

03095
3



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA
CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA**

**CAMBIO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICOS.
DOS ESTUDIOS DE CASO EN MÉXICO**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN CIENCIAS
(FÍSICA DE LA ATMÓSFERA)
P R E S E N T A :
ANA CECILIA CONDE ALVAREZ

DIRECTOR DE TESIS:
DR. CARLOS GAY GARCÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F.

2003

TESIS CON
FALLA DE ORDEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**TESIS
CON
FALLA DE
ORIGEN**

PAGINACIÓN DISCONTINUA



PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Ciudad Universitaria

C.P. 04510 México, D.F.

Deleg. Coyoacán

OF. NO. PCT/JOCE/806/03

Asunto: Asignación de jurado para examen de grado.

ING. LEOPOLDO SILVA GUTIERREZ
Director
Dirección General de Administración Escolar
UNAM
Presente.

El Comité Académico del Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra, reunido en su sesión ordinaria del 3 de junio de 2003, acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de **Doctorado en Ciencias (Física de la Atmósfera)** de la **M. en C. Ana Cecilia Conde Alvarez**, con número de cuenta **8115972-9**, quien defenderá la tesis titulada **"Cambio y variabilidad climáticos. Dos estudios de caso en México"**, dirigida por el Dr. Carlos Gay García.

PRESIDENTE:	Dr. Julián Adem Chain
VOCAL:	Dra. Diana Liverman
VOCAL:	Dr. Adalberto Tejada Martínez
VOCAL:	Dr. Víctor Magaña Rueda
SECRETARIO:	Dr. Carlos Gay García
SUPLENTE:	Dr. Víctor Mendoza Castro
SUPLENTE:	Dr. Tomás Morales Acoltzí

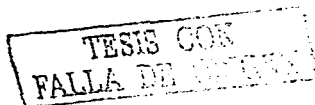
Sin otro en particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria a 15 de agosto del 2003.
EL COORDINADOR DEL PROGRAMA

DR. J. OSCAR CAMPOS ENRIQUEZ

c.c.p.- archivo.

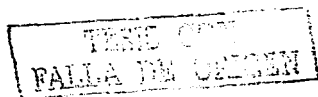
Autorizo a la Dirección General de Asesorías de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo profesional.
 NOMBRE: Ana Cecilia Conde Alvarez
 FECHA: 28/08/03
 FIRMA: [Firma]



Este trabajo lo dedico a la memoria de mis padres, Miguel Conde y Cristina Alvarez, y también a Don Manuel y a la gran bruja Maruja.

Agradezco el cariño, apoyo y paciencia de mis grandes amigos y hermanos: Rosita, Conchis, Cristi, Luis, Jorge, Toño, Migue, Susi F y Susi D, la Güera, Angelina, Tato, la *brujista* mayor Diana y sus cómplices Hallie y Karen. Incluyo aquí a la segunda generación: Mariana, Adela, Sandra, Miguelito y Lauris.

Mi reconocimiento y aprecio a los doctores Carlos Gay, Adalberto Tejeda, Julián Adem, Víctor Magaña y Víctor Mendoza por sus valiosas sugerencias.



INDICE

Introducción	i – iv
Capítulo 1. Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio y a la Variabilidad Climáticos. Conceptos y Métodos Básicos.	
1.1. Introducción	1-1
1.2. Estudios Previos (Primera Generación)	1-3
1.3. Conceptos y Métodos Empleados para el Estudio del Cambio y la Variabilidad Climáticos (Segunda Generación)	1-5
1.3.1. Conceptos de Vulnerabilidad y Adaptación ante el Cambio y la Variabilidad Climáticos	1-8
1.3.2. Conceptos de Vulnerabilidad y Adaptación en otras Áreas de Estudio y su Relación con los Estudios de Cambio y Variabilidad Climáticos	1-13
1.4. Indicadores de Vulnerabilidad y Adaptación	1-19
Capítulo 2. Variabilidad y Cambio Climático en México.	
2.1. Introducción	2-1
2.2. Escalas Espaciales y Temporales para los Estudios de Cambio y Variabilidad Climáticos	2-9
2.2.1. Escala Espacial	2-9
2.2.2. Escalas Temporales. Pronósticos y Escenarios Climáticos	2-16
2.2.2.1. El Niño / Oscilación del Sur	2-18
2.2.2.2. Escenarios de Cambio Climático	2-23
2.3. Aspectos Generales del Clima en México	2-32
2.4. El Niño y sus Impactos en México	2-46
2.5. Escenarios de Cambio Climático para México	2-59

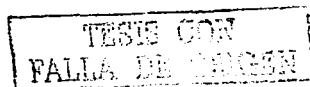
TESIS CON
FALLA DE CALIDAD

Capítulo 3. Vulnerabilidad y Adaptación. Dos Estudios de Caso: Tlaxcala y Sonora

3.1. El estudio de caso de Tlaxcala	3-1
3.1.1. Definición / Alcance. Estudios Cambio y Variabilidad Climáticos. Selección de Sectores y Participantes	3-3
3.1.2. Evaluación de Impacto y la Adaptación. Análisis de Sensibilidad y Aplicación de Modelos	3-5
3.1.3. Evaluación de la Vulnerabilidad Actual y Futura	3-14
3.1.4. Información para reducir la Vulnerabilidad y Aumentar la Capacidad Adaptativa	3-19
3.2. El Estudio de caso de Sonora	3-21
3.2.1. Aspectos climáticos e hidrológicos de la región	3-24
3.2.2. Agua, Agricultura y Población	3-27
Conclusiones	C1 – C7
Glosario	G1 – G7
Bibliografía	B1 – B12
Artículos Arbitrados Anexos	

Artículos anexos

1. Gay, C., C. Conde, J.L. Pérez. 2001. Escenarios climáticos regionales para estudios de cambio y variabilidad climáticas en México. En: *El Tiempo del Clima*. A.J. Pérez-Cueva, E. López Baeza y J. Tamayo Carmona (Eds). Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. 95 – 102.
2. Conde, C., H. Eakin. 2003. Adaptation to Climatic Variability and Change in Tlaxcala, Mexico. 2003. Chapter in: *Climate Change, Adaptive Capacity and Development.*, J. Smith, R. Klein, S- Huq. (editors). Imperial College Press , London.
3. Magaña, V., C. Conde. 2003. Climate Variability and climate Change Impacts on the Freshwater Resources for Northwestern Mexico, Sonora: A Case Study. In: *Climate, Water and Transboundary Challenges in the Americas*. Edited by H. F. Diaz. and B. J. Morehouse. 373-391.
4. Conde., C., K. Lonsdale. 2003. Stakeholder Engagement in The Adaptation Process Technical Support Paper No. 2. *Adaptation Policy Framework*. Outline and Draft. UNDP-GEF. http://www.undp.org/cc/apf_outline.htm.



Introducción.

En este trabajo presento de manera concisa los métodos desarrollados y resultados obtenidos durante tres años (2000 – 2003) de estudios de doctorado en el área de Cambio y Variabilidad Climáticos. En ese periodo he participado en diversos proyectos, reuniones y talleres de trabajo, de los que han surgido varias publicaciones que fueron sometidas a revisiones por parte de expertos en el área. Estos trabajos se anexan al final de la tesis. Cabe señalar que los métodos aplicados para su desarrollo son considerados originales, y que contribuyen al desarrollo de la investigación en el campo citado.

Actualmente, hay estudiantes de las carreras de física y meteorología, geografía y biología, que se encuentran desarrollando tesis o servicio social empleando buena parte de la metodología que se plantea en este trabajo, lo que si bien ha representado un esfuerzo adicional, ha sido también fuente de nuevas ideas y retos para esta investigación.

En el artículo anexo a esta tesis de Gay, Conde y Pérez (2001), los autores realizamos una reseña de los métodos para generar escenarios de cambio climático durante el Estudio de País, México, y su relación con las condiciones climáticas que se presentan particularmente durante el evento de EL Niño, en un intento por hacer un balance de lo propuesto durante ese estudio y delinear los métodos que pueden utilizarse en investigaciones futuras.

El artículo Conde y Lonsdale (2003), contribuye al libro “Marco para Políticas de Adaptación” (APF, por sus siglas en inglés), que este año será publicado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Se encuentra actualmente en la página de red de ese organismo con la intención de que su revisión sea lo más amplia y abierta posible, aunque su última versión fue revisada por 17 expertos en el área. El APF es un material de apoyo para los grupos de investigación en países que someterán en un par de años sus Segundas Comunicaciones Nacionales a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés). Sin embargo, también es de interés para los grupos de investigación en este campo que quieran utilizar ese trabajo para sistematizar sus métodos de análisis. En esta publicación se detallan los aspectos que el PNUD considera relevantes para los nuevos estudios de cambio climático. Esencialmente, se espera que en las nuevas investigaciones incluyan tres componentes: el análisis de la variabilidad climática (además del análisis del posible cambio climático



futuro), las estrategias de adaptación implementadas en los sectores y regiones bajo estudio, y la integración desde el inicio del estudio de los actores en esos sectores y regiones cuyos intereses puedan verse comprometidos por las variaciones o cambio en el clima. El capítulo en cuestión aborda este último punto, detallando la necesidad y posibilidad de esa integración, además de sugerir los mecanismos para que esa integración sea provechosa tanto para los investigadores como para los actores involucrados.

En los otros dos artículos arbitrados que se anexan: Conde, C. y H. Eakin (2003) y Magaña, V. y C. Conde (2003), los autores realizamos dos estudios de caso referentes a los posibles impactos del cambio y la variabilidad climáticos en los sectores agrícolas y recursos hídricos, respectivamente.

En el primero de ellos, delineamos la importancia que tiene la variabilidad en la toma de decisiones para los agricultores de maíz de temporal en el Estado de Tlaxcala, así como las estrategias que emplean para enfrentar eventos climáticos adversos para su actividad, particularmente en condiciones de sequía asociadas al evento El Niño. Analizamos en esa publicación la importancia que tienen los pronósticos climáticos como medida adaptativa, así como los efectos que han tenido los fuertes eventos de El Niño en el cultivo de maíz. Para este último objetivo, contamos con el apoyo de la Biol. Rosa Ma. Ferrer para la aplicación del modelo de simulación agrícola Ceres – Maize. Mediante ese modelo, es posible observar que los posibles efectos positivos del cambio climático debido a la disminución de las heladas, pueden ser anulados si las condiciones climáticas futuras se asemejan a las condiciones observadas en el Estado durante El Niño.

En el segundo artículo, los autores analizamos la variabilidad y el cambio climático para el Estado de Sonora, los posibles impactos en los recursos hídricos y las limitaciones y oportunidades para establecer estrategias de adaptación. Particularmente, analizamos los cambios en los recursos hídricos (caudales y nivel de presas) durante el invierno durante fuertes eventos de El Niño. Los escenarios de cambio climático analizados corresponden a los empleados en el Estudio de País: México. En este artículo los autores no interaccionamos con los actores principales del sector (administradores y usuarios del recurso agua en el estado). Sin embargo, durante el 2002 participé en el proyecto: "A Binational Dialogue on Water and Climate in the San Pedro River Basin of Mexico and Arizona: Making Climate Information Digestible" dirigido por el Dr. Robert Varady, del



Udall Center for Studies in Public Policy & Institute for the Study of Planet Earth, de la Universidad de Arizona. Durante ese año asistí a las reuniones con diversos actores en los municipios de Naco y Cananea, que me permitieron detectar las condiciones climáticas adversas que han enfrentado y algunas de las medidas que han aplicado en situaciones críticas.

Finalmente, cabe señalar que desde el 2002 estamos desarrollando el proyecto “Evaluación Integrada de la Vulnerabilidad Social y la Adaptación al Cambio y Variabilidad Climáticos entre los Agricultores de México y Argentina”, dentro del conjunto de proyectos que se están realizando en diversos países en desarrollo: Evaluación de los Impactos y Adaptaciones al Cambio Climático (AIACC, por sus siglas en inglés), que cuenta con el apoyo del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

En ese proyecto consideramos que los sistemas (sectores, regiones, etc.) expuestos a los eventos climáticos están siendo impactados por dos procesos globales: el cambio climático global y la globalización económica. Intentamos entonces evaluar las estrategias de adaptación en un marco mucho más amplio, en el que consideramos que es necesario analizar los riesgos y oportunidades que ambos procesos representan para la agricultura en los dos países involucrados en el proyecto.

Con esos antecedentes, en el primer capítulo de la tesis presento las definiciones y métodos para estudiar la vulnerabilidad y la adaptación al cambio y a la variabilidad climáticos. Las definiciones básicas se profundizan en el glosario que se anexa al final. En este capítulo se describe los métodos aplicados en los estudios de cambio climático anteriores (llamados primera generación) y se detallan los nuevos retos y métodos en los estudios actuales. Para este último caso, algunos conceptos aún están en proceso de discusión y definición. Así que algunas ideas que se presentan, si bien pueden ser polémicas, considero que son parte del esfuerzo por fundamentar nuevas teorías en el área.

En el capítulo 2 se hace énfasis en el aspecto climático de estos estudios, tanto en lo que se refiere al cambio climático como a la variabilidad climática. Se presenta una breve descripción del clima en México y se detallan los aspectos más sobresalientes de las anomalías climáticas durante fuertes eventos de El Niño. El método empleado para evaluar los posibles impactos de estos eventos se sintetiza en lo que se denomina *espacio de riesgo*, esto es, aquellas combinaciones de las anomalías de temperatura y precipitación que

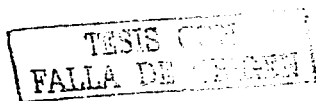
pueden ser adversas, particularmente a la producción de maíz de temporal y a los recursos hídricos. Así, este espacio de riesgo sólo queda determinado en función del sector o región que se está analizando, por lo que se requiere estudiar los requerimientos térmicos e hídricos del sistema bajo estudio para evaluar el riesgo climático y definir entonces el posible riesgo.

En el capítulo 2 también se proponen escenarios de cambio climático partiendo de seleccionar dos posibles escenarios socioeconómicos. De estos últimos escenarios dependerán las posibles futuras emisiones y, finalmente, del tiempo y cantidad del forzamiento radiativo que provocaría el calentamiento global y el aumento del nivel del mar, principalmente. Incluir estos escenarios socioeconómicos constituye actualmente el punto de partida para los estudios de cambio climático. Es por ello que esta tesis puede servir de base para las futuras investigaciones en este campo.

El *espacio de riesgo* mencionado anteriormente puede convertirse en un criterio para seleccionar entre los más de 500 escenarios de cambio climático que se generan a partir de los nuevos métodos propuestos, pues nos pueden indicar qué escenario proyecta anomalías que caerían en ese espacio y cuáles son los escenarios que encierran más condiciones adversas para los sectores o regiones en estudio.

En el capítulo 3 se resumen los resultados más importantes de los artículos que se refieren a los estudios de caso (Conde, C., H. Eakin, 2003 y Magaña, V., C. Conde, 2003), agrupándolos bajo las nuevas definiciones y enfoques descritos en los dos primeros capítulos.

En conclusión, en esta tesis presento una revisión de los métodos anteriores y actuales para realizar estudios de cambio climático, propongo escenarios de cambio climático para México, describo su posible evaluación mediante los espacios de riesgo mencionados, los que son lo suficientemente sencillos para ser presentados a los actores de los sectores y regiones seleccionadas. Esto apoyaría la participación de dichos actores en la definición de objetivos y en el desarrollo de los nuevos estudios de cambio climático.



Capítulo 1. Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio y a la Variabilidad Climáticos. Conceptos y Métodos Básicos

1.1 Antecedentes en México

Los estudios de cambio climático tienen importantes antecedentes en México. Su desarrollo se ha visto impulsado por el apoyo e influencia de agencias internacionales como el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), los programas de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y para el Desarrollo (PNUD), y por instancias regionales como el Instituto Interamericano para el Cambio Global (IAI, por sus siglas en inglés), el Programa de Estados Unidos para los Estudios de País (USCSP, por sus siglas en inglés), por sólo citar aquellos que han apoyado estudios realizados bajo la dirección del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la UNAM. Diversas instancias del gobierno mexicano han participado en el diseño de estos proyectos y en la difusión de sus resultados, particularmente el Instituto Nacional de Ecología (INE), dependiente de la Secretaría de Medio Ambiente (SEMARNAP, hasta 2000, SEMARNAT, del 2000 a la fecha).

Esta línea de investigación en el CCA tiene como antecedente el trabajo de investigación desarrollado en este Centro por el grupo del Dr. Julián Adem Chahín (Adem, *et al.* 1984, Adem, 1982, entre otros), cuyo Modelo Termodinámico del Clima (MTC) y estudios del clima en México constituyeron la piedra angular de la investigación del Cambio Climático en México. Posteriormente, diversos grupos de investigación encabezados por el Dr. Carlos Gay lograron que el CCA se convirtiera en institución líder en este campo en México. Desde 1990 el CCA ha participado en las reuniones del IPCC de los Grupos I (Las bases científicas; IPCC, 2001, WG1), el Grupo II (Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad; IPCC, 2001, WGII) y Grupo III (Mitigación; IPCC, 2001, WGIII). También se han dirigido estudios como el *Estudio de País: México* (1994 – 1996; Gay, 2000, Gay *et al.*, 1995, Gay *et al.*, 1996). Este estudio representó la formación de masa crítica de investigadores, el desarrollo de metodologías y lenguaje común entre diferentes áreas del conocimiento en el área de cambio climático. El equipo de trabajo del Estudio de País: México, se organizó de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

manera similar a los grupos que tiene el IPCC. Es muy probable de que esa sea una de las razones por las que se pueda contar en la actualidad con especialistas nacionales que son revisores o autores principales de los resultados de esos grupos.

Como se mencionó, otra característica importante de los estudios en el CCA en este campo es que han estado ligados a las instancias gubernamentales (INE, SEMARNAT) encargadas de cumplir los compromisos internacionales adquiridos por México en foros como la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés), por lo que los resultados del Estudio de País, por ejemplo, fundamentan la Primera Comunicación Nacional que México entregó a ese organismo.

Los métodos y resultados generados para desarrollar estos estudios, corresponden íntegramente a los acuerdos y funciones de la formación del CCA:

“Considerando: La importancia que cobra para la producción, particularmente la agrícola, el conocimiento de los fenómenos meteorológicos y climatológicos y la necesidad de que, de acuerdo con sus fines, la Universidad aporte sus esfuerzos en esta materia,” ... y ... “La importancia de los conocimientos relativos a la contaminación ambiental en el marco del desarrollo industrial del país; ... El Centro tendrá estas funciones: 1) Efectuar investigaciones científicas en las distintas especialidades de las Ciencias de la Atmósfera y la Contaminación Ambiental; 2) Impulsar y coordinar las investigaciones científicas en estos campos; 3) Participar en la solución de problemas nacionales conjuntamente con las dependencias e instituciones que efectúen estudios similares...” (Acuerdo de Creación del Centro de Ciencias de la Atmósfera, 21 de febrero de 1977).

Por supuesto, en el CCA se desarrollan otras múltiples investigaciones que coadyuvan a las consideraciones y funciones mencionadas, así como es cierto que en otras dependencias de la UNAM y en otras Universidades se desarrollan estudios climáticos y de cambio climático, pero también es cierto que el CCA es pionero en esta área, y buena parte del trabajo que en esta tesis se presenta es producto de los antecedentes aquí descritos.

Finalmente, debemos resaltar en esta breve reseña de los antecedentes del estudio del cambio climático y México la contribución de la Dra. Diana Liverman (Liverman *et al*, 1991; Liverman *et al*, 1994), quien desde antes de 1990 inició estudios del impacto de un



posible cambio climático en la agricultura mexicana, y que colaboró en el Estudio de País en este campo (Conde *et al*, 1997).

En cuanto a los estudios de variabilidad climática en México, es importante resaltar de las investigaciones realizadas en el CCA las relacionadas con los impactos del evento El Niño en México, particularmente las dirigidas por el Dr. Víctor Magaña (Magaña, 1999), las realizadas por el Dr. Ernesto Jáuregui (1995; 1997), y las que a la par han realizado los investigadores del grupo Teoría del Clima (Adem, 1965), del Dr. Carlos Gay (Gay *et al*, 2002), y de la Dra. Hallie Eakin (2002; Conde y Eakin, 2002), entre otros, que se tomaron como base para ese tema en la presente tesis.

1.2 Estudios Previos (Primera Generación).

Es posible agrupar a las investigaciones como los Estudios de País como estudios de “primera generación”, ya que siguieron los llamados 7 pasos (tabla 1.1) para evaluar los impactos del cambio climático. Esto es, se desarrollaron los escenarios climáticos actuales y futuros; se aplicaron modelos de impactos o sensibilidad (para la agricultura, bosques, recursos hídricos, etc.) y se establecieron - sólo en algunos casos - criterios de evaluación de la vulnerabilidad y adaptación (V&A) futura.

La mayoría de los estudios de cambio climático realizados entonces se enfocaron a aplicar el llamado “método de impactos”, eso es, un método directo, causa – efecto (figura 1.1).

Las evaluaciones de los impactos en las unidades de exposición podían llegar a ser muy complejas, como bien se puede ilustrar con los resultados del Estudio de País: México (ver por ejemplo, Gay, 2000). En ese estudio, cada una de las áreas midieron la vulnerabilidad del sistema en términos de los impactos biofísicos (c.g. Villers, 1997, Conde *et al*, 1997) o esencialmente físicos (c.g. Hernández *et al*, 2000, Mendoza *et al*, 1997).

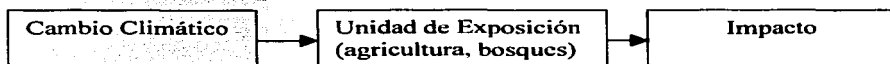
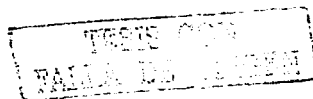


Figura 1.1. Método de impactos directos. (IPCC, 1992)



Así, podemos afirmar que la mayoría de los estudios realizados entonces centraron su análisis en los impactos, y poco pudieron proponer en términos de las medidas de adaptación posibles. Por lo tanto, fueron estudios en los que en la práctica se igualó la vulnerabilidad a la magnitud del impacto, según la relación:

$$V = I - A \quad (1)$$

donde V = vulnerabilidad, I = impactos y A = adaptación

Si bien algunos autores (PNUD, 1999) señalan que en los Estudios de País no hubo tiempo para iniciar los estudios de adaptación, pues correspondía a los últimos pasos de un proceso con 7 etapas (tabla 1.1), es probable que no se abordara el tema porque para realizar evaluaciones de impactos en muchos de esos estudios se tuvieron que desarrollar nuevos enfoques y métodos. Además, difícilmente los tomadores de decisiones o "actores clave" (Conde *et al*, 2002) tomaron parte en estos estudios, por lo que el análisis de las posibles medidas de adaptación se hicieron a partir de los mismos modelos de impactos empleados (Conde *et al*, 1997), sin involucrar a los afectados o interesados en el diseño de estrategias de adaptación.

Tabla 1.1. Siete Pasos en la Evaluación del Impacto Climático, IPCC (1994)

1. Definir el Problema
2. Seleccionar el método
3. Probar el método / sensibilidad
4. Seleccionar los escenarios
5. a. Evaluar los impactos biofísicos b. Evaluar los impactos socioeconómicos
6. Evaluar los ajustes, adaptaciones
7. Opciones de política

TESIS CON
FALLA DE CALIDAD

1.3 Conceptos y Métodos Empleados para el Estudio del Cambio y la Variabilidad Climáticos (Segunda Generación).

En esta tesis se presentan los conceptos y métodos para analizar los impactos del cambio y la variabilidad climáticos en dos regiones en México (Hermosillo, Sonora y Apizaco, Tlaxcala; Magaña y Conde, 2002 y Conde y Eakin, 2002.), como un intento por avanzar en el estudio de la vulnerabilidad de sectores específicos ante eventos climáticos adversos. Se realiza también un esfuerzo por hacer una revisión crítica de esos conceptos y métodos, a la luz de la nueva generación de estudios de cambio climático.

Se parte de los conceptos de vulnerabilidad y adaptación, por ser estos los conceptos básicos que determinan los nuevos estudios en el campo del cambio climático. Los estudios de *variabilidad climática* fueron incluidos en el análisis de los impactos del cambio climático hacia finales de los noventas debido a que no es posible explicar la vulnerabilidad y la adaptación futuras sin realizar estudios de las condiciones presentes de estos dos elementos. La vulnerabilidad y la capacidad de adaptación de un sistema (natural o social) se hacen evidentes cuando ocurren eventos climáticos asociados a la variabilidad climática natural, y son entonces las condiciones actuales las que nos permiten evaluar los impactos potenciales o residuales (que resultan después de que se aplicaron medidas de adaptación) producto del cambio o las variaciones en el clima (ver definiciones básicas en el Glosario adjunto).

La primera generación centró básicamente sus esfuerzos en los impactos biofísicos de un posible cambio climático (rama izquierda de la figura 1.2). La segunda generación de estudios, pone énfasis en la capacidad de adaptación a esos impactos (rama derecha de la figura 1.2). Las diferencias de enfoque entre estas dos generaciones han sido discutidas por los autores del Marco para Políticas de Adaptación (APF en http://www.undp.org/cc/apf_outline.htm), en las que he participado desde hace más de un año (Conde C. y K. Lonsdale, 2003, en el anexo de artículos). Cabe resaltar que están actualmente a discusión los conceptos, métodos y enfoques que deben emplearse para estos nuevos estudios. En síntesis, las grandes diferencias entre los estudios actuales y posteriores son:



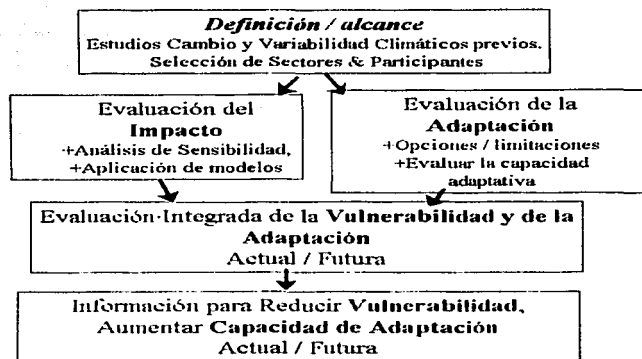
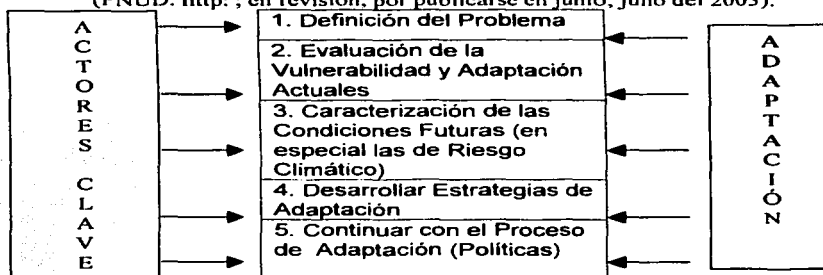


Figura 1.2. Marco para políticas de adaptación (PNUD http://www.undp.org/cc/apf_outline.htm; en revisión, por publicarse en julio del 2003).

1. Se requieren equipos de investigación fuertemente interdisciplinarios, que definan el alcance y definición del proyecto (figura 1.2 y tabla 1.2) junto con los actores de la región y sector de estudio,
2. Se requiere que en cada paso del estudio (tabla 1.2) se involucren los actores clave (tomadores de decisiones, los grupos o sectores afectados), en especial para evaluar la capacidad adaptativa actual y futura,
3. Se incluyen los estudios de la variabilidad climática, de la vulnerabilidad y de la adaptación actual, como referente de las propuestas futuras.
4. Se tiene como objetivo adicional el ir analizando las posibilidades de aumentar la capacidad adaptativa, estudiando la vulnerabilidad actual y futura. Así, las posibles medidas de adaptación no son un producto final de los estudios de los impactos de un posible cambio climático, sino que se tiene que ir documentando las posibilidades y estrategias actuales y futuras desde el inicio y en cada paso de la investigación (rama derecha de la figura 1.2). Debe de plantearse la posibilidad de que dichas medidas o estrategias sean incorporadas a las políticas

o los programas de conservación del medio ambiente y/o a los del combate a la pobreza y/o a los del desarrollo del sector (agrícola, hidráulico, etc.) de la región bajo estudio.

Tabla 1.2. Método para establecer un Marco para Políticas de Adaptación.
(PNUD. <http://>; en revisión, por publicarse en junio, julio del 2003).



Los proyectos de investigación que se están desarrollando en la actualidad, buscan avanzar por este camino y consolidar este nuevo enfoque en los estudios de cambio climático. Podemos citar los Estudios Evaluaciones de los Impactos y Adaptaciones al Cambio Climático en Múltiples Regiones y Sectores (AIACC, por sus siglas en inglés), apoyado por el IPCC y con el apoyo de instituciones como el PNUD y la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (TWAS). De los 25 proyectos internacionales aprobados, el estudio correspondiente a México (Gay *et al*, 2002) tiene como sede el CCA. En ese proyecto delineamos los métodos que consideramos corresponden a la segunda generación de proyectos de Cambio Climático.

En estos proyectos, además de preguntarnos cómo será el cambio climático para el caso de las regiones de estudio para México y cuáles serán los impactos directos en los sistemas agrícolas regionales, se pretende detectar quiénes son en la actualidad los más vulnerables, porqué lo son, con qué capacidades cuentan para enfrentar a la variabilidad y eventos extremos climáticos en la actualidad, y qué información requieren para ser menos vulnerables en el marco del cambio climático.



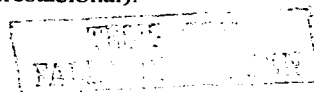
Finalmente, cabe destacar que el IPCC en su tercer reporte de evaluación (TAR, 2001, por sus siglas en inglés), señala que los nuevos estudios de cambio climático buscan establecer las múltiples presiones – además de los factores climáticos - sobre los sistemas bajo estudio (Schneider *et al*, 2001). De hecho, se denominan “sistemas” a los objetos de estudio, en lugar de “unidades de exposición”. También consideran que es deseable que se discutan las conexiones entre el cambio climático, el desarrollo sustentable y la equidad (DSE, Munasinghe, 2000). El concepto de desarrollo quedaría caracterizado por un “mejoramiento cualitativo” en el crecimiento económico y en las condiciones sociales. La sustentabilidad estaría caracterizada por la “resiliencia” o “elasticidad” del sistema, esto es, de su capacidad de resistencia o de recuperación de una perturbación externa. Equidad estaría referida a la forma en que se toman las decisiones y a la forma en cómo son distribuidos los costos de los impactos y de la adaptación al cambio climático.

No se aspira en esta tesis a englobar los conceptos de DSE, aunque se hace una breve discusión en las secciones siguientes.

1.3.1 Conceptos de Vulnerabilidad y Adaptación ante el Cambio y la Variabilidad Climáticos.

Para el IPCC, el cambio climático se refiere a cualquier cambio en el clima en un periodo largo de tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana. La Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) en su artículo 1 considera que el cambio climático que es considerado para establecer políticas internacionales se refiere sólo a aquél que es atribuible directa o indirectamente a la actividad humana que altere la composición atmosférica global y que se agrega a la variabilidad natural climática observada en periodos largos de tiempo.

En cualquier caso, ya sea el cambio climático producido por factores externos o internos al sistema climático, la escala de tiempo a la que se refieren estas definiciones – un periodo largo de tiempo – distingue a los eventos producto de un cambio en el clima de los que son producto de la variabilidad climática natural, que se pueden presentar de un año o de una estación a otra (variabilidad climática interanual o interestacional).



El IPCC (WGII,2001) ha desarrollado el concepto de vulnerabilidad al cambio climático para evaluar el grado de posibles pérdidas resultantes de este cambio y las posibles estrategias de adaptación. Las definiciones básicas son (ver más detalles en glosario anexo):

Sensibilidad al grado al cual un sistema (sistema de interés, unidad de análisis, unidad de exposición, actividad de interés, sistema sensitivo, son los términos que pueden encontrarse en las diferentes referencias en este campo; Smit *et al*, 2001) puede ser afectado, negativa o positivamente, por los eventos climáticos. El efecto de estos eventos puede ser directo (cambios en los rendimientos en respuesta a los cambios de temperatura, por ejemplo), o indirectos (daños causados por un aumento en la frecuencia de las inundaciones costeras por aumento en el nivel del mar).

Capacidad Adaptativa es la habilidad de un sistema de ajustarse al cambio climático, a la variabilidad y a los extremos climáticos, a fin de moderar los potenciales daños, de tomar ventaja de las oportunidades, o para enfrentar las consecuencias de éste. Estos ajustes se pueden dar en las prácticas, en los procesos o en las estructuras sociales.

Adaptación. La adaptación sería entonces el ejercicio de la capacidad adaptativa, por lo que es el proceso mediante el cual el sistema finalmente puede enfrentar, manejar y sobreponerse a los riesgos u oportunidades climáticos.

La adaptación es también considerada, junto con la mitigación, una opción de respuesta o estrategia global para enfrentar al cambio climático, Según el artículo 4.1 de la UNFCCC y también según lo establecido en el Protocolo de Kyoto, es necesario que las Partes formulen, cooperen e implementen medidas para facilitar la adecuada adaptación al cambio climático (Smit *et al*, 2001).

Un sistema tiene, como característica de su capacidad adaptativa, un *rango de tolerancia o adecuación* (figura 1.3) a los diferentes eventos climáticos. Particularmente, a lo largo de su historia cada sistema ha adoptado medidas o estrategias para enfrentarse a eventos climáticos, ya sean estos producto de la variabilidad climática natural, o bien a "sorpresas" climáticas (no esperadas) o a condiciones de cambio climático. Se dice que un sistema es *resiliente o elástico*, si tiene la capacidad de recuperar su estado anterior, así, su sensibilidad a determinados eventos climáticos es baja y su capacidad adaptativa es alta.



