Reducción de riesgo de inundación Calidad de vida (el goce estético y el valor recreativo): Proporcionar áreas verdes
Recolección de agua lluvia	Manejo de aguas pluviales: la reducción de la escorrentía Suministro de agua: Reduce la demanda de agua potable	Ecosistemas: Menos de agua debe ser extraída del medio ambiente Actividades económicas urbanas: Proporciona un suministro más confiable de agua La agricultura y las zonas verdes urbanas: Proporciona una fuente barata de agua de riego Calidad de vida (general): Reduce las facturas de agua y proporciona un suministro más seguro de agua
Techos verdes	Manejo de aguas pluviales: la reducción de la escorrentía Suministro de agua: Puede reduce la demanda de agua potable Tratamiento de aguas residuales: Remoción de contaminantes en el aire de la escorrentía	Ecosistemas: La creación de los ecosistemas urbanos Calidad de vida (salud): Mejora la calidad del aire y reduce el efecto isla de calor urbano Calidad de vida (el goce estético y el valor recreativo): Aumento de los espacios verdes urbanos Energía: Reducción del consumo energético mediante el uso de menos calefacción y aire acondicionado
Bordos de retención en las cuencas	Manejo de aguas pluviales: la reducción de la escorrentía Tratamiento de aguas residuales: Disminución de sólidos suspendidos y sedimentables.	Calidad de vida (el goce estético y el valor recreativo): Aumento de espacio verde urbano. Su uso como juegos infantiles o instalaciones deportivas posiblemente, durante el tiempo seco La actividad económica urbana: Estimula la inversión en zonas urbanas que de otro modo sería propenso a las inundaciones

Fuente: ICLEI, 2011

## EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CALIDAD DEL AGUA Y SU INCIDENCIA EN LA GESTIÓN DE GOBIERNO

### Contexto de una propuesta

Uno de los objetivos de la Política Pública es relacionar el quehacer, motivo de la misma, con la búsqueda por materializar en el tiempo y en el espacio los acuerdos generados en el proceso de debate y negociación, es decir, la concreción de resultados respecto del problema identificado. El desarrollo de la Política Pública se asocia con el conocimiento del proceso decisorio que parte de la significación de la Política en una doble dimensión: en tanto negociación y búsqueda por la generación de acuerdos (consensos) y en su concepción más técnica, como el conjunto de acciones racionales dirigidas al cumplimiento de objetivos específicos en el ejercicio de gobierno.

Las políticas instrumentadas por el Gobierno guardan un carácter público, debido a que su marco de atribuciones resguarda el bien común previsto en las leyes. No obstante, este carácter demanda apertura y proximidad entre gobiernos y ciudadanos para determinar la comprensión de los problemas públicos a partir de la existencia de racionalidades múltiples que convergen en la sociedad, así como desde la interacción de actores (institucionales/ extrainstitucionales) que permitan el reconocimiento de las múltiples dimensiones del problema planteado desde su interrelación con el entorno en el que se sitúa la propuesta.

Así, tanto para la preparación de un documento o informe de resultados de un proyecto, como para la proyección de las recomendaciones que se deriven de ello, se utilizan elementos metodológicos tanto en la caracterización de la información relevante que permite situar su delimitación, como en su

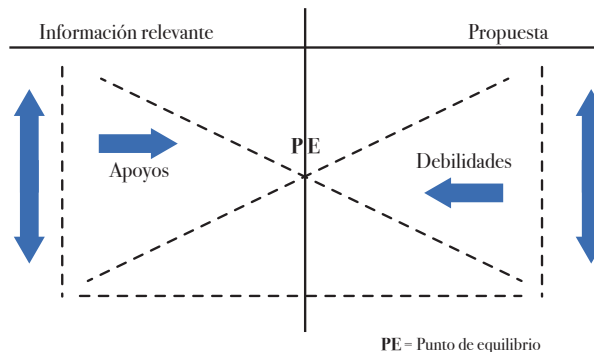


Ilustración 2. Modelo prospectivo de política pública.

Fuente: León *et al.* 2006.

análisis para ponderar las acciones propuestas que recomienda el proyecto, como se muestra en la ilustración dos.

La columna a la izquierda configura la integración de la información relevante que sintetiza algunos puntos sustanciales derivados de los resultados arrojados por las investigaciones realizadas, por lo que la información relevante constituye el elemento fundamental para conocer el problema y el entorno. Las columnas centrales concretan los elementos de apoyo y las debilidades reconocidas a la luz de la delimitación del problema y de las propuestas de acción respectivamente, y la columna a la derecha apunta las propuestas derivadas del análisis de los elementos en su conjunto con respecto del problema que atiende el proyecto.

En la ilustración tres se presenta como caso de estudio la aplicación de la metodología para el desarrollo de la propuesta del proyecto *Impacto del cambio climático en la calidad del agua en México* (IMTA, 2011). En ella se apuntan el desarrollo de la propuesta y los elementos normativos de referencia para su caracterización a fin de concretar las recomendaciones para orientar el cumplimiento de los objetivos generales de la propuesta.

Ilustración 3. Aplicación de la metodología de análisis.

**Impacto del cambio climático en la calidad del agua: metodología de análisis de la información y su incidencia en la gestión de gobierno**

**INFORMACIÓN RELEVANTE**

- Existe evidencia de que el cambio climático impactará la calidad del agua.
- En México, los datos de calidad del agua necesarios para analizar este fenómeno son insuficientes, no existe una metodología específica desarrollada para ponderar los efectos del cambio climático en la calidad del agua. (IMTA 2011)
- Es necesario redefinir los parámetros, reforzar los monitoreos, generar los datos y construir los instrumentos de análisis que permitan organizar y evaluar la información para observar estos impactos en la calidad del agua.
- En México a la fecha, las agendas del agua y de cambio climático no consideran la relación cambio climático - calidad del agua.
- Se desarrolla un proyecto donde uno de los objetivos es la construcción de la Metodología de Medición y Análisis de variables vinculadas con la calidad del agua y el cambio climático.
- El proyecto (Cambio climático en la calidad del agua en México), hace énfasis en la importancia de considerar esta relación del tema del agua en México, así como su posicionamiento en la agenda

**APOYOS**

- SEMARNAT
- CONAGUA
- IMTA
- INE
- Comunidad científica.
- Embajadas.
- Convenios con institutos de educación superior y universidades.
- Publicaciones conjuntas IMTA-institutos de educación superior, universidades y la Red de Revistas Científicas América Latina y el Caribe (Redalyc).
- Congresos, paneles, conferencias magistrales, talleres y seminarios.
- Utilizar y posicionar institucionalmente la metodología.
- Incidir en los tomadores de decisiones.
- Gestionar apoyos para diseñar las estrategias tendientes a que la metodología se incorpore en los procesos de decisión.

**DEBILIDADES**

- Ausencia en la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y en la Norma Oficial Mexicana (NOM 127) de una metodología de análisis y evaluación de los datos.
- Incumplimiento del marco jurídico vigente en materia de monitoreo.
- Incumplimiento de la operación institucional dentro de los ámbitos reglamentarios vigentes.
- No se ha materializado la formalización del Comité Técnico Especializado de Información en materia de agua (CETAGUA).
- Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geografía. DOF (14/04/2008)

**PROPUESTAS**

- Incorporar en la Ley de Aguas Nacionales (LAN), el referente de cambio climático.
- Incorporar en los monitoreos, parámetros específicos para evaluar el efecto del cambio climático en la calidad del agua.
- Presentar la metodología de análisis de metadatos para adicionarla en la NOM-127-SSA1-1994 y en la LAN en lo que se refiere a aguas superficiales.
- Coadyuvar a la formalización de CETAGUA.
- Reforzamiento interinstitucional sobre el problema del cambio climático y su afectación al recurso hídrico.
- Posicionar institucionalmente la Metodología de análisis y medición generada (Guía metodológica).
- Generar nuevos cuadros de ambientalistas con una visión de administradores públicos enriqueciendo los programas de posgrado del IMTA.
- Coadyuvar a la materialización de una gestión integral del agua.



## DESARROLLO DE LA PROPUESTA

El proyecto *Impacto del cambio climático en la calidad del agua en México* (IMTA, 2011) se configuró para construir y proporcionar suficiente evidencia empírica para los tomadores de decisión. El estudio surge ante la necesidad de determinar una relación causal entre calidad del agua y cambio climático. Asimismo, la investigación abarca el análisis del marco jurídico-legal vigente para la identificación de los actores institucionales involucrados y para establecer la existencia de algún tipo de inconsistencia en el tratamiento de la problemática. Los alcances del proyecto están determinados por el diseño de una propuesta de Política Pública con base en los criterios siguientes:

- La incorporación del tema cambio climático-calidad del agua en la agenda pública gubernamental del cambio climático.
- Análisis del marco jurídico-legal en cuanto al marco de atribuciones de los actores se refiere.
- Fortalecimiento de los monitoreos para generar una base de metadatos.
- El análisis y resultados de la base de datos de calidad del agua.
- Normar el análisis de los datos a través de una metodología.
- Posicionar institucionalmente la propuesta.

Ahora bien, la implementación de estas acciones recomendadas de Política Pública permitirá avanzar en el tratamiento del problema en los siguientes ejes:

- Establecimiento de relaciones causales entre cambio climático-calidad agua que permitan hacer recomendaciones para futuras acciones en cuanto al manejo del recurso hídrico; considerando una secuencia lógica en tres ámbitos: monitoreo, evaluación y administración de los datos.
- Generar y difundir la información generada a la sociedad, comunidad científica y a los tres órdenes de gobierno. Así como, identificar,

cuantificar y definir el estatus de calidad del agua, sus tendencias y causas.

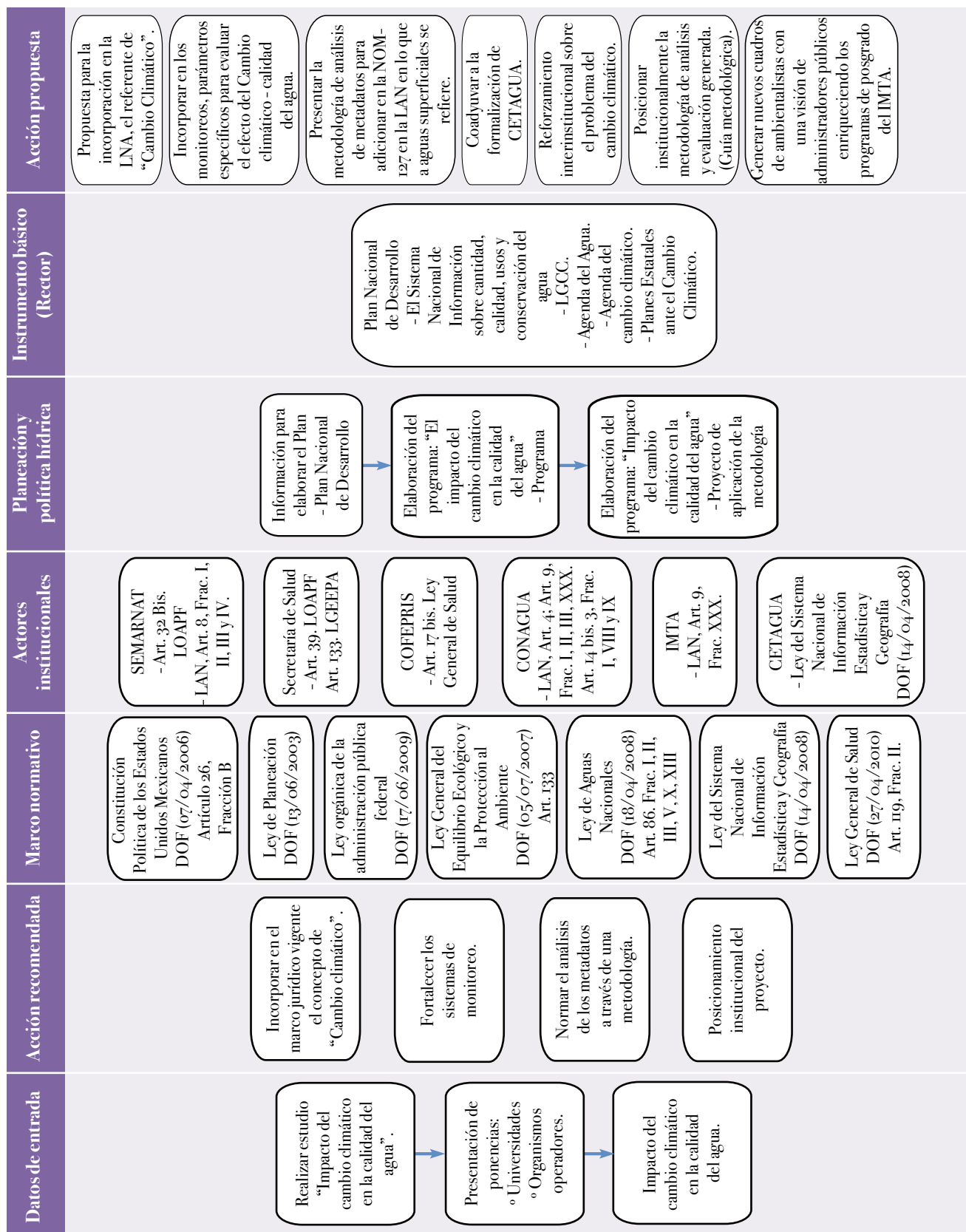
- Conocer cómo el problema de calidad del agua es distinto en cada área geográfica específica.
- Recuperar y suministrar información en una dimensión espacio-temporal específica y aportar evaluaciones, para que los tomadores de decisiones y las dependencias de gobierno utilicen en el diseño de sus planes, programas y proyectos, alternativas viables y en decisiones pertinentes.

Analizando las acciones recomendadas, se vislumbra que los costos de no atender la problemática son mayores económica, política y socialmente.

Algunas de las consecuencias de la no acción serían:

- No contar con un plan integral de prevención del que deriven las recomendaciones sobre las relaciones del cambio climático y su efecto en la calidad del agua, por lo que se tendrá incapacidad de hacer recomendaciones a futuras acciones.
- Carencia de información confiable para identificar las zonas vulnerables a este fenómeno en las entidades federativas.
- Una deficiente cantidad y calidad de información para el público, comunidad científica y los tres órdenes de gobierno, incertidumbre e incapacidad para identificar y cuantificar las tendencias de los problemas de calidad del agua que tienen lugar en un área geográfica específica.
- Los tomadores de decisión, las dependencias de gobierno y administradores del recurso tomarán decisiones en suposiciones, y no podrán evaluar alternativas a falta de información confiable.
- Ejercicios de planeación limitados de los recursos financieros, e incapacidad de establecer relaciones causales con los sectores de salud, agricultura, educación, entre otros. Afectando en última instancia a la población.

Ilustración 4. Análisis del marco legislativo cambio climático-calidad del agua.



- No asumir los principios que sustentan la viabilidad y factibilidad de una política hídrica nacional, de acuerdo con lo que establece la ley vigente, como un asunto de carácter prioritario y de seguridad nacional. (Art. 14 Bis 5. Ley de aguas nacionales, DOF 18-04-2008).

## ACCIONES PROPUESTAS

Después de un análisis riguroso del marco legal vigente, de la identificación del marco de atribuciones correspondiente a cada uno de los actores involucrados, y del análisis de los apoyos y debilidades que enfrenta la propuesta de Política Pública, se consideran las siguientes acciones como elementos a instrumentar:

- Incorporar en los monitoreos, parámetros específicos para evaluar el efecto del cambio climático en la calidad del agua.

Propuesta para la incorporación del referente *cambio climático* en la Ley de Aguas Nacionales.

- Proponer la metodología de análisis de datos correspondiente al agua superficial para añadirla en la NOM-127-SSA1-1994 y en la Ley de Aguas Nacionales.
- Posicionar institucionalmente la metodología de análisis y evaluación generada (guía metodológica).
- Promover una mayor participación interinstitucional sobre el problema del cambio climático.
- Generar nuevos cuadros de ambientalistas con una visión de administradores públicos enriqueciendo los programas de posgrado que se ofrecen en diversos centros de investigación y educación superior nacional.
- Promover la difusión de publicaciones institucionales sobre el tema.
- Coadyuvar a la materialización de una gestión integral del agua.

Finalmente, en la ilustración cuatro se presentan las acciones propuestas, partiendo de los datos de

entrada, acción recomendada, marco normativo, actores institucionales definidos a partir de la planeación y la política hídrica, y los instrumentos rectores que constituyen el sustento legal que dota a la propuesta de viabilidad y factibilidad.

## CONCLUSIONES

Existe una correlación lineal entre la temperatura del agua y la del ambiente. Esta tesis se confirma en México después de sendos estudios realizados en cinco cuerpos de agua que establecieron una correlación entre el 70 y el 95%. La importancia de estos resultados estriba en su utilidad, a falta de información confiable sobre la temperatura del agua, para estudiar los datos de la temperatura del ambiente como un método indirecto mediante el cual se determine un incremento en la temperatura del agua.

Los estudios antes citados registraron un incremento de entre 0.7 y 1.3 °C considerándose un valor promedio de 0.9 °C mismo que tendrá un impacto significativo en la sociedad, sin contar los efectos sobre los sistemas acuáticos ambientales. En caso de no haber implementación de adaptaciones, la calidad del agua se verá afectada fuertemente para los próximos años (2050) en las tres importantes cuencas estudiadas (Río Bravo, Lerma-Chapala, Río Grijalva).

La toma de decisiones acertadas para la protección del recurso hídrico se ha visto limitada porque no se cuenta con una base de datos de calidad del agua confiable, que considere los parámetros que permitan realizar una evaluación de impactos.

Es necesario, como primera etapa, redefinir y/o complementar los sitios de monitoreo, así como los parámetros de calidad del agua medidos, pues ellos, en primera instancia, fueron seleccionados sin considerar el tema del cambio climático.

Proponer acciones que permitan atenuar los impactos de manera regionalizada y eficiente, implicará un gasto importante que los gobiernos federal, estatal y municipal deberán cubrir en el corto plazo.



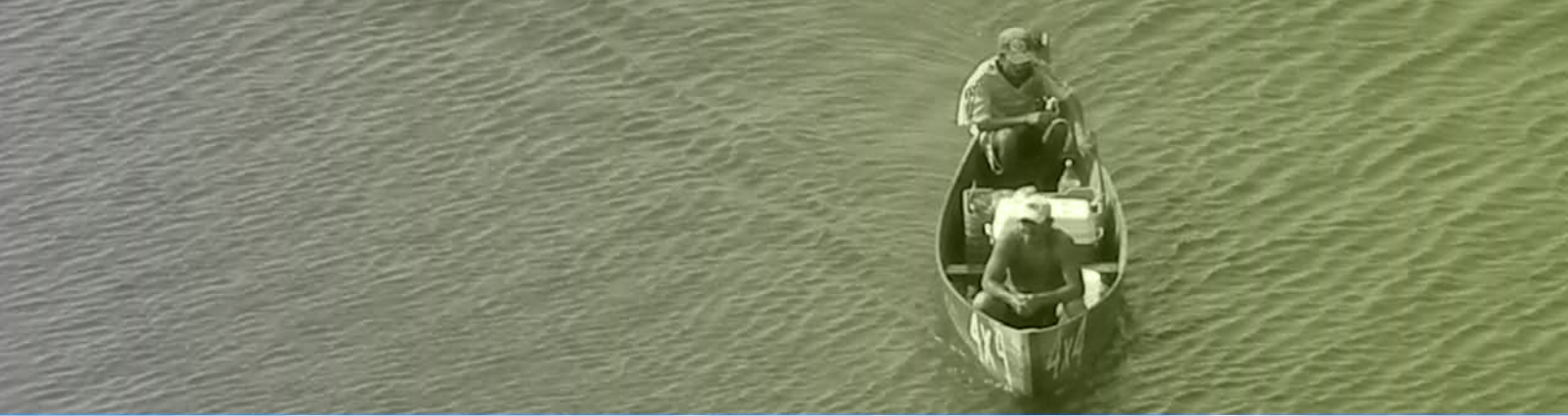
Es necesario incorporar el tema del cambio climático en la planeación y gestión de los recursos hídricos, considerando que el objetivo más relevante es la incorporación del binomio *cambio climático-calidad del agua* en la Ley de Aguas Nacionales tal y como lo plasman las recomendaciones de políticas públicas propuestas en *Impacto del cambio climático en la calidad del agua en México* (IMTA, 2011).

Los Gobiernos Federal, Estatal, Municipal y las Instituciones Académicas deberán impulsar en forma coordinada todas aquellas medidas que se definan para alcanzar un nivel de sustentabilidad en el recurso hídrico en México.

## REFERENCIAS

- Conagua, 2010, Estadísticas del agua en México. Comisión Nacional del Agua-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 2010.
- Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA). 2010. Climate Change Plan. London. 172 pp.
- Department of Climate Change (DCC). 2010. Adapting to Climate Change in Australia. 200 pp.
- European Environment Agency (EEA). 2007. Climate change and water adaptation issues. EEA Tech. Report no. 2/2007, Copenhagen, Denmark.
- Gleick P.H. y D.B. Adams. 2000. The Report of the Water Sector Assessment Team of the National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change. USCC.
- Hammond D. y R. Pryce. 2007. Science Report SC060017/SR. Environment Agency. Gran Bretaña. 111 pp.
- Hari R. E., D.M. Livingstone, R. Siber, P. Burkhardt.Holm y H. Güttinger. 2006. *Global Change Biology*, 12, 10-26.
- ICLEI. 2011. European Secretariat GmbH. Adapting urban water systems to climate change.
- IMTA 2009, Leal M.T., D.V. Millán y C. Vázquez. 2009. Impact of climate change on quality of water. FCO/IMTA.
- IMTA, 2010, García J.L., Ramírez N., Vázquez C. y Moeller G. (2010) Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México., Vol. III. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Cap. 6., Calidad del agua.
- IMTA 2011, Leal M.T., Ramírez N., García J. y C. Vázquez. 2011. Climate change impact on Mexico's quality of water. (IMTA)
- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- IPCC. 2001. Scientific Basis. Third Evaluation Report. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- León y Ramírez, Juan Carlos (2006), "Modelo prospectivo de política pública" en: León y Ramírez, Juan Carlos y Mora Velázquez Salvador (Coordinadores), *Ciudadanía, democracia y políticas públicas*, UNAM, México.
- Magaña O.V. 2008. Mapas elaborados para los escenarios A2 y A1B, propuestos por el IPCC, que muestran proyecciones para las climatologías 2020s, 2050s y 2080s. Instituto de Ciencias de la Atmósfera UNAM.
- Magaña O.V. y E. Caetano. 2007. Pronóstico climático estacional regionalizado para la República Mexicana como elemento para la reducción de riesgo, para la identificación de opciones de adaptación al cambio climático y para la alimentación del sistema: cambio climático por estado y por sector. Instituto Nacional de Ecología – SEMARNAT. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/climatico/descargas/c2007o.pdf>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). La economía del Cambio Climático en México. 2010.







# IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN EN EL SECTOR HÍDRICO

CARLOS PATIÑO GÓMEZ  
NORMA IVETTE REZA GARCÍA

## INTRODUCCIÓN:

### IMPORTANCIA DE LA ADAPTACIÓN

El crecimiento poblacional registrado durante el siglo XX y que continúa, especialmente, en los países en desarrollo, aunado a una creciente concentración urbana y cambios en los hábitos de consumo, ha ocasionado enormes presiones sobre los recursos naturales con su consecuente repercusión en el medio ambiente; aunado a lo anterior, los cada vez más recurrentes fenómenos extremos producidos por la variabilidad climática, principalmente, han originado en diversas regiones y en México en particular, un problema de gran envergadura que se caracteriza por una mayor escasez hídrica, de una parte y fenómenos extremos, de otra; así los daños en vidas e infraestructura son más costosos, sobre todo para los países en desarrollo. Adicionalmente existen pocas iniciativas referentes a la adaptación ante los efectos del cambio climático.

De acuerdo a la Agenda 1, en el caso del agua, para ilustrar el efecto del crecimiento poblacional, basta citar que durante el siglo XX la población mundial se cuadruplicó, pero la extracción del agua de las fuentes naturales se multiplicó por nueve.

Si bien se tiene cierta conciencia del tema y de su relevancia, es necesario actuar con mayor premura, con acciones a corto, mediano y largo plazos para que se propicie una regulación que obligue a la creación, implementación y cumplimiento de buenas prácticas en favor del desarrollo sustentable. Esta es la mayor forma de atenuar los impactos del cambio climático y el



perjuicio que conllevan los eventos meteorológicos extremos, tanto en la sociedad mexicana -sobre todo la más vulnerable integrada por los sectores social y productivo-, como en algunos ecosistemas, cuadro 1.

Cuadro 1. Sectores más vulnerables al cambio climático.

SOCIAL	PRODUCTIVO	ECOSISTEMAS
Población de edad avanzada	Forestal	Acuático
Grupos marginados	Productores de ganadería intensiva	Suelos de montaña
Migrantes	Productores de cultivo de temporal	Semiáridos
No sujetos de crédito Asentamientos irregulares	Turismo de playa	Humedales

Cabe señalar que dentro del sector social, la población con un nivel de marginación alto, ha sido la más vulnerable ante los efectos producidos por el cambio climático, que en los últimos años han incrementado la intensidad de sus efectos en el territorio mexicano.

Los procesos de adaptación, complejos y difíciles de realizar, usualmente se efectúan de manera complementaria, raras veces se aplican medidas de adaptación como respuesta al cambio climático, en ocasiones representan también, una forma inmediata para enfrentar fenómenos extremos como olas de calor y ciclones; es decir, se encuentran incluidas dentro de iniciativas sectoriales más amplias relacionadas, por ejemplo, con la planificación de los recursos hídricos, las defensas costeras y las estrategias de reducción de riesgos (Huarcaya, 2009).

Ante el cambio climático, se requieren dos tipos de respuesta: la primera supone disminuir su magnitud de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), para lo cual deben adoptarse medidas de mitigación; y la segunda actuar para hacer frente a sus impactos inevitables, es decir, tomar medidas de adaptación (*Libro Blanco*, 2009).

Para comprender mejor el argumento de la adaptación, proponemos adoptar, para este capítulo, la definición del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) “adaptación es el ajuste en sistemas naturales y humanos en respuesta a estímulos climáticos reales o esperados o a sus efectos, de modo que se minimicen los daños y se aprovechen las nuevas oportunidades generadas por tales cambios”.

Para su uso práctico, el concepto de adaptación se ha dividido en dos: adaptación autónoma, que tiene lugar sin la intervención humana, y la adaptación planeada, que se efectúa en función de acciones y medidas informadas y estratégicas (IPCC, 2001).

La adaptación en su contexto más amplio puede aceptarse como una *respuesta adecuada* para enfrentar los impactos del cambio climático, ya que preserva los procesos de desarrollo y facilita el progreso de los medios de vida actuales. Esto involucra un proceso de ajuste sostenible y permanente como respuesta a situaciones cambiantes, generalmente de ámbito ambiental. Este ajuste deberá contar con la flexibilidad de las instituciones y los sistemas de gestión para hacer frente a los inciertos cambios que habremos de enfrentar.

Asimismo, la adaptación al cambio climático requiere dos tipos de acciones: una relacionada con el pronóstico y la valoración de los impactos y la vulnerabilidad y, la otra, con el desarrollo y evaluación de opciones de respuesta (IPCC, 2001). Un factor más a considerar es que la adaptación se puede presentar antes, durante o después del estímulo o amenaza (cuadro 2); y también que, en los procesos adaptativos debe prestarse una atención especial a los grupos más vulnerables dentro de la sociedad, para evitar pérdidas y mayores costos.

Cuadro 2. Procesos de adaptación.

Estímulo o amenaza externa → Adaptación autónoma (espontánea o reactiva)
Adaptación preventiva → Estímulo o amenaza externa (cambio climático)
Cambio climático → Adaptación planeada (pro-activa) → Políticas

Para cumplir con lo antes expuesto será necesario generar la información base (datos contenidos en los escenarios climáticos regionalizados, presentados en formato espacial y temporal) que dará la pauta para identificar las zonas más vulnerables. De acuerdo a ellas, se orientará la estrategia de adaptación ante el cambio climático que, a su vez, dará forma a las políticas que regulen y aseguren que las medidas adoptadas se lleven a cabo adecuadamente en el corto, mediano y largo plazos.

## EL SECTOR HÍDRICO EN EL PROCESO DE ADAPTACIÓN

Del sector hídrico, de gran relevancia para la sociedad en general, dependen, debido al ciclo hidrológico, los sistemas vivos y, por incidencia directa, los ecosistemas y el medio ambiente. Asimismo el

desarrollo económico depende de la disponibilidad de agua, pues esta se usa, en mayor o menor medida, en todos los procesos productivos y en el transporte.

Se tiene la certeza de que el cambio climático tendrá importantes consecuencias en el ciclo hidrológico es generada por el calentamiento global, que afecta un gran número de zonas ubicadas no sólo en México, sino alrededor del Mundo.

Al presentarse un aumento de temperatura habrá una acumulación de energía en el sistema atmosférico, la cual alterará el ritmo del ciclo hidrológico de manera considerable; ocasionando una modificación en los patrones de lluvia y escurrimiento, lo que conlleva a que haya cambios en la disponibilidad de agua y en la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos. De ahí, la importancia y la premura con que habrán de implementarse medidas que hagan frente a este desajuste que ocurrirá durante el proceso.



Fuente: Norma Ivette Reza, IMTA, 2011.

Generalmente, el medio ambiente es percibido por muchos como fuente de recursos naturales infinitos, los cuales son utilizados para alimento o para generar materias primas, de manera indiscriminada, sin regulación y sin orden. Esta conducta de sobreexplotación tiene como consecuencia el deterioro e incluso, en algunos casos, su abatimiento.

Se sabe que el agua, prioritaria en todos los aspectos de la vida, no tiene la debida importancia para la mayoría de la población, ya sea por falta de cultura, información, iniciativa o apego a la naturaleza del recurso, o a intereses económicos de quienes lo utilizan o regulan.

Es necesario resaltar que el recurso hídrico es, ante todo, un “servicio ecosistémico” que presta el medio ambiente y por tanto, es menester compensarlo con un pago que, como una de las medidas de adaptación implementadas ante el cambio climático, permita cubrir los gastos que implican la conservación y preservación del vital líquido.

Como ejemplo y de acuerdo con datos generados por el Centro Nacional de Prevención de

Desastres (Cenapred), los eventos que presentan riesgos hidrometeorológicos en México son: ciclones tropicales (huracanes), sequías, heladas, inundaciones (ilustración 1), tormentas de granizo, nevadas, marea de tormenta, viento, erosión y precipitación. Los cuatro primeros, de mayor incidencia durante los últimos años, han sido los más devastadores y sus principales víctimas, desde luego, se encuentran entre la población más vulnerable.

Un elemento importante de la planeación de acciones ante el cambio climático es contar con la preparación más adecuada para enfrentar los desastres causados por eventos climáticos extremos, así como optimizar la gestión del riesgo y la capacidad de respuesta social frente a estos. Lo cual, conllevará a reducir la vulnerabilidad, aumentar la resiliencia e implementar acciones de adaptación. Ante esto, es necesario diferenciar entre las acciones a implementar por eventos derivados de la variabilidad climática, y las medidas de adaptación ante el cambio climático; conceptos que muchas veces se confunden en el grueso de la población.

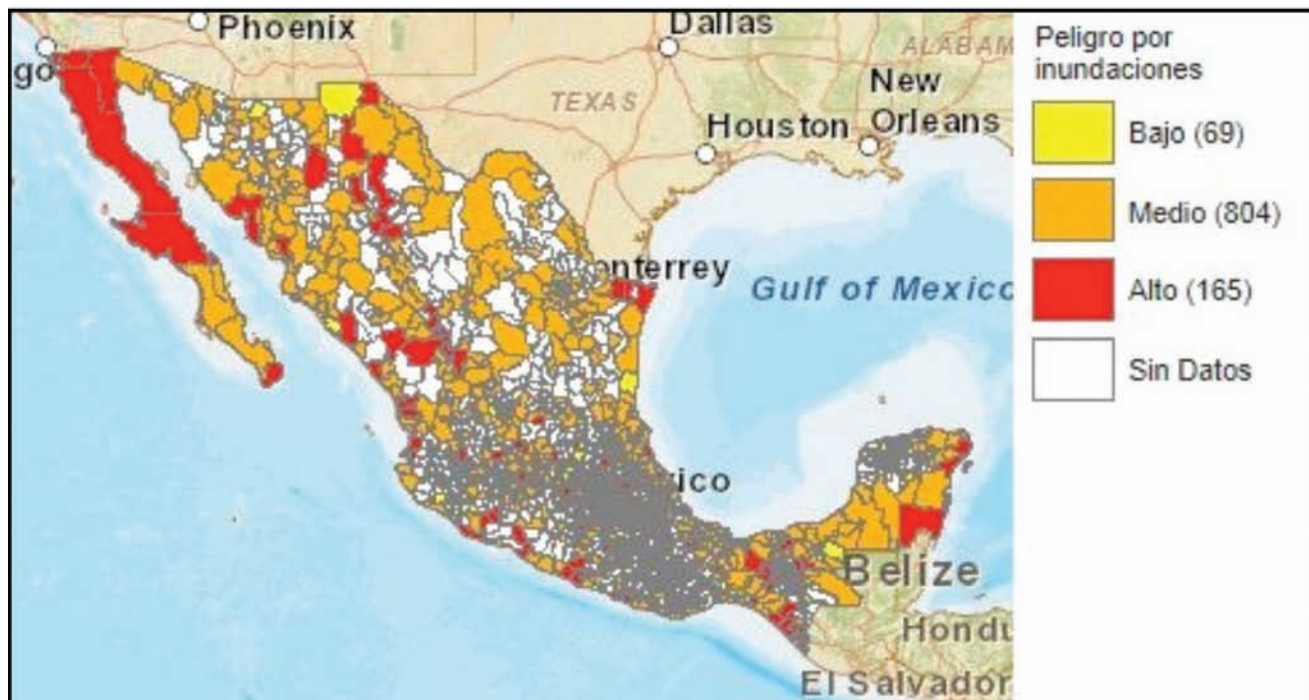


Ilustración 1. Riesgo por inundaciones en México (Cenapred, 2011).



## ECONOMÍA DE LA ADAPTACIÓN EN EL SECTOR HÍDRICO

La adaptación al cambio climático presenta varios desafíos, entre ellos, el de comprender el alcance total de sus implicaciones. Un componente sustancial del medio ambiente es el clima, presente en la atmósfera global y que, por tanto, no tiene fronteras. Desde una perspectiva económica, el informe Stern (2006) considera que el clima es un bien público, lo que conlleva al supuesto de que el cambio climático representa una situación generalizada en la que los costos o beneficios de producción y/o consumo de los recursos naturales no se ven reflejados en su precio de mercado; por lo que, afecta a toda la población de tal manera que nadie paga ni es, en su caso, compensado.

Actualmente, existe una crisis financiera global la cual, de acuerdo con algunos estudiosos de la economía, será resuelta, en buena medida, precisamente por los países en desarrollo. Ante tal complejidad y en términos económicos, para desarrollar cualquier estrategia que haga frente a esta problemática, se debe considerar el cambio climático de manera global por un lado y, territorialmente por otro, sin olvidar el grado de inferencia entre ambos; asimismo, tener en cuenta que ha generado problemas en la sociedad que se tienen que resolver en forma prioritaria y con una visión de largo plazo.

Para que las medidas de adaptación a implementarse tengan el efecto planeado y trasciendan a futuro es indispensable vincularlas con la visión de desarrollo, el cual es primordial para reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático, dado que el crecimiento económico es elemental para que la sociedad mejore su calidad de vida. Sin embargo, hay que lograr que este proceso de desarrollo coincida con los escenarios futuros del clima y con los cambios sociales, geo-políticos y económicos, en este contexto se explica el hecho de que la adaptación no arroje resultados que se puedan medir en forma absoluta en cualquier tiempo. Del mismo modo, el enfoque de estimación de las pérdidas, tanto hu-

manas como económicas, ocasionadas por el cambio climático es otro factor que podría asegurar la implementación de las acciones de adaptación en el corto plazo.

Por otro lado, el calentamiento global y los eventos meteorológicos extremos que se han suscitado en México durante los últimos años, se consideran anomalías con un nivel de riesgo elevado en las que existe una probabilidad de eventos catastróficos y de efectos de retroalimentación importantes. Más allá de los valores económicos que puedan asignarse a los impactos climáticos o a los procesos de mitigación, es necesario evitar pérdidas irreversibles que afecten la biodiversidad y administrar apropiadamente el riesgo de un evento catastrófico, incluyendo aquellos con escasa probabilidad de ocurrencia o de situaciones climáticas más intensas, producto de los procesos de retroalimentación. Identificar los niveles de riesgo y plantearlos adecuadamente requiere combinar un análisis económico sólido con una toma de decisión informada, que incluye ponderar algunos principios éticos (Galindo, 2009).

El sector económico en México tiene conciencia sobre esta conceptualización de los costos que implica el cambio climático a nivel global y que, como en todos los países en desarrollo, cuesta más trabajo enfrentar en todos los niveles. Bajo este panorama se tienen que iniciar procesos de adaptación o fortalecer los ya existentes, los cuales tenderán a crecer en las diversas actividades económicas relativas al sector hídrico.

Asimismo es de prever que se incrementará el estrés hídrico a causa de los cambios económicos, del uso de la tierra y, en particular, del crecimiento de la población y el consecuente desarrollo de áreas urbanas, entre otros factores.

El Sistema de Cuentas Ecológicas y Económicas de México, es utilizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para identificar el impacto que tiene en el Producto Interno Bruto (PIB), tanto el desgaste de los acervos de capital fijo, durante el proceso productivo, como el agotamiento y deterioro de los recursos del medio ambiente, ocasionado por las actividades vinculadas a la producción, la distribución y el consumo. Entre los elementos que incorpora están el balance de:



- Los activos económicos producidos, que son activos surgidos de procesos productivos que comprenden construcciones e instalaciones, maquinaria y equipo, acciones para las mejoras de tierras, etc. También se incluyen los activos económicos no producidos, que se definen como aquellos que son utilizados durante el proceso de producción, pero que no provienen de un proceso productivo en sí, tales como el suelo y la masa forestal, entre otros. Los activos ambientales no producidos son aquellos de origen natural que son afectados por la actividad económica, tales como el agua y el aire.
- El agotamiento del petróleo, del agua subterránea y de los recursos forestales.
- Las pérdidas de superficie forestal (hectáreas) por cambios de uso del suelo.
- La degradación del agua, el aire y el suelo. Con respecto a la erosión del suelo y a la contaminación del agua y el aire, este Sistema los considera temas ambientales, para los cuales se toma en cuenta el impacto en la calidad de estos recursos, ya que su problemática está relacionada principalmente con la degradación de los mismos. Por ello, que es importante plantear acciones que permitan reducir o eliminar dicha contaminación, de acuerdo a ciertos estándares de calidad previamente

establecidos, que consideren, por ejemplo, el uso particular del agua.

- Los gastos de protección ambiental del gobierno Federal, del Distrito Federal, de las 31 entidades federativas, de las empresas públicas y del sector institucional de los hogares.
- Los gastos de protección ambiental del Gobierno Federal, del Distrito Federal y de los organismos descentralizados.
- El Producto Interno Neto Ecológico (PINE), como su principal indicador ambiental (Sunyer-Martín y Peña del Valle, 2008).

Asimismo, el Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sostenible (CESPEDES) publicó en 2001, el *Índice de sustentabilidad ambiental. Sustentabilidad ambiental comparada en las entidades federativas de México*. Los resultados mostraron que, con respecto a la elevada correlación entre el PIB y el valor del índice ambiental, disminuir los niveles de pobreza en muchas de las entidades federativas de la República Mexicana, es condición necesaria para conseguir la anhelada sostenibilidad. También una mayor capacidad de integración a los mercados internacionales parece ser garantía de desarrollo y de sostenibilidad (Sunyer-Martín y Peña del Valle, 2008).



## ACCIONES ORIENTADAS AL DESARROLLO Y A LA ADAPTACIÓN EN EL SECTOR HÍDRICO

Muchas de las iniciativas que el Gobierno Federal ha dispuesto, desde hace varios años, para impulsar el desarrollo del país se relacionan con el tema del cambio climático y, las más recientes, son aquellas encaminadas al proceso de adaptación ante los impactos de la variabilidad climática.

El documento *Fomento de las Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba*, se inició a partir de 2003 con el apoyo financiero del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés), a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Entre los resultados del proyecto se definen estrategias de adaptación en el sector hídrico, las cuales incluyen principalmente:

- Uso eficiente de agua de uso agrícola.
- Reducción de la sobre explotación de acuíferos.
- Empleo eficiente del agua para uso urbano.
- Reducción del uso de agroquímicos.
- Reducción de la evapotranspiración.

Tlaxcala fue seleccionada como sitio de estudio por ser representativa en nuestro país de la forma en que se desarrollan las acciones de apropiación y uso de los recursos naturales: la agricultura, el aprovechamiento forestal y el uso del agua son ejemplo de la problemática de sobreexplotación, contaminación y deterioro del medio ambiente.

Para coordinar la formulación de políticas de acción climática, en abril de 2005 se creó la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC) integrada por los titulares de diez secretarías de estado. El INEGI es invitado permanente. En noviembre de 2006 la CICC publicó el documento *Hacia una Estrategia Nacional de Acción Climática* (HENAC), con base en el cual se formuló la *Estrategia Nacional de Cambio Climático* (ENCC). Posteriormente, con fundamento en la ENACC y en el marco del *Plan Nacional de Desarrollo* (PND), se

elaboró el *Programa Especial de Cambio Climático* (PECC).

El *Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012* reconoce al cambio climático como un problema ambiental y de desarrollo. El cuarto eje de política pública de sustentabilidad ambiental menciona que es prioritario para la planeación del desarrollo del país impulsar medidas de adaptación ante los efectos del cambio climático. Para ello, se presentan cuatro estrategias:

- Diseñar y desarrollar capacidades nacionales de adaptación.
- Desarrollar escenarios climáticos regionales para México.
- Evaluar los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en diferentes sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos.
- Promover la difusión de información sobre impactos, vulnerabilidad y medidas de adaptación al cambio climático.

En el *Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012* se plantean tres objetivos principales:

- Instrumentar la *Estrategia Nacional de Cambio Climático*.
- Reconocer la vulnerabilidad de diferentes sectores sociales frente al cambio climático e iniciar proyectos para el desarrollo de capacidades nacionales y locales de adaptación. Prevenir los riesgos derivados de fenómenos hidrometeorológicos y atender sus efectos. Entre las acciones sectoriales propuestas sobre adaptación, destacan la de potenciar los ordenamientos ecológicos y territoriales como instrumentos preventivos frente a los impactos previsibles del cambio climático y la de reducir sus manifestaciones con un manejo integrado y sustentable del agua, a fin de fortalecer el desarrollo y la aplicación de los atlas de riesgos para distintos niveles de toma de decisiones.



El *Programa Nacional Hídrico (PNH) 2007-2012* propone diversos objetivos en materia de adaptación:

- Mejorar la productividad en el sector agrícola.
- Incrementar el acceso y la calidad de agua potable, el alcantarillado y saneamiento.
- Promover el manejo integrado y sustentable del agua en cuencas y acuíferos.
- Mejorar el desarrollo técnico, administrativo y financiero del sector hidráulico.
- Consolidar la participación de los usuarios y

tecnificación de riego, promueve la realización de proyectos integrales con obras y prácticas de conservación y fomenta el uso sustentable del agua. Como una estrategia de adaptación del sector se promueve la reconversión productiva y tecnológica en regiones frecuentemente afectadas por fenómenos climatológicos adversos; se alienta el establecimiento de cultivos con menores requerimientos hídricos; se incentiva la modalidad de agricultura protegida y se proponen estudios sobre vulnerabilidad y desarrollo de capacidades nacionales y locales de respuesta y adaptación al cambio climático. La Secretaría de



la sociedad organizada en el manejo del agua y promover la cultura de su buen uso.

- Prevenir los riesgos derivados de fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos extremos y atender sus efectos.
- Evaluar los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico.
- Crear una cultura contributiva y de cumplimiento a la Ley de Aguas Nacionales en materia administrativa.

El *Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario y Pesquero 2007-2012* apoya la inversión para

Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) también ha sido pionera en apoyar a los productores y campesinos contra pérdidas de cosechas causadas por efectos de variación climática, a través de instrumentos de seguros contra daños como el *Programa de Atención a Contingencias Climatológicas* (PACC).

En 2009 se inicia la elaboración de los *Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático* (PEACC). El Instituto Nacional de Ecología (INE) asesora técnicamente a las entidades federativas para la elaboración de los PEACC, los cuales son instrumentos de apoyo para el diseño de políticas

públicas sustentables y acciones relacionadas en materia de cambio climático en los gobiernos estatal y municipal, además de ser un elemento importante para la política de cambio climático en México. A la fecha, se han concluido los PEACC en ocho estados: Chiapas, Distrito Federal, Hidalgo, Nuevo León, Guanajuato, Puebla, Tabasco y Veracruz.

La *Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)*, elaborada en 2009, reporta los avances del país en materia de cambio climático, a partir de la publicación de la *Tercera Comunicación Nacional en 2007*. La vulnerabilidad ante algunos impactos del cambio climático puede reducirse de forma significativa con una adecuada conservación de los ecosistemas y una gestión eficiente de las cuencas hidrográficas.

El *Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012*, es el instrumento de política transversal del Gobierno; el PECC compromete a las dependencias federales para presentar políticas públicas en materia de adaptación, para atender siete sistemas humanos y naturales, y uno sobre enfoque de gestión de riesgo. En resumen, se plantean 37 objetivos y 142 metas de adaptación.

En 2010, la Semarnat implementó el proyecto *Framework for Adaptation to Climate Change in the Water Sector Development Policy Loan*, en el cual participará la CONAGUA como principal ejecutor. Su financiamiento proviene de un préstamo del Banco Mundial para el desarrollo de políticas públicas destinadas a apoyar los esfuerzos del gobierno de México para fomentar la adaptación al cambio climático en el sector agua. La operación propuesta se compone de dos áreas de actuación:

- Fortalecimiento del marco institucional y capacidad de monitoreo en la gestión integrada de recursos hídricos.
- Incorporación de la adaptación al cambio climático en los programas de agua. Entre los resultados esperados se encuentran:
  - Desarrollo de planes de gestión en los principales acuíferos, por parte de la

CONAGUA. Es de suma importancia contar con información actualizada sobre la condición de los acuíferos en el país, que permita elaborar un plan de gestión conjunta, considerando tanto el escurrimiento superficial como el agua subterránea, que también incluya propuestas de medidas de adaptación que ayuden a mantener los acuíferos en equilibrio.

- Mejora de la información disponible sobre el estado del recurso hídrico en el país, requiriendo para ello fortalecer las redes de monitoreo de cantidad y calidad del agua, pues la falta de información confiable ha sido identificado como uno de los principales obstáculos para el planteamiento de medidas de adaptación factibles en tiempo y forma, que tome en cuenta las condiciones espacial y temporal de los sistemas.
- Aumento en la productividad en programas de irrigación.
- Elevar el porcentaje de tratamiento del agua residual del 36 al 60 por ciento.

El creciente impacto de los desastres asociados con eventos climáticos, cambios paulatinos en el ciclo hidrológico, patrones de procesos productivos, distribución de especies y ecosistemas, el incremento en el nivel promedio del mar, hacen indispensable implementar medidas coordinadas para adaptarse a estos cambios.

Por ello, en México se ha asumido la responsabilidad de articular y armonizar políticas públicas orientadas a reducir la vulnerabilidad y fortalecer las capacidades de adaptación de los distintos sectores de la sociedad, de los sistemas naturales y productivos, además de la infraestructura estratégica del país; lo que a su vez, representa una oportunidad para promover nuestro desarrollo sustentable en el corto, mediano y largo plazos.

La generación de una Política Nacional de Adaptación permitirá fortalecer la capacidad de

adaptación de la sociedad, en particular de los sectores más vulnerables y de los sistemas naturales y procesos productivos dependientes del clima que riga su desarrollo (Semarnat, 2010).

Como respuesta a esta necesidad, se formó el *Grupo de Trabajo para Políticas y Estrategias de Adaptación (GT-ADAPT)*, que coordina la CICC del Gobierno Federal. El GT-ADAPT está formado por las secretarías de Gobernación (Segob), de Relaciones Exteriores (SRE), de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), de Hacienda y Crédito Público (SHCP), de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), de Comunicaciones y Transportes (SCT), de Desarrollo Social (Sedesol), de Salud (Salud), de Economía (SE) y de Energía (Sener), y tiene como invitados permanentes a la Secretaría de Turismo (Sectur) y al Instituto Nacional de Geografía y Estadística (ilustración. 2).



Ilustración 2. Comité Intersecretarial de Cambio Climático.

Parte fundamental de la tarea del GT-ADAPT es asumir la responsabilidad de articular y armonizar políticas públicas orientadas a reducir la vulnerabilidad y fortalecer las capacidades de adaptación de los distintos sectores de la sociedad, de los sistemas naturales y productivos, además de la infraestructura estratégica del país. Asimismo, es encargado de formular las políticas y estrategias de adaptación que mejorarán los procesos para que la población se enfrente a los impactos producidos por el cambio climático (Semarnat, 2010).

El GT-ADAPT elaboró el documento *Marco de Políticas de Adaptación a mediano plazo* presentado en la “16ª Conferencia de las Partes de la

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP16)”. Incluye los principios orientadores, ejes estratégicos y líneas de acción que se siguen a partir de 2011 para continuar el diseño de la política de adaptación y sus instrumentos adecuados bajo seis acciones inmediatas.

Un año antes se presentó una iniciativa de Ley en el Senado de la República, misma que derivó en el proyecto de decreto que expide la Ley General de Cambio Climático, publicado en la Gaceta Parlamentaria de la LXI Legislatura de la H. Cámara de Diputados, con fecha de 8 de diciembre de 2011.

Este proyecto de decreto de Ley busca establecer las bases de coordinación entre la Federación, los estados y sus municipios, el Distrito Federal y la sociedad en general; define las estrategias, políticas públicas y metas que tengan por objeto la mitigación y la adaptación al cambio climático. Propone, de igual manera, reducir la vulnerabilidad de la población en general y los ecosistemas de México ante el cambio climático. También contempla la permanencia y fortalecimiento de la CICC, así como la creación de un Consejo de Cambio Climático, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y el Sistema Nacional de Información sobre el Cambio Climático; entre otros. Tendrá por objeto definir la política de Estado para la mitigación y adaptación.

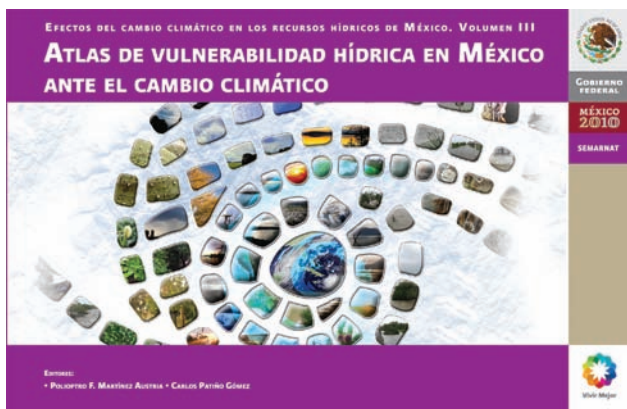
De acuerdo con el PNH 2007-2012, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), centro público de investigación y organismo descentralizado de la Semarnat, tiene como parte de sus objetivos realizar investigación para la generación de conocimiento en los temas de agua y cambio climático. Por ello, como parte del compromiso en materia de investigación para asegurar el recurso hídrico, se realizó el *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático* (2010), el cual es parte fundamental para la elaboración del *Atlas de Vulnerabilidad Nacional y la Estrategia Nacional de Adaptación ante el Cambio Climático* y con ello, contribuir en la generación de políticas de adaptación tan necesarias actualmente para la población mexicana. Este Atlas de Vulnerabilidad Hídrica se





compone de seis capítulos: Índice de vulnerabilidad social, Escenarios climáticos en México proyectados para el siglo XXI: precipitación y temperaturas máxima y mínima, Impacto del cambio climático en la temporada de lluvias y ciclones tropicales en México, Vulnerabilidad hídrica global: agua superficial, Vulnerabilidad de la agricultura de riego en México ante el cambio climático, y Calidad del agua.

Este documento, que se suma al acervo generado y acumulado en materia de cambio climático en nuestro país, más que mostrar una visión catastrofista, es una invitación a la reflexión sobre la necesidad de tomar medidas que permitan reducir la vulnerabilidad hídrica de nuestro país y afrontar, de la manera más adecuada, las amenazas relacionadas con el cambio climático.



Fuente: IMTA, 2010.

Aproximarse a este fenómeno desde la perspectiva de la vulnerabilidad permite entender y explicar las causas y los síntomas de los desastres asociados a los fenómenos naturales, disminuir las consecuencias negativas en la organización social, y establecer una base operativa para el diseño de políticas sociales, de prevención y de adaptación del país a este enorme reto.

Otro esfuerzo del Gobierno Mexicano es el desarrollo de la *Agenda del Agua 2030* (2011) que manifiesta una creciente preocupación por el abasto de agua y su distribución regular con la calidad necesaria. Se tienen presentes las dificultades que eso representa, así como los temas prioritarios de pobreza y migración, que muchas veces ocurren de manera asociada a la carencia de agua potable o a sequías.

De igual forma, preocupan tendencias como la relación entre el cambio climático y su inferencia en la producción de alimentos, los ecosistemas, la seguridad de las poblaciones cercanas al mar, el abatimiento y la degradación de cuerpos de agua superficial y subterránea como consecuencia de la sobreexplotación constante a que son sometidos; se espera que todo lo anterior genere un posible crecimiento del conflicto social por efecto de una menor disponibilidad de agua (CONAGUA, 2011).

Entre otras acciones se plantea la necesidad de establecer a la brevedad un *Fondo Contingente de*

*Adaptación al Cambio Climático* para enfrentar alteraciones en los patrones de precipitación e insolación, mediante el mejoramiento de la capacidad de respuesta para acometer de forma efectiva sustituciones o grandes modificaciones a los sistemas de suministro de agua, de protección contra inundaciones y de manejo de sequías.

En 2011 se inició la producción del *Atlas de Vulnerabilidad Nacional* que coordina el INE con la participación del IMTA, el Cenapred y el INEGI. En paralelo se estructura la *Estrategia Nacional de Adaptación* (ENA), coordinada por el INE y el GT-ADAPT de la CICC. La información generada estará sujeta a la revisión de un Comité Asesor externo al GT-ADAPT, integrado por científicos expertos. Asimismo, el INE como Coordinador de las Comunicaciones, ha convocado al GT-ADAPT a diversas reuniones de trabajo para redactar un contenido preciso y completo de la *Quinta Comunicación Nacional de México* en 2012, ante la CMNUCC.

Un claro ejemplo sobre la implementación de un proceso de adaptación planificada, es el desarrollo del proyecto *Adaptación de humedales costeros en el golfo de México ante los impactos del cambio climático*, guiado por buenas prácticas de iniciativas internacionales que se intentan reproducir en México. Surgió de la voluntad del Gobierno de México como uno de los trabajos para hacer frente al cambio climático y fomentar la formación y el fortalecimiento de capacidades para la adaptación.