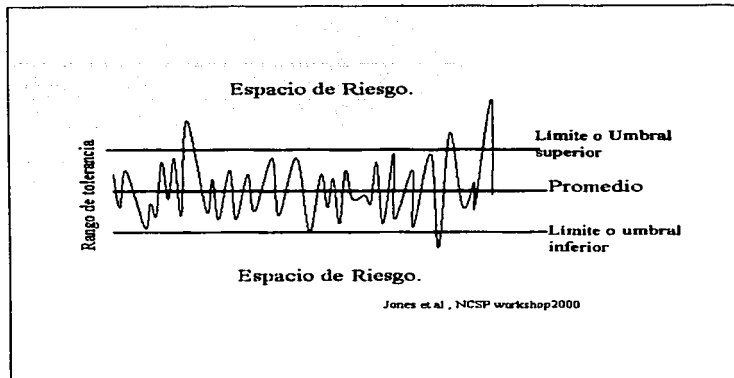


Figura 1.3. Ilustración de los umbrales críticos fuera de los cuales un evento climático puede ser riesgoso para el sistema (variaciones en el tiempo de precipitación, temperatura u otra variable climática). Fuera del rango de tolerancia, en el espacio de riesgo, los sistemas podrían ser vulnerables, sujetos a posibles impactos (Jones *et al.*, 2000).

Para el IPCC (Smit *et al.*, 2001), las adaptaciones pueden ser clasificadas por su propósito o por su aplicación en el tiempo (temporalidad). Así, las adaptaciones pueden ser *autónomas* o espontáneas, o *planeadas*; por el tiempo de reacción pueden ser *reactivas* o *anticipadas*. Por ejemplo, para el caso de especies o comunidades biológicas, se dice que las adaptaciones son autónomas y reactivas.

Para el caso de los sistemas humanos, se denominan “autónomas” a las adaptaciones que son realizadas por individuos u organizaciones privadas, en oposición a las que son producto del desarrollo y de la aplicación de políticas públicas (planeadas por la sociedad).

Impactos (Climáticos). Consecuencias del cambio o variabilidad climáticos en los sistemas naturales o humanos. Dependiendo de la adaptación, se pueden distinguir entre impactos potenciales (no consideran adaptación) o residuales (resultantes después de la adaptación). Los impactos pueden presentarse de manera indirecta, dado que el sistema climático no es lineal, pero son más evidentes cuando ocurren “sorpresas” en el clima, que rebasan los valores críticos (o umbrales) de los valores climáticos considerados normales (figura 1.3).



Vulnerabilidad es el grado al cual una unidad de exposición o sistema es susceptible de, o es incapaz de, afrontar a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los eventos extremos.

La vulnerabilidad es función de la exposición del sistema, y depende también de la sensibilidad así como de la capacidad adaptativa del sistema (IPCC, WGII):

$$\text{Vulnerabilidad} = f(\text{Exposición, Sensibilidad, Capacidad Adaptativa})$$

Un sistema es vulnerable si se presentan condiciones dentro del espacio de riesgo (figura 1.3), esto es, si que rebasan los umbrales de tolerancia del sistema, ya sea por la magnitud de los eventos externos o bien, por que los límites de tolerancia del sistema se han reducido.

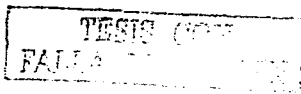
Los conceptos que se emplean en los estudios de impactos del cambio climático, se utilizan también para analizar los impactos ante eventos producto de la variabilidad o eventos extremos climáticos, lo que caracteriza la vulnerabilidad actual del sistema.

Puede decirse entonces que los estudios de vulnerabilidad actual y futura tienen dos componentes, una externa (impacto potencial) y una interna del sistema (la capacidad adaptativa).

Así, la vulnerabilidad no es un residuo después de un impacto, está presente en el sistema *antes* del impacto. Para determinar la vulnerabilidad de un sistema es necesario saber cuáles son las “inseguridades” actuales y qué instituciones o mecanismos se han creado para responder (Kasperson *et al*, 2001).

Podemos preguntarnos, dada una serie de eventos climáticos adversos similares que se hayan presentado, ¿el impacto ha variado? ¿El sistema es más o es menos vulnerable?. Ante condiciones de un posible cambio climático futuro ¿qué cambios se presentarían en la sensibilidad del sistema?, ¿qué cambios en la capacidad adaptativa serían deseables y posibles?. Las respuestas a estas preguntas permitirían evaluar la vulnerabilidad actual y futura del sistema en estudio.

Todos los sistemas han enfrentado impactos climáticos dependiendo de su capacidad adaptativa, que incluye al conjunto de medidas y estrategias (aplicables o potenciales) que reducen su vulnerabilidad ante ese impacto.



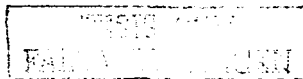
La vulnerabilidad del sistema al cambio o la variabilidad climáticos varía en el tiempo y es una propiedad intrínseca de ese sistema. Ésta puede incrementarse si los factores internos (ambientales o socio-económicos) le dificultan o impiden aplicar medidas o estrategias de adaptación o bien, porque el impacto rebase los límites de tolerancia que el sistema ha construido (figura 1.3). La vulnerabilidad y la resiliencia o elasticidad – como resultado de la capacidad adaptativa - serían entonces las dos caras de una misma moneda, que describen y son propiedad del sistema (Schneider *et al*, 2001).

Cabe señalar que los impactos climáticos y el ejercicio de la capacidad adaptativa no se presentan simultáneamente. En general, los sistemas requieren de tiempo para adecuarse a los impactos resultantes de algún evento climático adverso, por lo que la reducción de la vulnerabilidad tampoco es simultánea. Si las medidas de adaptación son *anticipadas o planeadas* antes del evento climático adverso, el sistema ha disminuido su vulnerabilidad a ese evento antes de que éste se presente. Esto puede ocurrir por ejemplo si el sistema tiene acceso a información climática (por ejemplo, si conoce y utiliza para tomar decisiones pronósticos climáticos o escenarios de cambio climático) y si dada esa información tiene la capacidad de actuar o aplicar medidas de prevención, esto es, si tiene acceso a los recursos que le permitan actuar con antelación.

Si las medidas de adaptación son *reactivas*, el tiempo de adecuación del sistema a las nuevas condiciones será mayor, y la rapidez con la que el sistema pueda reaccionar será también una medida de la capacidad adaptativa.

El caso extremo sería cuando el sistema es incapaz de adecuarse a las nuevas condiciones climáticas. Entonces puede pensarse que el sistema tiene que “cambiar de estado” o extinguirse. Por ejemplo, en el caso de la agricultura de temporal, si las condiciones de sequía fueran de muy largo periodo o permanentes, es posible pensar que esta actividad tendría que ser abandonada para ser sustituida por otra (cambio de estado), o bien, que la región de estudio sea abandonada por los agricultores (extinción).

Considerando la discusión anterior, la relación $V = I - A$, puede replantearse de la siguiente manera: Si a un tiempo “t” se presenta un impacto por eventos climáticos adversos, la vulnerabilidad a ese tiempo “t” depende de la vulnerabilidad inicial o propia del sistema,



que incluye a la capacidad adaptativa acumulada (CA_i), y medidas de adaptación *potenciales*, A_t , con las que el sistema podría responder en ese momento:

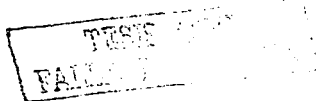
$$V_t = V_i(CA_i) + I_t - A_t \quad (2)$$

El sistema por lo tanto, adquiere una vulnerabilidad V_t , producto del impacto (I_t), menos las medidas de adaptación que finalmente pudieron ser aplicables a ese evento climático, A_t .

Estas medidas de adaptación posteriores al evento dependen de las condiciones o *recursos*: ambientales (acceso a agua, condiciones de suelos, etc.), técnicos (conocimiento y acceso a variedad de semillas, fertilizantes, orientación de especialistas), económicos (acceso a subsidios, créditos, apoyos ante desastres), y del nivel de organización social (solidaridad comunal o social con los afectados, programas de gobierno, posibilidad de movilización para reclamo de derechos o cambios en políticas, etc.). Si dichos recursos tienden a decrecer, entonces el espacio de riesgo (figura 1.3) tiende a aumentar, aún si el riesgo climático fuera similar al de periodos previos. El peor escenario sería aquel en el que la capacidad adaptativa esté decreciendo y la probabilidad de ocurrencia de los posibles impactos por eventos climáticos esté aumentando (maximizando el impacto), situación que puede ocurrir en condiciones de cambio climático para muchos países en desarrollo.

1.3.2 Conceptos de Vulnerabilidad y Adaptación en otras Áreas de Estudio y su Relación con los Estudios de Cambio y Variabilidad Climáticos.

Los términos citados anteriormente, particularmente el de vulnerabilidad, han sido empleados por otras áreas de conocimiento (estudios de desastres naturales, epidemiología, pobreza y desarrollo). En investigaciones dentro de algunas de esas áreas se pone más énfasis en el evento adverso en sí, evaluando la probabilidad de que se presente o sea más frecuente, mientras que en otras áreas la evaluación de la vulnerabilidad se centra más en los factores internos que determinan que un sistema esté expuesto a ese eventos. A pesar de esas diferencias, en general se acepta que, si el sistema bajo estudio es un sistema biofísico (bosques, recursos hídricos), la vulnerabilidad puede ser medida en términos de la sensibilidad de ese sistema a cambios en los factores externos. Para el caso de los sistemas



humanos, existen múltiples factores internos que determinan su vulnerabilidad. Así, quiénes y porqué son vulnerables, son preguntas tan importantes como la de a qué son vulnerables.

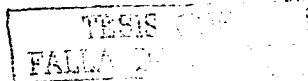
La vulnerabilidad se ha estudiado (Watts *et al*, 1993) en términos *ecológicos*, o en relación con la *política económica*, o con las *condiciones sociales* (clase, castas, generación, género), *y/o espacialmente* (local, regional, nacional, internacionalmente). Cabe resaltar que en algunos de esos casos el clima no es considerado como un factor importante para evaluar la vulnerabilidad.

Dentro de esta perspectiva, la vulnerabilidad la podemos entender como un proceso que 1) se da en múltiples escalas, 2) es dinámico y 3) y, para el caso de los sistemas humanos, se encuentra determinado por factores políticos, sociales y económicos (Kasperson *et al*, 2001).

El reto actual es hacer consistentes estas concepciones con los estudios de cambio climático, procurando integrar el lenguaje y métodos propios del cambio climático con el de los científicos sociales que las han empleado en otras áreas de estudio.

El gran problema radica en que las evaluaciones de la vulnerabilidad actual y futura al cambio y variabilidad climáticos requerirían de escalas espacio-temporales no globales si se han de proponer medidas y estrategias de adaptación. La vulnerabilidad es sumamente diversa, variando entre grupos humanos, sectores y regiones. Además, las medidas o estrategias de adaptación llevan implícito que al aplicarse se pueden presentar choques de intereses y visiones o aspiraciones de futuro contradictorias. Por tanto, el lenguaje propio de la comunidad científica asociado al cambio climático empieza a importar desde las ciencias sociales una visión – o dimensión – más humana del cambio climático.

En este contexto caben dos reflexiones: 1) los nuevos estudios de cambio climático deben de tener una fuerte componente social si es que aspiran a ser incluidos en la evaluación de la vulnerabilidad actual y futura, así como en el diseño de estrategias de adaptación, 2) por lo anterior, los nuevos estudios deber partir y tener como eje el análisis del clima regional actual (incluyendo su variabilidad), de sus tendencias y de posibles cambios futuros. En ese análisis climático los actores principales o claves de una región o sector aportan a los estudios la historia y percepción del clima en el que desarrollan sus actividades, evalúan el



riesgo en condiciones de variabilidad y extremos climáticos, y aportan sus expectativas y estrategias para los posibles futuros climáticos.

La vulnerabilidad se ha definido también en términos de *riesgo*, siendo éste, en el contexto del cambio climático, la probabilidad de que el sistema sufra un daño bajo la exposición a una perturbación o estrés climáticos.

En el campo de los estudios para la prevención de desastres naturales, el riesgo es función de la amenaza externa y de la vulnerabilidad interna:

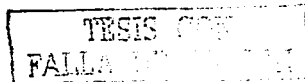
$$\text{Riesgo} = f(\text{Amenaza}, \text{Vulnerabilidad})$$

La amenaza es un factor relacionado con la probabilidad de que ocurra un evento natural específico, con la intensidad suficiente para dañar al sistema. En este contexto, un desastre sería la materialización de la amenaza. La vulnerabilidad está referida al grado de exposición y fragilidad del sistema, tal que se presenten daños a la economía, la vida humana y/o el ambiente del sistema bajo estudio. El riesgo sería entonces la probabilidad combinada de esos dos factores.

Así pues, los estudios de desastres naturales y los de cambio climático son comparables en tanto que tratan de definir el grado de *exposición* al que el sistema estaría sometido por factores externos y que este grado determina la vulnerabilidad del sistema. Sin embargo, para los estudios de cambio climático, el que un evento se convierta en amenaza depende de la sensibilidad del sistema a ese evento y de que ésta se convierta en desastre depende de la capacidad adaptativa del sistema.

En donde difieren estos dos campos es en la definición de vulnerabilidad, ya que en los estudios de desastres naturales ésta tiene que ser definida primero, antes de establecer el riesgo. En este campo, un aumento en la vulnerabilidad aumentaría el riesgo.

Para los estudios de cambio climático, la vulnerabilidad del sistema puede incrementarse si el riesgo aumenta, lo que puede ser producto de un aumento en la probabilidad de que se presenten eventos climáticos adversos y/o si el sistema tiende a reducir su rango de tolerancia ante "perturbaciones" climáticas (figura 1.3). Así, el riesgo aquí es producto de esos dos elementos: el evento climático en sí y a ese rango de tolerancia, fuera del cual se encontraría el espacio en donde un sistema es vulnerable a ese evento.



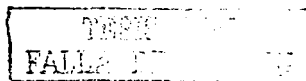
Así, podríamos para estos estudios expresar a la vulnerabilidad como función del riesgo climático y de la capacidad adaptativa:

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{Riesgo} - \text{Capacidad Adaptativa} \quad (3)$$

Esto podría ser más conveniente para el análisis de los impactos climáticos, pues puede separarse el análisis de los eventos o amenazas climáticos para posteriormente hacer estudios de posibles impactos. Así, cuando el riesgo climático se materializa en un evento climático adverso es porque la capacidad adaptativa ha sido rebasada, esto es, el evento se presenta fuera del rango de tolerancia del sistema.

Sin embargo, más en el contexto de estudios de combate a la pobreza, Chambers (1989) considera que es posible distinguir tres elementos de la vulnerabilidad de un sistema en términos de riesgo: *la exposición, la capacidad y la potencialidad*.

La *exposición* está relacionada con el riesgo de que el sistema se enfrente a una crisis o a un estrés (climático). Para traducir esto al lenguaje de los estudios de cambio climático, un sistema estaría más expuesto (lo que lo haría más vulnerable) si los cambios y variaciones en el clima son más intensos, frecuentes, y/o duraderos, o bien si representan condiciones no previstas o experimentadas con anterioridad (sorpresas). También estaría más expuesto si carece de medios o recursos materiales para hacer frente a ese estrés climático, por lo que varios autores relacionan la exposición con la propiedad (o no) de esos medios y los recursos. Así, la exposición tiene dos aspectos, uno externo (sorpresas o crisis climáticas) y uno interno (carencias). La *capacidad* del sistema estaría referida a la posibilidad de éste de manejar o hacer los ajustes necesarios al presentarse una crisis. Las capacidades inadecuadas representarán el aumento en el riesgo de no poder hacer frente a esas crisis. Los sectores sociales más lejanos a las estructuras de poder (instituciones, gobierno), serían los que tendrían menor capacidad para hacer frente a las crisis. La *potencialidad* ante el riesgo se relacionaría con la posibilidad de que el sistema pueda regresar al estado inicial o recuperarse después de presentarse la crisis. Si el sistema tiene una potencialidad alta, entonces podrá controlar los daños y minimizar las consecuencias destructivas de los eventos adversos, tiempo después de que estos se presentaron. Si esta potencialidad es baja, existe entonces el riesgo de que el sistema sufra severas consecuencias a partir de esas



situaciones críticas (Watts *et al*, 1993), como ocurre las clases sociales más desposeídas, los ancianos o las mujeres, por ejemplo.

Evaluar los factores que determinan entonces de manera integral al riesgo dado en la relación 3 no es una tarea sencilla. Sin embargo, en ese término es posible incluir al riesgo a eventos climáticos como un primer paso en el estudio, ya que permite seleccionar y ponderar el papel que juegan los factores sociales ante las variaciones climáticas. Por ejemplo, si se pretende evaluar la vulnerabilidad a la sequía en un sistema dado, pueden responderse para una región o sector bajo estudio las preguntas de quiénes son vulnerables a la sequía (campesinos de temporal, más que los de riego) y porqué son vulnerables (falta de acceso a irrigación y otros recursos; poca diversidad de cultivos) y cuáles son los factores que reducirían esa vulnerabilidad (posibilidad de acceso a recursos).

Por otra parte, Liverman (1994) describe varios estudios en los que la vulnerabilidad fue determinada, por ejemplo, a partir de las *condiciones biofísicas* en la región de interés, considerando que los más vulnerables se encontrarían en los ambientes físicos más precarios. Así, la pérdida de rendimientos, suelo, especies, etc. se extrapolaría para identificar a los grupos humanos más vulnerables. Sin embargo, el conjunto de condiciones medio ambientales son elementos que caracterizarían inicialmente la vulnerabilidad de un grupo, sector y/o región, pero no la determinarían por completo.

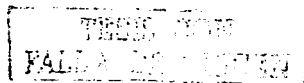
En el extremo opuesto a esta visión, estaría la vulnerabilidad vista desde la economía política (Liverman, 1994, Watts *et al*, 1993). Desde este marco, la vulnerabilidad estaría definida en términos de las condiciones políticas, sociales y económicas de una sociedad. Así, podría decirse que dependiendo de la clase social, un grupo humano estaría en mayor o menor grado de riesgo (climático y no climático) y mayor o menor sería su capacidad de respuesta. Por lo tanto, la historia de las estructuras sociales nos permitirían determinar quiénes podrían ser los grupos sociales más vulnerables. En consecuencia, los más pobres y/o más explotados (sin plenos derechos, poder o libertad) podrían ser parte de los grupos sociales más vulnerables. Sin embargo, la pobreza no podría igualarse a la vulnerabilidad. Esta es una condición interna del sistema, pero la vulnerabilidad también depende de la variación o cambio de los factores externos, como es el caso del clima.

Finalmente, cabe señalar que es aún un reto no superado la integración de los términos y las metodologías de las áreas de estudio mencionadas a los estudios de cambio climático, pero que se están haciendo importantes esfuerzos (http://www.undp.org/cc/apf_outline.htm) en esa dirección.

En esta tesis y en los artículos anexos se utiliza una expresión semejante a la planteada en (1), pero considerando que para evaluar el término I (Impacto) haremos referencia al riesgo de que un evento climático tenga efectos adversos, afectando a un lugar (localidad y/o región), a un sector, y a un grupo social determinados. Así, en “impacto” incluiremos en el análisis el estudio del evento climático en sí y las cualidades que lo hacen “adverso” en determinado tiempo y lugar. Por ejemplo, una inundación una sequía o una helada, representan riesgos que pueden convertirse en eventos climáticos adversos, pero esta adversidad no sólo depende de su intensidad, sino también de cuándo, en dónde y sobre quiénes se presente.

El término A (Adaptación) estará asociado a la capacidad adaptativa ejercida, esto es, al rango de los posibles mecanismos de respuesta que un sector y grupo social está en posibilidades de ejecutar para resistir, enfrentar, adecuarse al impacto, dependiendo de tiempo, lugar y condiciones socio – económicas del grupo social. Adaptación la referiremos entonces al resultado del ejercicio de la capacidad adaptativa, esto es, el resultado de las respuestas seleccionadas (dentro de todas las posibles acciones que podrían aplicarse) y que le permitan al sistema regresar a su estado anterior o esperado.

Así, el cambiar de fecha de siembra, aplicar fertilizante, cambiar de semilla, obtener créditos o apoyos por siniestro, etc. pueden ser mecanismos aplicables para enfrentar al evento climático adverso en el sector agrícola (capacidad adaptativa), y constituyen la capacidad del grupo social en un tiempo y lugar dados. En algunas ocasiones podrán aplicarse alguno o algunos de estos mecanismos, en otras es posible que se generen alternativas no empleadas con anterioridad (*potencialidad adaptativa*); en otras situaciones no podrán ejercer alguno de ellos, porque no son propicias las condiciones para que así sea (la potencialidad es baja). En cualquier caso, el resultado de aplicar esas medidas será indicador de la adaptación (o no) al evento ocurrido.



Vulnerabilidad la referiremos entonces al rebasamiento de los límites o umbrales de la capacidad adaptativa (rango de tolerancia, en la figura 1.3), o bien a la reducción o imposibilidad del ejercicio de la adaptación. También la vulnerabilidad tiene que ser referida a un evento (o amenaza) climático específico, a un sector y región específico y a las posibles consecuencias del evento. Por ejemplo, se estudia la vulnerabilidad a la sequía de la agricultura de temporal en Tlaxcala, y su impacto en los rendimientos de maíz. En esta tesis definimos entonces como *espacio de riesgo climático* al conjunto de variaciones climáticas que pueden dañar a sistemas específicos en condiciones socioeconómicas particulares.

Es importante resaltar que ante un posible cambio climático, la descripción de las posibilidades de la vulnerabilidad y la adaptación futuras de un sistema llevan consigo rangos de incertidumbre asociadas, inevitables dada la incertidumbre propia de los escenarios climáticos futuros que se utilizan. El IPCC ha establecido una *escala de confiabilidad*, a partir del conocimiento y consenso entre los expertos, por un lado, y por la evidencia acumulada (observaciones, salidas de modelos, teorías, etc.) que respaldan las conclusiones de su último reporte (IPCC; TAR, 2001).

1.4 Indicadores de Vulnerabilidad y Adaptación

Las últimas definiciones de la sección anterior pretenden extender un puente entre las dos aproximaciones descritas para abordar el problema de definición de la vulnerabilidad de una región, sector o grupo social a determinados eventos climáticos. Varios autores, (Liverman, 1994; Downing *et al*, 2002; Lim, 2003; entre otros) proponen una serie de elementos y métodos a partir de los cuales es posible construir indicadores que nos permitan evaluar a vulnerabilidad y la adaptación. Algunos de estos indicadores están señalados en los proyectos de investigación en curso (AIACC-29; Gay *et al*, 2002) o en estudios previos (Eakin, 2002).

Liverman (1994) considera que en la determinación de la vulnerabilidad hay que considerar las condiciones y variables relacionadas con la vulnerabilidad de los grupos, regiones y/o naciones estudiadas. Agrupa estas condiciones y variables en: medioambientales,

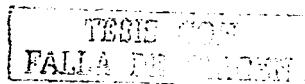
tecnológicas, sociales; demográficas y de salud; uso de suelo y propiedad; economía e instituciones. Así, estas condiciones nos darían la vulnerabilidad inicial o exposición de los sistemas bajo estudio.

Las *condiciones medioambientales* incluyen aquellas que se relacionan con los patrones de lluvia y temperatura (en general, climáticos) y los eventos extremos como sequías, inundaciones, huracanes, etc. También, para el caso específico de la agricultura, las tendencias a erosión o degradación del suelo, y el acceso a variedades de semillas, podrían caracterizar la vulnerabilidad del sistema en estudio.

Las *condiciones tecnológicas* nos permitirían analizar la vulnerabilidad en cuanto a la capacidad del sistema de reducir los impactos climáticos directos (y tener un menor impacto residual). Así, los sistemas hidráulicos (riego, presas) podrían reducir el riesgo agrícola ante una sequía, por ejemplo. Las variedades mejoradas de semillas, fertilizantes (aunque también se han despertado debates en cuanto a pérdida de biodiversidad y contaminación del suelo y agua) serían otros elementos para la evaluación de las condiciones tecnológicas. Según Liverman, las formas tradicionales o sustentables de agricultura han sido señaladas como amortiguadoras de los impactos climáticos, actuales y futuros. Es posible que la menor dependencia de estas comunidades de productos y leyes de mercado sea un factor importante en la evaluación de su vulnerabilidad. Finalmente, la dependencia energética (electricidad, gasolina) puede ser un factor de inestabilidad y por tanto, un elemento a considerar en la evaluación de la vulnerabilidad.

Las *Condiciones Sociales* estarían referidas a considerar el ingreso, género y grupo humano como factores que deben ser tomados en cuenta para determinar la vulnerabilidad del grupo social y de quienes lo forman. Liverman señala que las condiciones demográficas o de salud se refieren al acceso a servicios de salud, edad, alta densidad de población, crecimiento poblacional, etc. que nos permiten definir la presión sobre los recursos alimenticios, de uso de suelo y de agua.

La *Propiedad y el Uso de Suelo*, son indicadores de competencia por el suelo, las posibles migraciones a suelos más fértiles, y la incapacidad de producir sus propios alimentos. Así, esas condiciones pueden incluirse en los estudios de vulnerabilidad actual, y las tendencias observadas en la determinación de la futura.



Las condiciones *Económicas e Institucionales* nos pueden indicar que la falta de acceso a mercados, mecanismos para fijar los precios de productos básicos, y las deudas económicas de los actores, que pueden exacerbar la vulnerabilidad de los actores en los sectores y regiones bajo estudio.

A partir del trabajo de Eakin (2002) y del proyecto AIACC –29 (Gay, 2002), se puede afirmar que las condiciones anteriores se agruparon en *atributos* de la capacidad adaptativa, particularmente para el sector agrícola. Los atributos que se consideraron centrales fueron (tabla 1.3): *flexibilidad, estabilidad y equidad*.

Tabla 1.3. Posibles Indicadores de Capacidad Adaptativa (Eakin, 2002, Gay et al, 2002)

Características Adaptativas	Factores Estructurales	Criterio de Diagnóstico	Posibles Indicadores
Flexibilidad del sistema	Existencia de alternativas agrícolas	Diversidad agrícola	Número de cultivos plantados; de animales de corral
Estabilidad en el sustento	Incertidumbre Económica	Riesgo de Mercado	Variabilidad en los precios de insumos y productos; destino de la producción
		Ingreso	Ingreso total del hogar y variabilidad del ingreso
Estabilidad en el sustento	Riesgo Ambiental	Impacto	Porcentaje de la cosecha pérdida por riesgos; variabilidad de la producción; sensibilidad de la producción a la precipitación; sensibilidad de la producción a la variabilidad en precipitación, temperatura, otras variables
Equidad en los Cambios del Sistema	Política de recursos	Acceso a recursos naturales	% de productores con acceso a irrigación; distribución de la tierra; número de productores con tierra
		Participación en / dependencia de los servicios agrícolas públicos	% de productores con seguro, crédito formal, asistencia técnica; subsidios
	Política de asistencia social	Asistencia social pública	participación de los productores en programas de gobierno
		Estabilidad de la economía rural	Migración de los hogares agrícolas.

TESIS CON
FALLA DE CALIBRE

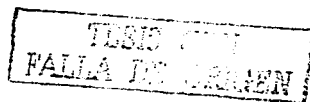
Sólo algunos de estos indicadores planteados en esos estudios se describen en esta tesis, que está más orientada a la descripción de la estabilidad del sistema en términos de “riesgo ambiental”; mencionando para los otros indicadores los resultados obtenidos por Eakin (2001; 2002) y los publicados en los artículos que se anexan al final de este trabajo (Conde y Eakin, 2002), (Magaña y Conde, 2002). Además, no se realizaron para esta tesis las técnicas participativas (Conde y Lonsdale, 2003) que constituyen la base para los estudios como el planteado en el proyecto AIACC – LA29.

En cualquier caso, los indicadores de “capacidad adaptativa” son semejantes a las condiciones planteadas por Liverman (1994) en los párrafos anteriores, pero al agregarlos en atributos es posible realizar una mejor ponderación de ellos en términos de la capacidad adaptativa a eventos climáticos específicos.

Así, si la pregunta es: ¿son vulnerables las regiones bajo estudio a la sequía, o a las inundaciones, o a las heladas? y ¿aumentará o disminuirá su capacidad adaptativa (o su vulnerabilidad) ante condiciones de cambio climático que apunten en la dirección de un aumento en la frecuencia, intensidad y/o duración de esos eventos?. La situación y tendencia de los indicadores citados permite diagnosticar las condiciones de vulnerabilidad y adaptación actual de las regiones y sectores seleccionados.

Por otra parte, se pueden considerar las condiciones ideales de estos indicadores (riesgos climáticos mínimos, condiciones políticas ideales, autosuficiencia económica y alimentaria) como referencia para evaluar las condiciones observadas en cada caso. Mediante lo anterior, se puede dar un diagnóstico de la vulnerabilidad y capacidad adaptativa de los sistemas bajo estudio.

Esta técnica corresponde al método de evaluación llamado Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales (MESMIS), que es empleado en estudios de sustentabilidad de un sistema (Maser *et al*, 2000). Para la integración de los resultados se emplea una técnica gráfica (que combina los resultados numéricos con los cualitativos), en la que los indicadores seleccionados se presentan en un diagrama *AMOEB*A (Brink *et al*, 1991) en cuyos ejes se muestran los valores óptimos o ideales de cada indicador en contraste con los observados en el sistema bajo estudio.



En el capítulo 3 se discuten bajo esta nueva óptica los dos estudios de caso cuyos resultados aparecen en los artículos anexos (Conde, C., H., Eakin, 2003 y Magaña, V., C. Conde, 2003).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

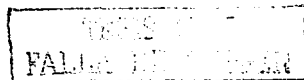
Capítulo 2. Variabilidad y Cambio Climático en México.

2. 1 Introducción.

El clima es el estado promedio del tiempo meteorológico (Schneider, 1992) en un periodo de años. Peixoto (1992) señala que se pueden considerar las variables básicas temperatura y precipitación promedio durante un largo periodo de tiempo para caracterizarlo. A partir de esta definición, se pueden describir las condiciones climáticas mas o menos uniformes en localidades, en zonas climáticas o en regiones biogeográficas. Podemos hablar del clima mensual, estacional, anual o aún para periodos mayores, y de sus variaciones con respecto al periodo de tiempo seleccionado (anomalías).

Por lo tanto, una definición básica de clima se da en término del "tiempo medio", o, más específicamente como la descripción estadística del tiempo meteorológico en términos de la media y la variabilidad de ciertas condiciones atmosféricas durante periodos de varios decenios. Por lo tanto, aunado a ese "estado medio de las variables básicas", la definición de clima incluye alguna medidas de sus fluctuaciones alrededor de la media, o variabilidad, caracterizada por los mayores momentos estadísticos como son su varianza, covarianza, o desviación estándar, que caracterizan a la estructura y comportamiento de la atmósfera para el mismo periodo promedio. Las medias climáticas pueden variar de dos maneras (Stern *et al*, 1999): por un pequeño cambio observable en todo el periodo promediado (30, 50, 100 años), o bien, por que hay un cambio en el número de eventos extremos dentro de ese periodo. Los eventos extremos contribuyen por tanto de manera importante a las variaciones de las medias climáticas, pero eventos extremos aislados alteran el estado del tiempo, no al clima. Por tanto, el cambio climático estará referido en general a la diferencia entre dos estados medios del clima, mientras que las anomalías climáticas (incluyendo a los eventos extremos) se refieren a la diferencia entre las condiciones climáticas específicas y el estado medio del clima (Henderson-Sellers, 1990). Cómo cambian estas anomalías climáticas cuando se presenta un cambio en el estado medio del clima, es un problema de investigación fundamental en los estudios de cambio climático.

En un sentido más extenso, el clima incluye más fenómenos de la atmósfera, esto es, se consideran también las capas superiores a la troposfera (Garduño, 1995). Por esto, el clima



debe estudiarse considerando a la circulación general, a los procesos como el transporte y conservación de energía, de materia (gases y agua), y de momento, así como a las interacciones con los otros componentes del sistema: los océanos, las capas de hielo - nieve, los continentes, las diferentes formas de vida terrestre y marina (biosfera). El comportamiento de la atmósfera es muy sensible a las condiciones de estos otros componentes del sistema climático. Para realizar pronósticos de tiempo, cobran relevancia las condiciones iniciales de estos componentes. Para pronósticos del clima, estos componentes constituyen las condiciones de frontera bajo las cuales los modelos simulan las condiciones climáticas.

Así, la Tierra es un planeta siempre cambiante. El sistema climático tiene inestabilidades inherentes, interacciones no-lineales entre sus componentes y presenta oscilaciones en torno a ciertos estados de equilibrio. Es por ello que se dice que es un sistema caótico (Bolin, 1994). Así, la predecibilidad de este comportamiento es limitada, aunque el rango de variaciones de las variables claves está usualmente restringido por características globales del sistema. También es un sistema complejo, pues los cambios ocurren prácticamente en todas las escalas espaciales y temporales. Por lo anterior, tanto los cambios generales proyectados como los cambios más detallados sólo pueden ser descritos de manera probabilística. Los modelos climáticos tridimensionales tienen entonces una limitada predecibilidad, a escalas de 10 días o un par de semanas y, de hecho, los detalles del estado del tiempo pueden excepcionalmente preverse solamente por unos días. Sin embargo, las condiciones climáticas medias y sus variaciones estadísticas (variaciones de los parámetros atmosféricos básicos y de las condiciones oceánicas) pueden derivarse de esos modelos realizando experimentos numéricos y sus resultados son interpretados en términos probabilísticos, más que determinísticos.