Para este proyecto, que cuenta con el apoyo financiero del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés) a través del Banco Mundial como agencia implementadora, se identificaron y priorizaron las principales amenazas bajo cambio climático en cuatro humedales piloto del Golfo de México, así como las estrategias de adaptación correspondientes. Esta iniciativa, en la que participan el INE y el IMTA, evaluará la planificación de los recursos hídricos por el impacto del cambio climático, incluida la identificación de opciones de respuesta, principalmente en los humedales costeros y cuencas hidrográficas relacionadas.

## IDENTIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y POSIBLES MEDIDAS DE ADAPTACIÓN EN EL SECTOR HÍDRICO

El recurso hídrico es considerado como un importante servicio ecosistémico debido a que es un elemento clave en el funcionamiento de la masa de agua continental, así como de los ecosistemas terrestres y costeros; es también un beneficio proporcionado, en parte, por el medio ambiente al intervenir directamente en el ciclo de carbono, además de representar una fuente de importantes recursos financieros.

No obstante, en algunas regiones de México el agua ha alcanzado un elevado nivel de estrés por el uso excesivo y sin suficiente control; convirtiéndola en fuente de incentivos y subsidios que en lugar de ayudar a su conservación la perjudica. Un ejemplo de esto es cuando se utiliza con subsidio o costo cero de derechos en la agricultura (mayor uso en México), su principal contaminante, además de ser considerado como el mecanismo por el que se ven más afectados los ecosistemas terrestres.

Lo anterior, es parte de la problemática que existe en México para dar paso a una creciente necesidad: la implementación de medidas de adaptación que afronte los impactos del cambio climático, considerando las afectaciones de la variabilidad climática, así como los beneficios y oportunidades que se pueden aprovechar de estos impactos.

Para generar una propuesta de posibles medidas de adaptación en el sector hídrico se deben tener en cuenta los principios orientadores, ejes estratégicos y líneas de acción del documento rector *Marco de Políticas de Adaptación de Mediano Plazo* (2010), que elaboró el GT-ADAPT (cuadro 3). Asimismo, habrá que considerarlos *Programas de Ordenamiento Territorial* que sirven como instrumentos para implementar las medidas de adaptación.

Por otro lado, se han establecido prioridades para las acciones a realizar y gestionar el recurso hídrico frente a las afectaciones derivadas del cambio climático, con base en los siguientes principales indicadores:



- Pérdidas humanas y económicas causadas por desastres naturales relacionados con el agua.
- Inundaciones (población que vive en áreas expuestas al riesgo).
- Escasez de agua.
- Desertificación.
- Humedad del clima.
- Humedad del suelo.
- Calidad del agua.
- Cantidad de carbono almacenado en la tierra con afectación en acuíferos.
- Transferencia de sedimentos (contaminantes).
- Servicios hídricos. (Cenapred, 2011).

Cuadro 3. Elementos guía para para el desarrollo de una estrategia de adaptación.

PRINCIPIOS ORIENTADORES	EJES ESTRATÉGICOS	LÍNEAS DE ACCIÓN
Enfoques territorial y ecosistémico.	Desarrollo institucional, transversalidad y coordinación.	I.1 Fortalecimiento de los mecanismos de coordinación intersectorial. I.2 Coordinación entre los tres órdenes de gobierno. I.3 Colaboración entre el sector público y otros sectores de la sociedad.
	Articulación, instrumentación y evaluación de políticas públicas.	II.1 Cumplimiento de los tratados e instrumentos internacionales. II.2 Instrumentos jurídicos. II.3 Instrumentos de planeación y ordenamiento del territorio. II.4 Instrumentos de gestión. II.5 Instrumentos económicos. II.6 Monitoreo y evaluación.
Derechos humanos, justicia social y equidad de género.	III. Reducción de la vulnerabilidad social y física.	III.1 Reducción de la vulnerabilidad en asentamientos humanos. III.2 Reducción de la vulnerabilidad de los sectores productivos. III.3 Reducción de la vulnerabilidad de la infraestructura.
	IV. Conservación y restauración de la funcionalidad ecológica de paisajes y cuencas.	IV.1 Protección y conservación de ecosistemas y biodiversidad. IV.2 Diseño e implementación de una estrategia de conectividad ecológica-territorial. IV.3 Restauración de ecosistemas vinculados con la funcionalidad hidrológica de cuencas y costas. IV.4 Reconversión productiva en zonas agropecuarias de alta vulnerabilidad.
Garantizar la participación de la sociedad.	V. Financiamiento para la adaptación.	V.1 Planeación y ejercicio del gasto público. V.2 Articulación de fondos y fuentes de financiamiento. V.3 Instrumentos financieros de disminución de riesgo.
	VI. Investigación y desarrollo tecnológico.	VI.1 Generación y profundización del conocimiento sobre escenarios de cambio climático. VI.2 Generación de escenarios sobre vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en distintas escalas. VI.3 Evaluación social, ambiental y económica de las acciones de adaptación. VI.4 Desarrollo y apropiación de tecnología. VI.5 Desarrollo de un inventario de buenas prácticas de adaptación.
Acceso a la información y a la transparencia.	VI. Comunicación de la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático.	VI.1 Diseño de una estrategia de comunicación, educación y fomento de las acciones de adaptación.

Fuente: Semarnat, 2010.



De manera general, el proceso de adaptación devendría en un *Sistema de Gestión Integrada* para el manejo del recurso hídrico con un programa de acciones estratégicas planeadas, en el contexto del desarrollo y con enfoque ecosistémico de adaptación a largo plazo. Este sistema incluiría un fondo destinado a su implementación, así como un programa de educación ambiental. Una parte importante del proceso sería la evaluación a través del monitoreo constante, que permitiera el éxito de dicho sistema.

Debido a que los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas y la gente suceden a través de cambios en las condiciones hidrológicas, el ciclo hidrológico juega un papel muy importante en el tema de adaptación. El agua es un ítem transversal en todos los sectores y para entender mejor la problemática que enfrenta México ante el cambio climático, a continuación se desglosan cuatro factores de interés nacional: inundaciones, sequías, uso del recurso hídrico y aspectos sociales.

## INUNDACIONES

### Eventos meteorológicos extremos

Se ha incrementado la intensidad de huracanes y otros fenómenos meteorológicos que inciden en territorio mexicano, esto ha generado cuantiosos daños e inundaciones recurrentes en los estados del centro y sureste del país. Las pérdidas humanas y materiales han sido considerables.

Una forma de resolver este problema es mejorar la gestión del recurso hídrico en México que daría lugar a la restauración de los ecosistemas que en algunos casos podría, incluso, ser más eficaz en función de los costos, comparada con las soluciones tradicionales de ingeniería; también ofrecería significativos beneficios con relación a los servicios que proporciona, así como una mayor resiliencia y, adicionalmente, una mejora del paisaje (estético y cultural). Todo ello, conllevaría a un ejercicio de adaptación planeada.

Otra manera de enfrentar estos impactos es mediante la implementación o actualización del programa para el mejoramiento del drenaje pluvial y de control de avenidas. Para ello, es necesario contar con un fondo que se aplique al desarrollo de tecnología especializada para resolver o atenuar la amenaza.

De acuerdo con el *Atlas Nacional de Riesgos* (Cenapred, 2011), otras formas que ya se han implementado en algunas zonas del país son el mejoramiento de medidas de prevención que incluyen los sistemas de alerta temprana, evacuaciones masivas, compra de seguros para la recuperación de pérdidas, partidas presupuestarias predefinidas para ayuda, modificación de criterios de diseño en la ingeniería de construcción, reconstrucción de comunidades afectadas, incentivos para la reubicación y planes de contingencia para el manejo de las emergencias, entre otras.

Cabe mencionar que la probabilidad y gravedad crecientes de eventos meteorológicos extremos, propiciarán un aumento considerable del riesgo de tener malas cosechas, lo que conllevará a tomar medidas de adaptación en el corto plazo y poder satisfacer la necesidad prioritaria de alimentación, no sólo del ser humano sino también de los animales de consumo.

Un ejemplo de adaptación planeada es el que se lleva a cabo en el Tabasco debido a las constantes inundaciones que han padecido y padecen los habitantes de esa región. El proyecto piloto se realizó a través del Fondo Nacional de Habitaciones Populares (FONHAPO) de la Sedesol, y consiste en la implementación de vivienda tipo Palafito (ilustración 3).

En Tabasco sufrieron en 2010 inundaciones 13 municipios con un total de 24,846 viviendas afectadas, cuyo costo de reparación ascendió \$187,544,635.00: 70% recursos federales, \$131,281,244.50. En el municipio de Centla, se dañaron 5,970 viviendas, 4,841 se repararán a través del Programa FONDEN con un monto de \$33,764,451.00 y 1,129 por medio de el Programa TU CASA, en su modalidad de Situaciones Especiales, con un monto total federal de \$40,701,



Ilustración 3. Proceso de construcción del palafito en Tabasco (Sedesol, 2010).

442.67. Las acciones a realizar son la construcción de 1,100 recámaras adicionales en palafitos y 29 unidades básicas de vivienda en palafitos.

En otro curso de acción y también derivado de las inundaciones del año 2007, se expropiaron terrenos expuestos a la orilla del río Grijalva, se demolieron las construcciones irregulares y se reubicó a las familias de acuerdo al Programa de Reubicación

de Asentamientos Humanos Irregulares en Zonas Portuarias.

Durante el 2009 se contrató un consultor para elaborar la guía de reubicación de asentamientos humanos irregulares en zonas portuarias, que llevó al cabo la Sedesol con el apoyo de la SCT y la Semarnat. Lo que prosigue es realizar y hacer operable un programa de reubicación de los asentamientos humanos irregulares en zonas portuarias con la ayuda de Protección Civil y la SCT, siguiendo los contenidos de la guía.

## Humedales

Un factor que ayudará a contrarrestar las inundaciones será el mejorar la gestión de los humedales, dirigiéndola a la mitigación y adaptación al cambio climático. Los humedales son de gran trascendencia en el tema de adaptación, ya que a través de su restauración y conservación se minimizan las inundaciones y, con ello, los efectos nocivos. El rol que juegan en la diversidad biológica





y los ecosistemas es importante en la regulación de los eventos extremos y la disponibilidad del agua.

Por ejemplo, de acuerdo a los escenarios climáticos proyectados, en el humedal Punta Allen de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Quintana Roo, habrá precipitación más intensa; con ello, la zona será más vulnerable a los impactos y será necesario la implementación de medidas de adaptación.

Bajo la visión del concepto de crecimiento verde, una propuesta de adaptación podría ser la migración, de acuerdo a un plan de zonificación a través de escenarios climáticos, de los humedales a otros sitios que sean menos propensos al riesgo. De la misma forma, una estrategia de manejo y conservación del humedal, podría permitir una repoblación y reforzamiento del mismo. Un punto importante como parte del planteamiento de una estrategia de adaptación, sería fortalecer el monitoreo de la implementación de ésta propuesta.

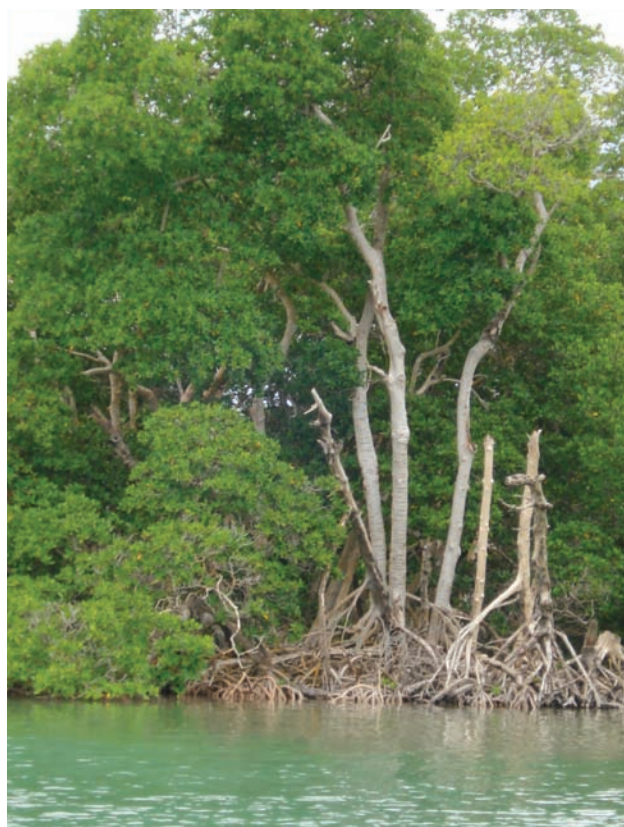
Se sabe que las turberas, los humedales y las profundidades oceánicas permiten el almacenamiento de grandes cantidades de carbono. Las marismas ofrecen protección contra las tormentas, por tanto una medida de adaptación sería establecer una zona de amortiguamiento mediante la conservación de humedales, es decir, implementar una barrera natural.

Otro factor a considerar es la calidad del agua en la cuenca del humedal, ya que afecta directamente a su biodiversidad. Se tendría que replantear o implementar (en su caso), un programa de gestión del recurso hídrico caudal arriba.

También se podría implementar como una medida de adaptación, el desarrollo de tecnología que optimice el tratamiento de agua a través de los humedales, lo que redundaría en un doble beneficio. Como herramienta se tendrían que utilizar técnicas de modelación que apliquen específicamente en el proceso de adaptación.

## SEQUÍAS

La sequía es un problema que está afectando actualmente gran parte del territorio mexicano,



Humedal de Punta Allen en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Quintana Roo.  
Fuente: IMTA, 2011.

sobretudo en la zona norte, en la que se encuentra la mayor parte de las zonas agrícolas; lo que puede generar una disminución en la producción de alimentos y por ende, se ha convertido en un tema de seguridad nacional. De acuerdo al Monitor de Sequías para América del Norte de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés), se ha observado un incremento en la sequía severa de alrededor del 15% en la zona norte de México. Es por ello que es sumamente importante tener en cuenta que el impacto por este fenómeno extremo aún no ha llegado a su punto máximo en algunas zonas agrícolas ubicadas dentro del territorio nacional. Ello debido a que, en algunos casos, aún se cuenta con disponibilidad de agua en las presas para el ciclo de riego en curso, o que algunos acuíferos en la zona aún o están sobre-explotados. Sin embargo,



si la sequía severa se prolonga para el siguiente ciclo agrícola, la disponibilidad de agua almacenada en las presas será insuficiente para satisfacer la demanda agrícola, y con ello aumentará la presión sobre las fuentes de agua subterránea.

## Agricultura

Como principal medida de adaptación ante tales efectos, se recomienda rediseñar un programa de acción inmediata que especifique las medidas de adaptación por región y por cultivo, debido a la variación de su ciclo. Crear un fondo viable para sustentar las acciones a seguir, así como implementar políticas y leyes que obliguen al uso sustentable de los servicios ecosistémicos.

Para ello, se tendría que modificar la forma de uso del agua para riego, garantizar su conservación y llevar al cabo acciones de restauración de suelos y cobertura terrestre. Es preciso que se realicen cambios en las prácticas agrícolas como redirigir el sistema de riego a través de una infraestructura adecuada, que permita el uso sustentable del suelo y evite la sobreexplotación de los acuíferos.

Otro factor a considerar para la implementación de medidas de adaptación en la agricultura, es modificar la forma en la que se manejan distintos tipos de subsidios directos o indirectos que, a menudo promueven el uso ineficiente y el consumo excesivo de agua con efectos importantes en otros ecosistemas, especialmente en los deltas de los ríos. Por lo que, habría que modificar la forma en se proporcionan dichos subsidios.

Algunas prácticas que se realizan actualmente y que son consideradas como una forma de adaptación autónoma en zonas agrícolas sostenibles, son por ejemplo, la reutilización del carrizo y el tule en Michoacán, o la poda de vegetación en Tlaxcala para evitar la evapotranspiración y que al mismo tiempo, es aprovechada como abono. Asimismo, un uso sostenible del recurso hídrico en la agricultura, sería incrementar el reúso de agua tratada para riego.

En este punto es importante mencionar que también se pueden aprovechar los impactos del

cambio climático, es decir, transformarlos a impactos positivos. Con ello, se podrían implementar medidas de adaptación aprovechando los efectos producidos, como: la posibilidad de nuevos cultivos, el tener un período mayor para el desarrollo de los cultivos, una producción mayor por aumento de CO<sub>2</sub>, una aceleración en la maduración, y una reducción en la severidad y duración de heladas; lo cual conllevaría a una producción mayor de cosechas por año.

## Forestal

Entre los posibles efectos del cambio climático sobre el sector forestal, cabe citar las modificaciones en la productividad y la salud de los bosques, así como en el área de distribución geográfica de algunas especies de árboles. El cambio climático va a ejercer una presión añadida sobre los sectores de la pesca y la acuicultura. Los efectos serán también graves en los ecosistemas marinos y costeros: aumentarán las tasas de erosión costera, y podría resultar insuficiente la protección que brindan las defensas costeras (Libro Blanco, 2009).

Estos cambios afectan la calidad del suelo al reducir la materia orgánica que contribuye enormemente a su fertilidad. Las consecuencias del uso no sostenible del agua subterránea en los bosques, hace que haya una reducción de las capas freáticas. Por ello, se puede realizar una alternativa de adaptación mediante el pago por servicios ambientales o los llamados bonos de carbono de acuerdo con el Protocolo de Kioto (Naciones Unidas, 1998). Esto sería una opción para re-direccionar la distribución y uso del agua y proporcionar los incentivos necesarios. Al respecto, el evitar el cambio de uso de suelo sería una forma de adaptación para el sector forestal y agrícola.

La variación en la incidencia de precipitaciones impulsada por los cambios en los ecosistemas puede afectar la cobertura terrestre y, con ello, provocar la deforestación y la escasez del agua subterránea, que es una gran amenaza para la cobertura terrestre natural.

Deforestación → Tierras áridas → Desertificación

Las especies exóticas invasoras pueden afectar el ciclo hidrológico y provocar escasez del agua, por lo que sería necesario tener en cuenta su eliminación o, en dado caso, su control. Por otra parte, esta situación puede generar la emigración de los pobladores de la región afectada y con ello diversos tipos de complicaciones sociales como la disgregación familiar, descuido y deterioro de propiedades, comercio y afectaciones a otras actividades productivas.

La medida de adaptación más utilizada en la actualidad en México, es la reforestación de las zonas que han sufrido pérdida de cobertura forestal. De igual modo, el desarrollo de infraestructura adecuada para la captación de agua pluvial en zonas forestales, sin que ésta afecte al medio, es una acción que se puede implementar en el mediano plazo. Asimismo, se debe reforzar el *Plan de prevención contra incendios*.

## USO DEL RECURSO HÍDRICO

### Gobierno y economía

El reto de los responsables políticos es comprender el alcance de los impactos del cambio climático, así como desarrollar y aplicar medidas para garantizar un nivel óptimo de adaptación. Las estrategias centradas en la gestión y la conservación de los recursos hídricos, edáficos y biológicos son una vía para controlar dicho impacto y una contribución para prevenir catástrofes y mantener y restaurar ecosistemas sanos que funcionen correctamente y sean resistentes al cambio climático (Libro Blanco, 2009).

Aprovechar la capacidad de la naturaleza para absorber o controlar impactos en zonas urbanas y rurales es un modo de adaptación más eficaz, que centrarse simplemente en la infraestructura física.



La infraestructura verde puede desempeñar un papel esencial en la adaptación al proporcionar, en condiciones climáticas extremas, recursos básicos para fines sociales y económicos: mayor capacidad de almacenamiento de carbono y de agua del suelo y su conservación en los sistemas naturales para aliviar el efecto de las sequías y prevenir las inundaciones, la erosión del suelo y la desertificación (Libro Blanco, 2009).

Por ello, se propone examinar las políticas y la gestión del agua en favor de la sustentabilidad; por ejemplo, debido a la demanda de agua, los indicadores de tendencias mundiales (ej. *total de agua utilizada por la agricultura*) deben complementarse con indicadores de tendencias de eficacia (ej. *productividad hídrica de los cultivos*), con el fin de determinar en qué medida mejora la gestión orientada a la sustentabilidad.

La seguridad del recurso hídrico es prioritaria para el Gobierno Federal, porque de ella deriva, entre otros factores, la medida de nuestra seguridad alimentaria. La participación de los gobiernos regionales es básica en la aplicación adecuada de los recursos necesarios para realizar medidas exitosas a través, por ejemplo, de pagos por servicios ambientales o de dirigirlos, en las ciudades, con un enfoque ecosistémico destinado a mejorar la seguridad del recurso.

En materia legal es necesario garantizar que la gestión y la aplicación de las Leyes Ambientales sean efectivas, eficientes, expeditas, transparentes y que incentiven inversiones sustentables a través de acciones de inspección, vigilancia y reparación de daños. También es menester revisar las leyes o reglamentos en vigor y hacer los cambios pertinentes dirigidos a un desarrollo sustentable.

### **Costo del recurso hídrico**

Debido a la escasez de agua en algunas zonas de México, es muy probable que se incremente su costo y con ello, su repercusión negativa en la sociedad. Sin embargo, esta medida es necesaria desde el punto de vista del servicio ecosistémico, que de otra forma simplemente no se podría brindar.

Por otra parte, para efectuar una política de gestión del recurso hídrico es necesario utilizar herramientas que ayuden en la planificación de los costos y de las pérdidas económicas, para lo cual se debe contar con: estimaciones de la disponibilidad futura de agua en las cuencas, datos de desagregación por uso de agua, información de costos de agua por uso y por cuenca, y estimaciones de costos futuros. Por lo pronto, los datos actuales de disponibilidad de agua, ante escenarios de cambio climático, no permiten estimar tanto su uso futuro por sector, como su productividad.

A menudo son considerados costos indirectos (CONAGUA, 2010) los correspondientes a subsidios para suministro y bombeo de agua que, en el caso del recurso hídrico que se encuentra en el subsuelo, no es sostenible por el consumo de electricidad implícito.

La sustentabilidad del agua, así como la de diversas actividades ambientales son un criterio clave para la protección de los ecosistemas, por medio de la reducción de la huella hídrica. Otro aspecto igualmente importante, es la gestión proactiva de los ecosistemas destinada a lograr la seguridad del recurso hídrico.

Una consideración de tener en cuenta para valorar el costo que representa el recurso hídrico, es la reducción de la contaminación ambiental, principalmente en las grandes ciudades; además del de garantizar la calidad de la infraestructura construida con un enfoque en las tecnologías verdes. Para ello, habría que fomentar una mayor participación del sector privado.

### **Energía**

El sector energético es uno de los principales usuarios del recurso hídrico. Como ya es sabido, los efectos previstos del cambio climático (menor precipitación y mayor aumento de temperatura) en nuestra región tendrán consecuencias directas, tanto en la oferta como en la demanda de energía por parte de la industria y de las ciudades para refrigeración en verano, entre otros usos; lo que



influirá negativamente en el proceso de enfriamiento de las centrales termoeléctricas y en la productividad en las plantas hidroeléctricas. El impacto de eventos meteorológicos extremos también afectará la distribución de electricidad.

Por otro lado, la energía hidroeléctrica (incluida la operación de represas) afecta a los ecosistemas del agua continental, ya que depende de un ciclo hidrológico sostenible. Por ejemplo, en algunos lugares la deforestación causa efectos adversos sobre la disponibilidad de agua para la generación de energía hidroeléctrica, pero crea a su vez, alianzas entre los intereses del sector y de la conservación, a través de la restauración de la cobertura vegetal.

En el proceso de adaptación y como parte fundamental de la implementación de nuevas políticas, se requiere del desarrollo e innovación de tecnología para el tratamiento de agua, la fabricación de equipo de climatización y materiales de construcción, entre otros.

## ASPECTOS SOCIALES

Los problemas y soluciones relativas al recurso hídrico son muy específicos para cada caso y lugar, pues dependen de la disponibilidad de agua *in situ*, del nivel de degradación de los ecosistemas y de las condiciones socioeconómicas.

### Salud y calidad del agua

La variación climática cambiante, manifestada en la intensificación de la frecuencia con que ocurren los eventos extremos, repercutirá, sin duda, en la salud al acelerar la propagación de enfermedades infecciosas graves transmisibles por vectores, la calidad de vida, y el índice de mortalidad de los habitantes y la fauna de la región afectada.

De igual manera, es una amenaza para el bienestar de los sistemas vivos al repercutir en la salud vegetal, al favorecer la aparición o migración de organismos nocivos, que perjudicarán gravemente al comercio de animales, plantas y productos derivados.

Por ello, es imprescindible la implementación de medidas como, la generación de un fondo, el replanteamiento de las políticas de salud actuales, el establecimiento de un plan de educación y difusión dirigido a la prevención y adaptación, entre otras.

Los cambios en las condiciones hidrológicas afectan la calidad del agua, ya de por sí alterada con la erosión, la sedimentación y la carga de sustancias químicas. Estos impactos pueden transferirse a una mayor escala, por ejemplo, agua arriba en los deltas; esto puede observarse actualmente en algunas áreas naturales protegidas, incluidas las de zonas marinas y costeras.

Al respecto, se podría mejorar el tratamiento del agua residual modificando su manejo y desarrollando mejor tecnología, además de generalizar, a corto plazo, una acción como la que se realiza en algunas partes de nuestro litoral: implementar en todo el país un plan de restauración y mantenimiento a las playas y zonas costeras. Aunado a lo anterior, es de suma importancia implementar un Plan de cultura del agua, que garantice en el mediano plazo, que la población no contamine el agua de los acuíferos.

### Sociedad, prácticas indígenas y equidad de género

El cambio climático pone de manifiesto en todo el mundo los distintos grados de vulnerabilidad social: los países que producen menor cantidad de emisiones son los que, paradójicamente, verán sus sistemas naturales y humanos más severamente afectados, debido a que sus medios de sustento son altamente dependientes de los recursos naturales, tienen altos grados de marginación y son más sensibles al hambre y a la pobreza, entre otros factores (PNUD, 2008).

Esos fenómenos tienen fuertes repercusiones sobre la economía y la sociedad: daños en la infraestructura relacionada con el transporte y el suministro de agua y electricidad, principalmente, lo que supone una amenaza concreta en zonas densamente pobladas. Esta situación podría agravarse en las zonas costeras por el aumento del nivel del

mar. Habrá que aplicar un planteamiento estratégico y a largo plazo a las ordenaciones territorial y marina, así como a las políticas de transporte, desarrollo regional, industria, turismo y energía (Libro Blanco, 2009).

Por esta razón, el análisis de la vulnerabilidad social debe considerarse como un factor clave que actúa en la conformación del riesgo ante posibles desastres. La vulnerabilidad social es un concepto central para predecir y entender la existencia de impactos diferenciados en los distintos grupos de una sociedad, dado que son las características internas de los elementos expuestos a las amenazas, las que, en mayor o menor medida, los hacen propensos a sufrir daños (IMTA, 2010). Por ello, en la medida que se reduzca la pobreza descenderá la gravedad de los efectos del cambio climático en la sociedad.

evaluadas para implementarse como réplica en las grandes ciudades.

La dimensión de género relacionada con la diversidad biológica es particularmente relevante en lo que se refiere al recurso hídrico, ya que, las mujeres son actores muy importantes en el cuidado y bienestar de las familias, para las que los servicios ecosistémicos son un componente central. Ellas también juegan un papel fundamental en la seguridad alimentaria, que depende del acceso al recurso hídrico.

Los impactos provocados por los eventos meteorológicos extremos como las mortalidades materna e infantil, el acceso al agua potable y la mejora del saneamiento, entre otros aspectos inherentes a la calidad del agua, son temas clave a considerar en la implementación de estrategias y el establecimiento de medidas y políticas de adaptación.



Una forma de adaptación en las zonas indígenas podría estar fundamentada en las prácticas locales, ya que, según los conocimientos tradicionales, se utilizan sistemas de gestión del agua, tales como las normas tradicionales, códigos morales, normas éticas y sanciones específicas para ayudar a promover la sustentabilidad. Estas prácticas podrían ser

### **Educación y difusión**

Un tema fundamental para el buen funcionamiento de la adaptación, es el de la educación. En México, el tema de cambio climático está de moda, sin embargo no se tiene una conciencia de la problemática real y existe un desconocimiento de los conceptos, lo que

conlleve a la confusión de términos.

La Secretaría de Educación Pública (SEP) ha incluido en su programa escolar el tema del cambio climático, lo que seguramente repercutirá positivamente en un futuro cercano. Por lo pronto, hace falta incrementar la difusión de esta información a la población adulta para que adquiera una cultura que garantice una conciencia de la problemática y propicie a realizar cambios, los que conduzcan a la sociedad a un desarrollo sustentable, para, que se reduzcan y/o amortigüen las pérdidas y costos del cambio climático.

Una acción educativa que se puede implementar de manera inmediata es la capacitación a comunidades rurales, locales e indígenas. Otra acción sería desarrollar programas de educación permanente y programas de formación de estudiantes.

Si bien, el Centro Nacional de Prevención de Desastres ha realizado campañas de difusión informativa, con el fin de promover la prevención ante los impactos, sería de gran utilidad multiplicar éste esfuerzo a través de los medios de comunicación masiva.

Por otro lado, es posible aplicar algunos de los conceptos referidos a México en el *Cuarto Informe GEO: perspectivas del medio ambiente mundial* (GEO-4), publicado en 2007 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Recomendaciones para la toma de decisiones en materia ambiental.

*Bienestar humano y del medio ambiente:* combatir la inflación y reducir la pobreza; garantizar la equidad de género; implementar acciones para aminorar los daños que ocurren en la salud pública; garantizar las necesidades básicas e indispensables para tener una calidad de vida digna y justa; generar acciones que conlleven a garantizar la seguridad nacional en materias: económica, política, cultural y medioambiental; todo lo anterior bajo una premisa cultural.

*Políticas Públicas:* efectivas a todos los niveles.

*El aire que respiramos:* reducción de emisiones perjudiciales a la atmósfera.

*Cambio climático:* acciones y medidas de atenuación y adaptación al impacto producido por fenómenos meteorológicos extremos. Políticas de desarrollo con soluciones innovadoras y emergentes, que a su vez crearán oportunidades de trabajo.

*Tierra y bienestar humano:* reducción de la deforestación, plan de manejo adecuado sobre el uso de suelo para la actividad agrícola, reducción de la polución química, evitar o remediar acciones que lleven a la erosión del suelo.

*Agua:* garantizar la calidad del agua, generar infraestructura que garantice la captación de agua pluvial, saneamiento y tratamiento de agua residual. Políticas sobre el uso adecuado del recurso hídrico en todos sus niveles.

*Biodiversidad y bienestar humano:* satisfacer las necesidades alimentarias, un gran desafío. Reducción de los factores que alteran la biodiversidad, políticas de desarrollo con soluciones innovadoras y emergentes.

Asimismo, la cooperación internacional a favor del cambio climático es una oportunidad digna de ser tomada en cuenta toda vez que, bajo una atmósfera global que no tiene fronteras, es competencia de todos el problema a enfrentar. Los países desarrollados son responsables de la mayor proporción de los gases de efecto invernadero que están en la atmósfera, pero los países en desarrollo son quienes pagarán el precio más alto por el cambio climático.

Las políticas orientadas, tanto a reducir las emisiones como a adaptarse a las consecuencias del cambio climático, impondrán costos sobre la economía mundial aunque, si se aplican de forma eficiente, se prevé que serán mucho menores a los que se producirían si no se adopta medida alguna, aunque requieran considerables inversiones. Para que los países en desarrollo puedan apoyar las medidas sobre el cambio climático, se necesita asistencia financiera previsible y de gran escala. Conforme a su cometido, el Fondo Monetario Internacional (FMI) centra sus labores en los desafíos macroeconómicos, fiscales y financieros del cambio climático y las políticas conexas (FMI, 2007).



## REFERENCIAS

- Agenda del Agua 2030** (CONAGUA, 2011). Gobierno Federal Mexicano, Comisión Nacional del Agua - SEMARNAT. México. 70 pp.
- Atlas Nacional de Riesgos**. Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred, 2011). Disponible en: <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx>.
- Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate change**. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001). Cambridge. US. Cambridge University Press. 1005 p.
- Estadísticas del Agua en México** (CONAGUA, 2010). Gobierno Federal Mexicano, Comisión Nacional del Agua - SEMARNAT. México. 259 pp.
- Fondo Monetario Internacional (FMI, 2007)**. Informe Anual. Comité del FMI sobre estadísticas de balanza de pagos. 31 pp.
- Galindo, L. M. 2009. **La Economía del Cambio Climático en México, Síntesis**. Gobierno Federal mexicano, Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 81 pp.
- Guía recursos de género para el cambio climático* (PNUD, 2008). Programa de las Naciones Unidas. México.
- Huarcaya, W. 2009. **Prácticas y tecnologías como medidas de adaptación el cambio climático y su incorporación en los proyectos de inversión**. Adaptación al Cambio Climático, Diciembre 2009. Perú. Disponible en: [http://adaptacioncambioclimatico.blogspot.com/2009\\_12\\_01\\_archive.html](http://adaptacioncambioclimatico.blogspot.com/2009_12_01_archive.html).
- Informe STERN: La economía del cambio climático**. 2006. Resumen de las Conclusiones. 5 pp.
- Libro Blanco, Adaptación al cambio climático: hacia un marco europeo de actuación**. 2009. Comisión de las Comunidades Europeas. Bruselas. 21 pp.
- Marco de políticas de adaptación al cambio climático: desarrollando estrategias, políticas y medidas** (PNUD, 2005). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, GEF. 274 pp.
- Marco de Políticas de Adaptación de Mediano Plazo** (Semarnat, 2010). Gobierno Federal Mexicano: Secretaría de Gobernación (Segob), Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol), Secretaría de Salud (Salud), Secretaría de Economía (SE), Secretaría de Energía (Sener) y Secretaría de Turismo (Sectur). México. 55 pp.
- Martínez-Austria, P.F. y Patiño-Gómez, C. 2010. **Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático**. Gobierno Federal Mexicano, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - SEMARNAT. México. 162 pp.
- México, IV Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático** (2009). Gobierno Federal Mexicano, Instituto Nacional de Ecología - SEMARNAT. México. 274 pp.
- México en Cifras**. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2011). Disponible en: <http://www.inegi.org.mx>.
- Perspectivas del medio ambiente mundial GEO4, medio ambiente para el desarrollo. Resumen para tomadores de decisiones** (PNUMA, 2007). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 36 pp.
- Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012**. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2009. México. 118 pp.
- Programa Nacional Hídrico 2007-2010**. Gobierno Federal Mexicano, Comisión Nacional del Agua - SEMARNAT. México. 163 pp.
- Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático**. Naciones Unidas, 1998. 25 pp.
- Sunyer-Martín, Pere y Peña del Valle Isla, Ana E. (2008) **Quince años del desarrollo sostenible en México**. Diez años de cambios en el Mundo, en la Geografía y en las Ciencias Sociales, 1999-2008. Actas del X Coloquio Internacional de Geocrítica. Universidad de Barcelona, España, 26-30 de mayo de 2008.







# ADAPTACIÓN DE LA AGRICULTURA DE RIEGO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO



WALDO OJEDA BUSTAMANTE  
ERNESTO SIFUENTES IBARRA  
ABRAHAM ROJANO AGUILAR  
MAURO ÍÑIGUEZ COVARRUBIAS

## INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática de México se encuentra influenciada por diversos fenómenos meteorológicos (Magaña *et al.*, 1999a; Magaña *et al.*, 1999b; Cortez, 2000), entre otros: El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), el monzón mexicano, la Oscilación Interdecadal del Pacífico y el desplazamiento anual de la zona intertropical de convergencia (ZITC).

Manejar el impacto de la variabilidad climática en el desarrollo de los cultivos es y ha sido un reto en los sistemas de producción agrícola. En adición a la variabilidad climática que pone recurrentemente a prueba la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, existe evidencia cada vez más indiscutible sobre el cambio del clima y no puede ser explicado sólo por los ciclos climáticos naturales, sino por razón antropogénica atribuida a la acumulación de gases de efecto invernadero (Solomon *et al.*, 2009).

El cambio climático agrega un importante factor adicional de estrés a los sistemas agrícolas ya afectados por una creciente demanda de recursos, por prácticas culturales de gestión insostenibles y por la degradación del suelo y el agua, que en muchos casos puede ser de magnitud igual o mayor a la asociada al cambio climático. Aunque estos factores interactuaran de manera distinta según las regiones, se espera que reduzcan la capacidad de algunos sistemas medioambientales de proporcionar, de manera



continúa a las comunidades que soportan, bienes y servicios esenciales para un adecuado desarrollo económico y social, en particular el que corresponde a la seguridad alimentaria y a las oportunidades de empleo.

En México, los cambios proyectados en los patrones climáticos en la precipitación y en la temperatura afectarán los componentes y los procesos asociados al ciclo hidrológico. Las proyecciones de cambio climático indican un incremento global consistente, con una variabilidad espacial y temporal regional, tanto de la temperatura como de la concentración del bióxido de carbono.

Aunque se espera que la precipitación se incremente en varias partes del mundo, la mayoría de las proyecciones climáticas indican una disminución de esta variable en la mayor parte de México. Seager *et al.* (2007) reportaron evidencias de que el noroeste de México se encuentra en un proceso de transición hacia un ambiente más árido debido a una reducción en la precipitación y a un incremento en la evaporación.

Para cumplir con la demanda de alimentos de acuerdo al crecimiento poblacional esperado, la tendencia incremental de la producción histórica continuará y, eventualmente, tendrá que duplicarse, Tubiello *et al.*, 2007. La agricultura es una actividad económica, social y cultural, que provee un amplio rango de servicios ambientales a la población que soporta. Sin embargo, la agricultura por ser una actividad muy sensible a la variabilidad climática, los cambios en los patrones climáticos tendrán impactos en los sistemas de producción agrícola y en las comunidades que dependen de ella. En consecuencia, es de gran importancia identificar y evaluar opciones de adaptación de la agricultura a corto y mediano plazos.

Para facilitar la coordinación interinstitucional, en 2005 se creó en México la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICCC) que sirve como autoridad nacional para el desarrollo e implantación de políticas y programas sobre este tema. Dicha Comisión presentó en mayo de 2007 la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC) que









contempla como líneas prioritarias la evaluación de efectos del cambio climático en la agricultura y posibilidades de reconversión productiva. En 2009, la CICC publicó el Programa Especial de Cambio Climático (PECC), cuyo Capítulo primero presenta el diseño y ordena las políticas públicas para la adaptación estratégica ante el cambio climático.

El PECC reconoce que el cambio climático es un problema de seguridad estratégica nacional y mundial y demanda desarrollar capacidades de adaptación ante sus impactos adversos; indica que es preciso reconocer y actuar de manera preventiva para reducir la vulnerabilidad de los sectores y áreas con posibles afectaciones e iniciar proyectos para el desarrollo de capacidades nacionales y locales de respuesta y adaptación que contribuyan a la producción de alimentos suficientes.

## TENDENCIAS Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA AGRICULTURA DE RIEGO

La agricultura proporciona una serie de bienes directos a la población que habita en su área de influencia. Sin embargo, las presiones antropogénicas a través de la degradación y cambio en el uso del suelo, así como la intensificación en la variabilidad climática están afectando sustancialmente el equilibrio de los ecosistemas donde se encuentran inmersas las zonas agrícolas. Lo anterior ha propiciado una serie de respuestas, principalmente autónomas y algunas veces de origen gubernamental, para promover prácticas de manejo sustentable de recursos naturales en estas zonas.

Varias regiones agrícolas del país presentan problemas para mantener el desarrollo de su población, en constante crecimiento, que ya se encuentra en estado crítico y demanda mejorar su seguridad alimentaria y reducir sus niveles de pobreza para lograr una mejoría en su calidad de vida (Verchot, *et al.*, 2007). Además, algunas regiones agrícolas son muy vulnerables a la variabilidad climática, en particular aquellas donde los productores dependen primordialmente de sus bienes y servicios para

subsistir. Uno de los retos del país es producir más en la misma superficie. La ilustración 1 indica que la superficie destinada a la siembra de maíz en México se ha mantenido prácticamente constante en los últimos años, a pesar de que el número de pobladores ascendió a casi 40 millones en el mismo período.

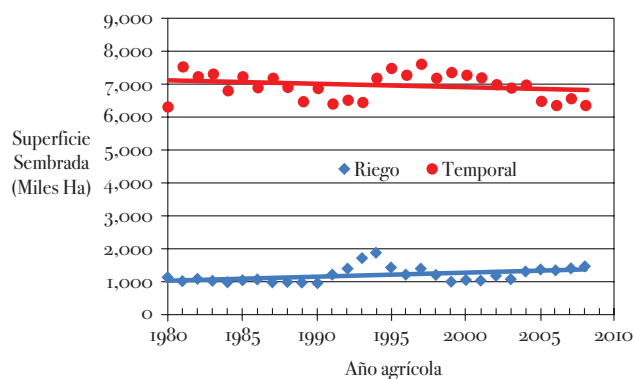


Ilustración 1. Superficie sembrada de maíz por año agrícola por modalidad de agricultura (elaboración propia con datos del SIAP, 2011).

La agricultura de riego ha mostrado una inclinación al uso intensivo de insumos agrícolas y semillas mejoradas lo que ha permitido mantener un rendimiento sostenido a la alza de diferentes cultivos en las últimas décadas. Por ejemplo, la tendencia del rendimiento promedio de maíz en los distritos de riego presenta un incremento anual promedio de 170 kg/ha en las últimas tres décadas, en una superficie que ha crecido a cerca de 300 mil hectáreas en ese periodo. La mayor concentración del incremento de la superficie dedicada de maíz de riego se ha presentado en el estado de Sinaloa, donde casi dos terceras partes de la superficie sembrada se dedica al maíz.

Existe preocupación de que el cambio climático adicionará mayor estrés a los sistemas de producción agrícola, por lo que la productividad de los cultivos podría disminuir a niveles críticos, poniendo a prueba la sostenibilidad de la agricultura en varias regiones agrícolas. El rendimiento del cultivo de maíz ha sufrido incrementos sustanciales en México, casi 5 ton/ha en tres décadas bajo condiciones de riego, mientras que bajo condiciones de temporal, han sido menores a 1 ton/ha (ilustración 2).



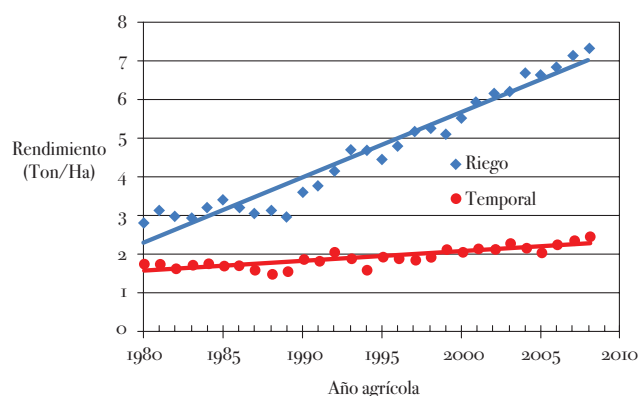


Ilustración 2. Variación anual del rendimiento del maíz por modalidad de agricultura (elaboración propia con datos del SIAP, 2011)

En el aspecto socioeconómico, la agricultura de riego intensiva, por efectos de su modernización en varias zonas agrícolas de México, ha mostrado una tendencia a la concentración de la tierra, restringiendo la generación de empleos y favoreciendo la emigración de la población rural. El incremento en los costos de los insumos, como semillas, pesticidas, fertilizantes y combustibles, ha disminuido la rentabilidad de la agricultura agravada por problemas en la comercialización, recurrencia de contingencias climatológicas y por la limitada planeación agrícola.

Las zonas de riego del país enfrentan con mayor frecuencia problemas de escasez e incertidumbre en la disponibilidad de agua, mayor competencia de agua por usuarios no agrícolas, y frecuente demanda social por incluir la protección del ambiente en su desarrollo. La superficie sembrada de riego se concentra principalmente en cultivos correspondientes al ciclo otoño-invierno y presenta una fuerte reducción de segundos cultivos por restricciones en la disponibilidad de agua.

Factores como el uso excesivo de agroquímicos (principalmente fertilizantes) y la baja eficiencia del riego, entre otros, han favorecido la degradación de los suelos en varias zonas de riego de alta rentabilidad. Ante estas circunstancias, combinado con la posible intensificación de la variabilidad y el cambio climático, los problemas de degradación del suelo y el agua podrían poner en riesgo la sostenibilidad de zonas de riego de alta vulnerabilidad. Las grandes

tendencias que incrementan la vulnerabilidad de la agricultura de riego de México son las siguientes:

- Incremento en costos de producción
- Incremento sustancial de la productividad de algunos cultivos como el maíz
- Volatilidad de precios de los productos agrícolas
- Nuevas demandas de productos agrícolas para la producción de biocombustibles
- Incertidumbre en la comercialización de productos agrícolas
- Demanda de productos agrícolas con alta inocuidad sanitaria, ante el temor de epidemias vinculadas a la agricultura
- Disminución de inversiones para el sector agrícola
- Baja diversidad de cultivos y variedades
- Mayor competencia por el agua en sectores no agrícolas
- Incremento en el número de acuíferos sobreexplotados
- Incremento de contingencias climatológicas: sequías, heladas, inundaciones, etcétera.
- Necesidad de mejorar la eficiencia de aplicación del riego (ilustración 3)



Ilustración 3. El riego por surcos con baja eficiencia de aplicación sigue siendo el principal sistema utilizado en las zonas de riego de México.

La sociedad puede intervenir para reducir el impacto del cambio climático a través de dos grandes acciones: mitigación y adaptación. La extensión de la vulnerabilidad de un sistema de producción agrícola depende de su grado de exposición ante una posible situación desestabilizadora, positiva o negativa, a través del cambio de una variable climática y al grado de sensibilidad de un sistema al responder a fluctuaciones del entorno actual, de acuerdo a sus condiciones socioeconómicas y tecnológicas (Ojeda, *et al.*, 2010). Estimar el grado de afectación de dichos sistemas depende de la posibilidad de realizar adaptaciones autónomas y de las políticas de adaptación planificadas promovidas desde los gobiernos y organizaciones privadas y públicas. Ilustración 4.

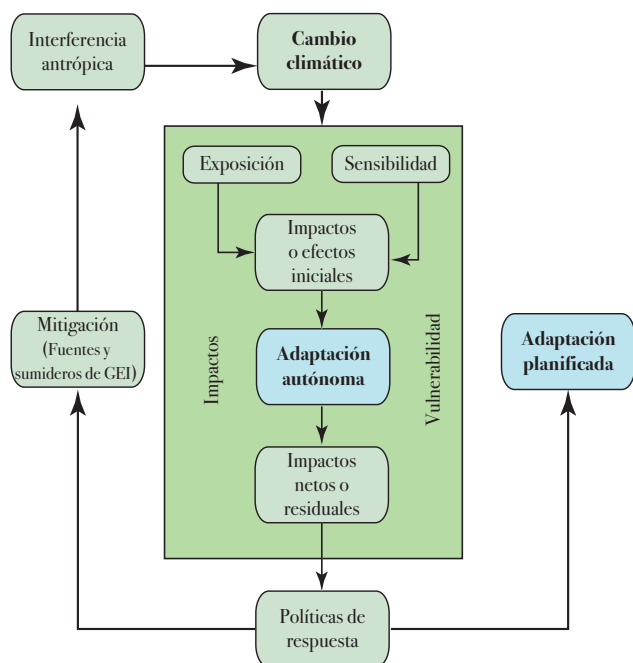


Ilustración 4. La adaptación como respuesta al cambio climático (adaptado de Smit *et al.*, 1999).

Las acciones de mitigación atacan de raíz el problema del cambio climático al tener como objeto la reducción de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera por medio de estrategias técnicas, políticas o métodos tendientes a disminuir o controlar su acumulación. El balance

de la concentración del CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera depende de los procesos que lo generan y de los que lo consumen. En este sentido, para reducir la concentración de GEI en la atmósfera existen dos vías: el empleo de tecnologías más eficientes o penalización a contaminadores, y captura o secuestro de los gases.

La agricultura no sólo es víctima de las repercusiones del cambio climático, sino también es origen del problema. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) ha documentado el aumento en la concentración de GEI asociados con la agricultura. Las actividades agrícolas son fuente responsable de la emisión de GEI por el uso de fertilizantes nitrogenados, la quema de soca y residuos vegetales y el consumo de combustibles fósiles por el uso de maquinaria en las actividades de labranza, fertilización y cosecha, por mencionar algunas. En este sentido, la agricultura juega un papel muy importante en el ciclo del carbono y se puede mantener o incrementar su contenido en el suelo mediante prácticas agrícolas como labranza mínima o cero, entre otras, con las cuales es factible su secuestro o retención en el suelo.

En consecuencia, las acciones de mitigación de importancia para la agricultura son: la mejora en el manejo de los suelos y cultivos para incrementar el almacenamiento de carbono en el suelo, la restauración de suelos anegados y degradados, la mejora de los sistemas de producción en cultivos inundados, la mejora en el manejo del estiércol para reducir emisiones de CH<sub>4</sub>, la mejora en la aplicación de fertilizantes nitrogenados productores de N<sub>2</sub>O, el uso eficiente de la energía en las actividades agropecuarias y la reducción de la quema de socas y residuos vegetales.

Las acciones de mitigación han recibido en todo el mundo, México incluido, mayor atención de la sociedad que las acciones de adaptación. En parte porque es más fácil monitorear cuantitativamente la efectividad de las acciones de mitigación que las de adaptación (cuadro 1). Ante las evidencias de la presencia del cambio climático y la alta probabilidad

de un gran impacto en la agricultura, las acciones de mitigación no son suficientes, se requiere implantar estrategias integrales de adaptación de manera anticipada y planificada a partir de estudios integrales multidisciplinarios bajo un esquema participativo.

Las acciones de mitigación tienen un alcance a largo plazo, lo que se haga hoy se verá reflejado más adelante, mientras que los beneficios de las acciones de adaptación son inmediatos a su aplicación (ilustración 5). Sin una fuerte y temprana respuesta de mitigación, los costos de la adaptación se incrementarán sustancialmente en el futuro.

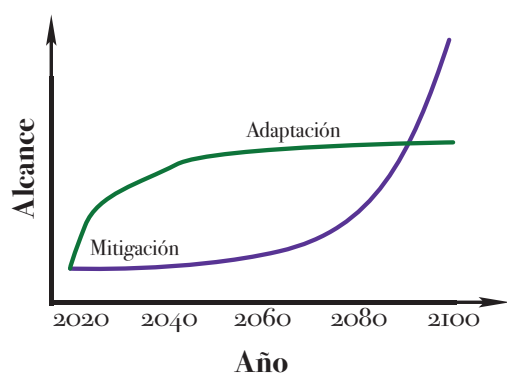


Ilustración 5. Efectividad de las acciones de adaptación y mitigación.

Cuadro 1. Características de las acciones de mitigación y adaptación (Füssel y Klein, 2006).

Característica	Acciones de mitigación	Acciones de adaptación
Sistemas de interés	Todos los sistemas	Sistemas seleccionados
Escala de efecto	Global	Local a regional
Vida útil	Siglos	Años a siglos
Efectividad	Alta certidumbre	Generalmente menos incierta
Beneficios complementarios	Algunas veces	A menudo
Contaminadores pagan	Usualmente	No necesariamente
Beneficios a los actores directos de la acción	Sólo poco	Casi completamente

Monitoreo	Relativamente fácil	Más difícil
-----------	---------------------	-------------

Estimar la repercusión causada por el cambio climático en el futuro está en función de las suposiciones sobre el desarrollo socioeconómico y tecnológico concurrente esperado. La comparación de estas estimaciones es difícil ya que depende del tipo y del nivel de las medidas de adaptación implantadas. Existen diferentes niveles de ajuste en relación al nivel de los impactos relacionados con el clima derivado de su variabilidad y su efecto, como lo ejemplificaron gráficamente Füssel y Klein (2006). En la ilustración 6 se muestran varias trayectorias hipotéticas en función de los impactos en un sistema debido a la variabilidad y al cambio climático.

La trayectoria inferior de la ilustración 6 denota el caso de referencia de un clima inalterado donde las variaciones en el nivel de los impactos temporales son causadas por cambios de factores no climáticos, dicha trayectoria presenta un incremento inicial relacionado con elementos socioeconómicos (por ejemplo, el crecimiento poblacional), posteriormente muestra un decremento sustancial (ejemplo, el desarrollo económico). La segunda curva se asocia al *agricultor clarividente (clairvoyant farmer)* que tiene una visión de las condiciones climáticas futuras y no evidencia restricciones para implantar medidas de ajuste en sus sistemas productivos.

La tercera curva del *agricultor listo* indica que usa la información disponible sobre las condiciones futuras esperadas para ajustar su sistema productivo en forma proactiva. La cuarta curva se asocia al *agricultor típico* que solamente ajusta sus prácticas de manejo en forma reactiva a los cambios persistentes del clima.

La trayectoria superior de la misma ilustración se asocia a un *agricultor lento* que no reacciona a las señales del cambio climático. Las barras a la derecha dejan ver las correspondientes interpretaciones de los impactos climáticos que varían de potenciales (asumiendo no adaptación) a inevitables (asumiendo adaptación perfecta). Lo anterior indica que el grado de los impactos en los sistemas productivos depende en gran parte de la oportunidad y tipo de acciones



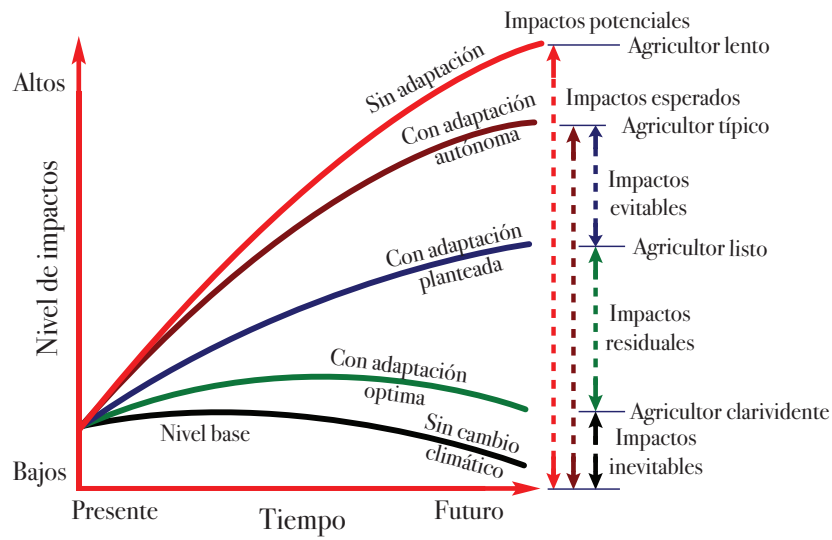


Ilustración 6. Diferentes conceptualizaciones del cambio climático y adaptación (adaptado de Füssel y Klein, 2006).

de adaptación aplicados a los sistemas productivos agrícolas.

A continuación se explica, apoyada en la ilustración 7, la función de las acciones de adaptación como respuesta antropogénica para aumentar el rango de tolerancia de un sistema productivo a una variable climática y así, disminuir los impactos del

cambio climático. Todo sistema productivo, de acuerdo a su nivel socioeconómico y productivo, se ha adaptado a un rango de tolerancia en la oscilación de una variable climática como la precipitación, lo cual tiene asociado un riesgo climático. En la misma ilustración se muestran dos zonas de impacto de un sistema productivo cuando una variable climática



se presenta fuera de la región de tolerancia, para el caso de la precipitación por abajo del umbral inferior indica condiciones de sequía y menores escurrimientos, mientras que por arriba del umbral indica condiciones de inundación, saturación de suelos, lavado de fertilizantes, y erosión.