La variabilidad del sistema climático se puede expresar en términos de dos modos básicos (Peixoto, 1992): variaciones "libres" y "forzadas". Las primeras se presentan por inestabilidades y retroalimentaciones que dan lugar a interacciones no - lineales entre los componentes del sistema. Las variaciones "forzadas" se presentan como respuesta del sistema climático a los cambios por forzamientos externos (condiciones de frontera), tanto terrestres como astronómicos. Ejemplos de forzamientos astronómicos del clima serían el cambio en la intensidad de la radiación solar, el cambio en la excentricidad de la órbita

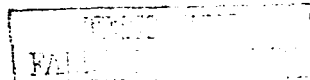
TESIS CON
FALLA EN EL
EXAMEN

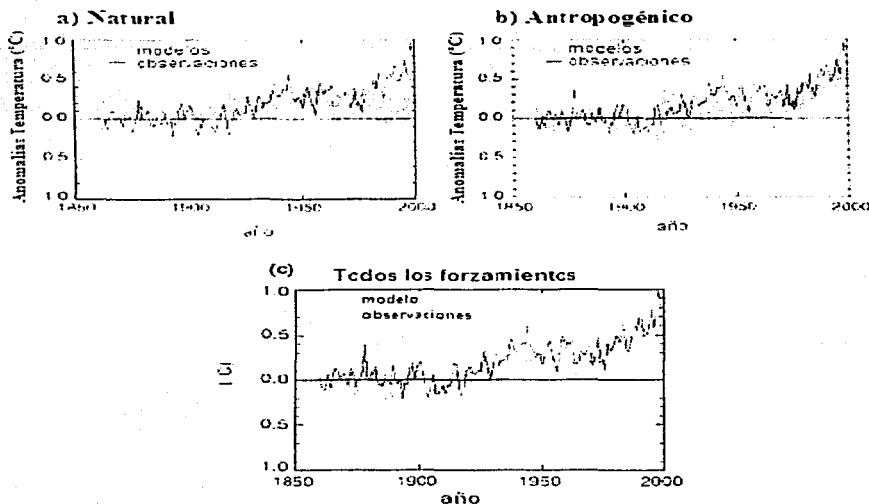
terrestre, o los cambios en la precesión del perihelio o en la oblicuidad del eje terrestre. Los forzamientos terrestres pueden estar relacionados con los cambios en la composición atmosférica debido a factores como las erupciones volcánicas o a las emisiones antropogénicas, por ejemplo. En este rubro estarían ubicadas las investigaciones relativas al cambio climático.

Las causas internas se relacionan con las complejas retroalimentaciones positivas o negativas en el mismo sistema climático, siendo la interacción entre el océano y la atmósfera una de las causas internas más relevantes. Estas causas son las que interesan cuando se analizan fenómenos como El Niño / Oscilación del Sur (ENSO), o la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) o aún oscilaciones de mayor periodo (e.g. Lippsett, 2000). Estos casos se asocian a fluctuaciones en el sistema climático que pueden ocurrir en escalas de tiempo de años o décadas y se refieren a variaciones en la circulación general de la atmósfera, a la de los océanos y a las condiciones presentes en interfase entre ambos. Por ejemplo, la temperatura de la superficie del mar puede considerarse un “indicador” de las fluctuaciones de los dos componentes mencionados y también de las condiciones de interacción entre ellos.

Los cambios en el clima (ver figuras 2.1 a, b y c) ocurren entonces por variabilidad natural interna del sistema climático así como por factores externos, tanto naturales como antropogénicos. El efecto de factores externos en el clima se puede comparar usando el concepto de forzamiento radiativo (expresado en Wm^{-2}) que es una medida de la influencia que tiene cada factor para alterar el balance entre la energía entrante y saliente en el sistema tierra – atmósfera y revela su potencial para cambiar al clima (IPCC, WGI, 2001). Un forzamiento positivo, como el que producen los gases de efecto invernadero, como CO_2 , N_2O y CH_4 , tiende a calentar a la superficie (figuras 2.2). Un forzamiento negativo, que puede surgir por el incremento atmosférico en algunos aerosoles, lo enfrían. Los factores naturales, como los cambios en la radiación solar o la actividad volcánica, también pueden causar forzamiento radiativo de diferente signo.

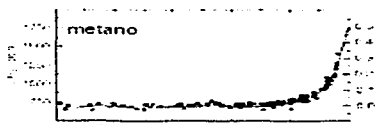
Las condiciones del clima global han cambiado en los últimos 100 años. Según el IPCC (WGI, 2001) hay un aumento en las evidencias observacionales que pueden representar un mundo que se está calentando (ver tabla 2.1, primera columna).



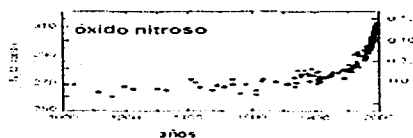


Figuras 2.1. a) Cambios por procesos naturales en la temperatura global observada y modelada (1850 – 2000) b) Cambios por procesos antropogénicos para el mismo periodo c) La integración de los casos reproduce mejor los cambios observados (IPCC; WGI, 2001).

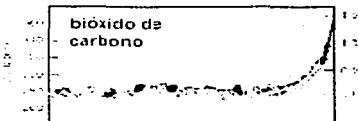
a) ([+151%], +0.48Wm⁻²)



b) ([+17%], +0.15 Wm⁻²)



c) ([+31%], +1.46Wm⁻²)



Figuras 2.2. Incremento en las concentraciones atmosféricas globales de tres gases de efecto invernadero (en %) y los forzamientos radiativos (en Wm⁻²) asociados (indicados ambos entre paréntesis) en los últimos 1000 años: a) metano, b) óxido nítrico, c) bióxido de carbono. El eje izquierdo indica la concentración del gas. El eje vertical derecho, indica el forzamiento radiativo del gas, en Wm⁻² (IPCC; WGI, 2001).

TRONC
FALLA DE ...

La temperatura global de la superficie terrestre, se ha incrementado durante el siglo XX entre 0.2°C a 0.6°C desde 1861 (con un nivel de significancia de 5%, y un nivel de confianza del 95%), lo que ha sido el mayor calentamiento en los últimos mil años (figuras 2.3a y 2.3b). Estos cambios son atribuibles al uso de combustibles fósiles y a los procesos de deforestación, principalmente (IPCC; WGI, 2001).

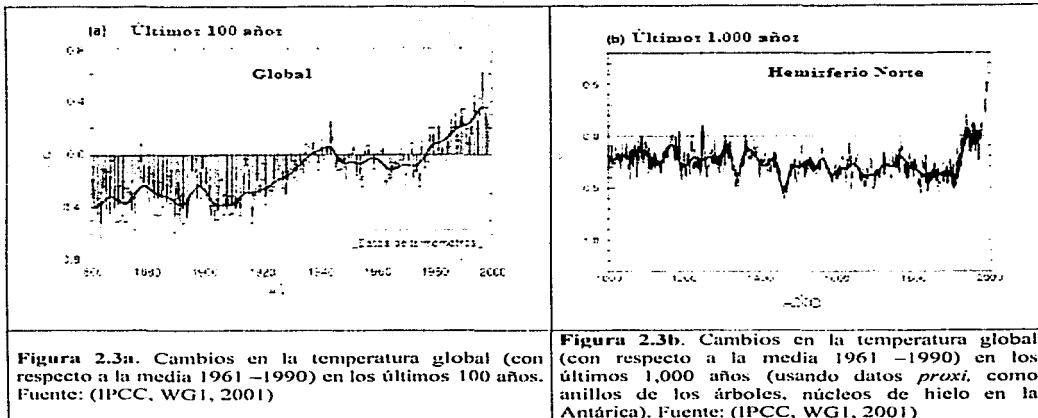


Figura 2.3a. Cambios en la temperatura global (con respecto a la media 1961 –1990) en los últimos 100 años. Fuente: (IPCC, WGI, 2001)

Figura 2.3b. Cambios en la temperatura global (con respecto a la media 1961 –1990) en los últimos 1,000 años (usando datos *proxii*, como anillos de los árboles, núcleos de hielo en la Antártica). Fuente: (IPCC, WGI, 2001)

Otros cambios observados permiten concluir que el nivel del mar ha aumentado y el contenido de calor en el océano se ha incrementado. El registro de mareas indican que el aumento promedio global ha sido de 0.1 a 0.2 m durante el siglo XX.

En cuanto a la precipitación, es muy probable que se haya incrementado en los últimos 100 años entre 0.5% y 1% por década sobre las latitudes medias y altas de los continentes del hemisferio Norte. Asimismo, en las áreas tropicales, es muy probable que la precipitación se haya incrementado entre 0.2 y 0.3% por década sobre las áreas tropicales (entre 10°N y 10°S) y que ésta haya decrecido en las regiones sub-tropicales (10°N a 30°N) en 0.3% por década (IPCC, WGI, 2001).

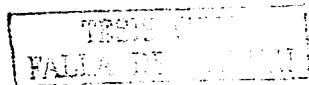
Por otra parte, a escalas de tiempo menores de 100 años, las variaciones interanuales o interdecadales tienen gran relevancia en los estudios de impactos en los sistemas biofísicos

(como bosques y lagos) y en los sistemas humanos (como la agricultura y el manejo de los recursos hídricos).

Las interacciones entre la atmósfera y el océano que ocurren en escalas de tiempo de meses o estaciones se relacionan en general con la variabilidad de corto periodo que se presenta en la atmósfera. En la escala de tiempo interanual no hay forzamientos externos que puedan dar lugar a las variaciones como el ENSO, por lo que se dice que este fenómeno proviene de interacciones internas del sistema con retroalimentaciones múltiples entre el océano y la atmósfera (ver, por ejemplo, <http://www.pmel.noaa.gov/toga-tao/elnino/home.html> o bien Magaña *et al*, 1999). Es el fenómeno El Niño, el caso más espectacular (y hasta ahora el único detectado con influencia global) de esta variabilidad interna del sistema, se puede ver como una oscilación libre del mismo. Debido a este evento, se observan cambios en el componente oceánico (medidos en términos de la temperatura de superficie del mar) y cambios en el componente atmosférico (medidos en términos del índice de oscilación del sur) que básicamente se asocian a perturbaciones en la dirección e intensidad de los vientos alisios.

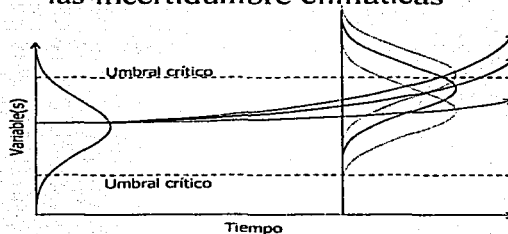
Se puede decir que en los estudios actuales de cambio climático por forzamientos como el cambio en las concentraciones en los gases de efecto invernadero se espera incorporar en los posibles escenarios futuros los cambios en la variabilidad climática actual. Por ejemplo el IPCC (WGI; 2001) considera la posibilidad de que el fenómeno de El Niño tenga una duración mayor al año o año y medio que se ha observado hasta ahora. De hecho, se ha observado un incremento en la intensidad y duración de este fenómeno desde los años setenta, aunque el reducido número de eventos no permite obtener resultados concluyentes.

Los posibles cambios en las características de las condiciones de El Niño, o en la intensidad o frecuencia de eventos extremos pueden implicar impactos más severos que los proyectados si sólo se analizan los impactos mediante cambios en los valores promedio de las variables climáticas (figura 2.4). Washington (1993) considera que en condiciones de cambio climático, el fenómeno ENSO puede producir sequías e inundaciones más intensas, aunque los modelos aún tienen limitaciones para simular este evento en esas condiciones. Así, aún con un cambio en los promedios de las variables básicas, es posible que la variabilidad asociada a esas nuevas condiciones medias afecte de manera importante a los sistemas naturales y a los humanos.



Evidentemente, existen aún grandes incertidumbres sobre cómo será la variabilidad climática en condiciones de cambio climático. Lo anterior se debe tanto al volumen de datos que se deben analizar, como a la complejidad de las técnicas y recursos computacionales, así como a los aspectos no resueltos o aún no bien entendidos entre las retroalimentaciones de los componentes del sistema climático. Así, los escenarios climáticos actuales no han podido incorporar de manera sistemática la variabilidad temporal, menor a los 30 o 10 años (Hulme *et al*, 2000) en los que se calculan las medias mensuales, estacionales o anuales con las que se caracteriza el cambio climático y que se emplea en las evaluaciones de impactos. Se espera que con el cambio de esos promedios se presenten modificaciones en la variabilidad (figura 2.4). En los estudios de impacto la preocupación principal radica en que, aunado a ese cambio en la variabilidad, cambie la frecuencia de los eventos extremos. Una manera de obtener una aproximación de las tendencias futuras de estos eventos es considerar las que se han presentado en la actualidad y suponer que esas serán las que prevalecerán o bien, suponiendo que esas tendencias conllevarán aumento en la frecuencia, distribución y/o intensidad de los eventos extremos.

Estructura Probabilística de las incertidumbre climáticas



Jones et al., NCSF workshop, Kuala Lumpur, September 2000

Figura 2.4. La variación en los valores medios de alguna de las variables climáticas (por ejemplo un incremento en la temperatura) puede asociarse a futuro con un aumento en la probabilidad de que los valores extremos de esta variable se presenten con más frecuencia (Jones, *et al*, 2000).

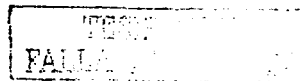
Finalmente, los resultados del tercer reporte del IPCC (WGI; 2001) establecen las posibilidades de que aumente la intensidad, duración y/o frecuencia de algunos de estos eventos. Hay que observar que para el IPCC ya existen evidencias observacionales desde mediados del siglo XX (IPCC, WGII,2001), de que estos eventos han sufrido cambios en su intensidad o frecuencia.

Tabla 2.1. Posibilidades de que algunos de los eventos extremos, de los que ya se han observado cambios, experimenten aumentos en intensidad o frecuencia

<i>Confianza en los cambios observados (última mitad del siglo XX)</i>	<i>Cambios en Fenómenos</i>	<i>Confianza en los cambios proyectados (durante el siglo XXI)</i>
Probable	Mayores temperaturas máximas y más días calurosos sobre todas las superficies terrestres.	Muy Probable
Muy probable	Mayores temperaturas mínimas, menores días frío y con heladas sobre casi todas las superficies terrestres	Muy Probable
Muy Probable	Reducción del rango de temperaturas diurnas sobre la mayor parte de las superficies terrestres	Muy Probable
Probable, en latitudes altas y medias del Hemisferio Norte	Más eventos de precipitación intensa	Muy probable, sobre un gran número de áreas
Probable, en algunas áreas	Aumento de condiciones secas de verano en continentes, asociadas al riesgo de sequía	Probable, sobre la mayoría de las latitudes medias continentales (no se tienen proyecciones consistentes en otras áreas)
No observado en los pocos análisis disponibles	Incremento en las intensidades de los vientos de los ciclones tropicales	Probable, en algunas áreas
Datos Insuficientes	Incremento en el número de ciclones tropicales y en las intensidades de la precipitación	Probable, en algunas áreas

Fuente: IPCC, WGI, 2001. Estimaciones de confianza: Virtualmente cierto (>99% de confianza); muy probable (entre 90 y 99%), probable ((66-90%); Posibilidad media (33-66%), Improbable (10-33%).

La tabla 2.1 muestra los cambios en eventos climáticos observados durante el siglo pasado y la confianza en que persistan o aumenten aquellos que son el resultado de la modelación climática bajo condiciones de cambio, y que se consideran físicamente plausibles.



2.1 Escalas espaciales y temporales para los estudios de cambio y variabilidad climáticos

2.1.1. Escala espacial.

En los estudios de variabilidad y cambio climáticos se requiere seleccionar las regiones de estudio, los sectores por analizar y el marco temporal (Benioff, 1996).

Los estudios pueden realizarse a escala local, regional, estatal (tabla 2.2), o por país (tablas 2.3a y 2.3b) o global (ver tabla 2.4). En general, se espera que los resultados permitan realizar evaluaciones de posibles impactos del cambio climático en *regiones* definidas (IPCC, 1992) como: a) unidades administrativas (distritos, municipios, estados), b) unidades geográficas (como cuencas, planicies, lagos), c) zonas ecológicas (bosques, manglares), d) zonas climáticas (desiertos, zonas de monzón), d) regiones sensibles (costeras, nichos ecológicos, comunidades marginales). Los datos climáticos se pueden requerir a nivel diario, mensual o anual, y se espera en cualquier caso que se cuente con 30 años de datos o más.

Tabla 2.2. Ejemplo de escala a nivel estatal.
Lámina de Lluvia Normal Mensual (1941 – 1996)

Precipitación (mm)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	anual
Sonora	26.3	15.3	11.1	4.3	3.7	20.1	121.2	111.9	55.6	26.5	12.6	27.5	436.1
Tlaxcala	7.9	6.6	11.4	32.8	73.1	129.7	125.7	124.0	107.2	51.4	16.4	6.9	693.1

Fuente: <http://smn.cna.gob.mx/met-info/fuentes.html>

Tabla 2.3a. Ejemplo de escala a nivel país. México.

Variable	Annual	MAM	JJA	SON	DEF
T media (°C)	21.0	21.3	25.8	21.4	16.0
T min (°C)	13.5	13.1	18.4	14.3	8.3
T max (°C)	28.5	29.7	32.0	28.5	23.8
T rango (°C)	15	16.6	13.6	14.2	15.4
Precipitación (mm)	755	73.0	367	243	68
Días húmedos	63	7.4	28.7	18.4	8.5

Fuente: Mitchel *et al*, 2002

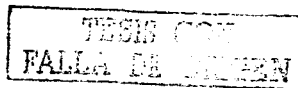


Tabla 2.3b. Calentamiento del país durante el siglo XX y el proyectado para el siglo XXI para México. Se incluye cálculo de vulnerabilidad según costo *per capita* por grado centígrado de aumento.

Consumo C emisiones t/per capita	Siglo XX calentamiento (°C)	Siglo XXI calentamiento mínimo (°C)	Promedio del país (°C):	Máximo calentamiento (°C)	Vulnerabilidad \$/capita/°C
1.06	-0.12	3.8	4.3	4.8	\$2,000

Fuentes: Las emisiones de carbono (ton/capita) para 1997 (Mareland *et al.*, 2000) son un índice de consumo. El calentamiento para el siglo pasado, 20th, se obtuvo de New (New *et al.*, 2000). El calentamiento para el siglo XXI se calculó a partir de las salidas de cuatro modelos acoplados. El índice de vulnerabilidad se obtuvo dividiendo el PIB per capita (World Fact Book, 2000) entre el calentamiento medio supuesto para el siglo XXI.

Tabla 2.4. Cambios globales de temperatura (°C) y nivel del mar (cm).

1980*	1990*	Escenarios de Emisiones**	CO2 ppmv	2020		2050		2080			
T(°C)	T(°C)			T(°C)	Nivel del mar (cm)	T(°C)	Nivel del mar (cm)	CO2 ppmv	T(°C)	Nivel del mar (cm)	
0.13	0.28	B1-baja	421	0.6	7	479	0.9	13	532	1.2	19
0.13	0.28	B2-media	429	0.9	20	492	1.5	36	561	2.0	53
0.13	0.28	A1-media	448	1.0	21	555	1.8	39	646	2.3	58
0.13	0.28	A2-alta	440	1.4	38	559	2.6	68	721	3.9	104

Fuente: Hulme, M., Sheard, 1999.

* se indican los promedios de calentamiento de las décadas de los 80s y 90s.

** sensibilidades (ver glosario y sección 2.1.2.2): baja (1.5°C), media (2.5°C), alta (4.5°C)

Para el IPCC la escala regional para los estudios de cambio climático está definida como aquella que describe el clima en un rango de 10^4 a 10^7 km² (Giorgi *et al.*, 2001). El límite superior de este rango es llamado escala sub-continental, y su alcance está limitado por las inhomogeneidades climáticas que ocurren a esa escala. Las condiciones que ocurren a escalas mayores a 10^7 Km² se denominan de escala planetaria, y están dominadas por los procesos de circulación general y sus interacciones. El límite inferior (10^4) es representativo de las escalas que utilizan los modelos regionales. Menores escalas que la anterior se denominan escala regional. Para algunos estudios, la información que proveen los Modelos de Circulación General Océano Atmósfera acoplados (AOGCMs, por sus siglas en inglés) puede ser suficiente (por ejemplo, tabla 2.4). En otras ocasiones, es necesario aplicar técnicas de regionalización para poder utilizar la información que proveen los modelos AOGCMs acoplados, de tal manera que el clima regional se define en términos de la circulación y forzamientos a escala planetaria, y también a escalas regionales y locales (e.g. Pérez, 1997). Los métodos empleados para este propósito pueden ser 1) los modelos



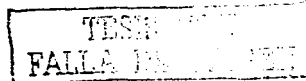
de circulación general de alta resolución (AGCMs, por sus siglas en inglés); 2) los modelos regionales, o modelos anidados de área limitada (RCMs, por sus siglas en inglés) y 3) los métodos empírico - estadísticos o estadísticos - dinámicos. Estas técnicas son evaluadas básicamente en términos de su actuación en reproducir las características climáticas actuales y su simulación de los procesos climáticos regionales. Es posible entonces utilizar esa información para describir las condiciones climáticas a escalas temporales de días hasta decadales. Sin embargo, es importante recordar que los AOGCMs aún tienen grandes problemas para simular climas a escalas regionales menores a los 10^4 Km^2 pues no están contruidos para esas escalas y por tanto tienen problemas para reproducir condiciones climáticas para regiones con sistemas topográficos complejos o sujetos a condiciones extremas como pueden ser los ciclones tropicales, como es el caso de México (Uribe, 2000).

Establecer una base de datos común y salidas de los modelos AOGCMs que puedan adecuarse a estudios para diferentes regiones, sectores y escalas temporales es un reto para los equipos de investigación encargados de la generación de los llamados escenarios climáticos, ya que se requiere que estos se puedan emplear en los estudios de vulnerabilidad y adaptación (V&A). En cualquier caso, se necesita contar con bases de datos climatológicas contra las que se puedan contrastar y/o añadir los cambios climáticos propuestos. Estas bases se denominan *escenarios base o líneas base*.

Esta tesis tiene como antecedente al Estudio de País: México (Gay *et al*, 2001). La regionalización de Douglas (1993) permitió contar con una base de datos de las variables climáticas básicas para los estudios de cambio climático (temperatura, 90 estaciones y precipitación, 272 estaciones). Dicha base de datos tiene las siguientes ventajas para los estudios de V&A:

- permite hacer estudios a nivel país y/o regionales,
- es pública,
- es confiable,

Características que son requeridas para realizar diversos estudios de cambio climático y vulnerabilidad a ese cambio a escala nacional y para diferentes regiones y regiones, como



fueron agricultura (Flores *et al*, 2000), ecosistemas forestales (Villers *et al*, 1997), hidrología (Maderey, 2000), asentamientos humanos, sequía (Hernández *et al*, 2000) y desertificación, energía e industria (Gay, 2000).

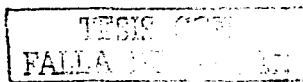
Es importante señalar que prácticamente todos los grupos de investigación relacionados con esas áreas de vulnerabilidad: 1) validaron la base de Douglas, comparándola con las bases de datos propias (no necesariamente públicas) y/o 2) la agregaron a las bases propias ya existentes y/o 3) la adecuaron a sus necesidades, tomando algunas de las estaciones o utilizando sólo algunas regiones. Particularmente, la investigación de ecosistemas forestales (Villers *et al*, 1997) utilizó la clasificación de Köppen, modificada por García (1988), relacionándola con los estudios de vegetación para México realizados por Rzedowski (1978). En el caso de la investigación hidrológica, se analizaron las cuencas de México, utilizando para ello 12 zonas hidrológicas (Mendoza, *et al*, 1997). Así, la regionalización resultó ser útil dependiendo de la región o regiones específicas de cada estudio y los sectores analizados.

En el Estudio de País, inicialmente se utilizaron los datos de temperatura y precipitación para 23 puntos de una malla de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, utilizados por el Modelo de Termodinámico del Clima de Adem (MTC, 1982) (Conde *et al*, 1995). Sin embargo, dado que la serie de datos (1941-1970) no incluía datos más allá de los 70s ni seguía el periodo base propuesto para estudios similares (1951 - 1980), estos datos no fueron empleados en los estudios de vulnerabilidad, aún cuando MTC sí se utilizó en los estudios hidrológicos del estudio de país.

Por lo anterior, el grupo de escenarios climáticos (Magaña *et al*, 1997) propuso la base de datos de Douglas como base común para todos los estudios de V&A.

Douglas construyó 18 regiones (o divisiones, ver figura 2.5), basándose en la densidad geográfica de las estaciones y en los criterios:

- 1) similitud en la pendiente y elevación de las estaciones,
- 2) recuperación de los datos de 95% para el periodo 1947 - 1988, y
- 3) los totales anuales de lluvia de las estaciones debían encontrarse dentro del 20% del la media del área de la región.



Douglas encontró 15 estaciones con datos de largo periodo, (algunas desde 1910), que sirvieron de base para cada región. Para ello, analizó la calidad de la base "dato por dato", calculando para ello las medias y desviaciones estándar de cada región, marcando los datos que se encontraran por encima o abajo del límite considerado aceptable (3 sigmas). Los datos encontrados se cotejaron con los datos originales, algunos sólo capturados en papel. Douglas verificó esos valores también utilizando la información climatológica disponible de las estaciones cercanas y la "experiencia climatológica" para finalmente corregir o descartar algún valor.

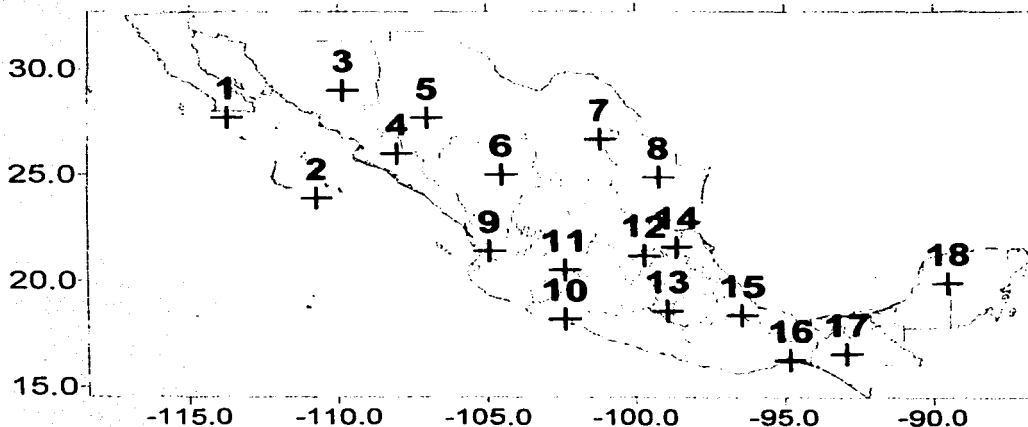


Figura 2.5. Las 18 Regiones de Douglas para México. Las marcas (+) indican la latitud y longitud promedio de los rangos que se presentan en la tabla 2.5. El número máximo de estaciones climatológicas empleadas para los promedios mensuales los estados del país en donde éstas se ubican se indican también en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Regiones de Douglas. Rango de latitudes y longitudes extremas, máximo número de estaciones por variable y los estados del país en los que se encuentran las estaciones.

Región	Rangos		Máximo No. Estaciones T(°C)	Máximo No. Estaciones Pcp(mm)	Estados del país (Pcp)
	Latitud (N)	Longitud (W)			
1	26° 19' 29° 24'	112° 28' 114 52'	1	10	BAJA CALIFORNIA NORTE BAJA CALIFORNIA SUR
2	22° 53' 24° 56'	109° 40' 111° 44'	3	17	BAJA CALIFORNIA SUR
3	28° 07' 28° 07'	108° 45' 108° 45'	8	15	SONORA
4	24° 25' 27° 31'	106° 41' 109° 15'	10	15	SONORA SINALOA
5	26° 06' 29° 15'	105° 24' 108° 32'	5	19	CHIHUAHUA
6	24° 00' 25° 56'	103° 01' 105° 57'	7	16	DURANGO ZACATECAS
7	25° 23' 27° 56'	100° 09' 102° 11'	8	16	COAHUILA NUEVO LEON
8	23° 44' 25° 58'	098° 10' 100° 19'	10	20	NUEVO LEON TAMAULIPAS
9	20° 19' 22° 30'	104° 29' 105° 22'	4	15	NAYARIT JALISCO
10	17° 12' 19° 14'	100° 26' 104° 20'	2	13	COLIMA GUERRERO
11	19° 58' 21° 01'	010° 20' 103° 23'	7	20	JALISCO GUANAJUATO MICOACAN
12	19° 20' 23° 07'	098° 18' 101° 07'	4	11	SAN LUIS POTOSÍ DISTRITO FEDERAL HIDALGO GUANAJUATO
13	18° 12' 18° 55'	098° 03' 099° 46'	3	13	MORELOS PUEBLA GUERRERO
14	20° 17' 22° 57'	097° 40' 099° 23'	5	14	TAMAULIPAS SAN LUIS POTOSÍ HIDALGO VERACRUZ
15	17° 20' 19° 23'	095° 44' 097° 02'	6	14	VERACRUZ OAXACA

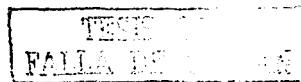
Tabla 2.5. (cont.)

Región	Rangos		Máximo No. Estaciones T(°C)	Máximo No. Estaciones Pcp(mm)	Estados del país (Pcp)
	Latitud (N)	Longitud (W)			
16	15° 40' 16° 53'	094 27' 95° 13'	1	12	OAXACA
17	16° 07' 17° 05'	092° 03' 093° 44'	1	14	CHIAPAS
18	18° 37' 21° 16'	088° 12' 090° 44'	5	18	CAMPECHE YUCATAN
Total			90	272	

También es necesario hacer notar aquí que para los escenarios base propuestos para las regiones de estudio, se construyen los escenarios de cambio climático (IPCC, 1999), siguiendo diferentes métodos. El más complejo de ellos es utilizar las salidas de modelos de circulación general (MCG). A estos modelos se les aplica diferentes métodos para “bajar la escala” o “downscaling”. El más inmediato de esos métodos es la interpolación directa. Otra forma es aplicar métodos estadísticos (Magaña, 1996, Magaña *et al*, 1997, Pérez, 1997) que relacionen las variables de las regiones de estudio con las variables de gran escala.

En estudios posteriores, centrados en el estado de Tamaulipas por ejemplo (Uribe, 2000), se realizaron regionalizaciones considerando que “una estación (meteorológica) presenta fluctuaciones en la lluvia mensuales acumuladas similares a las de las estaciones cercanas a ella”.

Los métodos estadísticos están basados en la idea que el clima regional puede considerarse determinado por las condiciones del estado del clima a gran escala, al mismo tiempo que está determinado por los factores regionales y/o locales (fisiográficos, por ejemplo). Las técnicas empleadas en estos métodos son similares a las usadas para la predicción del estado del tiempo, pero también se emplean para la reconstrucción histórica del clima, o bien, para estudiar los posibles cambios futuros en el clima regional, como se describió en los párrafos anteriores. Una ventaja de estas técnicas (además de no ser tan costosas en tiempo y dinero) es que proveen información local que puede ser empleada en los estudios de impactos, además de que son empleados para evaluar la bondad de las salidas de los modelos más complejos. La debilidad mayor de los métodos estadísticos para estudios de



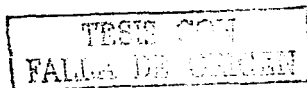
cambio climático es que su postulado principal no puede verificarse, esto es, no puede comprobarse que las relaciones estadísticas desarrolladas para el clima actual serán válidas para posibles condiciones del clima futuro (Giorgi, *et al*, 2001). Por ejemplo, no es posible aún incluir en estos métodos información de los escenarios de emisiones futuras y de los forzamientos radiativos regionales correspondientes. Un criterio utilizado para decidir sobre la bondad de los resultados obtenidos con los métodos estadísticos es evidentemente observar qué tan bien reproducen las condiciones del clima actual y qué tanto se aproximan a los resultados de cambio climático que se obtienen por otros métodos y modelos. Así, las salidas de los modelos y los resultados de los métodos estadísticos se utilizan para su mutua evaluación.

En cuanto a la variabilidad climática y los eventos extremos, los modelos AOGCM han mejorado al comparar sus resultados con las observaciones, aunque estos aún dependen de la región y las condiciones que se quieran modelar. Aún evalúan deficientemente la variabilidad interanual de la precipitación y la temperatura, pero en general sus resultados son aceptables (Giorgi *et al*, 2000a; Osborn *et al*, 1997), particularmente cuando se tienen bases de datos suficientes y confiables en las regiones bajo estudio.

Finalmente, es importante recalcar que en los nuevos estudios de cambio y variabilidad climática es necesario analizar tendencias históricas de las variables básicas incluyendo el análisis a mayor profundidad los años ENSO u otros eventos que determinan las condiciones del clima regional.

2.1.2 Escalas Temporales. Pronósticos y Escenarios Climáticos.

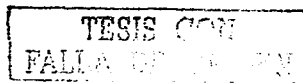
La escala temporal es la diferencia básica entre los estudios de variabilidad y los de cambio climáticos. La variabilidad climática está presente en todas las escalas espacio – temporales; puede observarse en los tornados muy localizados o en cambios en los frentes o tormentas tropicales, o bien en periodos prolongados de sequías o inundaciones, ocurriendo todas estas variaciones a escalas multi – estacionales, anuales, decadales o aún en siglos. En general, los fenómenos de mayor escala temporal se asocian a cambios en la circulación general de la atmósfera, que pueden afectar la temperatura y la precipitación de vastas regiones del planeta, aparentemente no relacionadas. En las últimas décadas, por ejemplo,



la ciencias atmosféricas han estudiado la variabilidad interanual en términos del fenómeno de El Niño.