Valores de la variable climática en el rango de tolerancia indican que el sistema responderá satisfactoriamente desde el punto de vista productivo, sin embargo, en el caso de que los valores de esta variable climática salgan del rango de tolerancia, el sistema productivo se estresaría y los resultados podrían ser catastróficos para los productores. En este sentido, un sistema productivo muy vulnerable se presenta cuando el rango de tolerancia actual de los valores de la variable climática es muy angosto.

Un reajuste en los sistemas productivos a través de acciones de adaptación permite ampliar el rango de tolerancia de una o diversas variables climáticas alteradas, sin causar efectos catastróficos para los productores, ilustración 8. En este sentido, las acciones de adaptación no eliminan los posibles efectos climáticos sobre los sistemas de producción, sino que permiten incrementar el rango de tolerancia de un sistema a una o más variables que, de otra manera, pueden ocasionar alteraciones o siniestros más recurrentes en la producción de dichos sistemas.

En este trabajo se usa el término *adaptación* de acuerdo a Adger *et al.* (2007) que incluye las acciones de ajuste en las prácticas, procesos y capital en respuesta a la amenaza del cambio climático, así como en las respuestas en las decisiones ambientales,

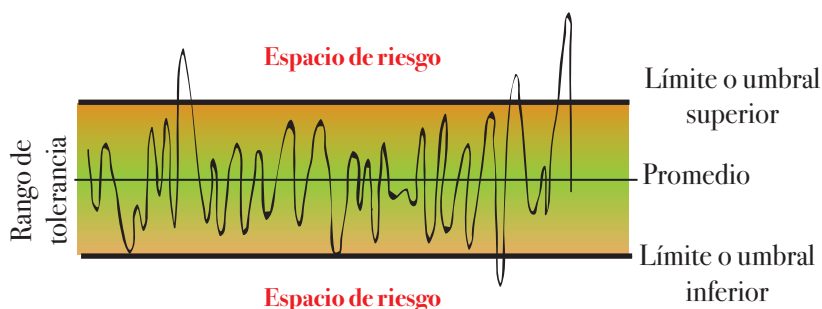


Ilustración 7. Riesgo actual de un sistema productivo (adaptado de Jones y Mearns, 2004).

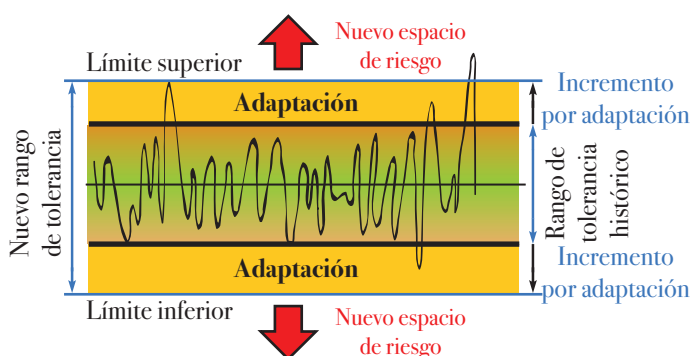


Ilustración 8. Cambio en la zona de tolerancia a una variable climática por acciones de adaptación (adaptado de Jones y Mearns, 2004).

tales como los cambios estructurales, sociales e institucionales o alteración en las opciones técnicas que pueden afectar el potencial o capacidad para realizar estas acciones.

Existen cinco consideraciones, como lo indicó Howden *et al.* (2007), que resaltan la importancia de la adaptación de la agricultura al cambio climático:

- Evidencia de que la emisiones de GEI han generado un calentamiento de cerca de 0.1 °C por década.
- La emisión de los principales GEI continúan incrementándose a una tasa mayor de los asumidos con cambios en la composición química de la atmósfera, en la temperatura global y en los niveles del mar. Esto puede producir impactos asociados al cambio climático más rápido de lo esperado.
- No existe un consenso mundial para reducir las emisiones de GEI pero persiste incertidumbre en cuanto a las emisiones futuras y en consecuencia en los impactos asociados al cambio climático.
- El escenario de emisiones más alto esperado se ajustó con el tiempo. Las temperaturas observadas son más altas que las proyectadas, por lo que pueden tener impactos no lineales y más negativos en las actividades agrícolas de los anteriormente asumidos.
- El cambio climático puede ofrecer oportunidades de inversión en la agricultura.

Otras consideraciones que resaltan la importancia de la adaptación en la agricultura son:

- La toma de decisiones basada en la climatología histórica es ahora cuestionable.
- La adaptación ordenada y planificada es más potente que la reactiva o espontánea.
- La adaptación provee beneficios locales inmediatos.

Ante este panorama, la adaptación de los sistemas agrícolas es una necesidad. Sin embargo, hay una diversidad de prácticas agrícolas asociadas a los sistemas agrícolas, Howden *et al.* (2007). Muchas de ellas se dan como respuesta tanto a sus interacciones como a un amplio rango de variables climáticas, culturales, institucionales y económicas. Ello significa que también debe existir un gran número de posibles adaptaciones de la agricultura al cambio climático. El objetivo de este trabajo es presentar las acciones de adaptación potencialmente disponibles para la agricultura de riego en las condiciones de México.

## LA IMPORTANCIA DE LA ADAPTACIÓN EN LA AGRICULTURA DE RIEGO

La aplicación de acciones de adaptación en la agricultura es muy compleja toda vez que se desarrolla asociada a sus dimensiones sociales, a la variabilidad espacial y temporal de las variables que definen la producción agrícola, a las respuestas no lineales debido al clima y otros factores y a sus interacciones, al desarrollo y mejora continua de la tecnología usada, y a la naturaleza diversa de la agricultura.

El manejo de los sistemas de producción agrícola (SPA) es sensible a las condiciones climáticas a corto y largo plazos. En consecuencia, si los patrones climáticos cambian, se requiere una respuesta de los SPA para mantener su sustentabilidad a través del cambio, ajuste o adaptación en uno o más componentes de los mismos.

La adaptación no es una práctica nueva, ha estado asociada al desarrollo de la agricultura que en México se ajusta continuamente en respuesta a cambios en los precios, tecnologías, clima, y políticas; algunas veces de manera espontánea o autónoma y otras veces de manera planificada. El espectro posible de adaptación de los SPA es amplio, pero debe ajustarse para manejar más efectivamente la gestión del riesgo climático en respuesta a los cambios atmosféricos esperados para el presente siglo.

La respuesta fisiológica y molecular de las plantas y la capacidad de adaptación de la agricultura, mostrada





de manera natural, ha hecho pensar que tendrá la competencia y las condiciones para adaptarse al cambio climático de manera autónoma. Sin embargo, cada vez es más evidente que esto no será posible, porque su velocidad de adaptación se verá sobrepasada por la rapidez con la cual están ocurriendo los cambios en los patrones climáticos que afectan el desarrollo y los procesos fisiológicos de los cultivos. Ante esta situación se requiere anticipar los posibles cambios en la productividad agrícola para contrarrestarlos o aprovecharlos con medidas de adaptación planificadas a corto, mediano, y largo plazos.

Varios investigadores han documentado que la adaptación planeada es más efectiva que la reactiva o de último minuto. La adaptación demanda recursos, pero si se planifica será menos costosa, comparada con el valor de la respuesta a una emergencia.

México tiene amplia experiencia en el diseño y aplicación de programas reactivos como el Fondo Nacional de Desastres (Fonden) y su equivalente agrícola, el Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACC) para el sector operado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). Los registros climáticos recientes indican que varias regiones agrícolas del país han sido impactadas

más recurrentemente por eventos severos como inundaciones, sequías y heladas.

Es necesario comentar que el clima es sólo uno de los varios factores que impactan los sistemas agrícolas. Para seleccionar las acciones de adaptación aplicables a la agricultura es necesario conocer su vulnerabilidad que involucra también aspectos socioeconómicos, institucionales y tecnológicos. Siendo los recursos económicos escasos se deberá actuar en los sistemas más vulnerables para incrementar su capacidad de adaptación, la cual sólo es efectiva cuando forma parte integral del desarrollo económico y social de un país, por lo que debe formar parte de las políticas de estado y estar en armonía con las políticas del manejo sustentable de los recursos naturales, la conservación de la biodiversidad y la seguridad alimentaria.

La adaptación sin duda constituye un reto que implica el desarrollo de capacidades basada en habilidades y conocimiento para manejar los impactos por cambio climático. Muchas zonas de riego de México cuentan con la experiencia necesaria para convivir con la variabilidad climática, sin embargo se requerirá poner en práctica nuevos enfoques, tecnologías y políticas para aprender del pasado, de acuerdo a los nuevos escenarios climáticos.

## TIPOS DE ADAPTACIÓN

La adaptación ocurre en una variedad de formas que han sido diferenciadas de acuerdo a numerosos atributos. De acuerdo a Smit *et al.* (1999) la adaptación puede clasificarse por su propósito como autónoma o planeada, automática o intencional, pasiva o activa; por su oportunidad como anticipatoria o responsiva, proactiva o reactiva, *ex ante* o *ex post*; por su alcance temporal como a corto, medio o largo plazos, táctica o estratégica, instantánea o acumulada; por su alcance geográfico como regional o nacional, específica o generalizada; por su forma como legal, institucional, regulatoria, financiera y tecnológica; por su desempeño como equitativa, eficiente, efectiva, factible y costeable. El cuadro 2 presenta los tipos de adaptación en función del tiempo y datos requeridos para implantarlos.

Cuadro 2. Clasificación de las acciones de adaptación por su alcance temporal.

Clima	Clima futuro		Clima actual
Tiempo para su implantación	Largo plazo (25–50 años)	Mediano plazo (5–25 años)	Corto plazo (0–5 años)
Datos requeridos	Proyecciones climáticas	Tendencia climática	Clima actual

Riebsame (1991) resalta la resiliencia (habilidad de un organismo, comunidad o ecosistema para absorber perturbaciones externas de fuerte impacto y baja probabilidad y retornar a su estado original) del sistema para distinguir las adaptaciones de corto plazo. Las acciones de adaptación a corto plazo son las primeras a realizar para reducir los efectos del cambio climático en los sistemas de producción agrícola; por sus características estos ajustes son principalmente realizados por los propios productores para responder a alteraciones climáticas temporales en sus sistemas productivos.

Acciones a corto plazo no demandan investigaciones profundas, nueva infraestructura o cambios en las políticas agrícolas. Por ejemplo, se ejecutan ante una sequía temporal que induce cambios en el plan anual de cultivos, en las prácticas de manejo y en las asignaciones de volumen por hectárea.

La adaptación a largo plazo se establece cuando un factor básico productivo se mantiene en niveles críticos por un período largo que demanda cambios permanentes en la forma y funcionamiento de los sistemas de producción agrícola con ajustes mayores en infraestructura, tecnologías de producción, mecanismos de mercado y políticas gubernamentales. Un ejemplo de ello es cuando las sequías recurrentes provocan, sistemáticamente, una disminución en el volumen de agua almacenado y, por consiguiente, una reducción de la asignación para uso agrícola.

Este panorama induce cambios estructurales en la infraestructura y prácticas agrícolas para incrementar la eficiencia en el uso del agua a través de la tecnificación y la modernización del riego mediante sistemas de multicompuertas, de conversión de riego por gravedad a goteo o aspersión y de gestión integral del riego, entre otros.

Las acciones de adaptación estructurales requieren de mayor tiempo para su implantación. Por ejemplo, la reconversión productiva de las zonas de riego necesita de tiempo para que los productores cambien sus sistemas productivos mismos que, sin embargo, demandan nuevas habilidades y recursos adicionales por parte de los productores.

La adaptación a largo plazo provoca ajustes permanentes a los sistemas de producción agrícola y demanda la intervención del Estado para su planeación, promoción e implementación. Sin su apoyo las acciones de adaptación a largo plazo tendrán bajas posibilidades de adopción.

México tiene gran experiencia en aplicación de acciones de adaptación reactiva. A continuación se describe el caso de una helada que devastó la superficie establecida de cultivos anuales a principios de febrero del 2011 (ilustración 9). Una contingencia climatológica puede poner en emergencia un estado o país, como fue el caso de las heladas generadas por

un frente frío que afectó el norte del país donde se siniestró casi el 90% de la superficie establecida de maíz; en particular en el estado de Sinaloa donde se concentra el 80% de la producción nacional de maíz en el ciclo otoño-invierno (OI) estimada en casi cinco millones de toneladas en una superficie de casi 500 mil hectáreas.

Para contrarrestar la disminución de la producción agrícola debido al siniestro por helada se resembró en el Estado casi el 75% de la superficie afectada (cuadro 3), gracias al apoyo reactivo otorgado por los gobiernos federal y estatal. Se declaró como emergencia nacional la ocurrencia de la helada severa y los productores afectados tuvieron acceso a recursos federales de la SAGARPA y de CONAGUA. A pesar de las grandes inversiones, se logró producir sólo cerca del 50% de la producción esperada. Con el programa de resiembra surgieron varios problemas: necesidad de una resiembra rápida, desabasto de semilla para siembra, oferta de semilla de baja calidad, falta de equipo para siembra y cosecha, la demanda de riego se concentró al compactarse el periodo de siembra dificultando la oportunidad del servicio de riego, incremento de problemas fitosanitarios, y un menor rendimiento en ciclo primavera-verano (PV) con respecto al esperado en el ciclo OI. El problema se agravó al consumirse el volumen almacenado en las presas para el año agrícola siguiente y por

presentarse un nivel bajo de escurrimiento durante el periodo de lluvias del año 2011. Este puede ser un ejemplo de una mala adaptación reactiva.



Cultivo de frijol afectado por helada en el Valle del Fuerte, Sinaloa en la mañana del 4 de febrero de 2011.

## ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN DE LA AGRICULTURA DE RIEGO

Bajo condiciones más secas y más calientes proyectadas por efecto del cambio climático, la agricultura tendrá el reto de incrementar o mantener

Cuadro 3. Estadística de producción agrícola para maíz de riego ciclo otoño-invierno, para el estado de Sinaloa (elaboración propia con datos del SIAP, 2011).

Año agrícola	Superficie (Ha)			Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/ha)
	Sembrada	Cosechada	Siniestrada		
2004-2005	434,564	405,890	28,674	3,974,871	9.8
2005-2006	415,651	415,365	286	4,113,185	9.9
2006-2007	481,852	481,662	190	4,766,916	9.9
2007-2008	507,240	486,593	20,647	4,960,399	10.2
2008-2009	469,066	469,026	40	4,917,094	10.5
2009-2010	471,247	471,118	129	4,954,989	10.5
2010-2011	819,756	368,504	443,877	2,825,898	7.7

Nota: La información estadística para el año 2010-2011 es preliminar.



la producción actual con menos agua a través de acciones de adaptación, aplicando técnicas y sistemas que permitan una mayor eficiencia en el uso del agua. Para ahorrar agua se requiere conocer primero el uso que se le dará en una zona de riego:

- Para satisfacer las necesidades de transpiración de la planta que tiene una variabilidad espacial y temporal en el ciclo.
- Suministrar la evaporación del agua del suelo.
- Compensar las pérdidas de agua por llevar el agua de la fuente a la zona de raíces.
- Compensar la variabilidad en la aplicación del riego y en las propiedades del suelo, cultivo y ambiente.

Ante la presencia de una sequía existen cuatro estrategias de manejo para reducir el déficit hídrico de los cultivos (Debaeke y Aboudrare, 2004):

- Escapar de la sequía cambiando la fecha de siembra, de cultivo y de variedad.
- Establecer una tolerancia al estrés mediante la reducción de la pérdida de agua al maximizar su disponibilidad para la planta.
- Racionar el cultivo en unos períodos y con ello guardar agua para usarse en períodos críticos.
- Moderar el estrés hídrico con riegos ya sean suplementarios, deficitarios, parciales, etcétera.

Las estrategias anteriores se convierten en varias acciones de adaptación tácticas (Debaeke y Aboudrare, 2004), entre otras:

- Incrementar el agua almacenada en el perfil del suelo.
- Incrementar la extracción del agua del suelo (mayor exploración de las raíces).
- Reducir la contribución de la evaporación del suelo con acciones como el acolchado, la utilización de residuos vegetales y la inducción del desarrollo temprano del cultivo.

- Optimizar el patrón de uso de agua estacional disponible.
- Tolerar la época de estrés hídrico y recuperarse después de cesar el estrés.
- Regar en las etapas más sensibles al estrés hídrico.

La adaptación es un reto y una responsabilidad compartida por cada uno de los actores responsables de la producción y de los servicios de riego en la parcela y la red de canales de la zona de riego; es decir, el agricultor, los administradores de la zona de riego y el gobierno, este último reflejado en el establecimiento de políticas de estado que faciliten la adaptación de los sistemas productivos. Un aspecto importante del proceso de adaptación es que cada actor debe conocer su responsabilidad. Cada uno tiene una participación importante, complementaria y diferenciada en el proceso de adaptación de una zona de riego.

Algunos de los problemas para definir las mejores acciones de adaptación para una zona de riego son la incertidumbre futura asociada a las proyecciones climáticas, la tecnología y los recursos disponibles, así como las respuestas esperadas de los productores y demás actores. Por lo cual, las acciones más importantes son aquellas adoptables a corto plazo y que contribuyen a reducir la vulnerabilidad al cambio climático: beneficios aportados, limitaciones, requerimientos institucionales, financieros, organizacionales y costos para su implantación, sobre todo, si existen muy bien documentados casos exitosos de su aplicación.

En la selección de acciones de adaptación se debe tener cuidado en no promover el uso de tecnología cara, obsoleta o en decadencia, y en considerar condiciones locales para evitar impactos negativos, recursos o infraestructura requerida. Las grandes estrategias de adaptación para la agricultura de riego son las siguientes:

- Planeación para la gestión del riesgo climático. Incluye sistemas de monitoreo meteorológico y climático, de alerta temprana, de pronóstico estacional y seguro agrícola.

- Manejo sustentable del agua. Incluye técnicas para conservación del agua su cosecha y tecnificación del riego.
- Manejo sustentable del suelo. Incluye la conservación del suelo, labranza de conservación y manejo integrado de nutrientes del suelo.
- Manejo del cultivo. Incluye la diversificación de cultivos y variedades, desarrollo de nuevas variedades, y manejo integral de plagas y enfermedades.
- Desarrollo de capacidades. Incluye la creación y desarrollo de organizaciones de productores, servicios de apoyo tecnológico a los productores y organizaciones, y capacitación y desarrollo de capacidades para los diversos actores del sector agrícola.

### La adaptación a nivel productor

Uno de los retos en la aplicación de acciones de adaptación a nivel parcelario, será convencer a los agricultores de que los cambios en los patrones climáticos son reales y se intensificarán. Históricamente ellos han demostrado su capacidad adaptativa a la variabilidad ejercida por el clima, mercado, gobierno y sociedad. En Sinaloa, por ejemplo, han respondido a cambios del mercado con la reconversión del patrón de cultivos, donde destaca la sustitución del algodón y trigo por maíz, motivada principalmente por los bajos precios de mercado, problemas fitosanitarios y altos costos de producción.

Otro ejemplo en los distritos de riego del norte de Sinaloa es el establecimiento de acciones de



### ADAPTACIÓN DE LAS ZONAS DE RIEGO

La adaptación de las zonas de riego se presenta en tres niveles: parcelario, zona de riego e institucional. El primero depende del productor, el segundo de la entidad o entidades responsables de otorgar el servicio de riego, y el último del Estado, para acelerar o retrasar la aplicación de acciones de adaptación planificadas.

adaptación durante los períodos de escasez de agua ocurridos de 1995 a 2004, cuando alcanzó su nivel crítico en el año agrícola 2002-2003, al presentarse sólo el 38% de agua derramada en el sistema de presas. Ello forzó a los módulos de riego a implantar acciones de emergencia para reducir los efectos de la sequía: seguimiento al número y cantidad del riego parcelario, uso del agua de drenaje, uso de técnicas para la programación y seguimiento del

riego complementado con técnicas de conservación de humedad. Con estas medidas se pudo reducir el 30% de la lámina convencional aplicada al cultivo de maíz sin detrimento del rendimiento.

Un caso más de adaptación se está experimentando en varias zonas de riego, abastecidas por agua subterránea, en respuesta al abatimiento en los niveles de bombeo y el incremento de sus costos y a la degradación de la calidad del agua. Actualmente se encuentran en proceso de implantación acciones como reconversión productiva, tecnificación parcelaria, control de las extracciones, reducción de la superficie y lámina de riego, entre otras.

Un aumento en la temperatura acelerará los procesos fisiológicos de la planta y, por ende, la tasa en que se presentan las etapas fenológicas de los cultivos. Por esta razón los productores deberán alterar también el programa convencional de aplicación de sus insumos para ajustarse a los nuevos requerimientos hídricos, térmicos y de vernalización de los cultivos. Sin duda, la calendarización de la aplicación del riego, fertilizantes y pesticidas, demandará un mayor acoplamiento con la demanda debido a la aceleración de la fenología de los cultivos.

Un incremento en la temperatura significa, también, mayor evaporación y un secado más rápido del suelo al experimentar una reducción de humedad. Lo anterior, implica la adopción de técnicas de conservación para disminuir la pérdida de humedad del suelo y así, asegurar la germinación y desarrollo de los cultivos ante un ambiente más seco y más caliente como lo indican las proyecciones de cambio climático. Cambios en la profundidad y densidad de siembra, uso de técnicas de labranza mínima, incorporación de residuos de cosechas al suelo, o adopción de técnicas de cosecha de lluvia, serán algunas de las acciones que los agricultores deberán adoptar para conservar la humedad en el perfil del suelo.

Algunos agricultores de las zonas de riego han aplicado técnicas parcelarias de bajo costo para la conservación del agua ante escenarios de escasez, mismas que deberán promoverse como acciones de adaptación a corto plazo. Entre las más importantes

están las de riegos por surcos: alternos, con reducción del gasto unitario, con uso de camas, con reducción de su longitud, y con uso de sifones. Si la aplicación de las técnicas descritas se complementa con una nivelación del terreno y se usan otras para la calendarización del riego, los ahorros de agua se incrementarán sustancialmente, ya que se mejorará la uniformidad del riego y se acoplará mejor el riego a la demanda hídrica de los cultivos.

Sin duda uno de los estudios prioritarios para las zonas de riego será realizar un análisis del impacto de los efectos del cambio climático en la productividad de los cultivos. Por ejemplo el caso del frijol, base principal de proteína de la población mexicana, es muy sensible a altas temperaturas. La mayoría de las variedades utilizadas son cultivadas en períodos donde las temperaturas son moderadas. Un incremento en las temperaturas ambientales a valores por arriba de los 30°C causará efectos negativos en el desarrollo tanto del frijol como de otros cultivos agrícolas.

Entre los efectos adversos de las temperaturas altas se encuentran la reducción del fruto, de las semillas y de la viabilidad del polen, así como el aborto de flores. El desarrollo de variedades tolerantes al estrés térmico es una acción de adaptación que permitiría seguir cultivando en regiones bajas, donde se concentra la mayor superficie de la agricultura de riego y que recibiría el mayor impacto por un incremento en la temperatura.

Otra práctica de adaptación que pudiera ser utilizada por los agricultores es el ajuste de las prácticas de manejo de los cultivos, uso de la tierra e infraestructura para evitar que los estados fenológicos críticos de los cultivos coincidan con las condiciones ambientales severas de temperatura, lluvia, y humedad.

### **La adaptación a nivel zona de riego**

La planeación actual del servicio de riego en una zona de riego asume que las condiciones climáticas futuras presentarán la misma tendencia y variabilidad que las condiciones pasadas. Con este supuesto se realizan



los planes de riego que definen las superficies a regar y el volumen a entregar por nivel operativo de un distrito de riego, durante un año agrícola.

El cambio climático incrementará la incertidumbre en las proyecciones relacionadas con las superficies a regar y el volumen a entregar, en función de las acciones de adaptación que se apliquen en la zona de riego y las nuevas condiciones ambientales que se presentarán en el futuro. Sin duda, cambios en los patrones climáticos y ajustes en los sistemas productivos impactarán en el desarrollo de los cultivos y provocará cambios sustanciales en las demandas de riego, temporal y espacial, como se muestra en la ilustración 9, donde la demanda pico se puede adelantar e incrementar respecto de las condiciones actuales.

Una zona de riego presenta un amplio período de siembra para los cultivos de un año agrícola típico. Estudiar el impacto y adaptación al cambio climático en una zona agrícola, debe iniciar con el estudio del impacto y adaptación actual a la variabilidad climática. La ilustración 10 presenta la variación de evapotranspiración del maíz para diferentes fechas de siembra y su correspondiente duración a madurez fisiológica, para el distrito de riego 075 Valle del

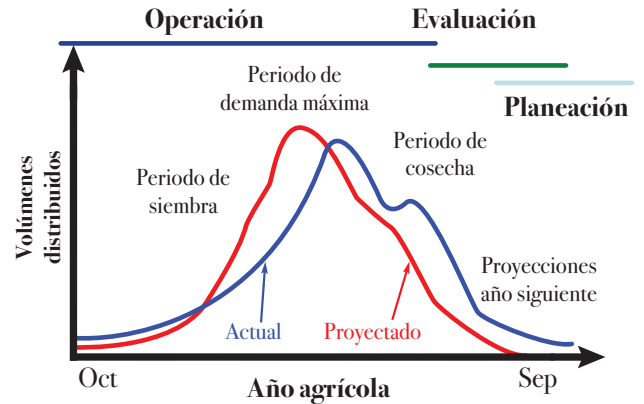


Ilustración 9. Cambios en los volúmenes distribuidos durante un año agrícola por efectos del cambio climático.

Fuerte, Sinaloa (DR-075), para el ciclo de otoño-invierno usando datos climáticos promedio de la estación Taxtes de la red agrometeorológica del Valle del Fuerte, Sinaloa (Ojeda *et al.*, 2008).

Los resultados indican que la variación en la fechas de siembras (de septiembre a enero) genera cambios en la duración del ciclo fenológico del maíz en un rango de 142 a 176 días para alcanzar madurez fisiológica (una diferencia de 34 días). Los correspondientes valores de la evapotranspiración del cultivo del ciclo variaron de 330 mm a 467 mm

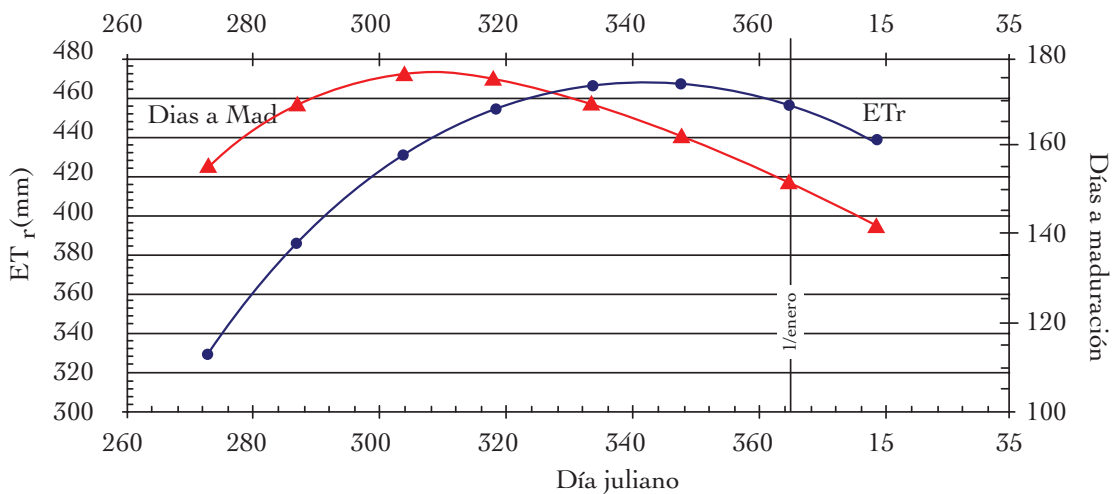


Ilustración 10. Evapotranspiración del maíz y duración a madurez fisiológica en función de la fecha de siembra para el ciclo otoño-invierno en Los Mochis, Sin. (adaptado a partir de datos de Ojeda *et al.*, 2006).

(una diferencia de 137 mm). Lo anterior, implica que cambios en la acumulación del tiempo térmico durante el ciclo fenológico de los cultivos provocará cambios en la duración del ciclo y en consecuencia, de las necesidades hídricas del cultivo.

Actualmente la mayor duración del ciclo fenológico del maíz en el DR-075 se presenta en el ciclo OI, en la segunda quincena de noviembre (juliano 300 a 320) como se observa en la ilustración II. Un incremento en la temperatura ambiental se traducirá en un acortamiento del ciclo fenológico de los cultivos anuales y en una reducción en el rendimiento potencial de los cultivos por efecto de una reducción de los periodos de absorción de nutrientes, de intercepción de energía solar y de actividad metabólica.

Ojeda-Bustamante *et al.* (2011) modelaron el impacto del cambio climático en el rendimiento de los cultivos y concluyeron que, los rendimientos del maíz se reducirán a medida que se intensifique el cambio climático manifestado por un incremento de la temperatura y un acortamiento del ciclo fenológico.

Para mantener en 10% la reducción máxima en el rendimiento potencial del maíz durante el ciclo

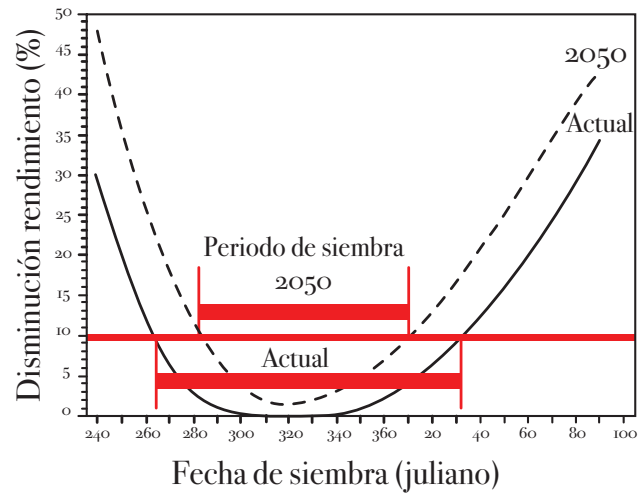


Ilustración 11. Reducción del rendimiento potencial del maíz otoño-invierno en función de la fecha de siembra, para mediados de siglo bajo el escenario de cambio climático A1B. Como referencia se presenta el período actual (Adaptado de Ojeda-Bustamante *et al.*, 2011).

OI, la temporada de siembra actual debe acortarse sustancialmente a medida que se intensifique el impacto del cambio climático. El período actual de siembra comprende desde fines de septiembre hasta fines de enero. Por efectos de un incremento



en la temperatura este período debe acortarse en dos meses para mediados del presente siglo, que corresponde al período de mediados de octubre a mediados de diciembre (ilustración 12).

Las posibles acciones de adaptación al cambio climático para contrarrestar la reducción en el ciclo fenológico de los cultivos anuales, y en consecuencia de su rendimiento, son: restringir el período de siembra hacia los periodos fríos del ciclo que generen mayor duración del ciclo en los cultivos, y usar variedades de ciclo más largo tolerantes no sólo al estrés térmico sino también al estrés hídrico, a fin de tolerar temperaturas más altas de las que se presentan actualmente y así alargar el ciclo de los cultivos, que se espera se acorte si se continúan usando las variedades y/o híbridos actuales (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2011).

Lo anterior indica que los distritos de riego necesariamente tendrán que ajustar dinámicamente sus planes de cultivos hacia una compactación de fechas de siembra y diversificación, no sólo en las especies cultivadas sino también en las variedades e híbridos disponibles; una necesidad que va en contra de la tendencia actual de concentrar el número de especies y variedades. Una mayor diversificación implica menor vulnerabilidad al cambio climático, debido a que diferentes cultivos son diferencialmente impactados por las condiciones climáticas.

El servicio de riego en distritos de riego es responsabilidad compartida entre la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y las Asociaciones de Usuarios de Riego (AUR) que en función de la acumulación de las demandas o solicitudes de riego parcelarias afectadas por eficiencias, planean la distribución del agua de la fuente a las parcelas.

La gestión del servicio de riego en una zona de riego sufrirá cambios importantes por efectos del cambio climático, debido a que impactará en las demandas de riego y en consecuencia, en el proceso de solicitud y entrega del servicio de riego en el cual la entidad responsable del servicio y el usuario que recibe el riego, pueden tener diferentes objetivos contrapuestos: por un lado, un agricultor requiere del riego para la producción agrícola con la finalidad de maximizar sus ingresos, siendo el riego uno de sus insumos; mientras que la entidad que oferta el riego, tiene como principal insumo el agua y tiene como finalidad recuperar los costos asociados al servicio de riego, reduciendo la pérdida de agua asociada a una baja eficiencia en la conducción y distribución del agua. Lo anterior, agrega complejidad al servicio de riego para estimar y distribuir el riego a las parcelas. Sin duda, el servicio de riego sufrirá cambios sustanciales para acoplar el riego a la demanda parcelaria cambiante bajo un esquema de equidad y oportunidad.

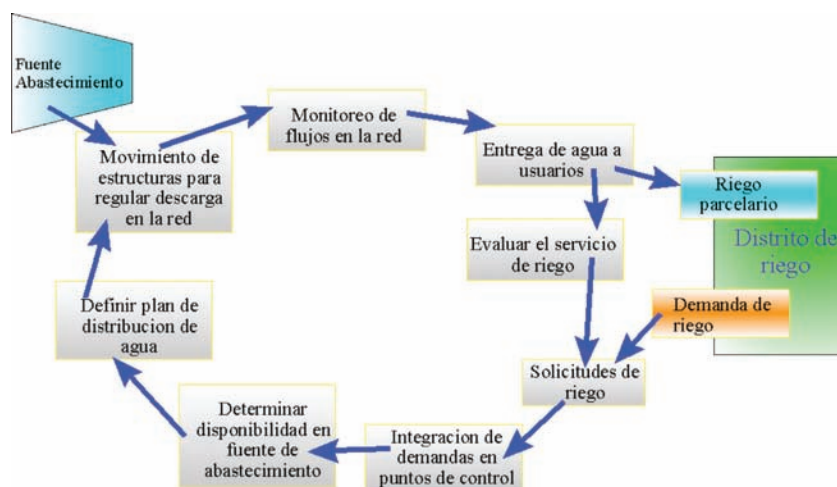


Ilustración 12. Proceso del flujo de información para integrar la demanda y la distribución del riego



## ADAPTACIÓN PROMOVIDA DESDE EL GOBIERNO

Füssel and Klein (2004), asumiendo que el impacto del cambio climático existe o existirá, mencionan que para una efectiva adaptación planificada se requiere establecer las condiciones siguientes:

- Sensibilización del problema en los productores y actores. Se requiere del conocimiento de la vulnerabilidad de los sistemas de producción agrícola al impacto por cambio climático.
- Disponibilidad de un portafolio de medidas de adaptación efectivas. Se requiere de la generación o mejora de acciones de adaptación.
- Difusión de medidas de adaptación efectivas disponibles. Identificar y evaluar medidas de adaptación efectiva.
- Disponibilidad de recursos para implantar localmente medidas de adaptación. Evaluación de beneficios de la adaptación, identificando medios para el uso más eficiente de los recursos y la motivación para la búsqueda de fuentes de financiamiento.
- Factibilidad de aceptación de las acciones. Educación de los productores sobre el riesgo y opciones de respuesta disponibles para incrementar la aceptabilidad de opciones desconocidas por los productores.
- Incentivar la implantación de acciones de adaptación. Identificar barreras para implantar acciones efectivas y como superarlas.

Sin duda, es responsabilidad del gobierno la creación de condiciones e incentivos para realizar un proceso de toma de decisiones a diferentes niveles, que permita manejar el riesgo y reducir la vulnerabilidad de los sistemas por cambio climático. Es vital en este proceso la disponibilidad de información oportuna y confiable para la toma de acciones efectivas sobre los riesgos e impactos potenciales. Se requiere también que se generen condiciones legales, institucionales y financieras que

no distorsionen el mercado y potencien la adopción de acciones de adaptación.

Por impacto del cambio climático varias zonas de riego pueden sufrir modificaciones profundas que requieran acciones de adaptación estructurales aplicadas como política de Estado. Una disminución consistente de la precipitación en las cuencas de las fuentes de abastecimiento demandará el apoyo gubernamental para la modernización de su infraestructura y una reconversión productiva de fondo, que le permita ajustarse a un escenario cambiante e incierto con relación a la disponibilidad de agua en las fuentes de abastecimiento. Los planes de emergencia por sequía que se aplican en algunos distritos de riego serán más frecuentes y necesarios bajo condiciones de cambio climático. Por ello la CONAGUA deberá consolidar su participación oportuna, transparente e integral en la planeación y aplicación de dichos planes.

Existe una diversidad de opciones de adaptación, sin embargo algunas pueden ser contraproducentes como la política de mitigación, promovida por el Estado para subsidiar la producción de biocombustibles en los Estados Unidos, Hodwen *et al.* (2007), que incrementó los precios de los productos agrícolas, entre ellos el maíz. La aceptación de acciones de adaptación depende de la voluntad de los actores involucrados en los sistemas de producción agrícola Hodwen *et al.* (2007) y de los siguientes aspectos:

- El costo-beneficio de la adaptación, con y sin valores de mercado.
- La factibilidad y costos para reducir simultáneamente las emisiones de gases de efecto invernadero y la adaptación al cambio climático.
- El efecto de limitaciones en capital y otros recursos como el agua de riego, energía, pesticidas y fertilizantes (debido a consideraciones ambientales).
- La tasa de adopción en zonas altamente impactadas y/o intensificación del uso del suelo en regiones templadas, o si la demanda



de biocombustibles incrementa la competencia por la tierra.

Aunque prevalece la incertidumbre en la magnitud de los impactos del cambio climático en el sector rural, se piensa que sus repercusiones pueden ser desfavorables en áreas que ya presentan alta vulnerabilidad a la variabilidad climática. Ante esta situación, es necesario anticiparse a los posibles cambios negativos en la productividad agrícola con medidas de adaptación planificadas a varias escalas geográficas y niveles de gobierno.

El Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDP, 2003) menciona que la generación de políticas de adaptación, incluyendo acciones integradas, para enfrentar el problema de cambio climático de un país descansa en cuatro principios básicos:

- La adaptación a corto plazo a la variabilidad climática y a los eventos extremos debe verse

como un punto de partida para reducir la vulnerabilidad al cambio climático de largo plazo.

- La adaptación se presenta a diferentes niveles en la sociedad, incluyendo el nivel local.
- Las medidas y políticas de adaptación deben evaluarse en un contexto de desarrollo.
- Son igualmente importantes tanto la estrategia de adaptación como el proceso de su implantación en los productores/tomadores de decisiones.

El proceso para la generación de una estrategia de adaptación agrícola como política de Estado debe seguir los pasos siguientes:

- Establecer el marco de referencia institucional, legal y político al que habrá de circunscribirse la implantación de las acciones de adaptación.
- Conocer la vulnerabilidad actual, y futura, de los sistemas productivos agrícolas.

- Desarrollar e implementar una estrategia de adaptación.
- Evaluar y ajustar las medidas seleccionadas en función del grado de efectividad para reducir la vulnerabilidad.

## POLÍTICA DE ADAPTACIÓN EN EL SECTOR AGRÍCOLA MEXICANO

El cambio climático es nuevo como política de Estado. La Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC), dentro del Plan Nacional de Desarrollo (PND) de la Administración Federal 2007-2012, reconoce por primera vez al cambio climático como un problema de seguridad nacional y global y plantea diversas estrategias para abordar la mitigación de emisiones de GEI y la adaptación a sus efectos adversos. Como parte del PND se desarrollaron los programas sectoriales de las diversas secretarías.

La ENACC establece la promoción de acciones de adaptación como estrategia gubernamental a través de sus programas y políticas vigentes. Entre las más importantes considera:

- La reconversión en el uso del suelo para el establecimiento de cultivos perennes y mixtos.
- La elaboración de estudios de vulnerabilidad y el desarrollo regional de capacidades de respuesta al cambio climático.
- La promoción del uso eficiente de fertilizantes.
- La promoción de la labranza de conservación.
- El aseguramiento de la superficie agropecuaria contra fenómenos climatológicos extremos.
- La tecnificación de la superficie agrícola a través de programas con mezcla de recursos.

Si bien algunos programas de la SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) y de la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) establecen acciones para reducir la vulnerabilidad de la agricultura a la variabilidad climática y, en consecuencia, al cambio climático no fueron generados para contrarrestar

sus impactos a través de acciones planificadas de adaptación. Sin embargo permiten generar repuestas planificadas de adaptación relacionadas, también, con la ganadería, el uso del suelo y el desarrollo de capacidades en el sector rural.

## Programas de la SAGARPA

La SAGARPA opera varios programas que ofrecen apoyos a productores agrícolas en las modalidades de *Coejercicio*, que aplica apoyos de una mezcla de recursos aportados en forma diferencial por las entidades federativas, la Sagarpa, los productores y, en algunos casos, los municipios y de *Ejecución directa* por parte de la SAGARPA atendiendo proyectos de inversión de prioridad nacional, impacto regional o nacional, mediante recursos federales operados a través de agentes técnicos y/o las delegaciones estatales de la Sagarpa. Es importante destacar los objetivos sectoriales de la SAGARPA que permiten desarrollar capacidades fundamentales en el sector rural para reducir su vulnerabilidad ante el cambio climático.

- Elevar el nivel de desarrollo humano y patrimonial de los mexicanos que viven en las zonas rurales y costeras.
- Abastecer el mercado interno con alimentos de calidad, sanos y accesibles provenientes de campos y mares mexicanos.
- Mejorar los ingresos de los productores incrementando la presencia mexicana en los mercados globales, vinculándolos con los procesos de agregación de valor y con la producción de bioenergéticos.
- Revertir el deterioro de los ecosistemas, a través de acciones para preservar el agua, el suelo y la biodiversidad.
- Conducir el desarrollo armónico del medio rural mediante acciones concertadas, tomando acuerdos con todos los actores de la sociedad rural y promoviendo acciones que propicien la certidumbre legal en el medio rural.



Muchos programas federales establecen, de acuerdo a los criterios de la Conapo (Comisión Nacional de Población), una diferenciación territorial y poblacional de acuerdo a su grado de marginación: muy alta, alta, media, baja y muy baja. La atención prioritaria de los productores de alta y muy alta marginación es muy importante en la aplicación de acciones de adaptación, ya que son los de mayor vulnerabilidad al cambio y variabilidad climáticos. Los apoyos se entregan de forma monetaria o contra obra realizada (esquema de reembolso). El porcentaje apoyado por parte de la SAGARPA es variable y depende del programa, entidad federativa y tipo de productor, con un tope máximo por superficie, región o tipo de productor.

Para el financiamiento de infraestructura, el productor debe presentar un proyecto bajo un esquema de atención a la demanda de tipo concursable, mismo que es evaluado y clasificado dentro de un orden de prelación. Los proyectos con mayor puntaje son apoyados hasta agotar los recursos disponibles del Programa para el año

correspondiente. La mayoría de los programas de la SAGARPA tienen cobertura nacional, aunque algunos son enfocados a regiones geográficas específicas para potenciar su desarrollo. Por ejemplo, el Programa Estratégico para el Desarrollo Rural Sustentable de la Región Sur-Sureste de México que tiene como uno de sus objetivos la de incrementar la producción de los cultivos emblemáticos de las zonas tropicales húmedas y subhúmedas.

A continuación se describen los principales programas de la SAGARPA que potencialmente aplican acciones de adaptación al cambio climático en el medio rural. Varios de ellos pueden complementarse y replantearse para generar sinergias que desarrollen capacidades en zonas agrícolas con mayor vulnerabilidad ante el cambio climático.

### *Tecnificación del riego*

Este programa esta dirigido a la agricultura de riego, tanto para distritos como unidades de riego, tiene





como objetivo el incremento de la eficiencia del riego y la productividad agrícola. La tecnificación del riego formaba parte del programa Alianza para el Campo que inició en 1996 y terminó en el 2006, y a partir del 2008 se integró al programa de activos productivos. El programa de tecnificación del riego iniciado en el 2010 apoya a personas o grupos organizados que se dedican a actividades agropecuarias en zonas de riego, independientemente del tipo de tenencia de la tierra. La tecnificación de riego es una acción de adaptación de alta prioridad como medida de adaptación ante un escenario futuro de mayor variabilidad climática y una reducción en la precipitación.

### *Adquisición de Activos Productivos*

El desarrollo de infraestructura es prioritario como medida de adaptación de la agricultura. Este programa tiene por objeto incrementar los niveles de capitalización de las unidades económicas de los productores rurales y pesqueros a través del apoyo subsidiario a la inversión en bienes de capital estratégico, para la realización de actividades de producción primaria, sanidad e inocuidad, procesos de agregación de valor y acceso a los mercados. El programa tiene las siguientes características importantes:

- Entrega apoyos para inversiones de tres tipos: infraestructura productiva, maquinaria y equipo, y para material vegetativo, especies zootécnicas y acuícolas.
- Establece una segmentación de la población que distingue tres categorías de beneficiarios: bajo, medio de activos y alto nivel de activos.
- Contribuye a medidas de adaptación local tales como la reconversión productiva, el cambio de tecnologías de producción, así como a la creación y fortalecimiento de la infraestructura local.

Por tanto, este programa es fundamental para el desarrollo de capacidades ante el cambio climático









al incrementar el nivel de capitalización de las unidades productivas y considerar como prioritaria a la población con bajo o nulo nivel de activos que se ubica en localidades de alta y muy alta marginación.

### *Uso Sustentable de Recursos Naturales para la Producción Primaria*

Este programa está muy ligado a disminuir la vulnerabilidad del sector rural ante el cambio climático, ya que considera prioritario la conservación y aprovechamiento sustentable del suelo, agua, vegetación y diversidad de las unidades productivas.

La importancia del programa para potenciar acciones de adaptación radica en que apoya actividades de conservación, uso y manejo sustentable de los recursos naturales utilizados en la producción primaria y sus procesos de transformación, mejorando la capacidad de respuesta de las unidades de producción ante los factores que afectan sus actividades productivas, tales como las características agroecológicas de escasez de agua o de fragilidad de las tierras de la región donde se ubican, así como por el nivel de erosión genética y el riesgo de extinción de variedades o especies.

Contempla además apoyos para inducir nuevos patrones productivos y recursos para obras de protección y rehabilitación de los ecosistemas pesqueros.

### *Programa Soporte*

Este programa conjunta varios aspectos que contribuyen a la competitividad y sustentabilidad del sector rural y son de importancia para potenciar acciones de adaptación en el medio rural como la disponibilidad de información agroalimentaria oportuna y accesible para la toma de decisiones, sanidad e inocuidad agroalimentaria, investigación, innovación y transferencia de tecnología, capacitación, y planeación prospectiva y promoción comercial.

Otro componente importante del programa es el desarrollo de capacidades que permitan la participación de organizaciones en la selección y puesta en marcha de acciones de adaptación para disminuir la vulnerabilidad del sector rural.

### *Apoyo a la Participación de Actores para el Desarrollo Rural (Fomento a la Organización Rural)*

Un factor importante en la implantación de acciones de adaptación es el grado organizativo de los productores, por lo que este programa es importante al apoyar la consolidación de formas de organización social, territorial y por sistema-producto en formas representativas, para su efectiva participación consultiva en la instrumentación de políticas, planes y programas de desarrollo rural.

### *Apoyos Directos al Campo (PROCAMPO)*

El PROCAMPO se instrumentó a finales de 1993 y surge como un mecanismo de transferencia de recursos para compensar a los productores nacionales por los subsidios que reciben sus competidores extranjeros, en sustitución del esquema de precios de garantía de granos y oleaginosas.

El programa otorga un apoyo por hectárea (o fracción) que esté sembrada con cualquier cultivo lícito o que se encuentre bajo proyecto ecológico autorizado por la Semarnat.

El Procampo requiere un ajuste para potenciar acciones de adaptación y mitigación al cambio climático ya que constituye un poderoso instrumento para la conservación de ecosistemas forestales y de la cobertura vegetal en general.

### *Prevención y Manejo de Riesgos*

Antes denominado Programa de Atención a Contingencias Climatológica (PACC), que en su componente de Atención a Desastres Naturales en el Sector Agropecuario y Pesquero (CADENA)

apoya a productores agropecuarios, pesqueros y acuícolas de bajos ingresos y es un fondo reactivo usado mayoritariamente para reparación de daños por desastres naturales perturbadores severos.

Un hecho resaltable de la SAGARPA ha sido la creación de la Dirección General de Atención al Cambio Climático en el Sector Agropecuario (DGACC), que opera el componente CADENA con fines de prevención y manejo de riesgos.

### **Programas de la CONAGUA**

Varios programas de la CONAGUA incluyen diferentes acciones de adaptación al cambio climático relacionados con la gestión sustentable del agua y el uso de la información climática en la toma de decisiones en el sector hidroagrícola e incorporan el monitoreo de variables meteorológicas, el pronóstico del tiempo y el monitoreo de huracanes y sequías, y los sistemas de alerta temprana ante situaciones de emergencia. El Plan Nacional Hídrico 2007-2012 incluye políticas en materia de cambio climático y contiene ocho objetivos, uno de ellos es evaluar los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico. A continuación se presentan los principales programas de interés para potenciar acciones de adaptación en la agricultura.

#### *Ampliación de Infraestructura de Riego*

El desarrollo de infraestructura es importante para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático en la disponibilidad de agua. El programa es importante ya que tiene como objetivo crear o ampliar distritos o unidades de riego mediante la construcción de fuentes de abastecimiento, estructuras de control y protección, sistemas de riego y drenaje, y caminos de acceso.

#### *Rehabilitación y Modernización de Distritos de Riego*

La mejora de la eficiencia de conducción, distribución y aplicación del agua de riego es importante en el

proceso de implantación de acciones de adaptación en zonas de riego. En esta vertiente, el programa tiene como objetivo contribuir a mejorar la productividad del agua en el sector agrícola mediante acciones y obras de rehabilitación y modernización de la infraestructura hidroagrícola de los distritos de riego (pozos, canales, drenes, caminos, medidores, bordos) y la tecnificación de los sistemas de riego existentes.

#### *Modernización y Tecnificación de Unidades de Riego*

El programa es muy similar al de Rehabilitación y Modernización de Distritos de Riego con la diferencia de estar dirigido a unidades de riego.

#### *Desarrollo Parcelario (PRODEP)*

El PRODEP es importante como medida de adaptación ya que tiene como objetivo mejorar la productividad del agua en los distritos de riego a través del apoyo financiero a las asociaciones civiles de usuarios de riego y sociedades de responsabilidad limitada (ACUR y SRL, respectivamente), para la adquisición y rehabilitación de maquinaria y equipo, con el propósito de mantener en condiciones óptimas de servicio y funcionamiento la infraestructura hidráulica y para mejorar la aplicación y el servicio del riego.

#### *Promoción de la Organización Empresarial en Unidades de Riego (PROEUR)*

El PROEUR tiene como objetivo la promoción de un manejo empresarial de las organizaciones de usuarios de unidades de riego, de su modelo productivo y de la infraestructura hidroagrícola.

#### *Uso Racional del Agua*

La importancia del programa radica en que tiene como objetivo elevar la eficiencia en el uso del

agua para riego e incrementar la productividad con criterios de sostenibilidad mediante el financiamiento a largo plazo en infraestructura hidroagrícola para la elaboración de estudios y proyectos, capital de riesgo, esquemas de fortalecimiento y fondos de garantía.

### *Desarrollo de Infraestructura de Temporal*

Para los distritos de temporal tecnificado o unidades de drenaje, el programa tiene dos modalidades: ampliación de áreas de temporal y riego suplementario. La primera pretende incorporar nueva superficie de temporal tecnificado con la construcción de infraestructura: drenaje, bordos, caminos y estructuras de cruce y de control. La segunda pretende la incorporación de riego suplementario en épocas de estiaje en zonas de temporal tecnificado.

### **Programas de financiamiento y seguro agrícola**

El sector rural tiene acceso limitado a los instrumentos financieros que ofrece el Estado a través del FIRA, el FIRCO, el FOCIR, el FONAES, la Financiera Rural y otros. Pese a ello es muy incipiente la formación y operación de intermediarios financieros rurales y microfinancieras en el sector rural. La participación del Gobierno como financiador directo implica riesgos y presión sobre los escasos recursos públicos.

### *Programa de Inducción y Desarrollo del Financiamiento al Medio Rural (PIDEFIME)*

El PIDEFIME pretende ampliar y fortalecer el acceso a los servicios financieros en el medio rural, a través de apoyos a intermediarios financieros (IF) que sirven para su fortalecimiento y/o capitalización, así como apoyos para el monitoreo, supervisión, autorregulación y calificación de IF y organismos de integración.

El gobierno tiene cuatro instrumentos que apoyan directamente la reducción de riesgo del sector agrícola:

Componente de Atención a Desastres Naturales en el Sector Agropecuario y Pesquero (CADENA)

CADENA tiene un fondo establecido desde 2003, que opera la Sagarpa, para apoyar a los estados en caso de ocurrencia de eventos catastróficos, con cobertura a productores de bajos recursos que no tienen acceso a seguro agrícola. Los estados solicitan fondos través de subsidio para la compra de seguro de cobertura (ex-ante). CADENA también opera, como se explicó anteriormente, un fondo reactivo después de la ocurrencia de un desastre para indemnizar económicamente a productores afectados (ex-post).





### *Fondo Nacional de Desastres (FONDEN)*

Fondo de apoyo aplicado después de la ocurrencia de eventos de grandes magnitudes que opera la Secretaría de Gobernación. Financia la reconstrucción de infraestructura, incluyendo la relacionada con las actividades agrícolas: caminos, drenes y canales.

### *Fondos de aseguramiento y Organismos Integradores*

*AGROASEMEX* es la institución nacional de seguros especializada en instrumentos agropecuarios que

tiene como propósito fundamental desarrollar y ampliar la cobertura de protección en el sector primario, a través de los productos y servicios. Entre ellos destaca el reaseguro para el sector privado y como aseguramiento directo de los gobiernos estatales con tres actividades o subsidios de cobertura: administrar el subsidio a las primas del seguro agrícola; diseñar instrumentos de financiamiento agrícola innovadores; y administrar y proveer de fondos para la asistencia a Fondos de Aseguramiento FA (asociación de productores agrícolas y/o ganaderos o de personas con nacionalidad mexicana que tengan su residencia en el medio rural, que tienen por objeto



ofrecer protección mutualista y solidaria a sus socios a través de operaciones de seguros y coaseguros).

Ante la falta de promoción y oferta de seguros agropecuarios en el país se crearon fondos de aseguramiento con el apoyo y asistencia de AGROASEMEX. Un fondo es una asociación de productores agrícolas y/o ganaderos rurales que tienen por objeto ofrecer protección mutualista y solidaria a sus socios a través de operaciones de seguros y coaseguros. Los fondos de aseguramiento pueden asociarse en organismos integradores nacionales, estatales y locales.

### **Algunas tecnologías de adaptación importantes para las zonas de riego**

#### *Tecnologías de adopción a corto plazo*

A continuación se presentan las tecnologías potenciales para adoptar a corto y mediano plazos como acciones de adaptación al cambio climático en las zonas de riego de México.

#### *Manejo del cultivo*

- Ajuste de la temporada de siembra y cosecha

El cambio climático provocará un cambio en el desarrollo y crecimiento de los cultivos. Se requerirá un ajuste del período de siembra actual para evitar la presencia de periodos de estrés hídrico o térmico en etapas fenológicas críticas y así minimizar la reducción en los rendimientos. Se requerirá revisar el periodo de siembra más recomendable, aunque esto es complejo ya que se tiene que analizar no sólo el aspecto ambiental, sino también el sanitario, el hídrico y la gestión del servicio de riego. Los requerimientos de riego y la duración de ciclo fenológico de maíz dependen de la fecha de siembra, tal como se presentan en la ilustración 11.