El IPCC (WGI, 2001), define como proyección climática a las descripciones de futuro del sistema climático basadas en las simulaciones de modelos. Los pronósticos o predicciones climáticas se referirían entonces a las proyecciones “muy probables”, que se obtienen empleando modelos determinísticos que permiten asociar un nivel de confianza a las proyecciones del clima. Como se mencionó, para el estado del tiempo meteorológico se realizan pronósticos en escalas de días. Para estos pronósticos, se colectan datos diarios de superficie y de la atmósfera superior (con una diferencia de 3 a 6 horas entre ellos), se verifica la calidad de los mismos y se incorporan a modelos de pronóstico, para analizar el estado actual de la atmósfera. Así, se trabaja no solamente con esa colección de datos, sino que estos datos se interpolan en tiempo y espacio para aumentar la cantidad de datos que entran a los modelos dinámicos. Además, es necesario establecer condiciones de frontera (temperatura de la superficie del mar, cubierta de hielo oceánica y terrestre, cubierta de nieve, vegetación terrestre, humedad del suelo). Por lo tanto, bajo esas condiciones se corre el modelo para varios días (esto es, se resuelven las ecuaciones que permitirán realizar proyecciones del estado del tiempo). La habilidad (*skill*) del modelo se evalúa al comparar las condiciones reales con el pronóstico para cada uno de los días. El límite de la predictabilidad de estos modelos se ha establecido en dos semanas (Lorenz, 1993, Somerville, 1987).

Para el caso de las condiciones climáticas, generalmente se realizan pronósticos a escalas mensuales o estacionales. Estos se basan en la predicción de las condiciones estadísticas de la atmósfera (promedios de temperatura, precipitación y su varianza) para periodos de un mes o más, mismas que dependen de las condiciones de frontera. Así, lo que se hace es un pronóstico de esas condiciones de superficie y se infieren las condiciones atmosféricas, compatibles con aquéllas, mediante modelos numéricos. Las condiciones de frontera en general varían lentamente con respecto a la atmósfera (por ejemplo, la temperatura de la superficie del mar, dada su gran capacidad calorífica es una condición de frontera fundamental). Los datos de la temperatura oceánica se acoplan con los datos atmosféricos para caracterizar entonces el estado inicial del sistema océano - atmósfera. Históricamente, se han desarrollado modelos estadísticos univariados y multivariados (Stern *et al.*, 1999).



Los primeros se basan en predecir, por ejemplo, la precipitación en términos de la historia anterior de las lluvias para una región determinada. Los segundos realizan sus predicciones de la precipitación, por ejemplo, en términos de otras variables, como temperatura y presión. Finalmente, todos estos modelos se comparan con los modelos numéricos de predicción y permiten obtener, mediante las correlaciones entre predictandos (por ejemplo, la lluvia) y predictores (temperatura, presión, precipitación anterior), pronósticos de corto y mediano plazo.

2.1.2.1 El Niño / Oscilación del Sur

El fenómeno del Niño / Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) es el resultado del calentamiento - enfriamiento recurrente de la superficie del océano en el Pacífico del Este. Las regiones del océano que pueden alterarse se encuentran aproximadamente en una franja entre los 80°W a 160°E, y entre las latitudes de 5°S y 5°N. Esta gran región es subdividida en cuatro regiones de El Niño (figura 2.6): Niño 1+2 (0-10°S, 90°-80°W) Niño 3 (5°N-5°S, 150°-90°W), Niño 3.4 (5°N-5°S, 170-120°W) y Niño 4 (5°N-5°S, 160°E-150°W).

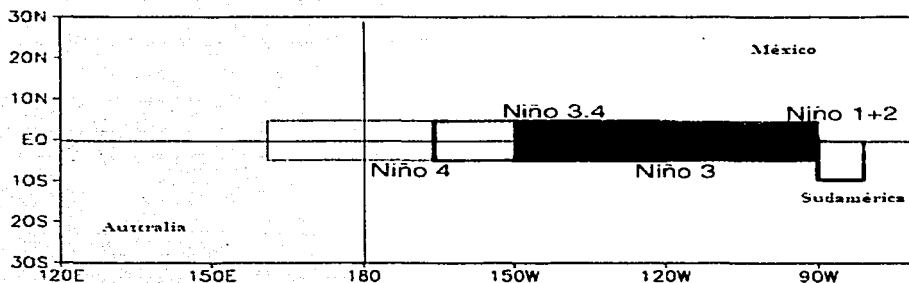


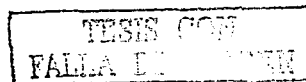
Figura 2.6. Cuatro regiones del Pacífico ecuatorial para el ENSO. (<http://www.cpc.noaa.gov/>).

Asociados a esas variaciones en la temperatura del mar se presentan cambios en la presión atmosférica, conocidos como Oscilación del Sur, de ahí el nombre de ENOS. Se le llama *El*

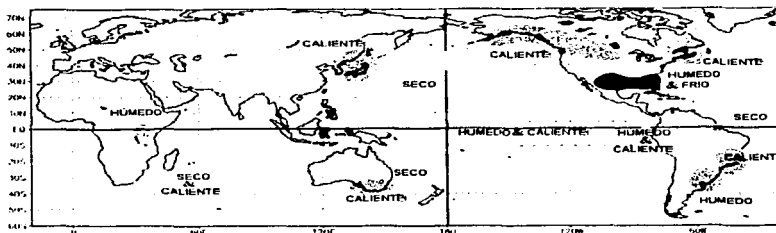
Niño al evento caliente o fase caliente del ENSO y se le llama *La Niña* al evento frío o fase fría del ENSO. El ciclo del ENSO puede darse aproximadamente cada 3 a 4 años, aunque sin una periodicidad regular. La duración de este evento es de entre 9 a 12 meses, en promedio (Stern, 1999), iniciando entre junio o julio de un año, alcanzando su máximo en invierno (aunque algunos eventos, como el de 1982 - 1983, alcanzaron su máximo en el segundo año, durante o aún después de la primavera) y prolongándose hasta mediados del siguiente año.

Así, este evento representa una fluctuación de gran escala en las temperaturas, la circulación y la presión atmosféricas en el Pacífico tropical. Es por tanto un fenómeno que afecta al sistema acoplado océano - atmósfera y que llega a alterar las condiciones oceánicas en casi un cuarto de la circunferencia del planeta, y sus efectos se llegan a experimentar hasta en la mitad de esa circunferencia.

Para el caso de las predicciones para las condiciones durante El Niño, se realizan en realidad predicciones de la temperatura del mar (SST, por sus siglas en inglés) en el Pacífico tropical (usualmente, en la región Niño 3). Los efectos de este evento en los patrones de temperatura y precipitación en regiones específicas del planeta (teleconexiones), no son entonces el producto primario de estas predicciones. Sin embargo, dada la gran influencia global de este fenómeno (figura 2.7, Ropelewski *et al*, 1987), se ha instalado un sistema de boyas fijas en la región de interés. Además, se tienen observaciones de satélite y datos recolectados por barcos que transitan por esa región (<http://topex-www.jpl.nasa.gov/>) para contar con la mayor cantidad de datos o índices (<http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/>) que permite una descripción en tiempo real y el desarrollo de pronósticos de las condiciones climáticas para vastas regiones del mundo, a escalas de tiempo estacionales o interanuales.



EVENTO CALIENTE. DICIEMBRE - ENERO



EVENTO CALIENTE. JUNIO - AGOSTO

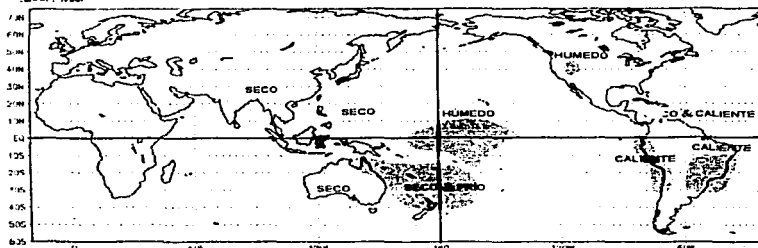
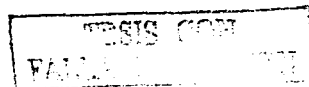


Figura 2.7. Regiones con variaciones en la precipitación y temperatura por El Niño (http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/globalimpact/temp_precip/index.html).

La habilidad (*skill*) de los pronósticos basados en la señal de El Niño varía con la región climática de interés, con la escala de tiempo (a un mes, a seis meses, a un año), y con el parámetro que se quiere pronosticar (temperatura, precipitación, vientos). También debe considerarse la intensidad de este evento, dependiente ésta del grado, duración y extensión del calentamiento de la superficie del mar en el Pacífico tropical (ver, por ejemplo, <http://iri.ldeo.columbia.edu/climate/forecasts/sst/>). La extensión del calentamiento puede observarse también en cuanto a su profundidad, pues durante los eventos calientes la termoclina (separación entre las aguas superficiales calientes de las aguas frías profundas)

desciende hasta ser más profunda en el Pacífico este que en el oeste, cuando la situación en condiciones normales es la contraria. Así, se han clasificado a estos eventos como débiles, moderados y fuertes (cuando se observan calentamientos de 2 a 5°C, o, en el caso de La Niña, enfriamientos entre 1°C a 4°C). También se observa durante El Niño una disminución de la presión de la superficie del mar en el Pacífico este y un aumento de esta presión en Indonesia y al norte de Australia (medida esta diferencia mediante el índice de oscilación del sur, SOI, por sus siglas en inglés). Asimismo, el patrón de los vientos alisios (este - oeste) se altera, llegando a debilitarse (o inclusive a cambiar de dirección) durante un fuerte evento Niño: Para evaluar la intensidad de este fenómeno, es por tanto necesario considerar la temperatura y presión del aire y de la superficie así como a los patrones de vientos en las regiones del Pacífico en donde se desarrolla el evento. Un índice que combina estas variables (figuras 2.8a y 2.8b), además de incluir las condiciones de cubierta nubosa, es el índice multivariado del ENSO (MEI, por sus siglas en inglés; <http://www.cdc.noaa.gov/~kew/MEI/>), y es el que fue considerado para caracterizar a los años (y meses) de Niños fuertes en el artículo de Conde y Eakin (2003) que se anexa a esta tesis. En ese trabajo se consideró que por encima o por debajo del valor de 1 (o -1, para el caso de las Niñas), es posible incluir a los bimestres del año como parte del evento Niño. Esta clasificación permitió comparar los años de fuertes eventos ENSO con la climatología de las localidades productoras de maíz de temporal, relacionando ésta con la fenología del cultivo.

Considerando el índice anterior, los eventos ocurridos durante 1957 - 1958, 1965 - 1966, 1972 - 1973, 1982 - 1983, 1986 - 1987, 1991-1992 y 1997-1998, son los eventos El Niño más fuertes desde 1950. De manera análoga, los años 1949 - 1950, 1954 1955, 1964-1965, 1970 - 1971, 1973 - 1974, 1975-1976, 1988 - 1989, 1998-1999, son los años con las Niñas más fuertes desde 1949.



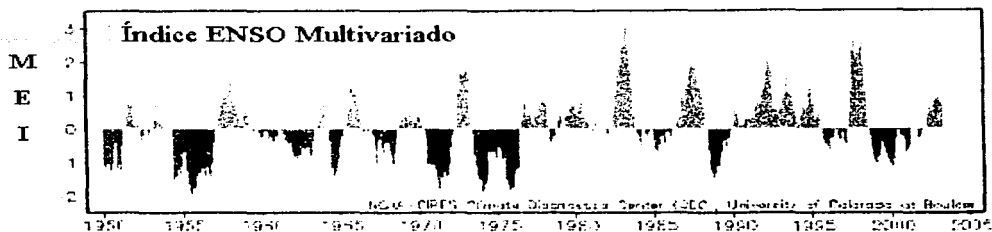


Figura 2.8a. Índice Enso multivariado (MEI). Variaciones estandarizadas (sigmas) desde 1950 a julio, 2003 de este índice. Sobresalen los eventos 1982 - 1983 y 1997 -1998 (Niño) y los eventos en 1955, 1975 y 1988 (Niña). (<http://www.cdc.noaa.gov/~kew/MEI/>).

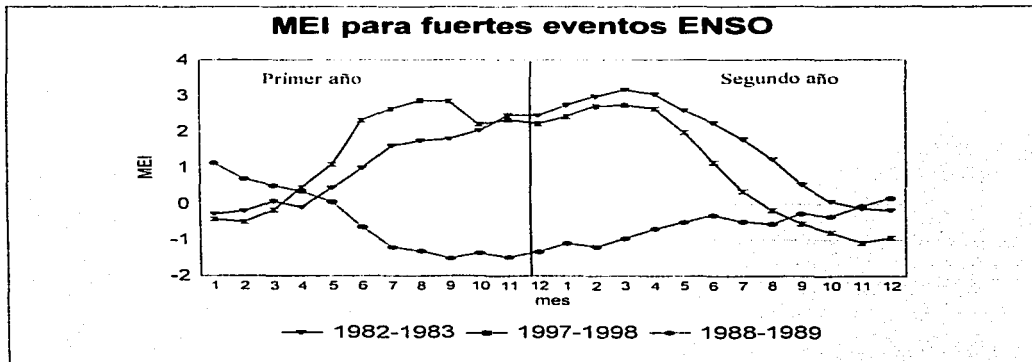


Figura 2.8b. Índice ENSO multivariado (MEI) para dos fuertes eventos El Niño (1982 - 1983 y 1997 - 1998) y un evento La Niña (1988 - 1989).

Por supuesto, anteriormente a estos años se presentaron eventos de ENSO (como los eventos Niño que se iniciaron a mediados de los años 1877, 1880, 1884, 1891, 1896, 1899, 1902, 1904, 1911, 1913, 1918, 1923, 1925, 1930, 1932, 1939, por ejemplo; <http://www.cdc.noaa.gov/ENSO/enso.kd.html>), pero no se tenían ni los datos ni el conocimiento con los que se cuenta actualmente para incluirlos como un factor relevante para realizar pronósticos climáticos.

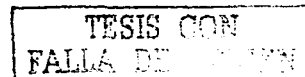
TESIS CON
FALLA DE CALIFICACIÓN

Para el caso de Norteamérica y el norte de México, el clima regional en condiciones de El Niño es afectado por un sistema de baja presión cuasi-estacionario asociado al patrón del Pacífico Norte Americano (PNA), lo que determinará la intensidad de las anomalías de precipitación, fundamentalmente durante el invierno. Durante La Niña, se tiene en general en esa región océano Pacífico un sistema de alta presión.

Finalmente, cabe señalar que no sólo las variaciones en el Pacífico ecuatorial del Este son las únicas que determina la variabilidad en grandes regiones del planeta. Se están realizando estudios para pronosticar las temperaturas de superficie del mar en otras regiones: del Pacífico Norte, con impacto en las pesquerías de salmón en el noroeste del continente americano (Mantua *et al.*, 1997), del Atlántico Norte y Sur (con impacto en las condiciones climáticas de Europa o noreste de Brasil, por ejemplo). Para el caso del Caribe y Centroamérica, está documentada la fuerte influencia en la precipitación de la variabilidad del las anomalías de temperatura del Atlántico (Enfield et al, 1999), llegando a ser éstas más importantes que la señal ENSO. Sin embargo, aún está a discusión la habilidad de los modelos para predecir las temperaturas del mar en estas regiones oceánicas, lo que limita su uso para realizar pronósticos (que no diagnósticos) de la variabilidad climática en esas regiones.

2.1.2.2 Escenarios de cambio climático

Los escenarios de cambio climático son “una descripción coherente, internamente consistente y plausible de un posible estado futuro del mundo (IPCC, 1994)”. No es un pronóstico ya que cada escenario es una alternativa de cómo se puede comportar el clima futuro. Una proyección puede servir como material fuente para un escenario, pero los escenarios en general requieren de información adicional (por ejemplo, condiciones de emisiones de gases de efecto invernadero o de un escenario base). Un conjunto de escenarios se adopta para reflejar, tan bien como sea posible, el rango de incertidumbre en las proyecciones. Otros términos posibles usados como sinónimos de escenario son “caracterización”; “*storyline*” y “construcción”.



En realidad, se elaboran escenarios no sólo para el clima, sino también para algunos factores socioeconómicos (figuras 2.9a y 2.9b), para el uso y cubierta de suelo, para las emisiones y concentraciones de CO₂, para la disponibilidad de agua, o para el nivel del mar, por ejemplo.

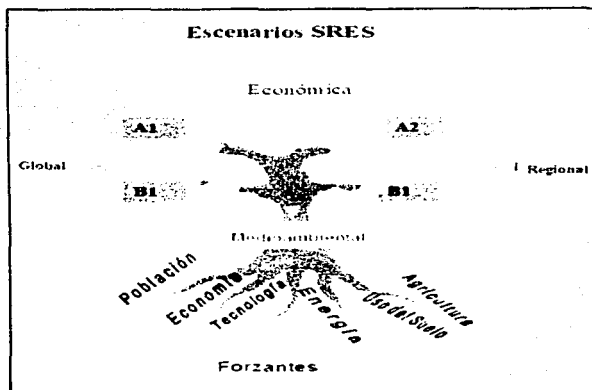
Los escenarios socioeconómicos fueron construidos para el IPCC (Nakicenovic, *et al*, 2000) y agrupados en el Reporte Especial de Escenarios de Emisiones (SRES, por sus siglas en inglés); estos consideran diferentes las posibles condiciones del desarrollo global para los próximos 100 años y son, en un sentido más amplio, escenarios del estado y crecimiento de la población y la economía (Tol, 1998).

Hay dos grandes familias de escenarios (IPCC, WGIII, 2001). Los escenarios "A" describen un mundo futuro con alto crecimiento económico, mientras que en los "B" ese crecimiento es más moderado. Los escenarios A1 y B1 suponen que habrá una globalización tal que las economías convergerán en su desarrollo. En los A2 y B2, se considera que el desarrollo se dará más a nivel regional. Estos escenarios parten de un conjunto de suposiciones acerca de la evolución de los forzantes (población, tecnología, economía, uso del suelo, agricultura y energía, figura 2.9b) a nivel global y regional (tabla 2.6). Las reservas petroleras y de carbono, permiten suponer en estos escenarios que estas serán fuente de energía por lo menos para los próximos 100 años.

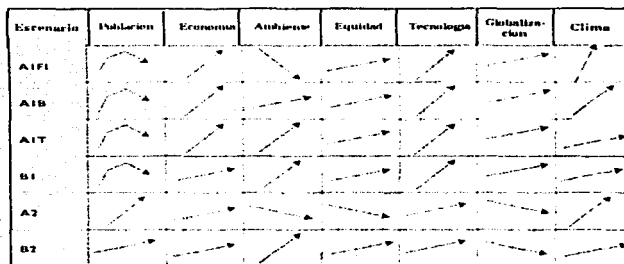
El año de 1990 se toma como marco de referencia para evaluar las condiciones futuras (Carter, 2002). Así, para ese año la población mundial constaba de 5.3 millardos (miles de millones) de habitantes, el producto interno bruto mundial era de 12×10^{12} dólares por año y la tasa del ingreso era 16.1 per capita. La población mundial, según los escenarios A1 y B1, crecerá a 7 o 7.1 billones de habitantes, mientras que los escenarios A2 y B2 consideran que ésta aumentará a 15.1 y 10.4 millardos, respectivamente. La tasa de ingreso personal será semejante en los escenarios A, mientras que en el escenario B2 ésta aumentará a casi el doble.

TESIS CON
FALLA EN LA CALIFICACION

2.5a)



2.5b)



Figuras 2.9. 2.9a. Esquema de Escenarios de Emisiones según el Reporte Especial (SRES) para el IPCC. Se indican los forzantes que determinarán los posibles futuros económicos y medioambientales (Carter, 2002). 2.9b. Esquema del desarrollo de los diferentes forzantes según el escenario considerado (familias A y B).

TESIS CON
FALLA DE CIRCUN

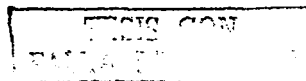
Tabla 2.6. Los Escenarios de Desarrollo Socioeconómicos (SRES; IPCC, 2001)

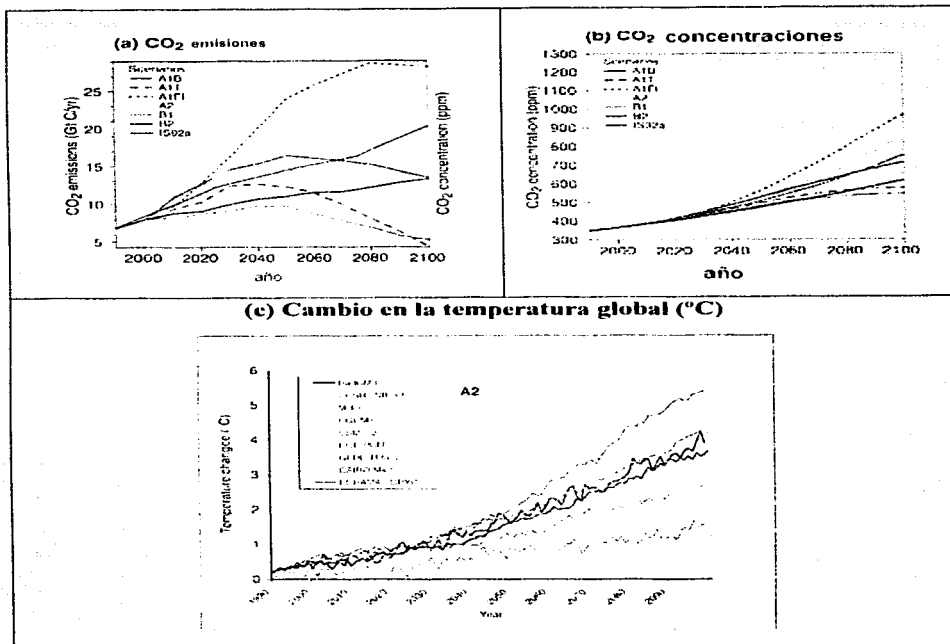
Escenario	Descripción
A1	Rápido crecimiento económico, el crecimiento poblacional alcanza su máximo para mediados del siglo XXI, los mecanismos de mercado dominan la economía. Subdivisiones: A1FI : dependencia en combustibles fósiles; A1T : dependencia en combustibles no-fósiles; A1B : dependencia balanceada de fuentes de energía.
A2	No dependencia económica regional, conservación de identidades locales, aumento continuo en la población, crecimiento económico a nivel regional
B1	Uso de tecnologías limpias y eficientes, reducción de consumo material, soluciones globales a problemas económicos y medioambientales, mejor distribución de la riqueza, el crecimiento poblacional alcanza su máximo para mediados del siglo XXI
B2	Soluciones locales a problemas económicos y medioambientales; crecimiento poblacional menor que A2; menor cambio tecnológico que en B1 y A1.

(Turnpenny, *et al.*, 2002)

Así, los nuevos escenarios de cambio climático se construyen partiendo de diferentes escenarios socioeconómicos, ya que el futuro de esas condiciones determinarían a su vez, las emisiones, las concentraciones (y forzamientos) de los gases de efecto invernadero futuros (figuras 2.10a y b) y, por tanto los posibles cambios en la temperatura (figura 2.10c), nivel del mar y precipitación del clima.

Las proyecciones que se muestran en las figuras 2.10 son todas probables, por lo que es recomendable en los estudios de impactos utilizar más de un escenario socioeconómico, para diferentes sensibilidades (ver glosario) y para diferentes modelos. Con ello se puede entonces incluir en los estudios la “explosión de incertidumbres” asociadas en la modelación de las condiciones futuras (figura 2.11).





Figuras 2.10. Escenarios para el 2100 de a) emisiones de CO₂, b) concentraciones y c) de posibles calentamientos considerando el escenario A2, obtenidos de 9 GCMs. Fuente: IPCC, WGI, 2001, Jones, R. 2002.

Las incertidumbres asociadas a estos escenarios, conllevan serias dificultades para la toma de decisiones y la elaboración de políticas para enfrentar al posible cambio climático futuro. Hasta ahora, el esfuerzo internacional por reducir o limitar las emisiones de gases de efecto invernadero difícilmente se ha visto reflejado en políticas nacionales para disminuir la vulnerabilidad futura y aumentar la capacidad adaptativa de los sectores productivos o áreas naturales más relevantes, en especial en los países en desarrollo.

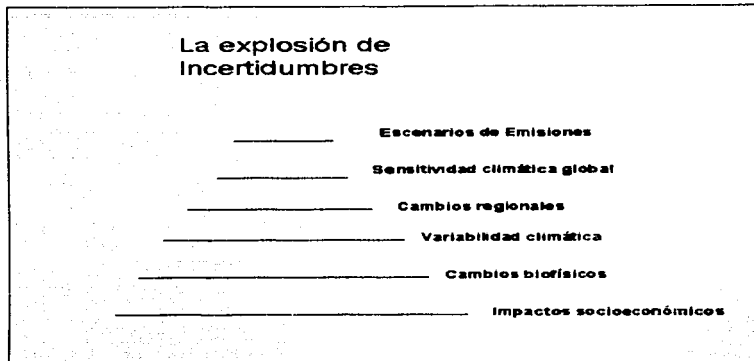


Figura 2.11. Explosión de incertidumbre. Ilustración de la cascada de incertidumbres que pueden presentarse (y deben considerarse) en los estudios de cambio y variabilidad climáticos. (Jones, 2002).

Estas incertidumbres pueden cuantificarse parcialmente utilizando los ensambles de las salidas de cada modelo (figura 2.10) para diferentes condiciones iniciales. De esta forma, se obtienen estimados de los rangos de probabilidad del cambio climático y es posible entonces establecer la confiabilidad del cambio por causas antropogénicas (Stocker, 2001).

A pesar de las limitaciones anteriores, los escenarios se pueden requerir para (Jones *et al.*, 2001):

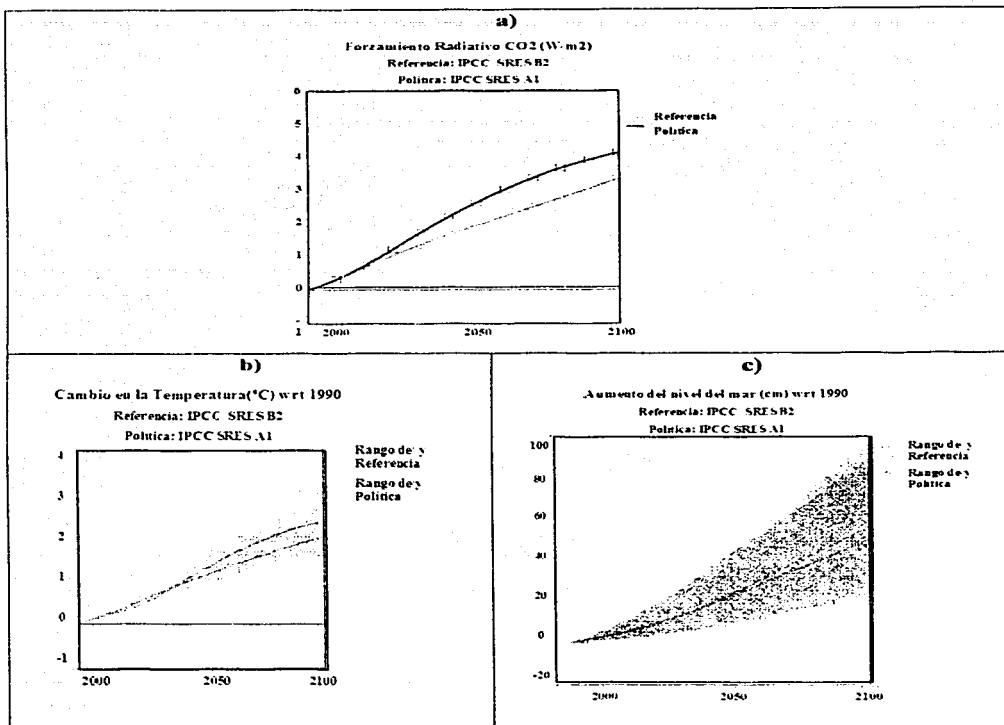
- Ilustrar el cambio climático, esto es, para una descripción del clima futuro en una región dada en términos del clima actual,
- Comunicar las consecuencias potenciales del cambio climático, esto es, especificar un cambio de clima para estimar cambios potenciales en la vegetación e identificar especies en peligro de extinción.

- Planificación estratégica. Por ejemplo, cuantificando el posible aumento en el nivel del mar y los cambios climáticos para diseñar defensas costeras o de desbordamiento de ríos,
- Guías para control de emisiones.

Para incorporar la gama de escenarios de emisiones (figuras 2.10) a los estudios de cambio climático, se han desarrollado modelos climáticos simples (MCS). Estos modelos pueden simular la respuesta del clima global a cambios en las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI) en términos del incremento de la temperatura y el aumento del nivel del mar. Dentro de estos modelos simples está el Magicc (Model for Assessment of Greenhouse –Gas Induced Climate Change; Wigley, 1994; Hulme *et al.*, 2000a), que permite convertir las emisiones de GEI (figura 2.10a) en concentraciones atmosféricas (figura 2.10b), modelando los ciclos de esos gases en la atmósfera. Esas concentraciones son entonces empleadas para calcular el forzamiento radiativo (figura 2.12a) mediante modelos de transferencia de radiación. Estos forzamientos son a su vez utilizados como entrada en un modelo climático unidimensional de balance de energía, cuya salida es el calentamiento (figura 2.12b) y el aumento del nivel del mar globales (figura 2.12c).

Un parámetro fundamental para utilizar este modelo, es la *sensibilidad climática*, que se refiere al cambio en la temperatura global que se produciría por un forzamiento radiativo equivalente a una duplicación de CO₂. Se da entonces un rango posible de ese calentamiento, entre 1.5°C a 4.5°C (figura 2.10c). Esto es necesario dadas las incertidumbres asociadas a los complejos procesos de retroalimentación entre los elementos del sistema climático (como el vapor de agua, las nubes, los aerosoles, el albedo de superficie por capas de hielo) que pueden amplificar o amortiguar la respuesta al forzamiento por cambios en los GEI (IPCC-TGCCIA, 1999).

Con los modelos de circulación general se realizan experimentos numéricos de balances de energía en condiciones de aumento de GEI, y uno de sus resultados es el cambio en la temperatura superficial por unidad de forzamiento radiativo (°C/Wm⁻²). A esto se le denomina sensibilidad de equilibrio. Con el modelo Magicc es posible realizar simulaciones más simples (y menos tardadas que los GCMs) empleando los tres valores de sensibilidad climática señalados, llamándole entonces sensibilidad climática efectiva.



Figuras 2.12. Resultados del modelo Magicc. **a)** Forzamiento radiativo por aumento del CO₂ según los escenarios de emisiones A1 y B2. **b)** Cambio en la Temperatura por ese forzamiento, según esos escenarios de emisiones. **c)** Cambio en el nivel del mar en esas condiciones.

A partir de los resultados de este modelo simple, se requiere entonces combinar estos con las salidas de los modelos de circulación general. Esto se realiza utilizando el programa Scengen (SCENario GENerator™ en inglés; Hulme *et al*, 2000a). Este programa no es un modelo, sino que emplea campos globales (New, *et al*, 1999) de las variables mensuales medias de la temperatura del aire (°C), la precipitación (mm/ día) y la cubierta nubosa

mensual (decimos) de resolución de 5°x5° para todo el planeta. (todas las salidas de los GCMs se interpolaron a esa cuadrícula antes de incorporarlos al SCENGEN). En la Versión 2.4 de SCENGEN se incluyen los cambios en los climas medios de 30 años. Así, si se quiere obtener las condiciones para el clima del 2050, la simulación del programa se efectuará para el periodo 2036 - 2065. En versiones futuras de Scengen se espera considerar también cambios en la variabilidad climática interanual.

Dada la magnitud del calentamiento global a partir de los MCS, se realiza entonces un proceso de escalamiento de ese patrón a cada malla de los modelos de circulación general (GCM). Esto es, supongamos que la variable V_i es la precipitación o la temperatura en la malla i de un MCG; el cambio de esa variable en una de esas mallas se calcula (en por ciento) mediante:

$$\Delta V_i = \left[\frac{V_{i2xCO_2} - V_{i1xCO_2}}{V_{i1xCO_2}} \right] \times 100 \quad (1)$$

donde V_{i2xCO_2} y V_{i1xCO_2} son los valores para las condiciones climáticas para las respectivas concentraciones de CO_2 (2 o 1) en el punto de malla i . ΔV_i es el porcentaje de cambio dado cada GCM. El campo estandarizado de cambio estará dado por ΔV_i^* :

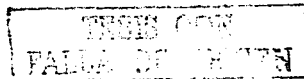
$$\Delta V_i^* = \frac{\Delta V_i}{\Delta T_{GCM}} \quad (2)$$

con ΔT_{GCM} el calentamiento global dado por cada GCM en particular con respecto a 1961 - 1990. Finalmente, el cambio climático de la variable V para un año en particular (2050, 2080, 2100, por ejemplo) en el punto de malla i estará dado por:

$$\Delta V_i^{año} = \Delta T_{MCS}^{año} \times \Delta V_i^*$$

con ΔT_{MCS} obtenido del Magicc para los escenarios de emisiones y año seleccionados. Esa es la forma en la que el programa Scengen incorpora los resultados del modelo Magicc.

El **Escenario Base**, o Línea Base o de Referencia, es el conjunto de datos con respecto al cual se mide el cambio. En los estudios de cambio climático, se emplean generalmente



series de 30 años de datos, por considerar que en ese lapso de tiempo se presentaron todas las variaciones posibles que pueden darse en la región bajo estudio. En los Estudios de País, se utilizaron en general los años de 1951 – 1980. Actualmente, los escenarios base se están construyendo considerando la serie 1961 – 1990. Se han creado también escenarios base de emisiones (se considera al año 1990 como el de referencia); escenarios base de condiciones ambientales y del sistema bajo estudio (superficie y localización de bosques, producción agrícola, nivel promedio de ríos y presas, etc.), o condiciones de adaptación (para algunos autores, línea base de adaptación).