- Densidad de siembra

El potencial productivo del material genético actual fue desarrollado para las condiciones

ambientales típicas de las zonas agrícolas del país. El alto potencial productivo del maíz en Sinaloa, por ejemplo, está asociado a las variedades e híbridos con alta densidad de población de 100,000 plantas o más por hectárea, con surcado de 76-80 cm, con ocho semillas por metro lineal. Cambios en las condiciones ambientales puede requerir un cambio en la densidad de siembra de los cultivos en función de la nueva competencia por luminosidad, CO<sub>2</sub>, humedad del suelo y condiciones fitosanitarias.

- Mayor profundidad de siembra

Un incremento en la temperatura significa mayor evaporación y un secado más rápido de la superficie del suelo reduciendo la humedad en el estrato superior del perfil del suelo que puede atenuar la emergencia del cultivo. Se requerirá entonces analizar la profundidad de siembra óptima por cultivo para las nuevas condiciones de acuerdo al tipo de suelo para garantizar una buena germinación.

#### *Conservación de la humedad del suelo*

Existen varias técnicas que permiten conservar la humedad en el perfil del suelo. A continuación se presentan las más importantes.

- Labranza de conservación

La técnica consiste en alterar lo menos posible el suelo dejando parte de los residuos vegetales sobre la superficie en lugar de incorporarlos a su



Ilustración 14. Siembra directa en parcela manejada mediante labranza de conservación.



perfil durante el barbecho. Este tipo de labranza reduce la evaporación de la humedad del suelo. La siembra directa como una variante de la labranza de conservación (ilustración 14), permite reducir al mínimo la alteración de la superficie del suelo y mantener su humedad.

#### - Acolchado

Existen técnicas como el uso de cubiertas plásticas o de residuos vegetales para cubrir parcial o totalmente la superficie del suelo y permitir controlar las malas hierbas y modificar el microclima en la superficie del suelo para reducir la evaporación del suelo. La efectividad de cubiertas plásticas bajo condiciones de cambio climático debe analizarse ya que también aumentan la temperatura del suelo al crearse un efecto invernadero en las primeras etapas del cultivo.

#### - Cosecha de agua

Una de las acciones de adaptación con mayor posibilidad de ser ejercida a corto plazo es el uso de técnicas de cosecha de agua que consisten en concentrar el agua precipitada y mantenerla en la zona de raíces. La creación artificial de piletas o cajas de agua, con la ayuda de pileteadoras, en la base de los surcos incrementa la infiltración del agua y reduce los escurrimientos. Esta técnica puede ser muy útil en regiones con riego tecnificado por goteo o aspersión donde la lluvia es importante para disminuir los requerimientos de riego de los cultivos.

## MODIFICACIÓN AMBIENTAL

### PARA LOS CULTIVOS

#### **Conversión a agricultura protegida (invernaderos y casa sombra)**

México es un país de contrastes climatológicos, tecnológicos, geográficos, sociales y culturales, en el cual, los invernaderos han transitado de una etapa demostrativa y experimental a otra de crecimiento

sostenido promovido por el Estado bajo un esquema de producción agrícola intensiva y redituable con diferentes niveles de tecnificación.

En la actualidad los invernaderos en México crecen rápidamente en número y tamaño, en extensión y sofisticación, en costos y en propósitos. El manejo de un invernadero requiere del desarrollo de capacidades técnicas de los productores para el manejo de las diferentes variables físicas, químicas y biológicas que intervienen en la producción de hojas, raíces, tallos, flores, frutos, y semillas a su máximo potencial y a diferentes escalas.

Los invernaderos permiten modificar una o más variables físicas o ambientales que afectan el comportamiento de las plantas, tales como la temperatura, la radiación, la luminosidad y la humedad. En general, el territorio mexicano de acuerdo a su posición geográfica, es afortunado en la cantidad de radiación solar, uno de los insumos más importantes del proceso productivo.

Una gran cantidad de invernaderos rústicos operan en nuestro país con limitado control climático, pero muchas veces con una producción aceptable para la inversión realizada; de hecho, la temperatura y la humedad son controladas al manipular las ventilas manualmente. Una producción más segura necesita que las variables ambientales y edáficas del invernadero cuenten con mejores mecanismos de control para: la radiación y en consecuencia la temperatura, mediante sombreadores y filtros; la temperatura y la humedad ambiental, mediante ventiladores; y la temperatura, mediante calentadores, por mencionar algunos.

Mantener el cultivo en los rangos deseables de las variables climáticas o edáficas permite que los procesos fisiológicos de la planta se desarrollen en condiciones óptimas. La agricultura protegida puede ser una alternativa de adaptación al cambio climático a mediano y largo plazos por su capacidad de control sobre las condiciones ambientales y el potencial para utilizar eficientemente los insumos agrícolas, sin embargo el incremento en la temperatura también puede encarecer la operación de un invernadero al mantener los cultivos en condiciones adecuadas.





Invernadero con malla sombra para contrarrestar alta insolación.

Siendo el calentamiento global un hecho inminente, se deben realizar estudios para seleccionar las zonas mas vulnerables al cambio climático para la agricultura protegida, considerando que el uso de cubiertas plásticas también incrementa la temperatura.

*Reducción del estrés térmico por aplicación del riego*

Los cultivos requieren de condiciones óptimas de humedad y temperatura para no mostrar síntomas de estrés hídrico. El Déficit de Presión de Vapor (DPV) es un indicador que integra en un solo valor la temperatura y la humedad ambiental. Valores por arriba de 1.5 kPa indican condiciones de estrés en los cultivos. La ilustración 13 indica que el DPV puede alcanzar valores críticos en las horas de mayor insolación solar, por lo que la aplicación del riego

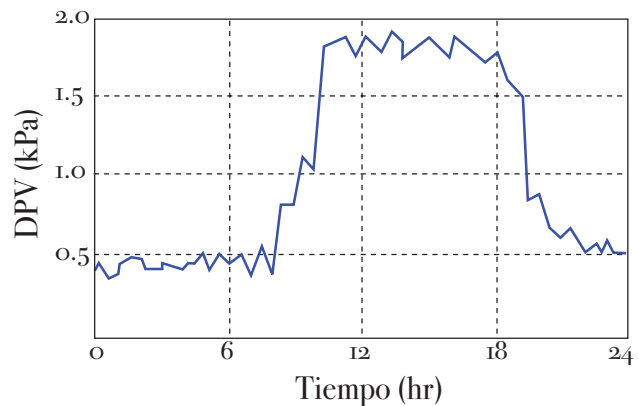


Ilustración 13. Invernadero con malla sombra para contrarrestar alta insolación.

incrementa la humedad ambiental y del suelo y disminuye el déficit de la presión de vapor ambiental. En este sentido el riego por aspersión representa una alternativa para contrarrestar el estrés por alta temperatura y baja humedad relativa sobre el cultivo.

## MANEJO DEL RIEGO

Existen diversas técnicas que permiten disminuir la cantidad del agua aplicada a los cultivos bajo condiciones de restricción del riego. Las más importantes se presentan a continuación:

### Humedecimiento (secado) parcial de la zona radical

Permite el humedecimiento parcial de la zona de raíces de tal manera que se pueda controlar el perfil humedecido por los sistemas de riego, espacial y temporal. Davies *et al.* (2002) mencionan que las raíces localizadas en la parte seca posiblemente envían una señal hormonal transportada de las hojas, vía xilema, para producir el cierre de los estomas y así lograr un incremento en la eficiencia del uso del agua.

### Riego deficitario

El rendimiento de los cultivos depende del grado de estrés hídrico producido en cada etapa fenológica. El riego deficitario es una técnica, ampliamente estudiada y utilizada en diversas regiones con problemas de disponibilidad de agua, que consiste en una reducción del riego por abajo de las demandas hídricas potenciales que se aplica durante las etapas fenológicas con mayor tolerancia al estrés hídrico. Sin embargo, antes de aplicar esta técnica en una región debe realizarse un análisis para estudiar el impacto en la reducción del rendimiento de un cultivo debido a una disminución por abajo de sus requerimientos hídricos potenciales.

La reducción en el rendimiento potencial puede ser proporcionalmente menor cuando se aplica en etapas fenológicas con baja respuesta al estrés hídrico. Los cultivos presentan diferente sensibilidad al estrés hídrico dependiendo de su etapa fenológica.

El estrés hídrico se manifiesta cuando la evapotranspiración real de un cultivo ( $ET_a$ ) es menor que la demandada bajo condiciones óptimas

que producen su máximo rendimiento potencial. La siguiente ecuación, adaptada de Doorembos y Kassan (1986), presenta el comportamiento entre las láminas netas (aplicada y requerida) y el rendimiento esperado de un cultivo.

$$R_r = (1 - K_y) + K_y \cdot L_{na}/L_{nr}$$

Donde  $R_r$  es el rendimiento potencial relativo (uno es el rendimiento máximo),  $L_{nr}$  es la lámina neta requerida durante el periodo de crecimiento de interés para alcanzar su máximo rendimiento potencial,  $L_{na}$  es la lámina neta aplicada para reponer la lámina neta requerida por el cultivo,  $K_y$  es el coeficiente de afectación del rendimiento. El parámetro  $K_y$  define la pendiente del modelo. Un valor de  $K_y$  de 1 implica que el rendimiento es directamente proporcional a la lámina aplicada, un valor positivo menor de 1 indica un efecto menor al estrés hídrico de un cultivo, esto es, una disminución de una unidad en los requerimientos hídricos requeridos implica una reducción menor a una unidad en el rendimiento. Valores de  $K_y > 1$  indican alta sensibilidad de un cultivo al estrés hídrico (ilustración 14).

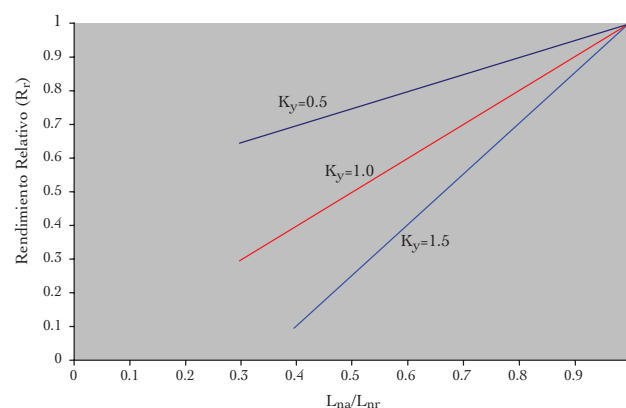


Ilustración 14. Rendimiento relativo versus lámina neta aplicada para varios valores de  $K_y$ .

Los cultivos presentan una variación de  $K_y$  durante su ciclo fenológico. Altos valores de  $K_y$  están asociados a las etapas hídricas de un cultivo que presentan alta demanda evapotranspirativa y alta sensibilidad

Cuadro 4. Valores del parámetro  $K_y$  para algunos cultivos agrícolas (Doorembos y Kassan, 1986).

CULTIVO	ETAPA FENOLÓGICA				
	Vegetativo	Floración	Formación de grano	Maduración	Total Ciclo
Frijol	0.2	1.1	0.75	0.2	1.15
Maíz	0.4	1.5	0.5	0.2	1.25
Sorgo	0.2	0.55	0.45	0.2	0.9
Trigo invierno	0.2	0.6	0.5	-	1.00

del cultivo al estrés hídrico, como se muestra en el cuadro 4 para algunos cultivos importantes.

Por ejemplo, si se conoce que los requerimientos de riego del maíz son de 40 cm y solamente se tienen disponibles 32 cm, el reto es cómo aplicarlos para generar la menor reducción posible del rendimiento. Si los riegos se redujeran proporcionalmente en todo el ciclo, se tendría una disminución en el rendimiento del 25 por ciento:

$$R_r = (1 - K_y) + K_y \cdot L_{na} / L_{nr} = (1 - 1.25) + 1.25 \cdot 32 / 40 = 0.75$$

Si los requerimientos de riego son de 7 cm, 13 cm, 12 cm, 8 cm, respectivamente, durante las cuatro etapas fenológicas, y el cultivo se estresa solamente durante las etapas vegetativas y de maduración se tendría solamente una reducción del 10%. En cambio si esa reducción (8 cm) se aplica solamente durante la etapa de floración, se tendría una reducción del 30% del rendimiento potencial. Con base en lo anterior,

la aplicación del riego deficitario como acción de adaptación debe fomentarse para reducir las láminas aplicadas durante las etapas fenológicas menos sensibles al estrés hídrico, que corresponden a las etapas con el menor valor del coeficiente  $K_y$ .

### Mejora de la aplicación del riego

Existen varias técnicas parcelarias de bajo costo para la conservación del agua. Si la aplicación de las técnicas descritas se complementa con una nivelación del terreno, los ahorros de agua se incrementan sustancialmente, ya que se mejora la uniformidad del riego.

#### - Riego en camas

Camas anchas con surcos bajos permiten un rápido mojado horizontal al borde de la cama tal como se muestra en la ilustración 15. En el norte de Sinaloa,

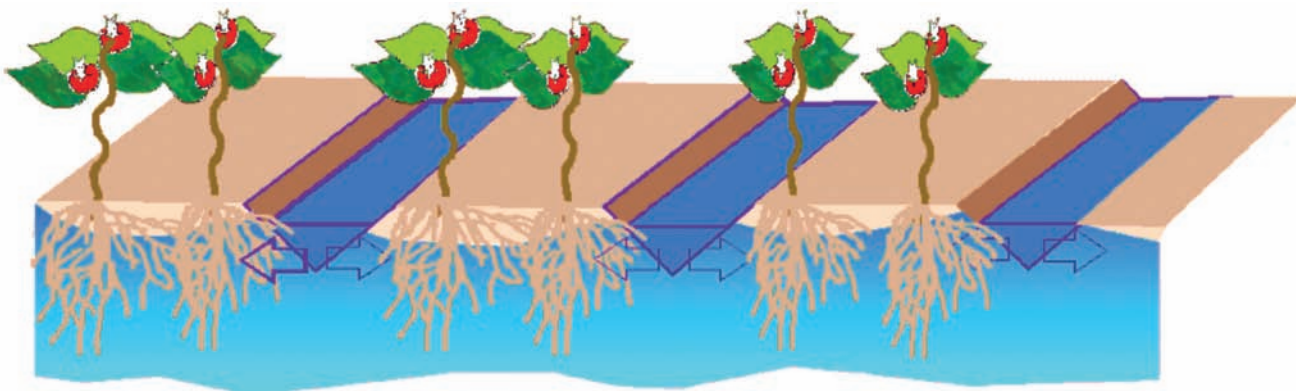


Ilustración 15. El riego en camas con surcos pequeños es muy eficiente para forzar el movimiento lateral con una superficie superficial evaporativa pequeña.



la cama consiste en un bordo de 1.6 m de ancho y 20 cm de alto el cual se realiza durante el primer cultivo (antes del primer riego de auxilio).

#### - Surcos alternos

Cuando las plantas son pequeñas sus requerimientos de riego son bajos, por lo que el riego por surcos alternos es una técnica excelente en suelos francos, en especial si los agricultores tienden a sobreirrigar. Se puede aplicar el riego en todos los surcos cuando el cultivo se encuentre a su máxima demanda hídrica.

En el riego por surcos alternos el agua se aplica dejando un surco alternativo sin regar en el siguiente riego el agua se aplica en el surco no regado. El riego en surcos alternos no es recomendable en terrenos con pendiente fuerte por la reducida superficie de mojado que genera baja infiltración

del suelo, y tampoco se recomienda en suelos con alta permeabilidad al requerir mayores tiempos de riego para tener un buen mojado lateral de los surcos (Yonts *et al.*, 2003).

Las láminas aplicadas entre riegos en surcos continuos y alternos no se reducen a la mitad sino, aproximadamente, en un 20-30%, ya que los tiempos de riego en surcos alternos aumentan debido al incremento en el flujo lateral. A pesar de un mayor incremento en los tiempos de riego, Cabrera (1994) reportó que la lámina aplicada disminuyó en 20% y la productividad se incrementó en 2.3 ha/hombres/jornada, para surcos de 300 m y un gasto de 90 lps manejado por dos regadores en suelos arcillo-limosos. Una ventaja adicional de los surcos alternos es que las sales se acumulan en el surco seco (Cardon *et al.*, 2003). En la ilustración 16 se puede apreciar el perfil de mojado generado con este método.



Aplicación del riego por surco alternativo en el Valle del Fuerte, Sinaloa.

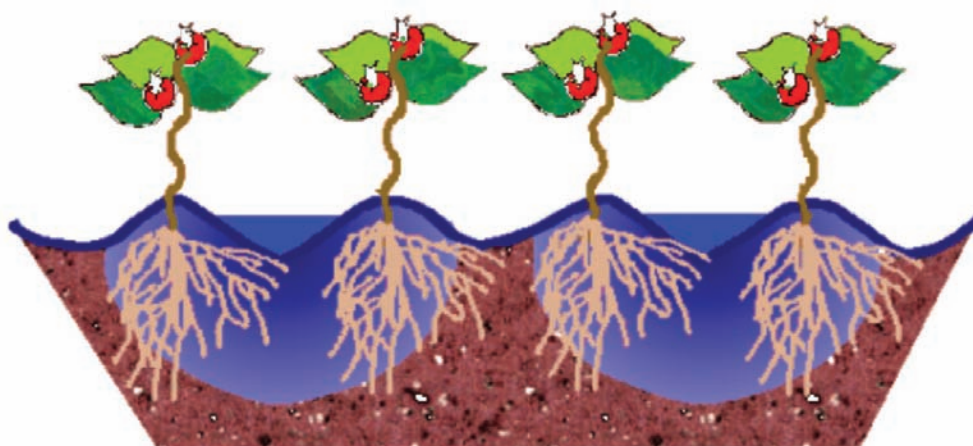


Ilustración 16. Flujo deseable de la humedad en riego por surcos alternos.

#### - Riego con reducción en gasto

Durante el 75% de la fase de avance se aplican gastos altos con la ayuda de dos sifones para, posteriormente, reducir el gasto quitando uno de los sifones y completar el riego con el otro para completar la lámina faltante considerando gasto y tiempo óptimos, (ilustración 17).

Los autores del presente trabajo han aplicado este método en el norte de Sinaloa en surcos mayores a 500 m, si la longitud es menor se inicia el riego con dos sifones y cuando el agua avance 375 m se quita uno de los sifones para terminar el riego con el otro. Se utiliza una estaca, un bote o una botella colocada a una distancia de  $\frac{3}{4}$  de la longitud del surco para

apoyarse en el momento de decidir la reducción en el gasto del surco.

#### Calendarización del riego

La calendarización del riego se define como el procedimiento para determinar la cantidad y tiempo de aplicación del agua de riego a un cultivo a lo largo de su desarrollo fenológico, para suministrar no sólo los requerimientos hídricos de los cultivos sino para mantener a la planta con un ambiente favorable de desarrollo, para lo cual se pueden necesitar cantidades adicionales de agua con el fin de controlar sales, heladas, plagas y enfermedades. La utilización de sensores más potentes y rápidos, producto de



Ilustración 17. Esquemática del riego con reducción en el gasto.



los avances tecnológicos, agrega la evaluación a la calendarización del riego, esto es, muestrear la planta o suelo para revisar si los objetivos del riego fueron cumplidos.

Existen los insumos tecnológicos y la experiencia para generalizar la calendarización científica en varias zonas de riego del país. Se requiere del monitoreo ambiental a través de una red agroclimatológica que proporcione información detallada de la variación de la evapotranspiración de referencia, que es el insumo para apoyar la calendarización del riego.

Diversos estudios realizados de manera conjunta por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y por el Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en los distritos de riego 075 y 076 de Sinaloa, muestran que es posible disminuir las láminas de riego aplicadas a los cultivos usando la calendarización del riego, sin una merma en los rendimientos convencionales. Sin duda, la aplicación de la calendarización científica del riego es una acción de adaptación que se puede implantar a corto plazo en varias regiones agrícolas de México. El sistema de pronóstico de riego en tiempo real Spriter (ilustración 18) desarrollado por el IMTA y transferido a módulos de riego del Distrito de Riego 075, Río Fuerte, Sinaloa, es una de las herramientas cuyo uso tendrá que generalizarse para calendarizar el riego en grandes zonas agrícolas (Ojeda *et al.*, 2007).



Ilustración 18. Componentes del Sistema de Pronóstico del Riego en Tiempo Real.



## TECNOLOGÍAS DE ADOPCIÓN A MEDIANO Y LARGO PLAZOS

### Planeación integral de la gestión del riego

Una buena operación de un distrito de riego implica entregar el agua a los cultivos en la cantidad y frecuencia que lo demandan. Para ello es menester de los administradores de la zonas de riego planear la operación (elaboración del plan de riegos), implementar el plan (entregar el agua a los usuarios) y monitorear la operación (realizar aforos y generar reportes de seguimiento del plan de riego). Sin embargo, estas acciones no se llevan a cabo cabalmente por falta de personal capacitado y, como consecuencia, una zona de riego bajo condiciones de disminución de disponibilidad de agua deviene en menor superficie regable o se subirriga una gran cantidad de la misma, lo cual, como es de entenderse, afecta a la economía de los agricultores.

Los administradores de un distrito de riego, en los diferentes niveles de operación, requieren de conocimientos básicos de estadística, operación, hidrología e ingeniería de riego y drenaje para elaborar, antes de iniciar el año agrícola, un plan de riegos que defina la manera de utilizar el agua disponible de acuerdo a la demanda generada a partir de un patrón de cultivos. La elaboración de este plan involucra las etapas siguientes:

- Estimación de la posible disponibilidad en las fuentes de abastecimiento.
- Estimación de la demanda para un patrón de cultivos esperado.
- Acoplar la disponibilidad a la demanda.

En función de las condiciones y proyecciones, la planeación de un ciclo agrícola permite definir con precisión el patrón de cultivos, la dotación de riego, el período de siembra, la duración del ciclo y el rendimiento objetivo.



Es cada vez más frecuente que la superficie realmente regada sea menor a la potencial regable, debido a la presencia de sequías. Bajo condiciones de limitada disponibilidad de agua, los agricultores se adaptan a las restricciones en la dotación asignada (Ojeda, 2002).

La planeación de la gestión de una zona de riego se encuentra asociada a la aplicación del Manejo Integrado de Recursos Hídricos (MIRH) en grandes zonas de riego, que es un importante preconditionador para el desarrollo de evaluaciones de su vulnerabilidad actual y para la formulación de estrategias apropiadas de adaptación al cambio climático. Los principales componentes del MIRH son:

- Manejo de los recursos hídricos a escala de cuenca.
- Establecer una política mejorada, integrada y un marco de referencia institucional y regulatorio.
- Considerar un enfoque intersectorial para la toma de decisiones.
- Optimizar el suministro de agua.
- Considerar la evaluación del riesgo sanitario y ambiental.
- Manejar la demanda de agua.
- Planear e implementar el manejo y servicio del agua en forma coordinada.
- Proveer un acceso equitativo a los recursos hídricos a través de una gobernanza, manejo participativo y transparencia.
- Manejo sustentable del agua subterránea.

### **Desarrollo de genotipos adaptables a nuevas condiciones climáticas**

Una planta, de acuerdo a su especie o variedad, se estresa cuando se somete a condiciones adversas para su desarrollo mismo que difiere en sus requerimientos óptimos y, por lo tanto, se encuentra en la susceptibilidad de sufrir un determinado nivel de estrés (Hsiao, 1973), sobre todo en las etapas

fenológicas críticas, como en estado de plántula, floración o en llenado de grano.

El conocimiento de los mecanismos de resistencia al estrés permite comprender los procesos evolutivos implicados en la adaptación de las plantas a un ambiente desfavorable; predecir, hasta cierto punto, la respuesta vegetal al incremento de la adversidad asociada en un reto. Por lo que se necesita mejorar las características de las plantas tanto en su fase de cultivo como en la selección de variedades que se ajusten a unos requerimientos ambientales determinados o, simplemente, en mejorar la productividad de una especie (Nilsen y Orcutt, 1996).

Los materiales genéticos actuales fueron desarrollados para las condiciones climáticas actuales; sin embargo, el cambio en los patrones climáticos y en los sistemas productivos demandará la generación de genotipos con mejores atributos para soportar las nuevas condiciones. Por ejemplo, en el norte de Sinaloa se demandará de genotipos de ciclo más largo tolerantes al estrés térmico e hídrico.

### **Reconversión productiva**

Históricamente, las zonas de riego se han ido adaptando a las situaciones impuestas por la variabilidad climática, mediante la reconversión del patrón de cultivos que les ha permitido enfrentar bajos precios de mercado, problemas fitosanitarios y altos costos de producción.

En Sinaloa, por ejemplo, se sustituyeron los cultivos de algodón y trigo por maíz y los módulos de riego del norte del Estado se vieron obligados a implantar acciones de emergencia, como la restricción de cultivos de alta demanda hídrica, cuando los distritos de riego sufrieron de 1995 a 2004 (sobre todo en el año agrícola 2002-2003) una crítica escasez del recurso: el sistema de presas únicamente logró almacenar 38% de su capacidad.

Ante la posible disminución de la disponibilidad de agua y el incremento en las temperaturas máximas, ocasionadas por el cambio climático en zonas agrícolas de riego, se tienen que prever ajustes en el padrón de cultivos: algunos cultivos se habrán

de eliminar por su alta sensibilidad al estrés térmico e hídrico o restringir su siembra por su alta demanda hídrica como los cultivos perennes (Ojeda *et al.*, 2011) y los que se siembran durante el ciclo primavera-verano; otros como el frijol y la papa, muy sensibles al estrés térmico, deberán ajustar su manejo, época de desarrollo y definir las zonas más aptas a medida que se intensifiquen los fenómenos climatológicos previstos. La introducción de nuevos cultivos tolerantes a las nuevas condiciones climáticas es una acción de adaptación que debe planearse localmente con estudios de potencial productivo.

La reconversión productiva de los cultivos es una acción de adaptación planificada que deberá ser promovida desde el Gobierno a escala nacional. Una de las acciones más socorridas por la CONAGUA durante la aplicación de operativos de emergencia ante la ocurrencia de sequías en los distritos de riego, es la de limitar la siembra de cultivos de alta demanda de agua. En este sentido, las zonas de riego deben caracterizar las necesidades hídricas de los cultivos para promover los menos demandantes cuando se presenten períodos críticos de baja disponibilidad hídrica.

### Mejoramiento de la infraestructura de riego

Incrementos en las demandas actuales de volúmenes para riego, generados por una disminución

en la precipitación, y un incremento en la evapotranspiración de los cultivos requerirán de inversiones para aumentar la eficiencia en el uso del agua desde la fuente de abastecimiento hasta la parcela, a través de la tecnificación y modernización de la red de distribución.

Sin duda, no sólo los cambios serán físicos sino también administrativos. El servicio de riego, bajo la responsabilidad de las asociaciones de usuarios de riego, debe ser mejorado, entre otras acciones, mediante la transparencia de los procesos que asegure la equidad en el agua entregada a los usuarios y en la rendición de cuentas de los recursos financieros administrados.

Cambios estructurales en las zonas de riego demandarán su modernización mediante una gestión más eficiente del servicio de riego y el desarrollo de capacidades técnicas y administrativas que respondan con oportunidad a los retos que implica un mejor seguimiento del servicio de riego, acorde a las condiciones climáticas cambiantes. Una alta eficiencia del riego se manifiesta en la conducción del mayor volumen de agua posible desde la fuente de aprovechamiento hasta la parcela para satisfacer los requerimientos de agua de los cultivos.