Cabe señalar que los escenarios de cambio climático no están contruidos como una predicción o pronóstico del futuro climático y de sus posibles impactos, sino que básicamente se utilizan como una herramienta para evaluar la sensibilidad de sistemas o sectores ante condiciones climáticas nuevas (Benioff, *et al.*, 1996). Así, con ellos podemos investigar el signo de ciertos cambios, por ejemplo, posibilidad de un mayor o menor caudal en cuencas y ríos, o el impacto potencial de ese cambio (inundaciones, escasez de agua en una región). El lapso que se emplea para estos escenarios en general es de 25 a 100 años a partir del presente. Este tiempo de referencia futuro (u horizonte de planeación) depende de los sectores o sistemas analizados. Por ejemplo, en los estados del norte de México, buena parte de las presas se encuentran en el límite de su vida útil (50 años), y entonces es importante considerar cómo serán los patrones de lluvia en el 2025, 2050, fechas para las que ya se han generado escenarios de cambio climático.

En general, se espera que los escenarios sean consistentes con las proyecciones de cambio climático, esto es, aumentos en la temperatura global del planeta entre 1.4 y 5.8 °C entre 1990 al 2100, debido al incremento en los gases de efecto invernadero (GEI), dentro lo propuesto por alrededor de 35 escenarios de emisiones.

Se puede decir que los escenarios son una herramienta para evaluar el futuro desarrollo del sistema complejo “clima”, que usualmente de manera inherente no es predecible, aún está insuficientemente entendido y tiene un alto grado de incertidumbre asociada (Carter, 2001). Los escenarios de cambio climático pueden ser generados por diferentes métodos (Carter, *et al.* 2001, Fenestera *et al.*, 1998, Benioff, *et al.*, 1996). Se pueden construir mediante incrementos arbitrarios en temperatura (+2°C, +4°C) y cambios en la precipitación (± 10%, ± 20%). Puede emplearse también el método de los análogos geográficos o análogos

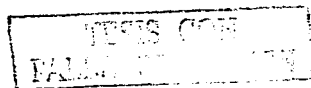
históricos (ver, por ejemplo, Rosenberg, *et al.*, 1993). Dentro de estos últimos es ahora frecuente encontrar estudios basados en las condiciones para las cuales los sistemas de interés han sufrido impactos que impliquen grandes “shocks” o desastres y analizar la respuesta de los sistemas humanos o ecológicos a esas grandes perturbaciones.

Como se mencionó, es posible también emplear las salidas de los modelos de circulación general, para varios escenarios de emisiones (escenarios socioeconómicos) futuros. Durante el Estudio de País (ver artículo anexo: Gay, *et al.*, 2001), se emplearon las salidas de dos modelos GCMs, que correspondían a las condiciones $1\times\text{CO}_2$ (en general, se comparaba con las condiciones actuales, como criterio para seleccionar al GCM) y las supuestas para condiciones de $2\times\text{CO}_2$. Con la diferencias entre ellas se obtiene el efecto del cambio climático en las variables climáticas debido al incremento del bióxido de carbono. Para estos escenarios no se incluyeron explícitamente escenarios de emisiones.

2.2 Aspectos Generales del Clima en México. Análisis a diferentes escalas espacio – temporales.

El clima en México varía fuertemente con la latitud y la orografía por lo que con variaciones espaciales relativamente pequeñas es posible tener climas muy diversos. Por ejemplo, las cordilleras montañosas de México, provocan que durante el verano se presenten considerables lluvias en las franjas costeras del Pacífico y Atlántico mexicano; pero al descender las masas de aire marítimo en el costado de sotavento, se tienen características de aire seco y caliente (como puede observarse en el golfo de California y los desiertos de Sonora) lo que determina las condiciones de climas semiáridos de algunas regiones. Este factor condiciona fuertemente la construcción de las posibles regionalizaciones para los estudios climáticos.

El clima en México está determinado en buena medida por la interacción entre los sistemas tropicales durante el verano y por los sistemas de latitudes medias durante el invierno (Magaña *et al.*, 1999). Las grandes masas de aire polar o tropical, provenientes del Norte del continente o de los océanos, establecen las condiciones predominantes en el clima regional y estacional en México. El choque de dos masas de aire (con diferente temperatura y densidad) produce los llamados frentes. Si el las masas de aire frío tienen mayor velocidad



en la horizontal, se formará un frente polar o frente frío; en caso de que sean las masas cálidas las de mayor velocidad, se formará un frente tropical o cálido.

Las masas de aire polar marítimo del Pacífico, que se originan en el Pacífico Norte, son masas con una temperatura superficial entre 0 y 10°C (Reyes Coca, 2001), con contenidos altos de humedad y que afectan durante el invierno al oeste de los Estados Unidos y al noroeste de México, particularmente a la península de Baja California. Su comportamiento está definido por los vientos del oeste de latitudes medias, en el que están inmersos frentes y tormentas extratropicales.

Por otra parte, los llamados *nortes* se han asociado con la influencia de las masas polares continentales que se originan en Alaska y Canadá. Estas masas producen condiciones relativamente frías durante el invierno (usualmente por debajo de 0°C), y contienen poca humedad, por lo que se relacionan con condiciones de relativa sequía, lo que pueden ocasionar severas heladas en el norte y centro de México. Cuando esas masas se desplazan al sur y al oriente de México, tienden a hacerse inestables en sus niveles superficiales ya que el suelo está más cálido, generando intensos vientos (*nortes*) en el golfo de México (Vázquez, 2000).

Indudablemente, las masas de aire que son transportadas desde los océanos Pacífico y Atlántico son determinantes para las lluvias de verano en México, particularmente en el noroeste y sur del país. Se caracterizan por ser muy cálidas y con gran humedad en los niveles inferiores y favoreciendo la formación de perturbaciones atmosféricas. Las masas del Atlántico se combinan con los vientos alisios, transportando bastante humedad y calor del Atlántico, del Caribe y del Golfo, hacia la vertiente oriental de México y Estados Unidos (desde Yucatán hasta la cuenca del Mississippi). Las masas de aire del Pacífico tropical se forman en la región ecuatorial de ambos hemisferios, y son transportadas por los flujos transecuatoriales hacia Centro América y el suroeste de México, formando sistemas convectivos de mesoescala y ocasionando intensas lluvias, particularmente en las sierras occidentales de México, en Sinaloa, Sonora Durango y Chihuahua.

Otros factores de escala mayor son determinantes para los climas regionales en México, en especial la actividad de tormentas tropicales o huracanes. Estos sistemas de baja presión con vientos intensos y lluvias abundantes, se originan sobre los océanos tropicales en

ambos lados del ecuador. La temporada de formación de huracanes es de mayo a noviembre en el hemisferio norte.

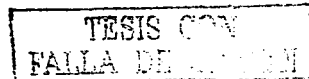
Las lluvias de verano dependen también del comportamiento de la Zona Intertropical de Convergencia (ZITC, donde convergen los vientos alisios de los dos hemisferios), cuya posición y densidad pueden definir condiciones de intensas lluvias o sequías para México. Asimismo, el monzón mexicano (o de Arizona, o del suroeste de Norteamérica) contribuye de manera importante a las lluvias de verano, cuando se presentan entradas de humedad en la alta y media troposfera desde el golfo de México y de humedad en los niveles bajos de la troposfera, provenientes del Pacífico tropical y del golfo de California (Reyes Coca, 2001). Los grandes contenidos de humedad en la troposfera se asocian a los máximos de precipitación del verano del noroeste de México. En esta región, el inicio de las lluvias en julio, contrastan con las escasas lluvias de junio, dominado por una circulación divergente (la evaporación es mayor que la precipitación).

Otro factor que influye en el clima de México son las ondas del Este, sistemas de baja presión que se forman en los océanos tropicales y que se encuentran inmersos en los vientos alisios, en las zonas de máxima temperatura del mar (entre las latitudes 5° - 20° norte y sur). Viajan en dirección oeste y pueden evolucionar hasta transformarse en una depresión tropical o aún en un huracán (Reyes Coca, 2001).

Finalmente, gran parte del clima en el país está modulado por el fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur (ENOS), que es un evento que puede disparar eventos climáticos extremos en el país (Magaña *et al*, 1997).

Las temperaturas medias anuales en México pueden variar regionalmente, entre valores por encima de los 32°C hasta menores de 10°C (Magaña *et al*, 1999). Sin embargo, el 93% en el país las temperaturas de superficie promedio se encuentran en el rango de 10°C y 26°C.

Las lluvias más importantes en términos de las actividades productivas se presentan durante el verano (figura 2.13), por lo que se dice que México tiene un clima monzónico, aunque en el norte y costas del Pacífico del país existen importantes actividades agrícolas y ganaderas gracias a las lluvias de invierno.



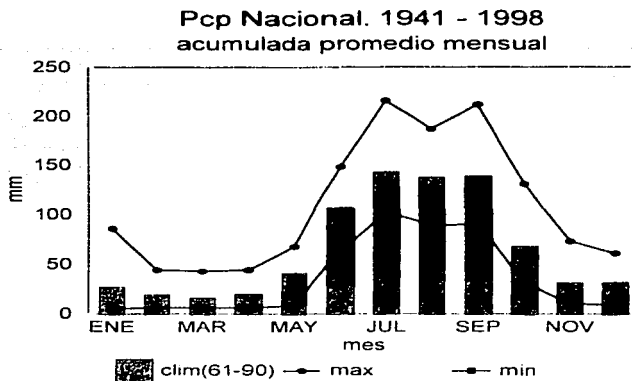


Figura 2.13. Promedio mensual de lluvia acumulada para la República Mexicana. Fuente: <http://smn.cna.gob.mx/met-info/fuentes.html>

Es importante observar que durante el periodo de las lluvias de verano, aparecen en algunas regiones de México dos máximos de precipitación. Si bien este patrón no se presenta en todo el territorio mexicano, sino principalmente en la región centro sur (Magaña, *et al*, 1999b), es importante observar que se refleja en la precipitación del país durante los meses de julio y agosto. A este mínimo relativo se le denomina sequía de medio verano, sequía intraestival o *canicula*. La menor presencia de nubes convectivas durante ese periodo provoca la disminución en la lluvia y el aumento de la temperatura. Esta condición puede estar asociada a las condiciones de la alberca de agua caliente que se forma en el Pacífico mexicano (Magaña *et al*, 199a).

Sólo el 7% del territorio (en el sureste) recibe el 40% de la lluvia anual del país, mientras que en el norte del país existen regiones con precipitaciones entre 125 a 400 mm anuales. De las 195 millones de hectáreas que tiene el país, 85% de ellas se clasifican como muy áridas, áridas o semi-áridas (tabla 2.7), siendo el Trópico de Cárncer la franja de transición entre los climas áridos y semiáridos y los climas húmedos y subhúmedos (Rzedowski, 1978).

TESIS CON
FALLA DE CUBRIMIENTO

Tabla 2.7.
Tipos de clima

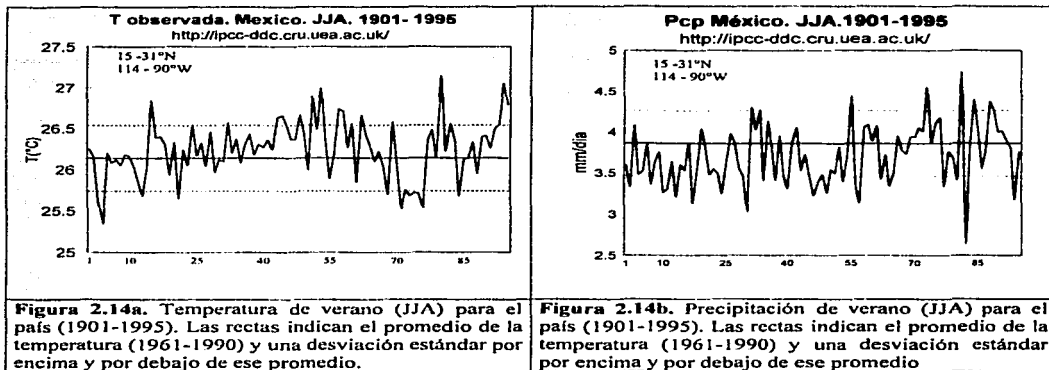
Clima	Áreas (ha)	%
Muy húmedo	4901	2
Húmedo	26213	13
Semi-árido	74072	38
Árido	54226	28
Muy árido	36988	19

Fuente: Reyes Castañeda, 1981

Esto determina, en buena medida, el desarrollo de las actividades productivas (particularmente las agrícolas) y pone en relieve los efectos negativos que a nivel social pueden tener los déficit en la precipitación.

Las condiciones de temperatura y precipitación desde 1901 a 1995 para el país pueden observarse de manera general en las figuras 2.14, en las que se muestran los valores anuales, de verano y de invierno para esas variables. Estos valores se obtuvieron de la base de datos del IPCC (<http://ipcc-ddc.cru.uca.ac.uk/>) para las coordenadas entre 15° - 31° Norte, y entre 90° a 114° Oeste. Cabe señalar que estos datos son una combinación de los datos observados con los datos producidos a partir de modelos climáticos, consistentes con el clima global modelado y que difunde el IPCC. Aún así, es necesario tomar con reserva los valores que se muestran en las gráficas siguientes, pues, como se mencionó en la sección anterior, la reproducción del clima observado por parte de los modelos tiene sus limitaciones. Sin embargo, la confianza en estos datos es mayor entre mayor sea la escala de agregación que se emplea (http://www.cru.uca.ac.uk/~%7etimm/cty/obs/TYN_CY_1_1.html).

Para el caso de las temperaturas de verano (promedio de los meses de junio, julio y agosto; figura 2.9.a), se tiene un cambio de 0.21°C en 95 años (consistente con los cambios observados a nivel global, ver figura 2.3a).



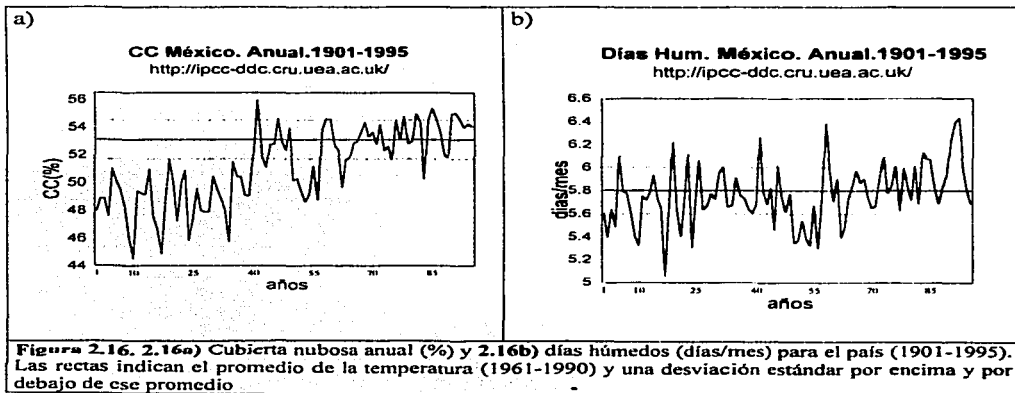
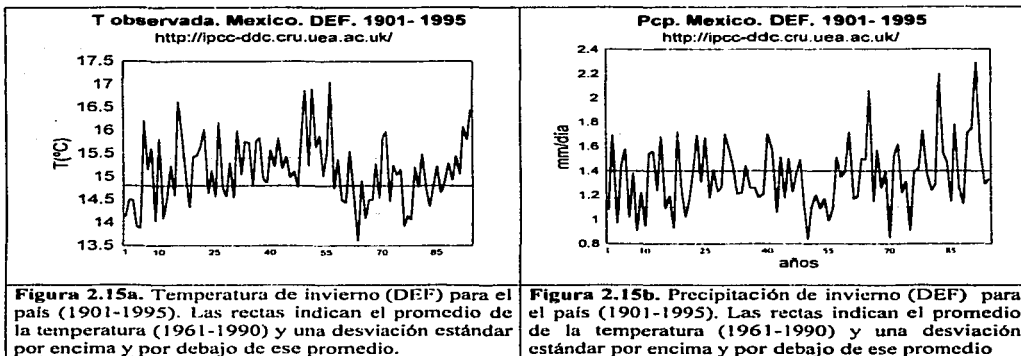
Si consideramos los valores para la precipitación, se observa un incremento de alrededor de 0.36 mm/día en 95 años (figura 2.13.b). Además, en las dos series también se aprecia un incremento en la variabilidad. Se observa que asimismo que para la precipitación se han presentado condiciones de lluvias de verano anómalas por debajo o por encima de la normal (por fuera del rango de una desviación estándar) con más frecuencia desde la década de los ochentas.

Para el caso del invierno (meses diciembre, enero y febrero), la series (1901 a 1995) de la temperatura y precipitación (figuras 2.15a y 2.15b), se observan también tendencias positivas: un ligero incremento en la temperatura de 0.06°C, y de 0.20 mm/día para la precipitación. Para esta última variable se muestra una clara tendencia al aumento a partir de la década de los ochenta.

Otras variables climatológicas de interés son la cubierta nubosa y los días húmedos. La primera permite calcular la radiación solar que llega a la superficie, ingrediente fundamental para el desarrollo de los diversos cultivos de importancia económica. La segunda también es relevante para los mismos cultivos, pues, además de la lluvia total, nos permite saber si las condiciones de humedad requerida por esos cultivos son satisfactorias. En las figuras 2.16a y 2.16b se muestran las series de tiempo (1901 – 1995) para estas dos variables para el país, observándose que también se ha producido un incremento notorio. El aumento en la cubierta nubosa (de 6.8 % en 95 años) puede implicar una disminución de la

TESIS COE
 FALLA DE CUBIERTA

radiación en superficie. Por otra parte, el incremento en los días húmedos (0.31 días por mes), puede relacionarse con un aumento en la humedad, en principio benéfico para las actividades agrícolas.



Sin embargo, como en el caso de la temperatura y la precipitación, se observa que la variabilidad también ha aumentado con el tiempo. Puede afirmarse que la variabilidad climática es determinante para los procesos agrícolas y para la toma de decisiones por parte de los agricultores; un incremento en la variabilidad dificulta las labores en el campo, ya que éstas están adecuadas a las condiciones climáticas esperadas, considerando dentro de ellas tanto a los promedios como a la variabilidad de los parámetros básicos dentro de cierto rango.

Una forma de medir los riesgos asociados a la variabilidad, es el análisis de aquéllas combinaciones de variables climáticas que se salen de un rango de tolerancia (ver capítulo I), entrando a lo que se puede llamar el *espacio de riesgo*, que se tratará con más detalle en la siguiente sección.

En términos de las regiones de Douglas, podemos observar que la distribución estacional de la precipitación tiene diferencias regionales importantes (ver figura 2.17). Particularmente, resalta la importancia que tienen las lluvias de invierno en la península de Baja California, y la importancia de las lluvias a partir de julio en la mayor parte del noroeste de México.

Por otra parte, la llamada *canicula*, se presenta en las regiones del noreste (Golfo de México) y en el sureste del país (particularmente las regiones 8, 14, 16, 17 y 13). La intensidad y duración de este fenómeno también puede afectar a las actividades agrícolas en las regiones citadas (Conde y Eakin, 2003).

Las variaciones espaciales de la precipitación que se observan en la figura anterior y en la figura 2.18, nos muestran que existen regiones en México con menos de 500 mm anuales promedio (región 1 (Baja California Sur) por ejemplo, con 116 mm), mientras que existen regiones con más de 1000 mm anuales (región 15 (Veracruz y Oaxaca), con 2700 mm). Estas diferencias son relevantes para los estudios de los posibles impactos de la variabilidad y el cambio climáticos, pues indican cuál es la lluvia esperada o requerida por los sistemas (humanos y naturales) de cada región.

TESIS CON
FALLA DE CUBRIM

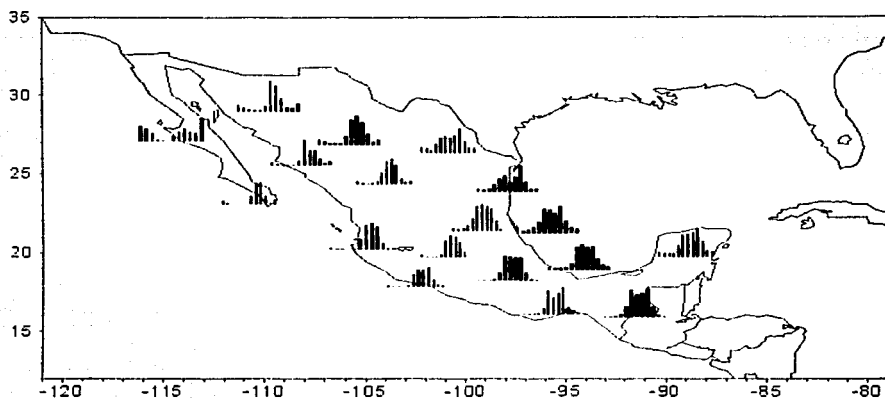


Figura 2.17. Distribución media mensual de la precipitación (1961 – 1990) en las 18 regiones de Douglas.

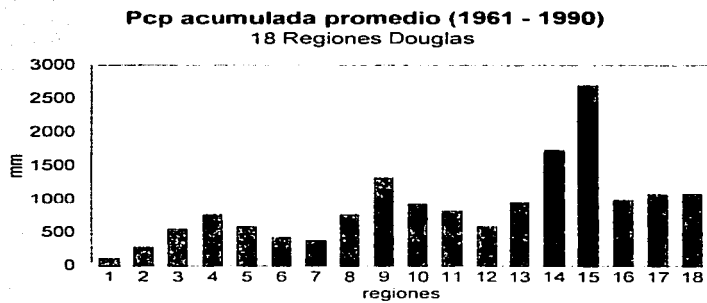


Figura 2.18. Lluvia acumulada promedio durante el periodo 1961 -- 1990, para las 18 regiones de Douglas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las 18 regiones también presentan variaciones en cuanto a la tendencia en la precipitación (Morales *et al*, 2002), considerando el periodo de 1945 a 1994 (50 años). En la figura 2.19 (ver tabla 2.8) se puede observar la tendencia al aumento en la precipitación en 13 de las 18 regiones, particularmente en la región 3, correspondiente a Sonora (Magaña y Conde, 2003). Resalta que los decrementos en la precipitación más importantes se dan en la región 15 (Veracruz y Oaxaca). Esta tendencia al aumento en la precipitación coincide con lo señalado a nivel del país (figuras 2.14^a y 2.15^a). Aún así, además de las tendencias, es interesante notar que es posible que la variabilidad de la precipitación se haya incrementado para algunas regiones, esto es, que se presenten de un año a otro, o en periodos más largos, cambios de condiciones de lluvia muy por encima de lo normal, a otro con lluvia por debajo de lo normal.

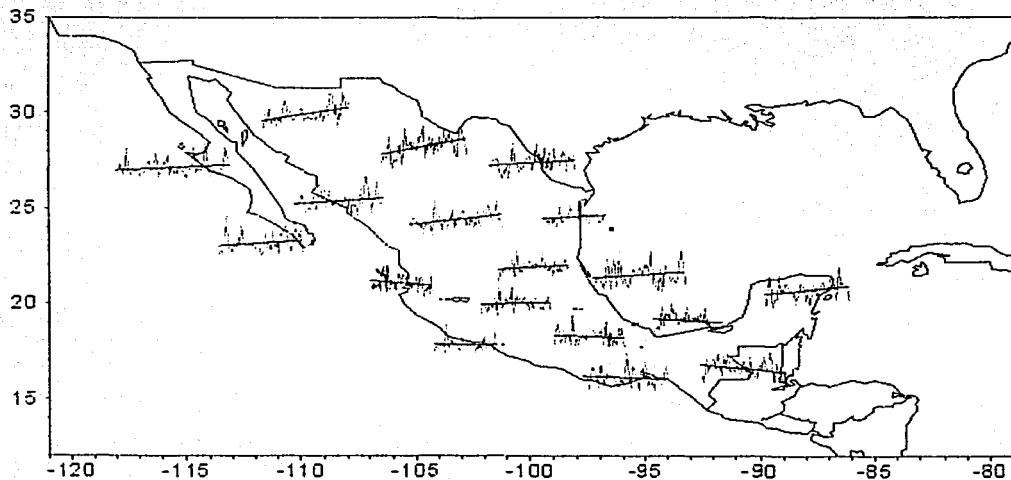


Figura 2.19. Tendencias en la precipitación anual durante el periodo de 1945 a 1994. (Morales *et al*, 2002).

Tabla 2.8. Tendencias en la precipitación (1945 – 1994) en las 18 regiones de Douglas.

Región	Tendencia 1945 – 1994 (mm/50 años)	Región	Tendencia 1945 – 1994 (mm/50 años)
1	+ 0.8	10	+ 0.2
2	+ 1.2	11	+ 0.6
3	+ 3.5	12	+ 1.8
4	+ 1.7	13	- 1.1
5	+ 3.4	14	+ 3.4
6	+ 2.6	15	- 4.3
7	+ 1.4	16	- 1.7
8	+ 1.8	17	- 3.5
9	- 2.4	18	+ 2.5

Se muestran en negritas las regiones con tendencia a una disminución en la precipitación

Para el análisis de la **temperatura**, se seleccionaron las variaciones de la temperatura de **verano** para las 18 regiones de Douglas ya que esta estación es la más calurosa, a excepción de la región 13, con la primavera como el periodo con mayores promedios de temperatura (particularmente los meses de abril y mayo). La base de datos correspondiente termina, para la mayoría de las regiones, en 1984 (tabla 2.9), faltando entonces la mitad de esa década y la década de los 90s, que incluye a 1998, el año más caliente desde 1861 (IPCC, WGI, 2001).

Observamos que existen diferentes signos en las tendencias (figura 2.20) según la región considerada. Sin embargo, en la mayoría de las regiones (12 de 18) se presenta una tendencia a la disminución (tabla 2.9) para el periodo de 1941 – 1984, particularmente para las regiones 3,7,10 y14.

Si se obtienen los datos para las 18 regiones para ese periodo de la base de datos del IPCC (<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>) según las mallas mostradas en la tabla 2.5, observamos (ver columna 4, tabla 2.9), que la tendencia al enfriamiento es más acentuada, aunque se obtienen igualmente calentamientos en las regiones 15, 16 y 17. Para ambos casos el promedio para el país es de -0.37°C (Douglas) y de -0.47 (IPCC). Además, la tendencia en los datos de Douglas coincide en signo en 15 de las 18 regiones, por lo que es posible considerar a los datos del IPCC como una fuente confiable para el análisis de estas regiones utilizando un periodo más largo.

La tendencia al enfriamiento en alrededor de -0.4°C promedio para las regiones de Douglas para el verano, es consistente con lo establecido para la temperatura anual promedio para el

país durante el siglo XX calculada por New (New *et al*, 2000; tabla 2.3b). También es consistente con el enfriamiento observado a nivel global anual entre la década de los 40s y los 80s (ver figura 2.3a).

A pesar de lo anterior, si se considera la serie de datos del IPCC para el periodo de 1901 – 1995, se observa que la mayoría de las regiones se han calentado durante el verano, tal que se obtiene un promedio para el país de +0.27 °C. Lo anterior indica el gran peso que tiene en la serie de temperaturas de verano para la década de los 90s.

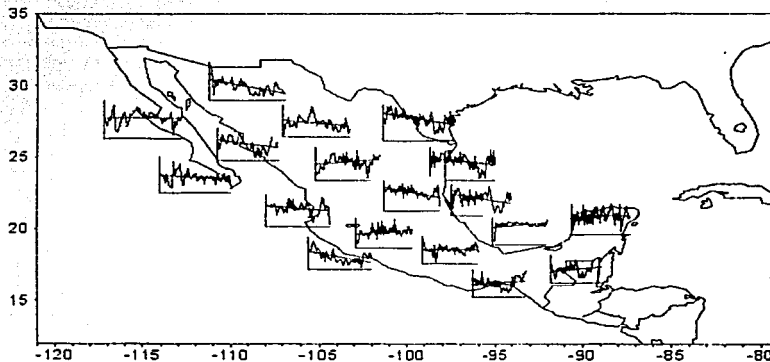


Figura 2.20. Tendencias en la temperatura de verano durante el periodo de 1941 a 1984.

Tabla 2.9. Tendencias de la temperatura de verano para las 18 regiones de Douglas.

regiones	Serie Douglas Años registrados	Douglas (°C)	IPCC 1941-1984 (°C)	IPCC 1901- 199(°C)
1	1941-1984	0.03	-0.11	0.78
2	1942-1984	-0.60	-0.73	0.81
3	1941-1984*	-1.46	-0.54	0.37
4	1941-1984*	-0.58	-0.98	0.02
5	1941-1984*	-0.82	-0.86	0.14
6	1941-1984	0.54	-1.27	-1.04
7	1941-1984*	-1.63	-1.13	-0.54
8	1941-1984*	-0.73	-0.84	0.27
9	1941-1984	-0.38	-0.65	-0.33
10	1941-1984	-1.17	-0.51	0.22

TECN. CON
FALLA DE ALIEN

11	1941-1984	0.49	-0.44	0.14
12	1941-1984	-1.39	-0.28	0.56
13	1941-1984	-0.07	-0.12	0.87
14	1941-1984*	-1.22	-0.28	0.56
15	1945-1983	1.15	0.10	0.94
16	1941-1984*	0.67	0.44	0.62
17	1952-1984	0.40	0.37	0.45
18	1941-1984*	0.06	-0.63	-0.07
promedio		-0.37	-0.47	0.27

* indica año incompleto. En negritas los años de no coincidencia en signo

Por lo anterior, es posible suponer que se puede construir un escenario base para la temperatura considerando el periodo 1961 – 1990 a partir de los datos del IPCC, ya que cumplen con las condiciones de ser públicas y confiables. Además, sería posible entonces tener escenarios base semejantes a los que se están construyendo para los estudios actuales de cambio climático. Sin embargo, si comparamos los escenarios base para la temperatura empleados en el Estudio de País (Gay, 2001), que se generaron mediante la base de datos de Doulgas para el periodo 1951 – 1998, con los datos obtenidos a partir de la base del IPCC, observamos (figura 2.21) que para algunas regiones existen diferencias importantes (por ejemplo, las regiones 3 y 4), mientras que para otras regiones los valores para la temperatura de verano son bastante aceptables (por ejemplo, regiones 1, 11 y 18). Aún así, cabe señalar que si se consideran las dos bases de datos, el promedio de temperatura de verano para el país es similar: 25.7°C para el caso Douglas, y 25.3°C para el caso IPCC.

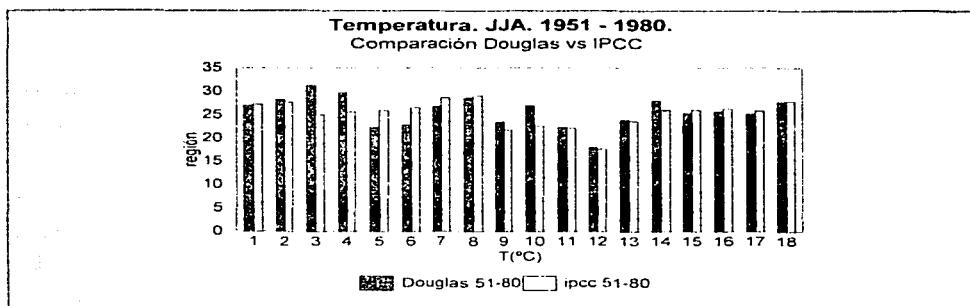


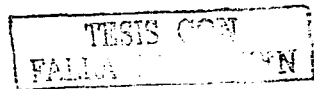
Figura 2.21. Comparación del escenario base (1951-1980) para la temperatura de verano entre el generado usando los datos regionales de Douglas y los del IPCC para esas regiones.

Finalmente, es posible concluir que las variaciones en la intensidad y la distribución de lluvias espacial y temporalmente serán uno de los factores más importantes a considerar bajo condiciones de cambio y/o variabilidad climática. Particularmente, la variabilidad climática puede ser fuente de un aumento en la vulnerabilidad de los sistemas productivos del país, como es la agricultura. Este aspecto lo trataremos con mayor detalle en la siguiente sección, además de que pueden verse los artículos anexos a este trabajo (Conde y Eakin, 2003; Magaña y Conde, 2003) que tratan los estudios de caso de Tlaxcala y Sonora.

3.2 El Niño y sus impactos en México.

Uno de los estudios más relevantes de los impactos de este evento en México se sintetiza en el libro editado por Magaña (1999, <http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/nino.htm>). En él se describen tanto las características generales del fenómeno como las del clima regional en México que se ven alteradas por él. Básicamente, se puede afirmar que durante veranos de El Niño se tienen temperaturas mayores a las normales, mientras que la precipitación puede llegar a ser menor (en ocasiones, mucho menor) a lo esperado. Durante el invierno, las lluvias en las regiones norte y costeras del Pacífico pueden llegar a ser torrenciales (Magaña *et al*, 1998; Cavazos *et al*, 1990), mientras que la temperatura durante ciertos inviernos de años Niño ha alcanzado valores muy por debajo de lo normal. Puede afirmarse que, en general, el evento de La Niña produce condiciones climáticas contrarias a las observadas durante los eventos Niño, como es la mayor precipitación durante el verano y la menor precipitación durante el invierno. Sin embargo, no todos los años Niño son de igual magnitud ni duración, y sus impactos en México dependen de la región y el sector analizados.

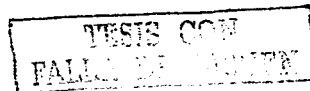
El invierno de El Niño de 1991 – 1992 se presentó con lluvias mucho más intensas para el norte del país que El Niño de 1982 – 1983 (Magaña, 1999b). Así, los impactos regionales dependen, además de la intensidad del evento, también de las condiciones de los otros factores de gran y mesoescala que determinan a ese clima regional.

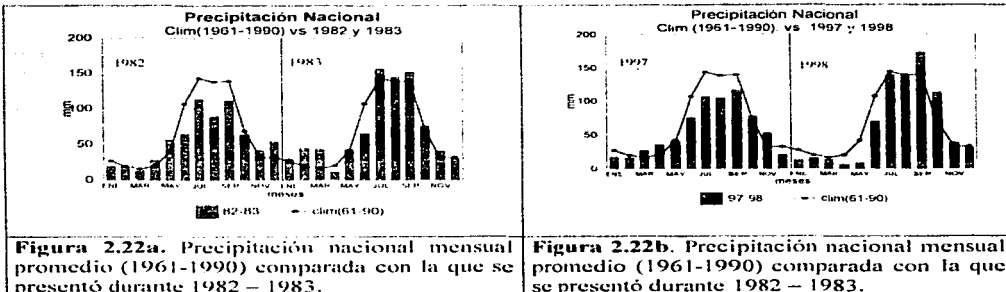


Aparentemente, los *nortes*, que afectan principalmente al Golfo de México, aumentan durante estos eventos Niño (Magaña, 1998). Asimismo, es probable que el número de huracanes del Pacífico tropical aumente durante esos eventos, si bien aún no es posible afirmar que estos llegan más a las costas mexicanas, o que son más intensos. También se asocia a El Niño la probable disminución de huracanes y tormentas tropicales en el Atlántico. Todas las posibilidades anteriores son difíciles de determinar de manera contundente, dada la alta no – linealidad del sistema climático.

Las figuras 2.22a y 2.22b muestran las comparaciones de la precipitación (promedio 1961 – 1990) a nivel nacional con las lluvias que se presentaron los años 1982 – 1983 y 1997 – 1998, años de Niños fuertes. Es interesante notar que, durante el primer año del fenómeno, el decremento en las lluvias de verano es muy importante; resalta también la posibilidad del incremento en las lluvias de invierno (para el caso 1982 – 1983). Es notable el incremento en la precipitación para el caso del Niño de 1997 – 1998, durante el invierno (diciembre del primer año, enero y febrero del segundo). Otra condición importante que se distingue en los dos eventos, es el posible retraso o distribución irregular en las lluvias de primavera durante el segundo año del evento, así como el aumento en las lluvias de otoño (particularmente septiembre) durante el segundo año del evento, cuando El Niño se ha debilitado. Por supuesto, la relación entre las lluvias en México y las temperaturas del océano en la región de El Niño sólo explica de manera parcial el comportamiento de estas precipitaciones, pues sólo cuando se dan casos de Niños fuertes es posible detectar alguna señal de este fenómeno en el país.

En los artículos que se anexan a esta tesis se describen los impactos de las condiciones relacionadas con El Niño para una región en el norte del país (Magaña y Conde, 2003) y para una en la región central (Conde y Eakin, 2003).





Podemos observar que, si bien la sequía intraestival o *cunicula* no se presenta en todas las regiones de México (Figura 2.17), es clara su presencia en la precipitación del país durante el primer verano del evento El Niño (en las figuras 2.22 durante 1982 y 1997). En los términos empleados por los campesinos de la región centro del país (Tlaxcala), se diría que *la cunicula no viene con agua*, lo que representa un impacto severo a los cultivos de temporal.

En la figura 2.23 se muestra un ejemplo para México de lo que se denomina *espacios de riesgo* asociados a extremos climáticos. Se pueden observar las variaciones desde 1901 a 1995 de la precipitación (en %) y de la temperatura observada (en °C) durante el verano (datos de figuras 2.12). Los lados de los rectángulos muestran una o dos desviaciones estándar con respecto al periodo 1961 – 1990. En la figura se resaltan los eventos ENSO más importantes desde los años 40's así como aquellos años señalados como con sequía para diferentes regiones del país (Jáuregui, 1995; Florescano, 1980, Conde *et al.*, 1999). Así, los años en los que las anomalías de ambas variables están fuera de los rectángulos citados, se encontrarían en un espacio de riesgo, esto es, podrían provocar impactos sumamente negativos en los sistemas (humanos o naturales) bajo estudio. Esto permite poder evaluar aquellos niveles (umbrales) en los que se puede producir un impacto climático ya que indican cuáles son las condiciones climáticas que conllevan el *riesgo* de que sean rebasados los límites de tolerancia de un sistema. Esto implica que, en lugar de tratar de ser predictivo en cuanto al clima futuro, se realiza primero un análisis de aquellos eventos que han rebasado los límites (en este caso 1 o 2 sigmas) y los impactos que estos

han tenido en los sistemas para los que se requiere analizar su vulnerabilidad y sus posibles medidas de adaptación. Así, una helada, un periodo de sequía, una inundación, son las amenazas a los que se les puede asignar una probabilidad.

Se observa que durante el verano los déficit en la precipitación y los incrementos en temperatura son importantes durante los eventos fuertes El Niño (particularmente en el primer año del evento), tal como se mencionó en párrafos anteriores. De los 16 años en los que la precipitación es menor que la normal en una sigma (desviación standard) o menos, 9 corresponden a eventos El Niño (56%). De los 13 eventos en que la temperatura es mayor que la normal, 5 corresponden a eventos (38%) El Niño. En contraste, durante eventos La Niña, los incrementos en la precipitación y las disminuciones en la temperatura pueden ser considerables. De los 13 años en los que la lluvia es mayor (en una sigma o más) que la normal, 5 (38%) corresponden a eventos La Niña. En cuanto a la temperatura normal, de 14 años en la que ésta es menor de lo normal, 3 corresponden (21%) fueron años La Niña.

México verano JJA. 1901 - 1995 Espacios de Riesgo

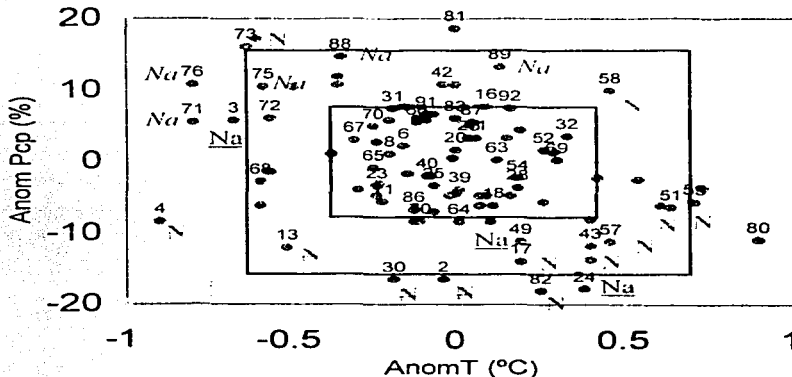


Figura 2.23. Espacios de Riesgo para México. Se utilizan las anomalías de precipitación y temperatura de verano para los años 1901 a 1995 (ver figuras 2.11). Se denota con *N* a los años de Niños y con *Na* a los años de Niñas fuertes. Los años marcados como *NA* o como *N*, provienen de otra fuente que las citadas en el texto (<http://www.edc.noaa.gov/ENSO/enso.kd.html>).

TESTE
FALLA DE

Considerando las 18 regiones de Douglas, es posible distinguir variaciones espaciales entre las condiciones generales del país para la precipitación durante fuertes eventos de El Niño. En la tabla 2.10, se muestran las anomalías estandarizadas estacionales de la precipitación durante el evento 1982 - 1983, con respecto al promedio de 1961 - 1990. Para el año de 1982, además de las anomalía anual, sólo se examinan las estaciones de verano (JJA: junio, julio y agosto) y de otoño (SON: septiembre, octubre y noviembre), por considerar que en estas dos estaciones es posible encontrar alguna señal del evento (figuras 2.24 a, b y c). Para 1983, y se consideran las anomalías anuales, 4 estaciones del año (DEF, MAM; JJA y SON, (figuras 2.25 a, b, c, d y e). Resalta el hecho de que para el verano de 1982 la anomalía estandarizada (sigma) promedio para las 18 regiones es de -1.6, mientras que para el invierno de 1982 a 1983 es positiva, de +1.2. Para la primavera de 1983, la anomalía estandarizada promedio es de -0.5 y para el otoño de ese mismo año es de +0.5. Así, como se puede ver en las figuras siguientes, es posible pensar que el sistema "país" es afectado sensiblemente por estos cambios (en signo y magnitud) a lo largo de año o año y medio que puede durar este evento.

Tabla 2.10. Anomalías estandarizadas estacionales (sigmas) de precipitación con respecto a 1961-1990.

región	1982			1983				
	anual	JJA	SON	anual	DEF	MAM	JJA	SON
1	-0.2	-0.3	-0.7	2.8	1.4	1.9	2.7	2.1
2	0.9	-1.0	2.0	1.9	1.7	-0.4	2.5	-0.2
3	-0.4	-1.3	1.2	2.3	1.5	-0.5	-0.2	3.2
4	-0.3	-1.6	1.2	1.3	1.7	-0.3	-0.6	1.6
5	-0.2	-1.0	-0.2	0.8	1.5	0.3	-1.4	0.8
6	-1.4	-1.4	-0.6	-0.3	1.6	0.2	-0.9	0.0
7	-0.3	-1.0	-0.6	-0.5	1.9	-0.5	-0.4	-0.6
8	-1.4	-1.8	-1.2	0.6	1.5	-0.3	0.0	0.4
9	-1.8	-2.4	-0.1	0.6	1.4	-0.2	-0.4	0.5
10	-1.4	-2.1	-0.0	0.6	-0.2	0.6	-0.9	0.5
11	-1.6	-2.0	-0.8	0.7	0.8	-0.4	1.1	-0.1
12	-1.8	-2.3	-1.2	-1.1	0.5	-1.6	-0.7	-0.3
13	-2.1	-2.6	-0.7	-1.0	1.1	-1.6	-0.9	0.1
14	-1.9	-2.4	-0.2	-0.7	0.7	-1.9	-0.1	-0.7
15	-1.5	-1.8	-0.6	-0.0	-0.5	-1.9	0.5	0.2
16	-0.9	-1.4	-0.4	-0.6	1.6	-1.7	-0.9	0.0
17	-0.3	-1.3	0.6	0.0	2.7	-1.3	-0.1	0.3
18	0.7	0.0	0.9	1.9	1.3	0.7	2.2	0.6

TESIS CON
FALLA DE ...

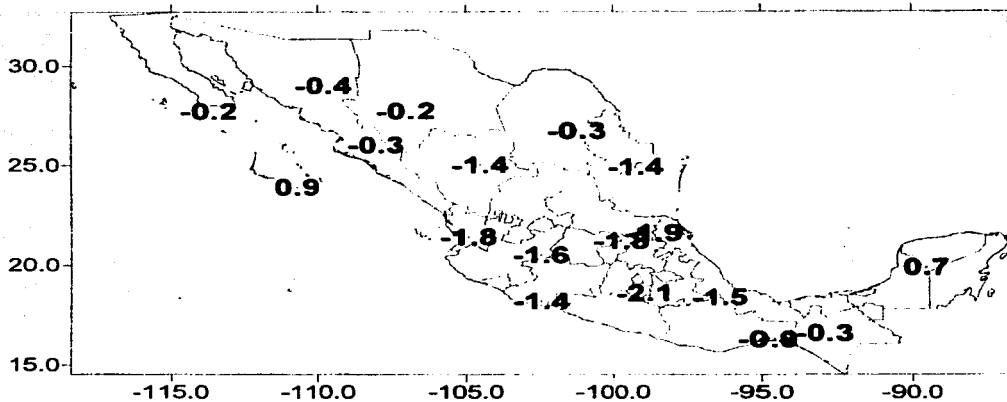


Figura 2.24a. Anomalías de precipitación anual para 1982 (sigmas con respecto al promedio 1961-1990).

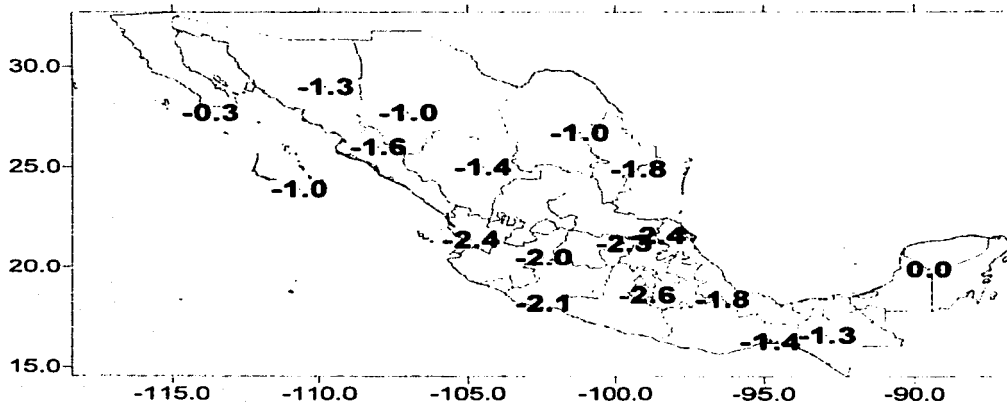
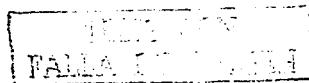


Figura 2.24b. Anomalías de precipitación estandarizadas para el verano de 1982 (sigmas con respecto a 1961-1990)



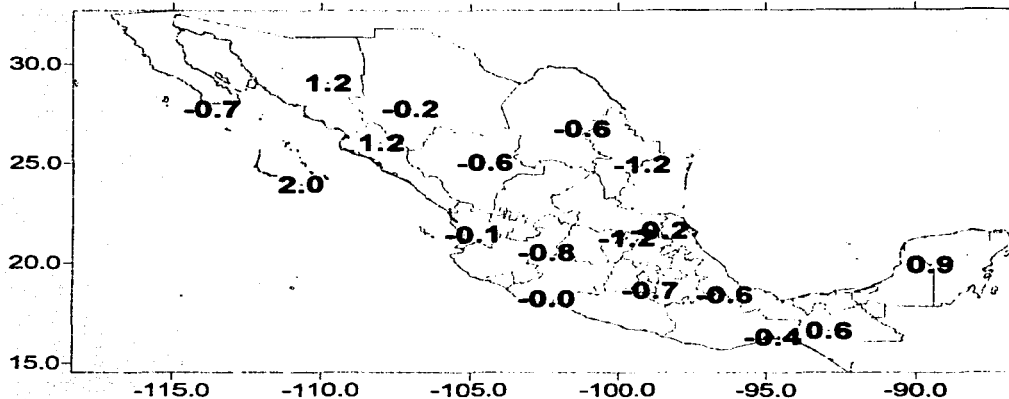


Figura 2.24c. Anomalías de precipitación estandarizadas para al otoño de 1982 (sigmas con respecto a 1961 -1990).

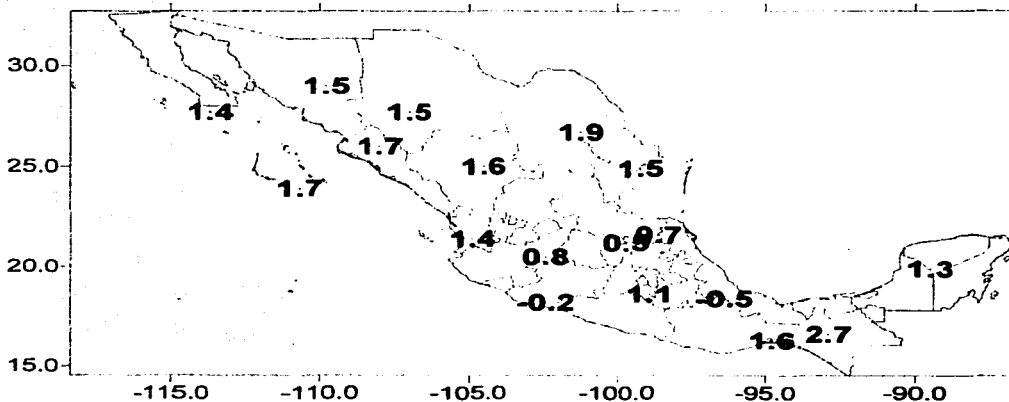


Figura 2.25a. Anomalías de precipitación estandarizadas para el invierno (DEF) de 1982 - 1983 (sigmas con respecto a 1961 -1990).

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA
 FALDA DE LA SIERRA

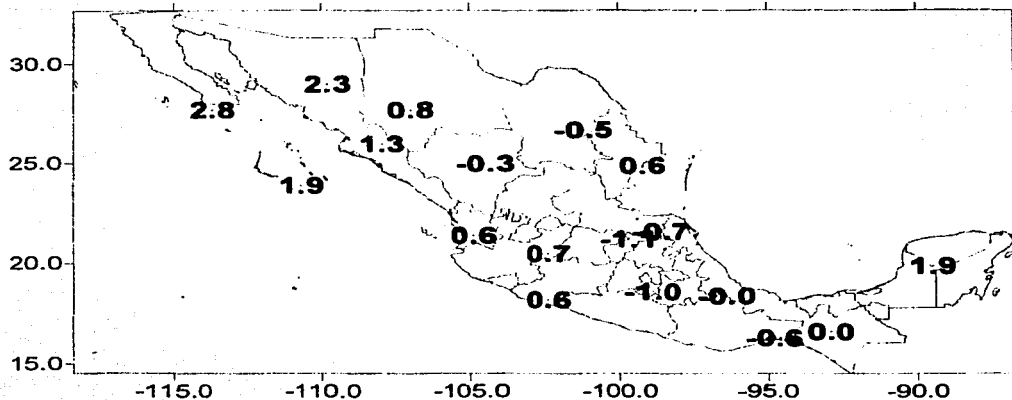


Figura 2.25b. Anomalías de precipitación anual para 1983 (sigmas con respecto al promedio 1961-1990).

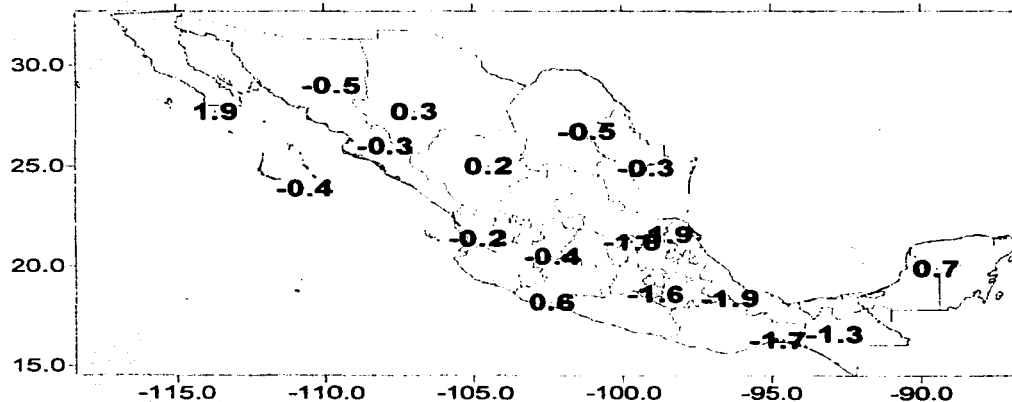


Figura 2.25c. Anomalías de precipitación estandarizadas para la primavera (MAM) de 1983 (sigmas con respecto a 1961-1990).

TERMINADO
FALLA DE ...

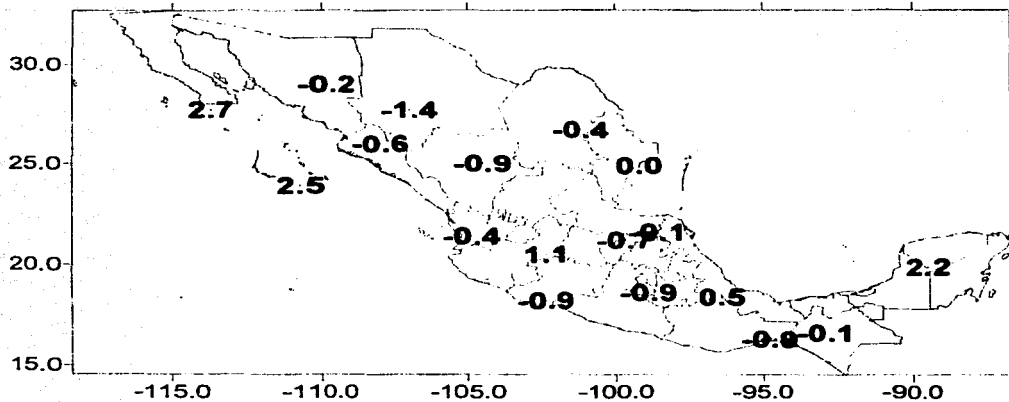


Figura 2.25d. Anomalías de precipitación estandarizadas para el verano (JJA) de 1983 (sigmas con respecto a 1961–1990).

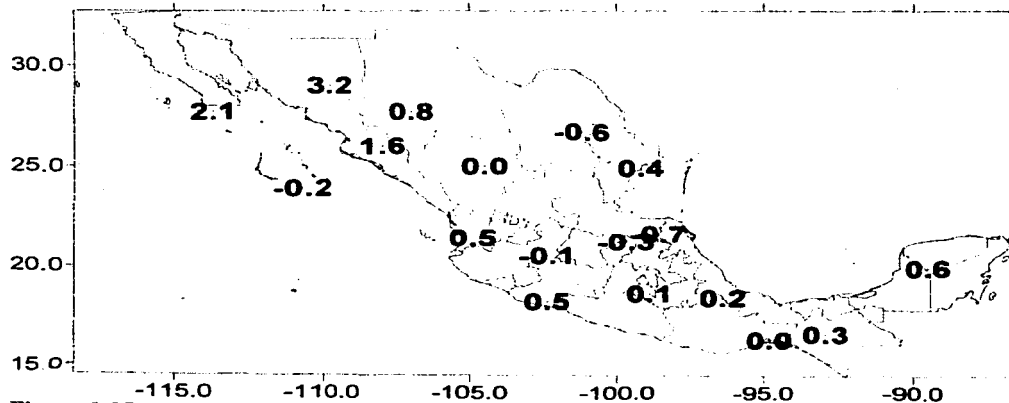


Figura 2.25e. Anomalías de precipitación estandarizadas para el otoño (SON) de 1983 (sigmas con respecto a 1961–1990).



Es interesante la relación que guarda la precipitación en las 18 regiones y la temperatura del mar en la región del Niño 3 (SST3), como se muestra en las figuras 2.26a y 2.26b. Los valores de los coeficientes de correlación (entre -0.6 y $+0.3$) para las lluvias de verano son negativos para todas las regiones, excepto para la región 18. Esto significa que, los valores positivos para las anomalías SST3 – que se presentan en condiciones de El Niño – pueden estar asociados a disminuciones en las lluvias de verano. Mientras que las correlaciones positivas (con valores entre -0.1 y $+0.6$) de invierno, excepto para la región 15, pueden relacionarse con un aumento en las lluvias para ese periodo. Dado que estas correlaciones se establecieron para toda la serie de datos desde 1951 hasta 1994, los coeficientes de correlación son bajos, ya que durante ese periodo hubo menos de seis eventos fuertes de Niño, por lo que este evento llega a explicar, en el mejor de los casos, hasta un 30% de la variabilidad de las lluvias (Magaña, 1999).

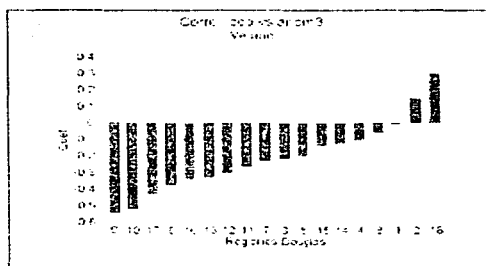


Figura 2.26a. Coeficientes de correlación entre la precipitación de verano para las 18 regiones de Douglas y la temperatura del mar en la región del Niño 3.

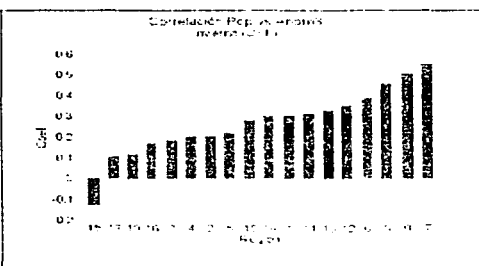


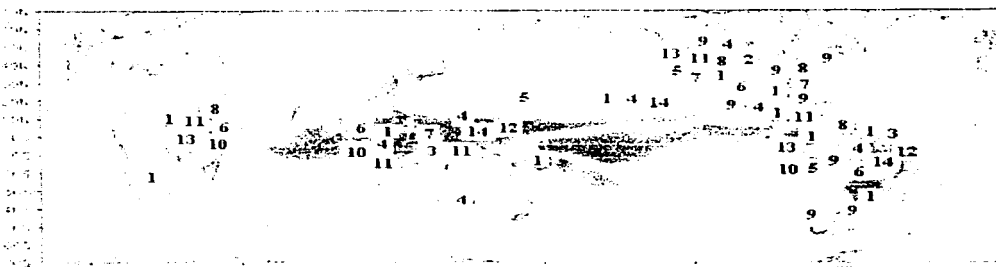
Figura 2.26b. Coeficientes de correlación entre la precipitación de invierno para las 18 regiones de Douglas y la temperatura del mar en la región del Niño 3.

En cualquier caso, las condiciones generales durante fuertes eventos del Niño durante los periodos 1982 – 1983 y 1997 – 1998, pueden servir como un método para pronosticar las posibles condiciones de lluvia y temperatura para México durante estos eventos. De hecho, el comportamiento general de la lluvia (inicio, distribución, e intensidad) inicio a nivel nacional durante 1997 – 1998 fue análogo al periodo 1982 – 1983 (figuras 2.22). Esta posibilidad fue aplicada durante el proyecto “Uso de pronósticos climáticos para la

Agricultura en Tlaxcala (Magaña *et al*, 1997), y resultó de gran utilidad (ver Conde y Eakin, 2003 y capítulo 3).

Los impactos del Niño 1997 – 1998 a nivel global (figura 2.27) en los sectores productivos, como la agricultura, la ganadería y las pesquerías, fueron de tal magnitud que han impulsado fuertemente el estudio regional de sus efectos y las medidas de prevención. De hecho, el valor de un pronóstico acertado para condiciones de El Niño se ha calculado en términos de lo que se dejaría de perder cuando se aplican acciones de prevención. El “pronóstico acertado” está asociado a la anticipación con que se emita éste, a lo acertado en la región y estación del año para el que se haga. Además, y por supuesto, depende en gran medida de que los actores que sufren o se benefician de ese evento tengan la información, los recursos y la capacidad de ejercer esos recursos.

Impactos Sociales de El Niño 1997 / 1998



1. Daños Cultivos /Ganado	8. Aumento en Pestes
2. Cortes de Energía	9. Daños en Propiedad
3. Hambre	10. Menor turismo
4. Incendios	11. Problemas de transporte
5. Pérdidas pesquerías	12. Problemas sociales
6. Riesgos sanitarios	13. Pérdida de vida silvestre
7. Muertes	14. Racionamiento de Agua

Figura 2.27a. Impactos sociales de el fuerte Niño 1997 – 1998. Fuente: <http://www.cpc.noaa.gov/>

De la figura 2.27, podría pensarse que los mayores impactos ocurren en Norteamérica. sin embargo, lo más probable es que estos impactos estén mucho mejor documentados en esa región que en otras latitudes. También es cierto que la severidad de los impactos en

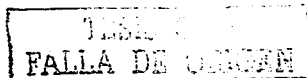
América del Sur, particularmente en Brasil, se deben no sólo a la intensidad del evento sino a las condiciones de extrema pobreza que se presentan en algunas regiones, por ejemplo, en el Noreste de ese país (Glantz, 2000).

Como puede observarse en la figura, los impactos de el Niño en Latinoamérica y el Caribe fueron considerables, del orden 8.5 mil millones de dólares (Magaña, 2002). Las sequías causaron bajas en la productividad en las cosechas, los incendios forestales en 1998, los mayores en los últimos 50 años, con pérdidas de 400,00 Ha de bosques en México provocaron grandes pérdidas de bosques y biodiversidad en general (<http://xolo.conabio.gob.mx:8000/website/Incendios/>). También fueron grandes las pérdidas (humanas y materiales) por inundaciones en Perú, Ecuador, Chile Argentina y Paraguay (Stern, 1999) así como por la entrada del huracán Paulina a las costas mexicanas. Para el caso de Ecuador (Corporación Andina de Fomento, 2000) ocasionó una disminución importante en la pesca de la anchoveta y otras especies marinas, erosión en inundaciones costeras y daños económicos (directos e indirectos) en las actividades agropecuarias, industriales y turísticas del orden 2.8 millones de dólares, además de afectar la salud y vivienda de diversas localidades en el país.

Los impactos para los estados Baja California en México y California, de los E.U., fueron excepcionales. En esa región llovió 228% por encima de lo normal (Stern, 1999) de enero a mayo de 1998. De tal forma que los cálculos de pérdidas en California ascendían a 500 millones de dólares (USD) para junio de ese año.

Para el caso de México, las pérdidas provocadas por El Niño 1997--1998 fueron calculadas en (Delgadillo *et al*, 1999) 1.83 mil millones de dólares (figura 2.27b), considerando los efectos directos e indirectos en los sectores agropecuarios, pesqueros y forestales.

Diversos esfuerzos se están realizando para generar sistemas de prevención y alerta temprana para prevenir los impactos de El Niño en México (Villalpando *et al*, 2003), evaluando los posibles costos de los sectores socioeconómicos más vulnerables, así como a la capacidad de respuesta de las diversas agencias de gobierno encargadas de responder ante este evento.



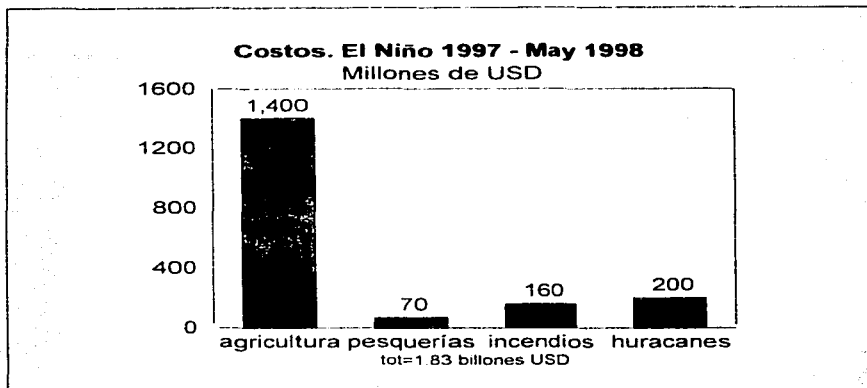


Figura 2.27b. Costos de El Niño 1997 – 1998 en México. (Delgado *et al.*, 1999)

Así pues, los impactos de las variaciones del clima que pudieran ser semejantes a eventos como El Niño, impactarían muy negativamente a los recursos humanos y materiales del país. De ahí que si los escenarios de cambio climático para México apuntaran en esa dirección, la vulnerabilidad del país aumentaría, y los costos de esa vulnerabilidad sólo podrían reducirse con el diseño de estrategias para enfrentar ese posible cambio climático.

TESIS CON
FALLA DE ORDEN

2.4. Escenarios de Cambio Climático para México

Un método para obtener los escenarios de cambio climático para México pueden obtenerse por interpolación simple de los modelos de circulación general, utilizando los escenarios de emisiones utilizados por el IPCC (WGI y WGIII, 2001).

Para ello, es necesario contar con un escenario base al que se le agregarán las anomalías de temperatura y precipitación, como el propuesto para el estudio de país, con las 18 regiones de Douglas (Magaña *et al*, 1997), o bien, para localidades de interés (Conde y Eakin, 2003, Magaña y Conde, 2003). En las tablas 2.11 y 2.12 se presentan los escenarios base de precipitación y temperatura estacionales construidos a partir del promedio de 1961 -1990, que se pueden utilizar para generar los escenarios de cambio climático para México a partir de los 14 modelos de circulación general que se emplean en el Magicc / Scengen, versión 2.4 (Hulme *et al*, 2000a) y que son datos públicos (<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>).

En las figuras 28 (a, b,c y d) y las figuras 29 (a, b, c y d) se muestran los escenarios base (1961-1990) para la precipitación (mm/día) y para la temperatura (°C), correspondientes a los datos de las tablas 2.11 y 2.12.

Tabla 2.11. Precipitación estacional y anual promedio 1961-1990 .

Long (grad)	Lat (grad)	Precipitación (mm/día)				
		DEF	MAM	JJA	SON	ANN
-117.5	32.5	1.7	0.9	0.2	0.7	0.9
-112.5	32.5	0.8	0.4	1.1	0.8	0.8
-107.5	32.5	0.6	0.3	1.6	0.9	0.9
-102.5	32.5	0.5	0.9	1.8	1.4	1.1
-97.5	32.5	1.7	2.8	2.2	2.7	2.4
-92.5	32.5	4	4.1	3.3	3.5	3.7
-87.5	32.5	4.5	4.3	3.9	3.2	4
-82.5	32.5	3.7	3.4	4.2	2.7	3.5
-112.5	27.5	0.6	0.1	0.9	0.6	0.5
-107.5	27.5	0.8	0.3	3.7	1.5	1.6
-102.5	27.5	0.4	0.6	1.5	1.1	0.9
-97.5	27.5	1.2	1.8	2.3	2.6	2
-92.5	27.5	3.8	3.4	4.8	3.8	4
-82.5	27.5	2.3	2.6	6	3.5	3.6
-112.5	22.5	0.4	0	0.9	1	0.6
-107.5	22.5	0.8	0.2	5.9	3.2	2.5

TESIS
FALLA DE LIBROS

-102.5	22.5	0.4	0.4	3.7	1.7	1.6
-97.5	22.5	0.9	1.5	4.7	4	2.8
-87.5	22.5	1.4	1.7	4.8	4.2	3
-82.5	22.5	1.5	2.8	5.7	4.6	3.6
-102.5	17.5	0.3	0.5	6.3	3.8	2.7
-97.5	17.5	0.6	1.3	7.2	4.4	3.4
-92.5	17.5	2.3	2.5	9.1	7.8	5.4
-87.5	17.5	3.2	2.6	7.8	7.2	5.2
-92.5	12.5	0.6	4.6	12.7	10.7	7.2
-87.5	12.5	1	2.5	8.1	6.9	4.6
-82.5	12.5	6.2	4.3	13.4	10.7	8.6

ver figuras 2.28

Tabla 2.12. Temperatura estacional y anual promedio 1961 –1990.

Long (grad)	Lat (grad)	Temperatura (°C)				
		DEF	MAM	JJA	SON	ANN
-117.5	32.5	11.1	14.4	21.6	17.6	16.1
-112.5	32.5	10.5	17.4	28.1	20.1	19
-107.5	32.5	4.9	13.5	23.4	14.6	14.1
-102.5	32.5	6.4	17	26.4	16.9	16.6
-97.5	32.5	7.5	18	27.8	18.8	18
-92.5	32.5	8.2	18.2	27.1	18.8	18
-87.5	32.5	8.4	17.7	26.3	18.5	17.7
-112.5	27.5	16.4	19.3	25.9	23.2	21.2
-107.5	27.5	11.8	18.2	24.5	19.1	18.4
-102.5	27.5	11.7	20.9	27.2	19.8	19.9
-97.5	27.5	14	22.3	28.9	22.8	22
-92.5	27.5	14.1	20.9	27.7	22.5	21.3
-112.5	22.5	18.7	19.4	24.6	24.3	21.7
-107.5	22.5	18.7	21.2	25.9	24.2	22.5
-102.5	22.5	13.9	19.4	21.2	18	18.1
-97.5	22.5	17.8	23.5	26.2	22.7	22.5
-87.5	22.5	23.1	26.1	27.7	26.1	25.7
-102.5	17.5	22.3	24.9	25.2	24.3	24.1
-97.5	17.5	19.8	23	22.9	21.6	21.8
-92.5	17.5	22.1	25.4	25.9	24.4	24.4
-87.5	17.5	23.1	26	26.7	25.4	25.3
-92.5	12.5	24.2	26	25.5	24.9	25.1
-87.5	12.5	23	25.1	24.5	23.8	24.1

ver figuras 2.29

TESIS CON
FALLA DE CUBIEN

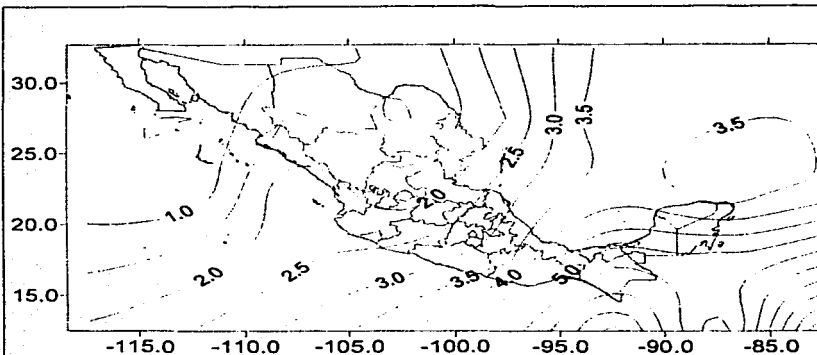


Figura 2.28a.
Escenario base
(1961 - 1990) de
precipitación
anual.

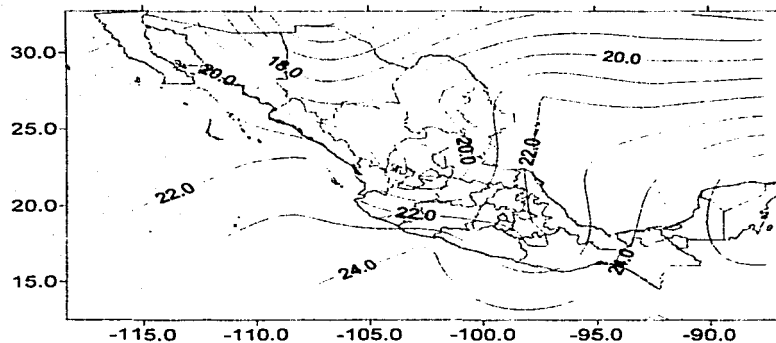


Figura 2.29a.
Escenario base
(1961 - 1990) de
temperatura
anual.

FALLA DE MEXICO

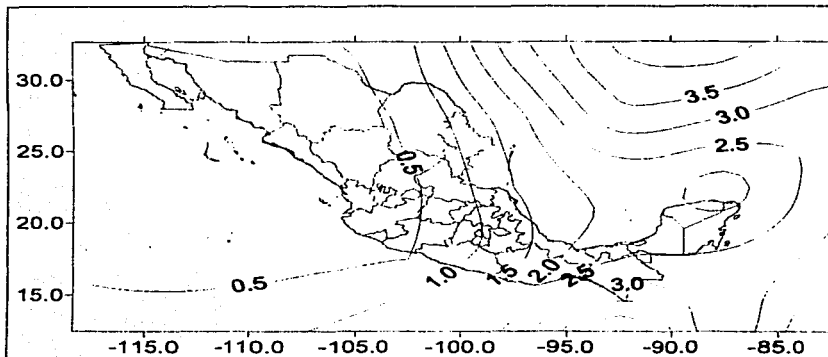


Figura 2.28b.
Escenario base
(1961 - 1990)
de precipitación
(mm/día) para
primavera
(MAM).

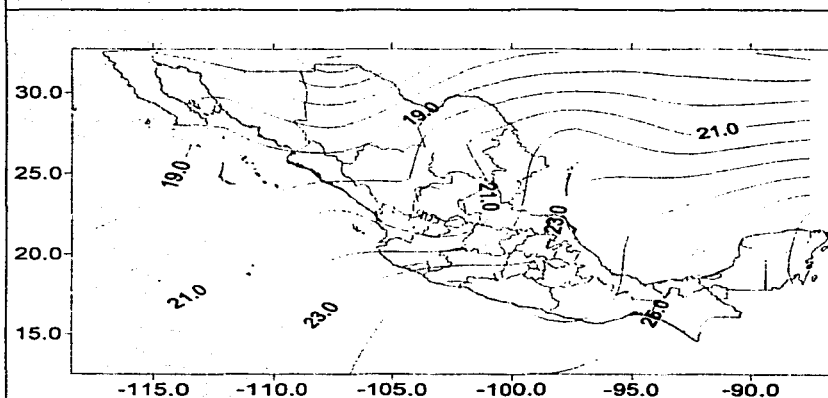


Figura 2.29b.
Escenario base
(1961 - 1990)
de temperatura
(°C)
primavera
(MAM).

TESIS CON
FALLA DE NUBEN

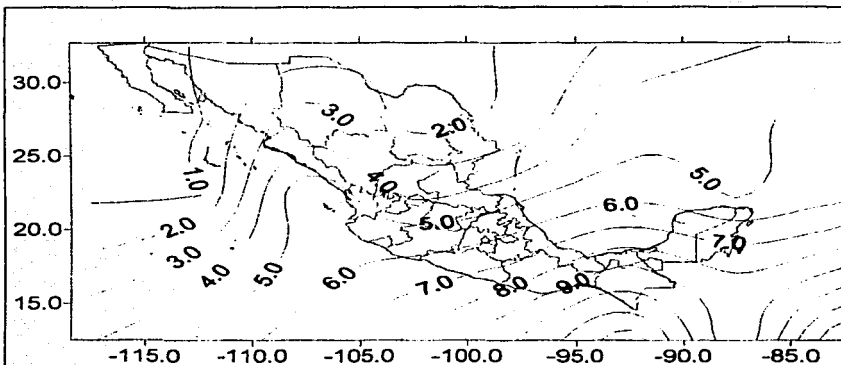


Figura 2.28c.
Escenario base
(1961 - 1990)
de
precipitación
(mm/día) para
verano (JJA).

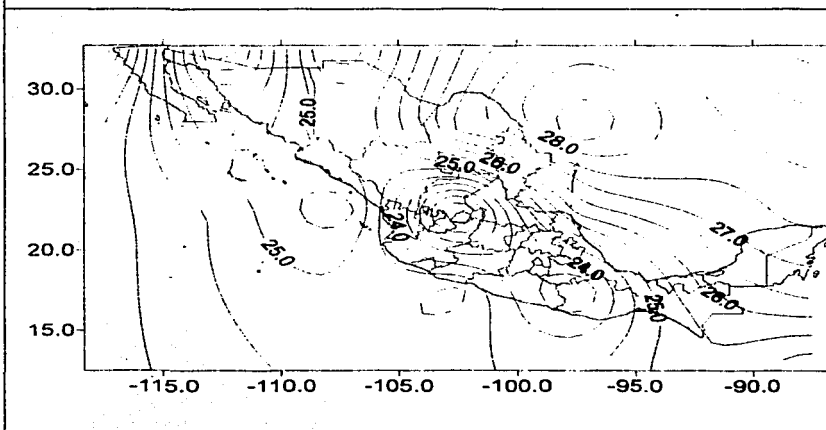


Figura 2.29c.
Escenario base
(1961 - 1990)
de temperatura
(°C) para
verano (JJA).

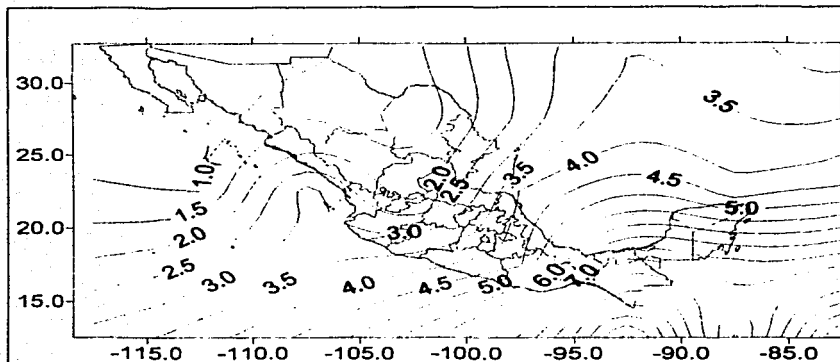


Figura 2.28d.
Escenario base
(1961-1990)
de
precipitación
(mm/día) para
otoño (SON).

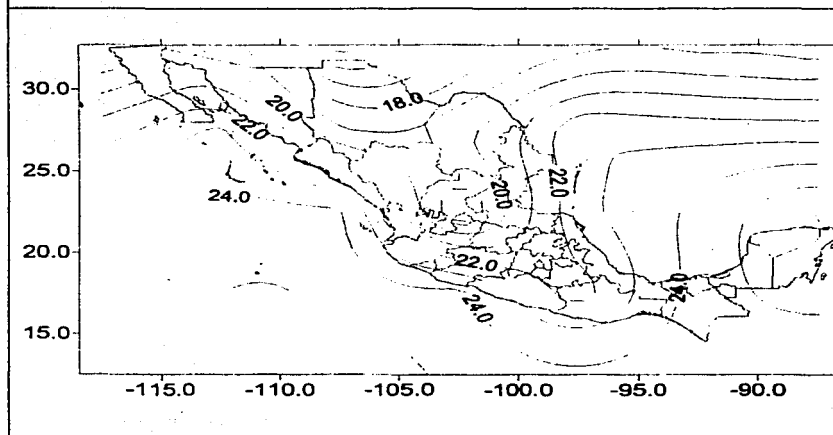


Figura 2.29d.
Escenario base
(1961 - 1990)
de temperatura
(°C) para otoño
(SON).

TRABAJE CON
FALLA DE ORIGEN

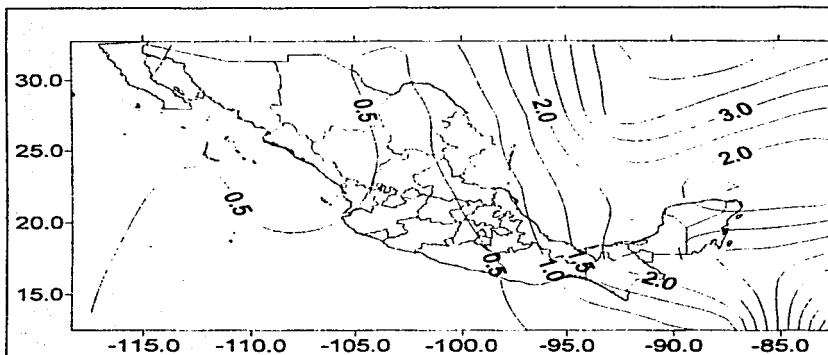


Figura 2.28d.
Escenario base
(1961 - 1990)
de precipitación
(mm/día) para
invierno (DEF).

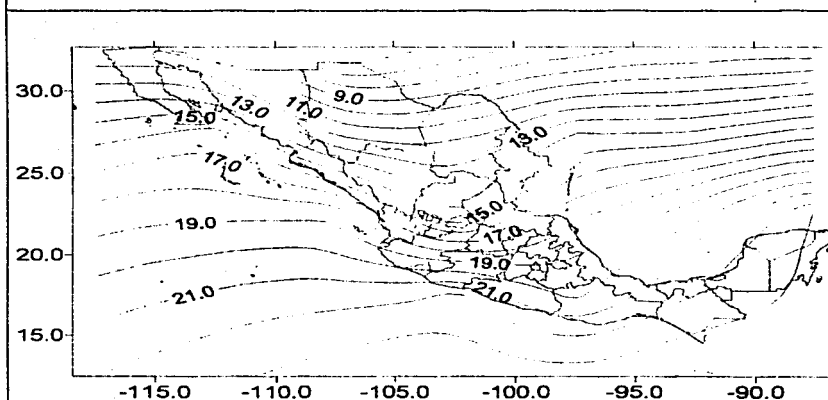


Figura 2.29d.
Escenario base
(1961 - 1990)
de temperatura
(°C) para
invierno (DEF).

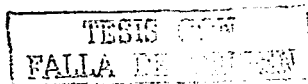
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los escenarios base anteriores, fueron construidos a partir de la base de datos del IPCC, que está incorporada al Magicc /Scngen ((ver sección 2.2). Después de construir los escenarios base, es necesario emplear un conjunto de criterios para seleccionar a los escenarios de cambio climático para los estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación. Esto porque, considerando que hay 4 familias de escenarios de emisiones, 3 posibles sensibilidades, 14 modelos en el Magicc /Scngen, y diferentes años en el futuro (2050, 2080, 2100, por ejemplo) para los cuales generar los escenarios de cambio climático (sin considerar las diferentes estaciones del año y diferentes regiones), se podrían llegar a crear hasta 504 combinaciones posibles.

Un criterio que se puede seguir es el comparar los escenarios base que utilizan los GCMs para el periodo 1961 – 1990 (denominados 1xCO₂ o control) con el escenario base construido para la región o regiones bajo estudio. En este caso, es importante tener en cuenta que se estaría comparando el clima simulado a partir de un modelo con una baja resolución y que no representa la topografía local, con datos climáticos observados que muy probablemente sí reflejen las características topográficas locales.

Este ejercicio fue realizado durante el Estudio de País (Conde *et al*, 1995) para los modelos GFDL (US Geophysical Fluid Dynamics Laboratory; Manabe *et al*, 1991), y el modelo CCC (Canadian Climate Centre; Boer, 1992). Se observó que el escenario que mejor reproducía al clima de las 18 regiones de Douglas (comparando con el promedio de 1951 – 1989) era el GFDL. Posteriormente, se utilizaron las salidas de esos modelos para los estudios de caso de Tlaxcala (Conde y Eakin, 2003, anexo) y Sonora (Magaña y Conde, anexo).

El ECHAM4 (German Climate Research Center /Hamburg Model #4, Roeckner, 1992) y el HadCM2 (elaborado por el Hadley Centre usando la segunda versión del UK Met. Office's Unified Model; Mitchel *et al*, 1999) son dos modelos para los que se ha comparado la climatología de las regiones de Douglas con sus respectivos escenarios para 1961 – 1990 (Morales *et al*, 2002). En el trabajo citado, los autores decidieron que el ECHAM4 simulaba de mejor manera el clima esperado. Cabe aclarar que el HadCM2 está siendo utilizado por los grupos de investigación de Cuba y Centroamérica (Gutiérrez *et al*, 1999; Centella, 1998, por ejemplo) para evaluar los impactos del cambio climático y diseñar estrategias de adaptación.



Considerando lo anterior, se seleccionaron de los 14 modelos posibles, los cuatro modelos citados anteriormente (tabla 2.13). Los cuatro modelos son *accesibles*, pues sus salidas y actualizaciones son públicas (<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>). Además, en los cuatro pueden incluirse los escenarios de emisiones mencionados anteriormente, por lo que la *confiabilidad* de sus resultados es considerable. De las 4 mallas, el HadCM2 tiene la mejor *resolución*, por lo que es un modelo que se ha seleccionado por varios grupos de investigación, particularmente en Latinoamérica. Así, aunado a la comparación con las climatologías de interés, los cuatro cumplen con la mayoría de los criterios mencionados para ser considerados en estudios de impacto (Hulme, 2002).

Tabla 2.13. Características Generales de 4 Modelos de Circulación General

Modelo	Resolución (lat x long)	Niveles Atmósfera	Niveles Océano	1xCO2 ppmv	Sensitividad 2x CO2(°C)
GFDL_R15	4.5x7.5	9	12	300	4
CCC	3.7x3.75	9	19	300	3.5
ECHAM4	2.8°x2.8°	11	11	354	2.6
HadCM2	2.5°x3.5°	19		323	2.5

Fuente: Hulme *et al.*, 200a. IPCC-TGCI.A. 1999

Otro criterio que se sigue (Benioff, 1996) es que con los modelos seleccionados se capte el mayor rango posible de variaciones, asociadas a la forma en que los modelos enfrentan las incertidumbres de las complejas retroalimentaciones en el sistema climático (de ahí que sus sensibilidades sean diferentes, tabla 2.13).

En la figura 2.30, se muestran los cambios de temperatura y precipitación promedio para el país (en una gran malla de 20° x 30° lat/long) propuestos por los 4 modelos. Para realizar una mejor comparación de resultados, se incluyen las salidas del modelo australiano CSIRO – EQ (Commonwealth Scientific and Ind. Research Organization). El escenario de emisiones es el A2, el año es 2050, y se muestran los resultados para dos sensibilidades (media: 2.5 °C, y alta: 4.5°C). Podemos observar que los modelos ECHAM4 y HadCM2 reportan cambios similares (+1.5°C en temperatura y entre -5% y -7%, respectivamente, en la precipitación) para condiciones de sensibilidad media. Los resultados de estos dos

modelos para sensibilidad alta son los de mayor variación (+2.3°C, y -6 y -10%, respectivamente, en precipitación), aunque son también similares en signo.

El modelo GFDL indica cambios positivos en las dos variables consideradas (+1.3°C en temperatura, y +3% en precipitación), aunque los resultados para las sensibilidades media y alta son similares. Para el modelo CCC, prácticamente no hay cambios en la precipitación.

Así, considerando los criterios anteriores, es posible sugerir que sean los modelos GFDL, HadCM2 y ECHAM4 los que se empleen para futuras investigaciones de cambio climático en México.

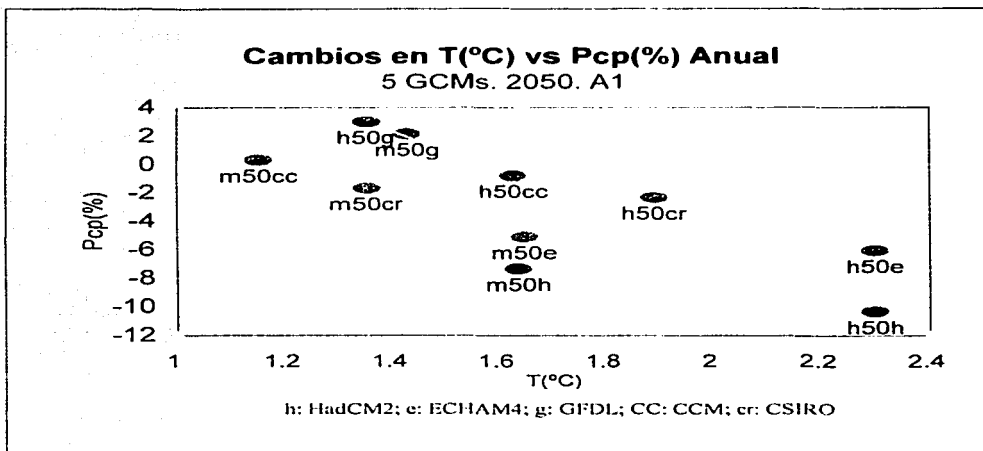


Figura 2.30. Cambios de temperatura y precipitación anual para México, según las salidas de los 5 modelos que se indican y dos sensibilidades (media: m; alta: h). El año seleccionado es 2050, y el escenario de emisiones es A1. Así, la primera letra representa la sensibilidad, el número representa el año 2050, y las últimas letras al modelo empleado.

Considerando entonces estos tres modelos (HadCM2, ECHAM4 y GFDL), con los escenarios de emisiones A1 y B2 para los años 2050 y 2100, con sensibilidades media y alta, es posible iniciar un análisis de las variaciones estacionales y para regiones más específicas en México. Por ejemplo, en las figuras 2.33 y 2.34, se muestran los cambios en

temperatura y precipitación correspondientes al modelo HadCM2 para el verano, considerando el escenario de emisiones A1, sensibilidades media y alta y para el año 2050. Para ilustrar los cambios estacionales, en las figuras 2.31 y 2.32 se muestran las variaciones de temperatura y precipitación para las estaciones de verano (JJA) e invierno (DEF) propuestas por los 5 modelos y para los escenarios de emisiones y sensibilidades mencionadas.

Todos los modelos rebasan la desviación estándar calculada para la temperatura del país para el periodo 1901 – 1995 (mostrada en la figura 2.23), por lo que es posible suponer que existe el riesgo de impactos negativos para los sectores o sistemas bajo estudio, esto es, es posible considerar que su vulnerabilidad aumenta bajo las condiciones señaladas. En cuanto a la precipitación, sólo el modelo HadCM2 se aproxima al rango de riesgo supuesto (-8%). Sin embargo, hay que considerar que los escenarios de cambio climático no muestran los cambios en la variabilidad asociados a los cambios en los promedios climatológicos, por lo que, asociado a ese cambio es muy probable que pueden presentarse eventos que rebasen el umbral crítico (figura 2.4).

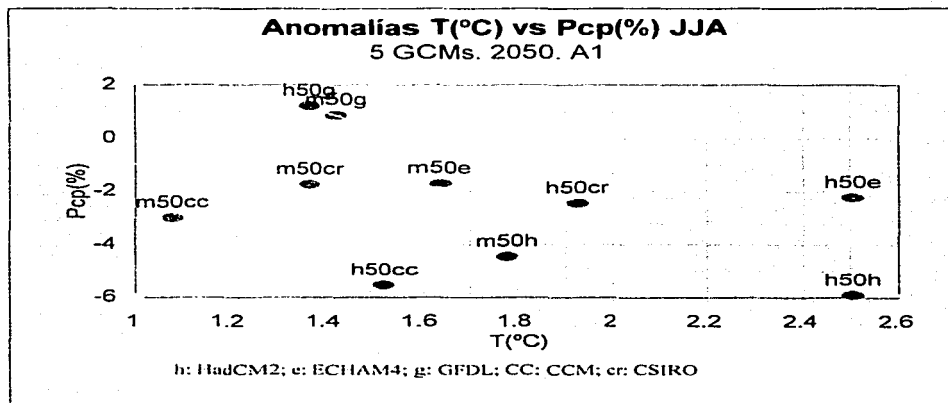


Figura 2.31. Cambios de temperatura y precipitación para el verano (JJA) para México, según las salidas de los 5 modelos que se indican y dos sensibilidades (media: m; alta: h). Notación similar a la figura 2.28.

TESIS CON
FALLA DE

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

De manera análoga, para el invierno (figura 2.32), los 5 modelos muestran cambios en la región de riesgo para la temperatura (mayores de 0.5°C) y es el HadCM2 el que nos muestra un cambio en la precipitación mayor al umbral de riesgo climático (figura 2.22) encontrado para México (menor de 20%).

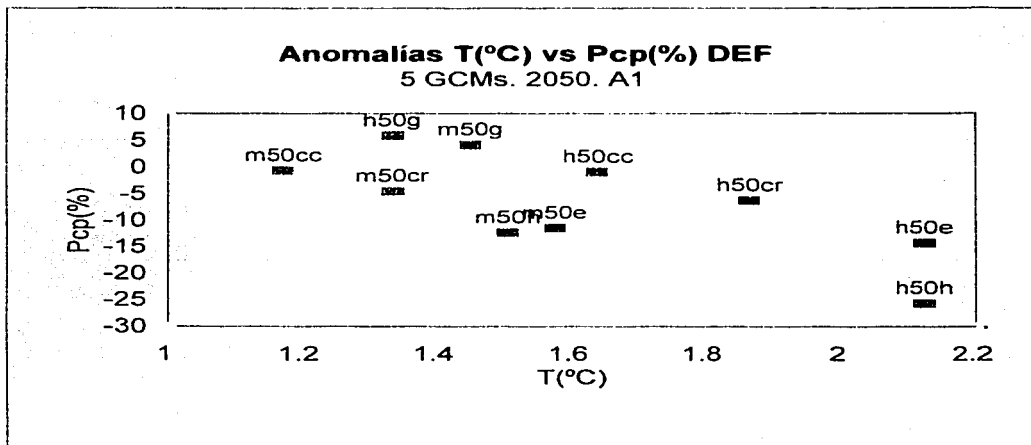


Figura 2.32. Cambios de temperatura y precipitación para el invierno (DEF) para México, según las salidas de los 5 modelos que se indican y dos sensibilidades (media: m; alta: h). Notación similar a la figura 2.28.

Se han construido escenarios de cambio climático anuales para Mesoamérica (Hulme, *et al*, 1999), tomando en cuenta 2 escenarios de emisiones A1 y B2, bajo diferentes sensibilidades (alta, media y baja) y como promedio de 7 GCMs (incluidos los 5 utilizados en el presente trabajo), con resultados dentro de los rangos (ver figura 2.29) y similares a los aquí presentados con el modelo HadCM2: mayor decrecimiento de la precipitación hacia el sur del país y en las partes altas del centro de México, e incrementos en el Noroeste de México (figuras 2.33 a, b). Para el año 2100, prácticamente todo el territorio del país tendría una precipitación menor entre -10% y -35% que la actual.

TESIS
FALLA DE COPIA

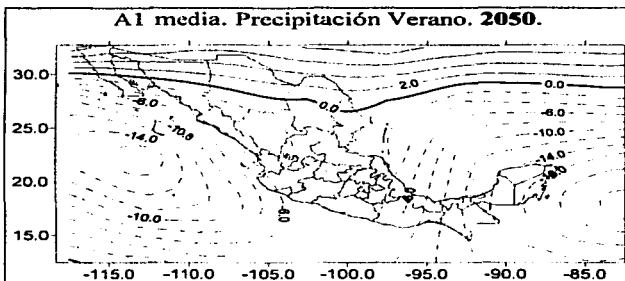


Figura 2.33a. Cambios en la precipitación de verano (%) según el escenario y sensibilidad **media**. Las líneas punteadas señalan decrementos. Modelo HadCM2

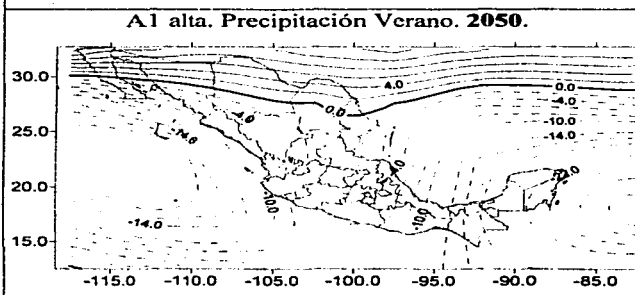


Figura 2.33b. Cambios en la precipitación de verano (%) según el escenario y sensibilidad **alta**. Las líneas punteadas señalan decrementos. Modelo HadCM2

Asimismo, se proyectan mayores incrementos en la temperatura de sur a norte en el país, en especial en el Noreste y Noroeste de México (figuras 2.34 a, b).

Las tendencias en ambas variables se conservan para el año 2100, para ambas sensibilidades. Esto es, decrece de manera importante la precipitación en todo el territorio, a excepción de algunas regiones en el noreste.

TESIS CON
FALLA EN REVISIÓN

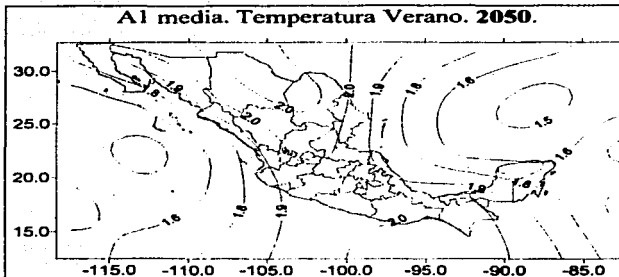


Figura 2.34a. Cambios en la temperatura media de verano (°C) según el escenario y sensibilidad media. Modelo HadCM2.

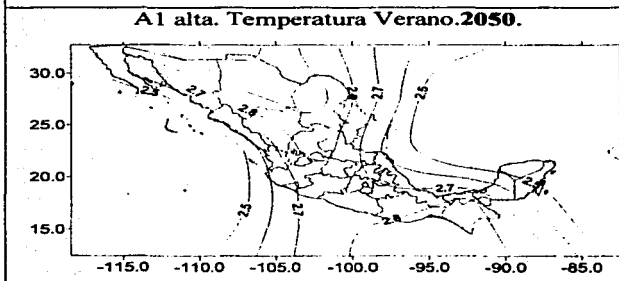


Figura 2.34b. Cambios en la temperatura media verano (°C) según el escenario y sensibilidad alta. Modelo HadCM2.

Para el modelo ECHAM4, se presenta un patrón de cambio en la precipitación diferente, utilizando las mismas sensibilidades y el escenario A1. Aunque también proyecta para el año 2050 un decremento como el HadCM2 (figura 2.31) y un aumento importante en la temperatura, dichos cambios (figuras 2.35 a y b) no se presentan en el país de manera tan homogénea, particularmente, para la región centro se tendrían incrementos de precipitación, mientras que para las regiones noroeste y sureste, se presentarían los decrementos. Sin embargo, estas dos tendencias no son tan notables como en el modelo HadCM2.

TRABAJOS
FALLA

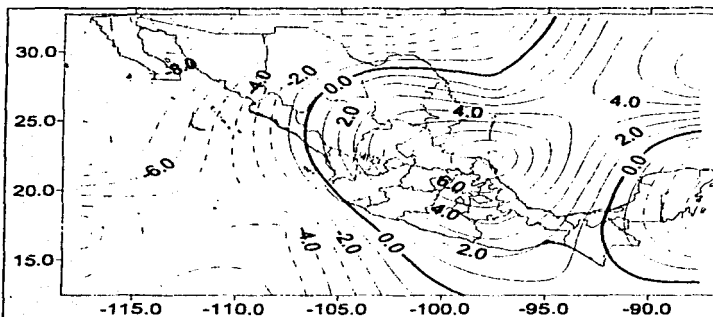


Figura 2.35a. Cambios en la precipitación media anual (%) según el escenario y sensibilidad media y para el año 2050. Las líneas punteadas señalan decrementos. Modelo ECHAM4

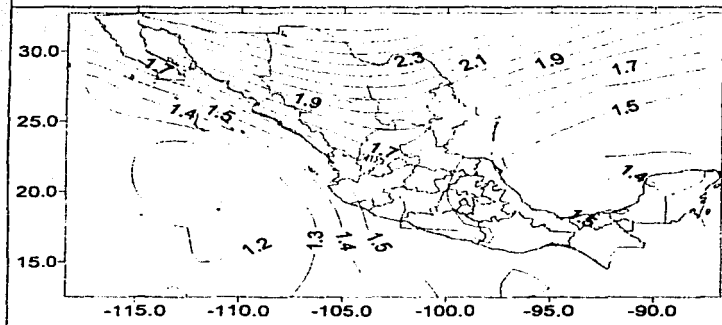
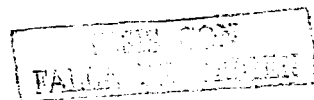


Figura 2.35b. Cambios en la temperatura media anual (°C) según el escenario y sensibilidad media y para el año 2050. Modelo ECHAM4.

Todos estos escenarios apuntan a un incremento en el riesgo climático, ya que los cambios en la temperatura y precipitación proyectados son similares o rebasan las condiciones que se han presentado en el pasado durante eventos extremos (como durante años de fuertes ENSO). Esto puede traducirse en un aumento en la vulnerabilidad del país, si el clima futuro se asemeja a condiciones de EL Niño permanentes, por ejemplo. Esto obliga a analizar en profundidad las medidas de adaptación que se han aplicado en caso de eventos climáticos adversos, evaluando la viabilidad de dichas medidas en un futuro.



Capítulo 3. Vulnerabilidad y Adaptación. Dos Estudios de Caso: Tlaxcala y Sonora.

En este capítulo se describen algunos de los resultados publicados en el apartado de artículos (Conde y Eakin, 2003, Magaña y Conde, 2003) bajo la óptica de los estudios actuales de V&A (vulnerabilidad y adaptación). Los métodos para los nuevos estudios aún están en proceso de elaboración (Conde y Lonsdale, 2003), por lo que los estudios de caso se discuten bajo el nuevo enfoque descrito en los capítulos anteriores.

3.1 El estudio de caso de Tlaxcala.

El proyecto de investigación realizado en Tlaxcala durante 1997 a 1999: *Uso de Pronósticos Climáticos para la Actividades Agrícolas de Tlaxcala* (Magaña *et al*, 1997), ofreció la oportunidad para realizar estudios de variabilidad y cambio climático con la participación de los agricultores, investigadores y tomadores de decisiones del Estado. Varios artículos arbitrados (Conde & Eakin, 2003, Conde *et al*, 1999, por ejemplo) y tesis de maestría y licenciatura (Orozco, 2000; Ferrer, 1999, por ejemplo), resultaron de ese estudio.

El trabajo realizado en este proyecto (tabla 3.1) siguió una de las directrices más importantes para realizar los nuevos estudios de cambio climático. Ésta se refiere a la integración de los actores claves del sector y región del estudio, en cada paso del proceso de investigación.

Por lo anterior, se incluyó este estudio como un ejemplo en el Marco para Políticas de Adaptación (APF, por sus siglas en inglés, 2003), ya que puede ser un ejemplo para las futuras investigaciones en cuanto a la organización del equipo de trabajo y la interacción con los actores clave de la región y sector (Conde y Lonsdale, 2003).



Tabla 3.1. Proyecto Tlaxcala. Descripción de los objetivos, resultados parciales, tareas, áreas, temas de investigación, actores involucrados y métodos para involucrar a esos actores (Conde y Lonsdale, 2003)

Objetivos y Resultados	Tareas	Revisión/Investigación	Actores Involucrados	Métodos
<p>1997 Primer Semestre:</p> <p>Diseño y aprobación</p> <p>Presentación a los actores del proyecto: aprobación de objetivos, métodos, plan de trabajo y presupuesto</p>	<p>Organización del equipo de trabajo</p> <p>Selección del sector y región</p> <p>Selección de métodos y modelos.</p>	<p>Estudios climáticos: Clima regional.</p> <p>Métodos y modelos del Estudio de País.</p> <p>Compromisos con organizaciones internacionales (IAI; USCSP) y nacionales (INIFAP, SEMARNAT)</p> <p>Revisión de programas nacionales y regionales: Agricultura, Medio Ambiente, Desarrollo</p>	<p>Equipo de trabajo: + Investigadores en áreas de clima, agricultura, medio ambiente, agua, estudios sociales. + Expertos regionales en clima y agricultura (UNAM; UAT; U.de Arizona).</p> <p>Políticos: + representantes de la oficina de cambio climático (INE) + representantes regionales de los organismos de agricultura, medio ambiente y desarrollo + Líderes de organizaciones agrarias (públicas y privadas):</p>	<p>Seminarios y Talleres</p> <p>Entrevistas, reuniones y talleres</p>
<p>1997 Segundo Semestre:</p> <p>Primer diagnóstico de la Vulnerabilidad Actual</p> <p>Bases de datos climáticas y socioeconómicas, directorio de los expertos y tomadores de decisiones regionales.</p>	<p>Desarrollo de pronósticos estacionales regionales</p> <p>Análisis de posibles impactos regionales y eventos siniestranes</p>	<p>Estudios climáticos: ENSO, correlaciones con clima regional y producción de maíz.</p> <p>Modelos agrícolas</p> <p>Diagnóstico socioeconómico, impactos climáticos del pasado, documentación de las medidas de adaptación aplicadas durante esos eventos.</p>	<p>Equipo de Investigación: Climatólogos de UNAM, UAT, Biólogos, agrónomos de UNAM, UAT, Geógrafa experta en vulnerabilidad social, U. De Arizona</p> <p>Políticos: + Líderes agrarios regionales y locales + Agricultores y líderes de los municipios seleccionados.</p>	<p>Seminarios y Talleres, tesis de maestría y licenciatura</p> <p>Entrevistas, encuestas y grupos focales.</p>
Objetivos y Resultados	Tareas	Revisión/Investigación	Actores Involucrados	Métodos
<p>1997 Primer Semestre:</p> <p>Diseño y aprobación</p> <p>Presentación a los actores del proyecto: aprobación de objetivos, métodos, plan de trabajo y presupuesto</p>	<p>Organización del equipo de trabajo</p> <p>Selección del sector y región</p> <p>Selección de métodos y modelos.</p>	<p>Estudios climáticos: Clima regional.</p> <p>Métodos y modelos del Estudio de País.</p> <p>Compromisos con organizaciones internacionales (IAI; USCSP) y nacionales (INIFAP, SEMARNAT)</p> <p>Revisión de programas nacionales y regionales: Agricultura, Medio Ambiente, Desarrollo</p>	<p>Equipo de trabajo: + Investigadores en áreas de clima, agricultura, medio ambiente, agua, estudios sociales. + Expertos regionales en clima y agricultura (UNAM; UAT; U.de Arizona).</p> <p>Políticos: + representantes de la oficina de cambio climático (INE) + representantes regionales de los organismos de agricultura, medio ambiente y desarrollo + Líderes de organizaciones agrarias (públicas y privadas):</p>	<p>Seminarios y Talleres</p> <p>Entrevistas, reuniones y talleres</p>

TRABAJO COMPLETADO
VALLES Tlaxcala

Tabla 3.1. (cont.)

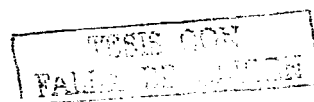
Objetivos y Resultados	Tareas	Revisión/Investigación	Actores Involucrados	Métodos
<p>1997 Segundo Semestre:</p> <p>Primer diagnóstico de la Vulnerabilidad Actual</p> <p>Bases de datos climáticas y socioeconómicas, directorio de los expertos y tomadores de decisiones regionales.</p>	<p>Desarrollo de pronósticos estacionales regionales</p> <p>Análisis de posibles impactos regionales y eventos siniestros</p>	<p>Estudios climáticos: ENSO, correlaciones con clima regional y producción de maíz.</p> <p>Modelos agrícolas</p> <p>Diagnóstico socioeconómico, impactos climáticos del pasado, documentación de las medidas de adaptación aplicadas durante esos eventos.</p>	<p>Research team: Climatologist from UNAM, UAT, Biologists, agronomist from UNAM UAT, Geographer expert in social vulnerability issues, UNAM</p> <p>Policy makers: + Regional and local agricultural leaders. + Farmers and their leaders from selected counties</p>	<p>Seminarios y Talleres, tesis de maestría</p> <p>Entrevistas, encuestas y grupos focales.</p>

Reorganizando los resultados en términos de lo sugerido en el APF (ver figura 1.3), podemos decir lo siguiente:

3.1.1. Definición/ Alcance. Estudios de Cambio y Variabilidad climáticos. Selección de Sectores y Participantes.

El sector seleccionado para ese estudio fue el agrícola en el Estado de Tlaxcala, productores de maíz de temporal, actividad que depende fuertemente del clima. La región bajo estudio comprendió análisis a nivel estatal, municipal y sitios en donde se realizaron los estudios de simulación del cultivo de maíz. Doce municipios fueron seleccionados para realizar el análisis climático (Pérez, 2001; Orozco, 2000), entre ellos el municipio de Apizaco en donde se profundizaron los estudios de la producción de maíz (Ferrer, 1999; Conde *et al.*, 2000) y en donde el 98% de los cultivos se realizan en condiciones de temporal (INEGI, 1996), que sólo permite una cosecha al año (Trautmann, 1991), siendo el maíz el más cultivado en el municipio (71% de los cultivos anuales).

Los participantes del equipo de investigación interdisciplinario fueron físicos de la atmósfera, biólogos, geógrafos, y agrobiólogos. El proyecto fue dirigido por Víctor Magaña y Carlos Gay (Magaña, 1997a) por la UNAM, y por Tomás Morales, de la Universidad de Tlaxcala.

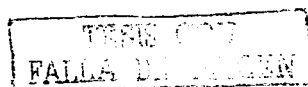


Los actores regionales involucrados fueron la Fundación PRODUCE, AC, El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP, 1997), la organización gubernamental llamada Desarrollo Rural y varios campesinos de los municipios bajo estudio. Con ellos se realizaron varios talleres, reuniones informativas y se les entregó impreso el pronóstico climático durante tres años.

Los estudios climáticos (Conde *et al*, 1999, por ejemplo) y sociales (Ferrer, 1999; Eakin, 2002) revelaron que los eventos climáticos más siniestros para la producción de maíz de temporal son las heladas (85% de los encuestados, Ferrer, 1999), y las granizadas (9.5% de los encuestados). También existe una gran preocupación por el cambio en el patrón de lluvias (85% de los encuestados, Ferrer, 1999), que pueden estar asociadas a eventos como sequías y las lluvias torrenciales. Otra preocupación importante era la intensidad de la llamada canícula (Magaña *et al*, 1999b) o sequía de medio verano (MSD, por sus siglas en inglés) expresada por los agricultores en términos de “la canícula viene con agua o no”.

Para el caso del evento El Niño, se concluyó que las heladas son más frecuentes durante estos eventos (Morales *et al*, 1999) y que las sequías pueden presentarse durante el verano del primer año del evento y durante la primavera del segundo evento (Conde *et al*, 1998), si bien en las primeras entrevistas efectuadas durante 1997 se observó que los campesinos asocian a la sequía con el invierno (no lluvia) o con los días en la canícula.

Durante esas primeras entrevistas, fue claro que los agricultores tenían altas expectativas de producción para ese año (rendimientos igual de buenos que el año anterior), lo que ilustra el hecho de que ninguno de los métodos tradicionales de pronóstico (cabañuelas, rueda salomónica) indicaba el fuerte evento de El Niño 1997 – 1998. Por lo tanto, los agricultores son muy vulnerables a la sequía, en tanto que no esperan que éstas ocurran en primavera o verano, ni tienen métodos que les permitan prever estas condiciones durante un ciclo agrícola. Por lo tanto, un pronóstico climático como el que se sigue elaborando en la Universidad de Tlaxcala, puede aumentar la capacidad adaptativa de estos agricultores a la sequía. Sin embargo, el conocimiento del clima regional o local que tienen los agricultores fue clave para el desarrollo de la investigación. Además, estudios posteriores revelaron que



sí existe entre algunos campesinos la percepción y la preocupación del cambio en las condiciones climáticas (Conde y Ferrer, 2003).

Los escenarios de cambio climático fueron elaborados aplicando los métodos propuestos por el Estudio de País (Gay, 2000; Ferrer, 1999) y por los métodos estadísticos (Magaña, 1996, Pérez, 1997).

3.1.2. Evaluación de Impacto y la Adaptación. Análisis de Sensibilidad y Aplicación de Modelos.

En los nuevos estudios de cambio climático se sugiere realizar la evaluación de los impactos y de las posibles adaptaciones a ellos de manera conjunta (capítulo 1, figura 1.3), por lo que en esta sección se delimitan algunos elementos que se describen con mayor detalle en el artículo anexo (Conde, C., H. Eakin, 2003). Aquí la discusión estará limitada a la descripción de los pronósticos climáticos como una herramienta que puede emplearse para la puesta en práctica de medidas de adaptación a eventos climáticos adversos.

Durante el proyecto citado (Magaña *et al*, 1997), se realizaron pronósticos climáticos estacionales para los años 1997, 1998 y 1999, mediante el método de análogos históricos (considerando eventos fuertes de El Niño en el pasado) y a métodos estadísticos de *downscaling* mencionados en la sección anterior y descritos en el capítulo 2.

El pronóstico climático para 1998 fue particularmente útil (figura 3.1), no sólo por su correspondencia con lo posteriormente observado, sino también porque fue emitido a tiempo (marzo) para la toma de decisiones y porque incluía las características esenciales solicitadas por los productores. Además, después de un año de reuniones periódicas con los productores involucrados en el proyecto, estos pudieron tomar medidas adaptativas en función de ese pronóstico. Decidieron cultivar avena forrajera en lugar de maíz basándose en este pronóstico y en las opciones que les plantearon las autoridades de la Secretaría de Agricultura (SAGAR, 1998). Esta decisión se tomó en mayo, con la suficiente anticipación para encontrar precios bajos para esta semilla.

TESIS CON
FALLA DE CALIDAD

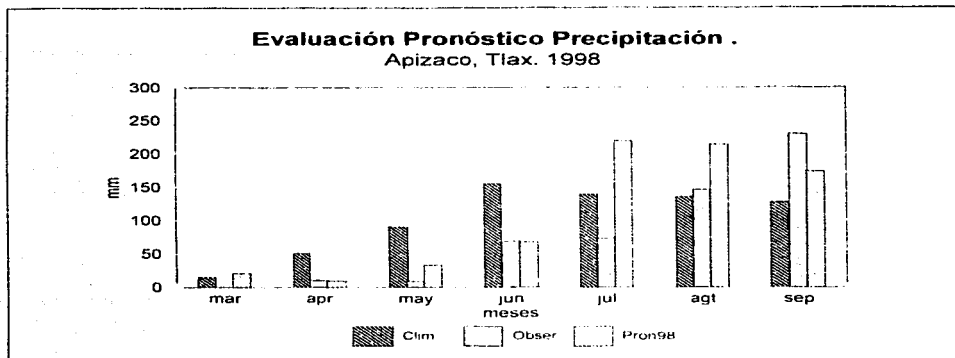


Figura 3.1. Evaluación del pronóstico mensual para la precipitación emitido en marzo de 1998. *Clim* se refiere a los valores promedio 1961 - 1990. *Obser* se refiere a los datos de lluvia observada, recabados un año después, y *Pron98* se refiere al pronóstico elaborado mediante los métodos señalados en esta sección

También el modelo de simulación agrícola seleccionado (Ceres - Maize; Jones *et al.*, 1986) utilizado para evaluar y pronosticar la producción de maíz de temporal mostró que las pérdidas en la producción serían importantes (figura 3.2) para la producción primavera - verano en los años 1997 y 1998 (Conde *et al.*, 1999a; Conde, C., H. Eakin, 2003).

Además del modelo de simulación agrícola fue el Ceres - Maize, se aplicaron modelos agroclimáticos para evaluar la frecuencia de heladas, el inicio y fin del periodo húmedo (en términos de los requerimientos térmicos e hídricos del maíz). Las fechas importantes para el desarrollo del cultivo (siembra, emergencia de la planta, floración, madurez y cosecha) llamada fenología del maíz, fueron obtenidas de las entrevistas realizadas a los productores (presentadas en reportes internos; Ferrer, 1999) y con expertos de INIFAP.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

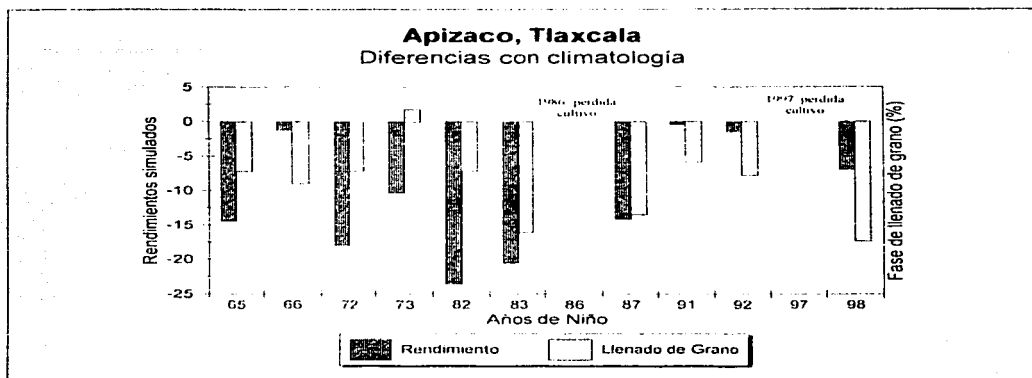


Figura 3.2. Decrementos entre los rendimientos y en el periodo de llenado de grano del maíz, con respecto a las condiciones climatológicas normales (1961 – 1990). Los años mostrados corresponden a los eventos de El Niño más fuertes desde 1960. (Conde.C., H. Eakin, 2003).

A partir de la interacción con los productores en diversos talleres (7 reportes no publicados), también fue posible establecer las necesidades específicas que tenían los productores en cuanto a información climática: inicio y distribución del periodo lluvioso (mayo – marzo, hasta septiembre – octubre), intensidad de la canícula (julio – agosto), probabilidad de heladas tempranas (septiembre). Los dichos populares asociados al clima (Conde *et al.* 1999) fueron una orientación importante para saber esas necesidades. Así, las lluvias de primavera se esperan fundamentalmente en abril (“Lluvias de abril, granos mil”) y la regularidad de las lluvias de verano determinan el éxito o pérdida de la cosecha tal que para junio los agricultores saben cómo resultará la producción (“Lo que San Juan no ve nacido, San Pedro lo da por perdido”). La percepción de los agricultores de otras características del clima local y regional, también permitió realizar el estudio del comportamiento de los patrones de vientos (Conde *et al.*, 1999). Ellos asocian la lluvia con la formación de un “gorrito” de nubes en la Malinche, y son los vientos del Sur y Sureste los que transportan la lluvia a las localidades del municipio de Apizaco. Durante fuertes eventos de El Niño, se presenta un debilitamiento notable de ese patrón, con predominancia de los vientos Norte y Noreste.

ESTE DOCUMENTO
FALLA DEL SISTEMA

En la figura 3.3 se presentan los vientos predominantes para Apizaco, Talxcala durante las décadas desde los cincuentas a los ochentas. El último periodo (1991 – 1997) corresponde a uno en el que se presentaron fuertes eventos de El Niño (1991 – 1992, 1997 -1998) y años con eventos El Niño entre débiles y moderados (1992 – 1995). Así, ese periodo estuvo dominado por las condiciones climáticas asociadas a ese evento, y es notoria la predominancia de los vientos Norte – Noreste. La lluvia total aumentó durante ese periodo, la intensidad de la canícula

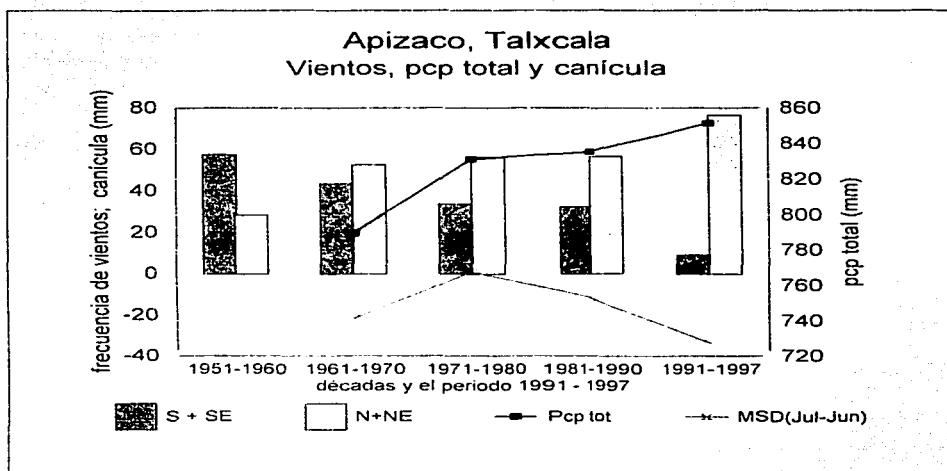


Figura 3.3. Patrón de vientos, precipitación total e intensidad de la canícula (lluvia en julio menos lluvia en junio: MSD).

Con la información obtenida de los modelos y de los estudios climáticos, fue posible determinar el riesgo de pérdidas elevadas de la producción debido a la sequía y a las heladas tempranas, asociadas al evento El Niño. En las figuras 3.4, 3.6 y 3.8, se muestran los espacios de riesgo climático (capítulo 2) para la producción de maíz en el municipio de

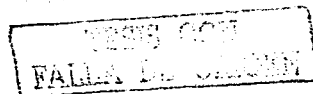
Apizaco, considerando las estaciones de primavera (MAM), verano (JJA), y para el otoño (SON).

La evaluación de estos espacios de riesgo climático depende del cultivo específico (maíz) que se está analizando, ya que los extremos climáticos relacionados con las variables y estaciones del año no son iguales si el cultivo fuera el trigo o los frutales, por ejemplo.

Durante la primavera (MAM, figura 3.4) se inicia la siembra y se da la emergencia y el desarrollo juvenil de la planta, los factores climáticos que pueden impactar severamente al cultivo son el retraso de lluvias y la probabilidad de heladas. Cabe señalar que la temperatura mínima durante la primavera (5.2 °C promedio del periodo 1961 – 1990) se encuentra en los límites de tolerancia del cultivo (5 °C, según expertos regionales), por lo que aún las pequeñas variaciones de la temperatura mínima pueden provocar graves pérdidas. Aún así, puede observarse que durante los primeros años de los fuertes eventos de El Niño (1982 y 1997), las anomalías de temperatura mínima se encuentran fuera del espacio de riesgo (con desviación estándar para la temperatura mínima de 0.8 °C) y que la precipitación estuvo por encima de lo normal (con lluvias normales alrededor de 154 mm).

Estas condiciones durante el primer año de El Niño representan una gran dificultad para la utilidad de un pronóstico que enunciara una disminución importante en las lluvias de verano. En primer lugar, porque la señal del evento aún no está bien establecida para ese verano, además de que no todos los eventos El Niño se comportan de manera similar (figura 3.4). En segundo lugar, porque los agricultores realizan la siembra en función del inicio de lluvias, y no suspenderían sus labores dadas las buenas condiciones que se observan durante esos años. Una dificultad similar se presenta para el caso de los agricultores de maíz de temporal en Zimbabwe (Cane, *et al.*, 1994), que naturalmente rechazan las sugerencias de las agencias de prevención gubernamentales.

Durante el segundo año de fuertes eventos de El Niño (1983, 1998), las condiciones en primavera son diametralmente opuestas. La anomalía de la precipitación se encuentra por debajo del 50% de lo normal (figura 3.4). Este retraso en las lluvias provoca que la mayoría de los agricultores retrasen también la siembra, por lo que la utilidad de un pronóstico es mayor, ya que la señal del evento se ha establecido con bastante seguridad, y porque los



campesinos están decidiendo si cambian de variedad de maíz (a un grano con maduración más rápida) o si aún cambian de cultivo.

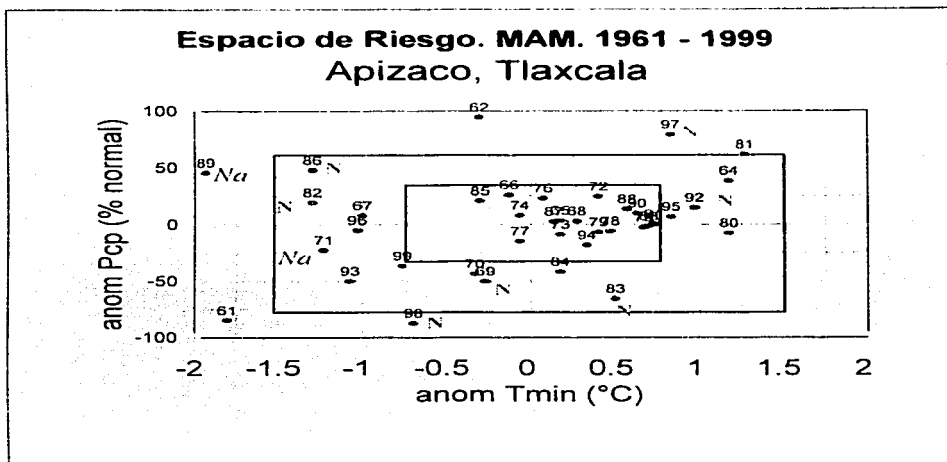


Figura 3.4. Espacio de riesgo para la primavera en Apizaco, Tlaxcala. Se muestran los años de 1961 – 1999. Los años con fuertes eventos de El Niño se señalan con N, y con eventos fuertes de la Niña, con Na. Los rectángulos muestran los valores de 1 y 2 desviaciones estándar, respectivamente. El riesgo para la temperatura mínima para el maíz se encuentra en los cambios negativos.

Las posibilidades de aplicar algunas medidas de adaptación existen, en tanto que es posible cambiar de variedad de maíz y salvar así la cosecha. En la figura 3.5 se presenta un ejemplo de posibles rendimientos obtenidos a partir del modelo Ceres – maíz, utilizando la climatología (promedios 1961 – 1990) para posibles cambios de fecha (ejercicio sugerido por el Dr. Víctor Mendoza). Se observa que el retraso de la fecha de siembra puede significar una reducción en los rendimientos esperados de maíz. Además, el periodo de llenado de grano para este ejemplo culmina en noviembre, por lo que aumenta el riesgo de heladas tempranas que afecten al cultivo.

TESIS COTI
FALLA DE CALIEN

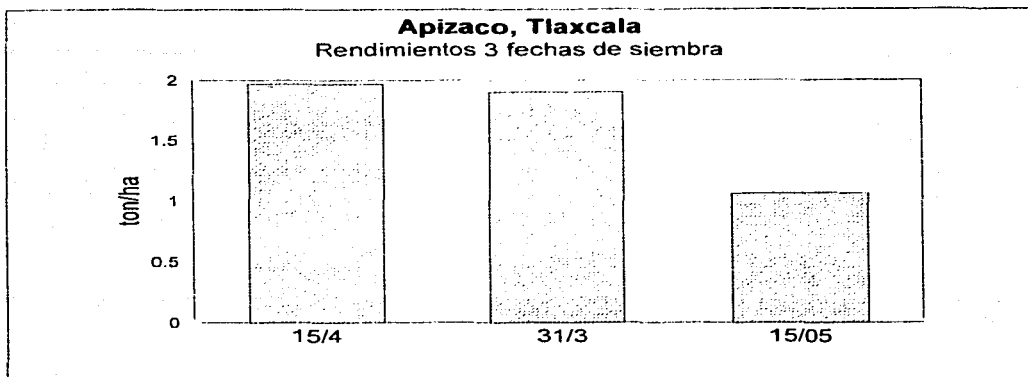


Figura 3.5. Ejemplos del efecto de cambios en la fecha de siembra, según el modelo Ceres - maiz. Entre el 31 de marzo y 15 de abril, se obtendrían los rendimientos promedio de la región. El retraso en la fecha de siembra (5 de mayo) implicaría una reducción en los rendimientos y el aumento de riesgo por heladas.

Durante el verano (figura 3.6), resaltan las condiciones para los años 1982 y 1998, en donde el déficit de lluvias resultó menor del 30% de lo normal. Durante estos años además la canícula fue muy severa, hecho que no se aprecia en los promedios estacionales que mostramos en esta sección. Por otra parte, durante el año de 1982 la temperatura mínima promedio quedó muy por debajo del valor climatológico (7.6°C). Así, el riesgo de heladas tempranas (figura 3.7) durante ese periodo puede ser mayor (Morales *et al.*, 1999), posiblemente por el hecho de menor humedad, con lo que las heladas por procesos radiativos pueden ser más probables. Aunque el año de 1983 queda fuera del espacio de riesgo, hay que señalar que durante el mes de junio en ese año llovió menos del 50% de lo esperado.

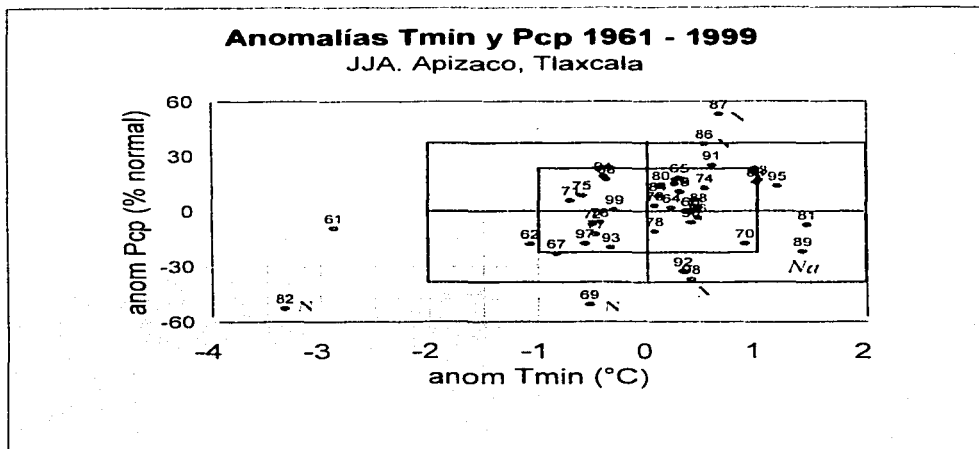


Figura 3.6. Espacio de riesgo para el verano en Apizaco, Tlaxcala. Se muestran los años de 1961 – 1999. Los años con fuertes eventos de El Niño se señalan con N, y con eventos fuertes de la Niña, con Na. Los rectángulos muestran los valores de 1 y 2 desviaciones estándar, respectivamente. El riesgo para la temperatura mínima para el maíz se encuentra en los cambios negativos.

Es entonces durante la primavera y el verano de años de El Niño cuando se presentan condiciones que afectan severamente al cultivo (heladas y sequías). En esos periodos se pueden realizar acciones preventivas con mucha mayor probabilidad de éxito que en otros años o estaciones, ya sea cambiando de variedad o cultivo en la primavera, o adelantándose a la necesidad de la compra de semillas de los cultivos más “violentos” (con ciclos vegetativos más cortos) para el verano o aún anticipando las reservas de agua (en jagüeyes, pozos o invirtiendo en la agua de sistemas de riego privados o públicos).

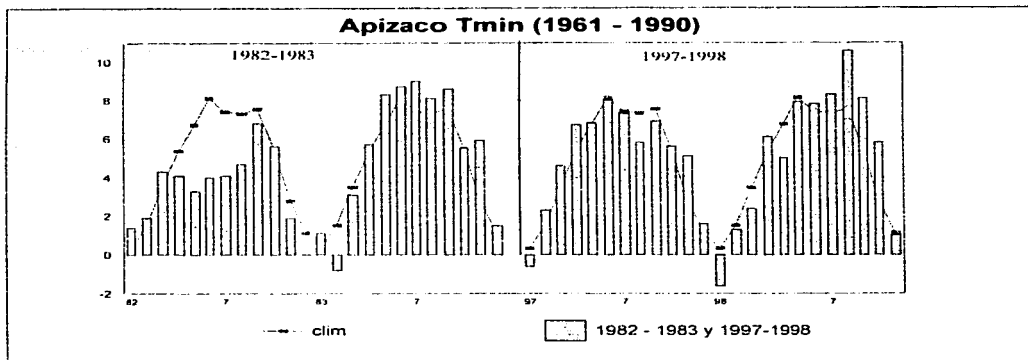


Figura 3.7. Temperatura mínima en Apizaco durante los fuertes Niños 1982 – 1983 y 1997 – 1998. Se comparan los datos con la climatología (1961 – 1990), *clim*.

Finalmente, para el otoño, cuando se da el proceso de llenado de grano y la preparación de la cosecha, destaca el fuerte déficit en la figura 3.8 de la precipitación en 1982 y la importante anomalía positiva en 1998, en el inicio del evento La Niña de 1999. En esta estación las medidas de adaptación son prácticamente nulas para los productores de maíz de temporal. Una helada temprana provoca la pérdida del cultivo, dejando a los campesinos sólo la posibilidad de usar el producto restante como forraje. Para quienes cambian de cultivo (papa, por ejemplo) las fuertes lluvias de otoño, como las que ocurrieron en 1998, les provoca pérdidas severas por la inundación de los campos de cultivo. Además, dada la gran erosión del suelo, los productos agrícolas son barridos de las parcelas (“tuvimos que recoger las papas en la carretera”, Sra. Alma, Tlaxco, comunicación personal, 1998).

En los espacios de riego (figuras 3.4, 3.6, y 3.8) para la producción del maíz, se observan la mayoría de las condiciones climáticas que se pueden conjugar de tal forma que resultan ser siniestras para el cultivo de maíz en el Estado de Tlaxcala.

También en esos espacios de riesgo estacional se han señalado algunos eventos de La Niña, pero la evaluación previa de las anomalías de la precipitación (Conde *et al*, 2000), indica que la temporada de lluvias durante esos eventos es en general normal, o ligeramente por encima de lo normal. Sin embargo, queda por realizar el análisis más detallado de la

temperatura mínima en esas condiciones para el caso de las heladas tempranas (septiembre), lo que puede afectar seriamente a la formación del grano de maíz.

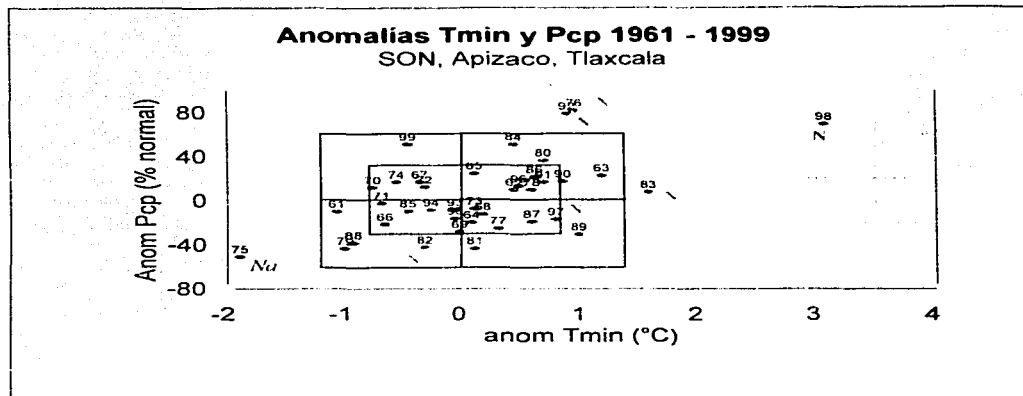


Figura 3.8. Espacio de riesgo para el otoño (SON) en Apizaco, Tlaxcala. Se muestran los años de 1961 – 1999. Los años con fuertes eventos de El Niño se señalan con N, y con eventos fuertes de la Niña, con Na. Los rectángulos muestran los valores de 1 y 2 desviaciones estandar, respectivamente. El riesgo para la temperatura mínima para el maíz se encuentra en los cambios negativos.

3.1.3. Evaluación de la Vulnerabilidad Actual y Futura.

Como se señaló en el capítulo 1, los estudios de vulnerabilidad requieren precisar el sector, la región, el evento climático que se considera adverso y las condiciones socioeconómicas que determinan que los actores involucrados sean vulnerables. En el estudio de caso para