La ilustración 19 muestra gráficamente que el volumen bruto que se extrae de la fuente de abastecimiento se reduce al circular por la red de distribución, al entregarse a los usuarios en las tomas granjas y pasar por las regaderas interparcelarias. Al

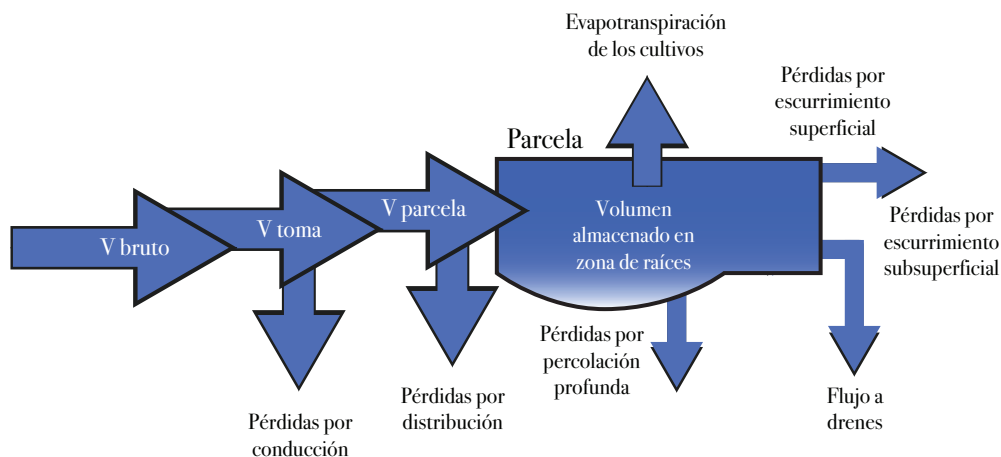


Ilustración 19. Componentes de los flujos de agua durante su distribución desde la fuente a la parcela.



aplicarse a las parcelas, solamente parte del volumen se queda en la zona de raíces; el cual es extraído en su mayor parte por las plantas y liberado a la atmósfera ya sea por transpiración de las mismas o por evaporación del agua que permanece en la superficie del suelo.

En el Distrito de Riego 075, por ejemplo, la eficiencia de conducción de la fuente de abastecimiento a la entrega en la toma granja es del 71%, la eficiencia de distribución de la toma granja a la cabecera de la parcelas es del 90% y la eficiencia de aplicación parcelaria es del 40%, que genera un eficiencia global del orden del 25%.

$$e_g = e_c e_d e_a = 0.71 * 0.90 * 0.4 = 0.25$$

Ante un escenario de ambientes más secos y calientes, se necesitará mejorar el uso del agua, del ambiente, de la energía y del suelo. Para ello muchas zonas de riego demandarán grandes inversiones para la rehabilitación y modernización de su infraestructura.

## SISTEMAS DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO AGROCLIMÁTICO

### Monitoreo de cultivos

El monitoreo de cultivos es una excelente herramienta para la toma de decisiones en la aplicación óptima de insumos agrícolas como el riego, fertilizantes y pesticidas. El desarrollo de los sistemas de información geográfica cada vez hace más práctica esta herramienta.

En grandes zonas agrícolas el monitoreo de la fenología de los cultivos ayuda a una mejor programación de la aplicación de insumos como el riego. En la ilustración 20 Se puede observar un reporte gráfico de la fenología del cultivo de maíz en el Módulo de Riego Santa Rosa del Distrito de Riego 075. La información es utilizada para definir la recomendación de aplicar el último riego cuando el cultivo se encuentra en la fase lechoso-masoso (R3-R4) en suelos arcillosos o franco arcillosos. El

Estado debe promover el desarrollo y transferencia de estos sistemas y técnicas para la toma decisiones que permitan el mejor acoplamiento de los insumos agrícolas de acuerdo a la fenología, que se encuentra en función del ambiente a lo largo del ciclo de un cultivo.

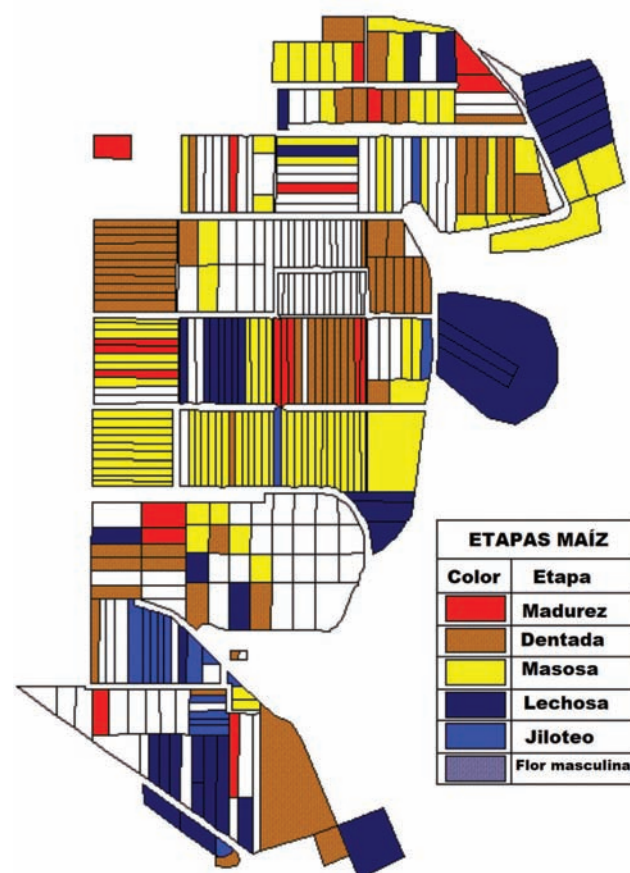


Ilustración 20. Monitoreo parcelario y predicción de la fenología en el módulo de riego Santa Rosa del DR 075, Río Fuerte Sinaloa.

### Monitoreo meteorológico

Los agricultores conocen la importancia del clima, saben que años fríos implican ciclos largos, mientras que años calientes los acortan. Por muchos años la adquisición de datos meteorológicos era manual, ahora los avances electrónicos han propiciado el acceso a sistemas de adquisición automatizados (estación meteorológica automatizada) que facilita el

monitoreo meteorológico para seguir las condiciones ambientales de los cultivos.

Tradicionalmente, las necesidades de riego de los cultivos se habían basado en tablas de uso consuntivo, obtenidas de promedios diarios meteorológicos y usando ecuaciones empíricas limitadas. El empleo de otras alternativas se restringía a la disponibilidad parcial de las variables meteorológicas, que intervienen en la pérdida de agua por las plantas, reportadas en la mayor parte de las estaciones meteorológicas de nuestro país operadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), muchas veces ubicadas a grandes distancias del sitio de interés.

Los adelantos tecnológicos en sensores y controles han promovido mejores sistemas para monitorear en forma más precisa y casi continua el tiempo atmosférico, siendo de vital importancia en los procesos de interés agrícola, como lo es la evapotranspiración de los cultivos. La disponibilidad de la cantidad, frecuencia de muestreo y calidad de los valores de las variables meteorológicas, ha generado el resurgimiento de viejas ecuaciones con mayor precisión para estimar el flujo de energía y calor de los cultivos.

### Sistemas de alerta temprana (SAT)

Es una herramienta que permite reducir la vulnerabilidad de un sistema productivo ante los impactos causados por posibles eventos indeseables. Un SAT incluye seis mecanismos centrales (Matveeva, 2006):

- Recolección de datos.
- Análisis de datos.
- Evaluación para la alerta o la identificación de diferentes escenarios posibles.
- Formulación de propuestas de acción.
- Transmisión de recomendaciones.
- Evaluación de la respuesta temprana.

Un sistema de alerta temprana facilita a los productores la toma de decisiones a partir del monitoreo continuo, en tiempo y forma, y les

permite enfrentar los riesgos a los que se encuentran expuestos ante la presencia de un agente perturbador y de los mecanismos de respuesta. México tiene gran experiencia en la operación de sistemas de alerta temprana para ciclones, sismos e inundaciones. En el sector agrícola existen sistemas para la alerta temprana de sequías y riesgo fitosanitario pero son muy limitados. Es necesario mejorarlos mediante las adaptaciones necesarias que faciliten su transferencia a los productores.

### *Pronóstico climático estacional*

Históricamente, los servicios meteorológicos disponibles en México han sido limitador para la agricultura. En general, los servicios se presentan en un formato poco accesible a los productores y están más orientados hacia el seguimiento de ciclones y lluvias torrenciales, para la aviación, y para usuarios urbanos que demandan el pronóstico del tiempo a corto plazo.

Si bien los productores usan información climática en forma directa o indirecta, esta debe potenciar su valor en la toma de decisiones toda vez que para la agricultura se incrementa la importancia de la disponibilidad de predicciones climáticas de mediano y largo plazos sobre la presencia de eventos extremos como lluvias o temperaturas atípicas.

Los productores podrían adaptarse más fácil al cambio climático si conocieran anticipadamente los patrones climáticos probables durante el siguiente ciclo agrícola. La aplicación de pronósticos estacionales en México es cada vez más urgente en las regiones áridas y semiáridas donde se localizan las zonas de riego más productivas. El pronóstico climático estacional más utilizado se basa en la teleconexión estadística de la precipitación con índices climáticos como el comportamiento de la temperatura y la presión superficial de los océanos y otros indicadores climáticos globales: la Oscilación del Sur, la Oscilación del Atlántico Norte, la Oscilación Decadal del Pacífico Norte, y el Dipolo Atlántico Tropical de las temperaturas de la superficie del mar.

El pronóstico estacional basado en el Niño y la Oscilación del Sur, conocido como ENSO se ha aplicado exitosamente en Australia para apoyar la toma de decisiones de los productores agrícolas. Magaña *et al.* (1999a) y Adams (2003) han documentado el uso del ENSO como herramienta de alerta temprana para la agricultura.

Este tipo de pronósticos deben desarrollarse y generarse rutinariamente de manera institucional en un formato amigable para los productores para que puedan desarrollar y evaluar sus procesos de

decisión en función de los efectos directos del medio ambiente, aunque dependan de expertos externos para responder a los efectos indirectos o proyectados de las condiciones ambientales a mediano y largo plazos.

Stewart (1988) documentó el enfoque de la agricultura de respuesta para la toma de decisiones que se basa en que los productores pueden disminuir su riesgo si monitorean la condiciones ambientales para la toma de decisiones. Esto es, en función de la anomalía climática actual usando información





histórica y otros datos de referencia así como las condiciones ambientales observadas, los productores ajustan el manejo del cultivo y la aplicación de insumos agrícolas en función de la anomalía climática actual usando información histórica y otros datos de referencia.

El productor analiza una decisión con base en el pasado reciente. Por ejemplo, qué puede pasar si siembro ahora que han llovido 30 mm; qué pasa si disminuyo mi dosis de fertilización nitrogenada convencional si la lluvia ha disminuido en un 40% y la aplicación de fertilizante incrementará el follaje, y en consecuencia aumentará la demanda hídrica de los cultivos y se generará un mayor riesgo por estrés hídrico.

### **Incorporación de información sobre proyecciones climáticas en el diseño de proyectos agrícolas**

Con la intensificación de las variables ambientales por efecto del cambio climático, la utilización de información climática histórica puede ser ahora cuestionable en el diseño y operación de los sistemas hidráulicos. El cambio climático es un proceso paulatino, pero real, por lo que es necesario analizar posibles repercusiones del cambio climático en la planeación, operación y gestión de los recursos hidráulicos y así generar una nueva plataforma de diseño, planificación, y operación de las obras de infraestructura hidroagrícola y un manejo integral del agua considerando los posibles escenarios climáticos (Ojeda *et al.*, 2008).

### **Incorporación de tecnologías y sistemas de información en la gestión del riego**

Las ciencias en general, sobre todo a partir de este siglo, se han visto impactadas por las nuevas tecnologías de información y comunicación (TICs), no así la agronomía cuyo proceso para adoptarlas ha sido limitado hasta ahora en que ha pugnado por la incorporación masiva de las mismas, con notables

resultados en el desarrollo de la agricultura, una de las actividades más antiguas del hombre.

Por ejemplo, la ingeniería genética y la agricultura de precisión, dependen cada vez más del procesamiento de datos mediante un sistema de información (SI), entendido este como un conjunto de recursos organizados para acopiar, almacenar, analizar y difundir datos en varios formatos en función de objetivos establecidos. Un SI es una herramienta de apoyo para la toma de decisiones al facilitar la descripción, la explicación, la predicción y la actuación correspondientes en respuesta al comportamiento de un sistema productivo.

#### **- Modelos de simulación biológica**

Los modelos de simulación biológica son una poderosa herramienta para seleccionar acciones de adaptación al analizar el desarrollo y la producción de cultivos bajo diferentes estrategias de manejo y disponibilidad de recursos, considerando información de suelo y clima. La agricultura moderna requiere de este tipo de modelos calibrados en campo tanto para manejar riesgos como para analizar impactos y optimizar la manipulación del cultivo bajo condiciones restrictivas de medio ambiente e insumos.

La aplicación de dichos modelos permite reducir el tiempo y los costos experimentales al evaluar diferentes alternativas de adaptación: introducción de nuevos cultivos y variedades en una zona agrícola, comportamiento de los cultivos bajo diferentes fechas de siembra, densidades de población, tipo de suelo, sistemas de riego, condiciones ambientales, programas de aplicación de insumos, y pesticidas agrícolas.

De Wit *et al.* (1970) iniciaron el desarrollo de modelos biológicos con la liberación del modelo ELCROS (*Elementary CROp growth Simulator*), que posteriormente fue mejorado por De Wit and Goudriaan (1978) como BACROS (*BASic CROp growth Simulator*) e incluía la simulación de la transpiración. Aunque existen varios modelos biológicos comerciales en la actualidad, entre los

más importantes se encuentran el DSSAT-Decision Support System for Agrotechnology Transfer (Jones *et al.*, 2003) y el CropSyst (Stockle y Nelson, 1998). El modelo AquaCrop (Raes *et al.*, 2009) desarrollado y validado recientemente por la FAO en varias regiones del mundo tiene un gran potencial para la gestión del riego parcelario.

#### - Agricultura de precisión

La agricultura de riego de México necesita incorporar elementos de la agricultura de precisión, suponiendo que las características de los suelos y el ambiente donde se desarrollan los cultivos varían en tiempo y espacio, por lo que se requiere del uso de técnicas y metodologías para estimar, evaluar y entender dichas variaciones.

Por otra parte, con la información de la variabilidad de la parcela, se programa la aplicación variable de los insumos agrícolas: riego, fertilizantes y pesticidas, entre otros.

Existen en el mercado mexicano cosechadoras equipadas con geoposicionadores que estiman la variabilidad de los rendimientos de las parcelas, dicha información es útil para conocer su manejo y la variabilidad espacial de su fertilidad.

### **Difusión y cultura del cambio climático**

El cambio climático, fenómeno natural de gran impacto, afectará el entorno ambiental planetario y con ello nuestro desarrollo y convivencia interdependiente en el conjunto e interacción de los componentes bióticos y abióticos. Por lo tanto, son indispensables las políticas de comunicación para difundir y dar a conocer las posibles repercusiones del cambio climático en los sectores productivos, con objeto de sensibilizar con mayor énfasis, a los más vulnerables, tanto para la comprensión de los impactos, como para potenciar acciones de adaptación.

Es de suma importancia difundir entre los productores una cultura de prevención ante los efectos del cambio climático, para lo cual es necesario

generar una estrategia y un modelo de comunicación global que incorpore las acciones de adaptación más recomendables para atenuar las consecuencias o bien, para realizar ajustes pertinentes en sus sistemas productivos.

### **CONCLUSIONES**

Los cambios en los patrones actuales de la temperatura sin duda afectarán la demanda hídrica y el manejo de los cultivos, así como la planeación de los volúmenes disponibles en una zona de riego.

La intensificación de la incidencia del cambio climático en las variables ambientales cuestionará la utilización de información climática histórica (potencialmente peligrosa e incierta) en la planeación y operación de los sistemas hidráulicos.

El cambio climático es un fenómeno real, por lo que es necesario analizar sus posibles repercusiones en la gestión de los recursos hidráulicos y así, generar acciones de adaptación que permitan ajustar el proceso de planificación, operación y evaluación del servicio de riego. Es todo un reto seleccionar las mejores acciones de adaptación al cambio climático para la agricultura de riego, así como a quienes deben ser apoyados de acuerdo a una política de planeación promovida desde el Estado.

La respuesta de la agricultura al cambio climático debe manifestarse en acciones de adaptación planificada para reducir la vulnerabilidad por impactos adversos o daño potencial o para aprovechar las oportunidades asociadas a dicho cambio. La adaptación no debe considerarse en forma aislada sino como acciones coordinadas e integradoras de agricultores, asociaciones, universidades, empresas y gobierno.

Las estrategias de adaptación a corto plazo pueden basarse en la modificación o mejora de las prácticas agrícolas actuales, muchas de ellas sencillas: cambios en las fechas de siembra y en las variedades usadas, rotación de cultivos, y uso de métodos y sistemas para la conservación de la humedad del suelo. Sin embargo, a largo plazo, será necesario adaptar los

sistemas agrícolas y el servicio de riego a las nuevas condiciones climáticas.

La adaptación a largo plazo provocará ajustes a los sistemas de producción agrícola y requerirá de la intervención del Estado para su planeación, promoción e implementación. Sin su apoyo las posibilidades de adopción de acciones a largo plazo serán limitadas.

La agricultura de riego enfrenta varios riesgos sociales y económicos que se recrudecerán en el futuro por el impacto del cambio climático, las proyecciones indican ambientes más secos y más calientes. Por ello uno de los objetivos en la aplicación de acciones de adaptación en las zonas de riego será convencer a tomadores de decisiones de políticas públicas, agricultores, administradores y directivos de asociaciones de usuarios de riego, de que los cambios en los patrones climáticos son reales y se intensificarán durante el presente siglo, para lo cual se requiere tomar acciones y planificar e implantar acciones a corto, mediano y largo plazos.

Como política de Estado se debe favorecer el desarrollo de nuevas variedades e híbridos resistentes al estrés térmico e hídrico, promover el ajuste en los paquetes tecnológicos a las nuevas condiciones climáticas que puedan conducir a una reconversión productiva, el desarrollo o mejora de técnicas para la aplicación oportuna y eficiente de insumos agrícolas que incluye al riego y a los fertilizantes, el ajuste de políticas, leyes, reglamentos y normas para la implantación de acciones de adaptación estructurales en los distritos de riego.

Sin duda, un cambio sustancial en la gestión de las zonas de riego será la planeación de las actividades asociadas con el servicio de riego, que incluye una mejor estimación de los volúmenes a distribuir a diferentes niveles de operación, de las demandas hídricas de los cultivos, del plan de cultivos acordes a las nuevas condiciones climáticas. El uso del pronóstico estacional del clima en función de las anomalías estacionales, como el fenómeno de El Niño será de gran ayuda para ajustar los planes de riego a los almacenamientos esperados en las fuentes de abastecimiento de las zonas de riego.







## REFERENCIAS

- Adams, R., L. L. Houston, B. A. McCarl, M. Tiscareño, J. Matus G., R. F. Weiher. 2003. The benefits to Mexican agriculture of an El Niño-southern oscillation (ENSO) early warning system. *Agricultural and Forest Meteorology* 115: 183-194
- Adger, WN, S. Agrawala, MMQ., Mirza, C., Conde, K., O'Brien, J. Pulhin, R., Pulwarty, B., Smit, and K. Takahashi. 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, eds Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE. Cambridge Univ Press, Cambridge, UK. pp 717-743.
- Allen, G. R., L. Pereira, D. Raes, M. Smith. 2006. Estudio FAO Riego y drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Serie cuadernos técnicos. FAO. Roma, Italia. 298 pp.
- Cabrera, R. 1994. Consideraciones sobre la tecnología del riego superficial en caña de azúcar. Nota técnica. *Revista Caña de Azúcar*. 12:85-97. INIA. Venezuela.
- Cardon, G. E., J. G. Davis, T. A. Bauder, y R. M. Waskoml. 2003. Managing saline soils. *Crop Series No. 0.503*. Cooperative Extension. Colorado State University. 5 pp.
- Cortez, V. M. 2000. Variaciones intraestacionales de la actividad convectiva en Mexico y America Central. *Atmósfera*. 13:95-108.
- Clarke, D. 1998. *CropWat for Windows : User Guide*. FAO. Roma, Italy.
- Davies, W.J., S. Wilkinson, and B.R. Loveys. 2002. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *Phytologist*. 153: 449-460.
- De Wit, C.T. and J. Goudriaan. 1978. Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops. *Simulation monograph*. PUDOC, Wageningen, The Netherlands.
- De Wit, C.T., R. Brouwer and F.W.T. Penning de Vries. 1970. The simulation of photosynthetic systems, in prediction and measurement of photosynthetic productivity. *Proceedings of International Biological Program/Plant Production Technical Meeting*. Setlik, I., Ed., Trebon, PUDOC. Wageningen, The Netherlands.
- Debaeke, P. and A. Aboudrare. 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. *European Journal of Agronomy* 21:433-446.
- Doorenbos, J. and A. H. Kassam. 1986. Yield response to water. FAO. *Irrigation and Drainage paper No. 33*. Roma, Italia. 189 pp.
- Füssel H. -M, R. J. T. Klein. 2004. Conceptual frameworks of adaptation to climate change and their applicability to human health. PIK report no. 91, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany.
- Füssel H.-M. and R. J. T. Klein. 2006. Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climatic Change*. 75: 301-329.
- Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 24: 519-570.
- Howden, S. M., Jean-Francois Soussana, Francesco N. Tubiello, Netra Chhetri, Michael Dunlop, and H. Meinke. 2007. Adapting agriculture to climate change. *Proc Natl Acad Sci USA*. 104(50): 19691-19696.
- Jones, R. and L. Mearns. 2004. Assessing Future Climate Risks. In *Adaptation policy frameworks for climate change: developing strategies, policies and measures*. Edited by B. Lim and E. Spanger-Siegfried. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. Pp. 143.
- Jones, J.W., G. Hoogernboom, C. H. Porter, K. J. Boote, W. D. Batchelor, L. A. Hunt, P. W. Wilkens, U. Singh, A. J. Gijssman and J. T. Ritchie. 2003. The DSSAT cropping system model. *Eur. J. Agron*. 18:235-265.
- Magaña, V., Perez, J.L., Vázquez, J.L., Carrisoza, E., Pérez, J. 1999a. El Niño y el Clima. Los Impactos de El Niño en México. Capítulo 2. Magaña, V. (Ed.). Dirección General de Protección Civil Secretaria de Gobernación. pp. 23-66
- Magaña, V., J. A. Amador y S. Medina. 1999b. The mid-summer drought over Mexico and Central America. *J. Climate* 12:1577-1588.
- Matveeva, A. 2006. Alerta temprana y respuesta temprana: Dilemas Conceptuales y Empíricos. Paper temático 1, The Hague, European Centre for Conflict Prevention. Global Partnership for the Prevention of Armed Conflict. 77 pp.
- Montero, M.J., y J.L., Pérez. 2008. Regionalización de proyecciones climáticas en México de precipitación y temperatura en superficie usando el método REA para el siglo XXI. En *Efectos del cambio climático en los recursos Hídricos de México*. P. Martínez y A. Aguilar (eds). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor.
- Nilsen, E. T. y D. M. Orcutt. 1996. *Physiology of plants under stress*. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Ojeda, W. 2002. Importancia de la plantación hidroagrícola en distritos de riego bajo condiciones de baja disponibilidad. Comisión Estatal de Agua de Guanajuato. *Revista Aquaforum*. 30:10-14. Guanajuato, Gto.
- Ojeda-Bustamante, W., E. Sifuentes-Ibarra, y H. Unland. 2006. Programación integral del riego en maíz. *Agrociencia* vol. 40, No.1, pp:13-25.
- Ojeda-Bustamante, W., J. M. González-Camacho, E. Sifuentes-Ibarra, E. Isidro, L. Rendón-Pimentel. 2007. Using spatial information systems to improve water management in Mexico. *Agricultural Water Management* vol. 89, pp:81-88.



- Ojeda, W., L. Hernández, y I. Sánchez. 2008a. Requerimientos de riego de los cultivos. B. de León y B. Robles (eds). Capítulo 1.2 del libro "Diseño de pequeñas zonas de riego". Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Pp. 115-148.
- Ojeda, W., P. Martínez, y L. Hernandez. 2008b. Repercusiones del cambio climático en la agricultura de riego. Capítulo 6 del libro "Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México". A. Aguilar y P. Martínez (eds). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Pp 73-83
- Ojeda Bustamante, W., M. Iñiguez Covarrubias, J. M. González Camacho. 2010. Vulnerabilidad de la agricultura de riego de México ante el cambio climático. Capítulo 5 del libro Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. P. Martínez y C. Patiño (eds). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Pp. 115-142.
- Ojeda-Bustamante, W., E. Sifuentes-Ibarra, M. Iñiguez-Covarrubias, J.M. Montero. 2011. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*. 2011. 45(1):1-11.
- Raes, D., P. Steduto, T. C. Hsiao and E. Fereres. 2009. *AquaCrop*. Reference Manual. FAO, Rome, Italy. 218 pp.
- Riebsame, W. E. 1991. Adjusting water resources management to climate change. *Clim. Change*. 13:69-67
- Seager, R., M. Ting, I. Held, Y. Kushnir, J. Lu, G. Vecchi, H. Huang, N. Harnik, A. Leetmaa, N. Lau, C. Li, J. Velez, N. Naik. 2007. Model projections of an imminent transition to a more arid climate in southwestern North America. *Science* vol. 316, pp:1181-1184.
- SIAP. 2011. Base de datos agrícola. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Mexico, D.F. Disponible: <http://www.siap.gob.mx/>
- Smit, B., I. Burton, R.J.T. Klein, and R. Street, 1999: The science of adaptation: A framework for assessment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 4:199-213.
- Solomon, S., G. Plattner, R. Knutti, P. Friedlingstein. 2009. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proc Natl Acad Sci USA*. 106(6):1704-1709.
- Stewart, J. I. 1988. *Response farming in rainfed agriculture*. WHARF Foundation Press. Davis, USA. 103pp.
- Stockle, C. O., R. L. Nelson. 1998. *CropSyst User's Manual*. Biological Systems Engineering Dept., Pullman, Washington, USA, Washington State University.
- Tubiello FN, J-F., SM., Soussana, Howden. 2007. Crop and pasture response to climate change. *Proc Natl Acad Sci USA*. 104(50):19686-19690.
- UNDP. 2003. *User's guidebook for the adaptation policy framework*. United Nations Development Programme. United Nations. 42 pps.
- Verchot, L.V., M. Van Noordwijk, S. Kanji, T. Tomich, C. Ong, A. Albrecht, J. Mackensen, C. Bantilan, K.V. Anupama, and C. Palm. 2007. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Mitig. Adapt. Strat Glob Change*. 12(5):901-918.
- Yonts, D. C., D. E. Eisenhauer y D. Varner. 2003. *Managing Furrow Irrigation Systems*. Guide G97-1338-A. Cooperative Extension. Institute of Agricultural and Natural Resources. University of Nebraska. Lincoln, Nebraska, USA
- Wit De, C.T., R. Brouwer, and F.W.T. Penning de Vries. 1970. The simulation of photosynthetic systems. In *Prediction and Measurement of Photosynthetic Productivity*, Proc. of Int. Biological Program/Plant Production Technical Meeting, Setlik, I., Ed., Trebon. PUDOC. Wageningen. The Netherlands.
- Wit De, C.T. and J. Goudriaan. 1978. *Simulation of Assimilation, Respiration and Transpiration of Crops*. Simulation Monographs. PUDOC, Wageningen, The Netherlands.



*Efectos del cambio climático en los recursos hídricos en México. Volumen IV. Adaptación al cambio climático* se terminó de imprimir, en su primera edición, en agosto de 2012 en los talleres de Impresión y Diseño en el Distrito Federal. El tiraje consta de 250 ejemplares.

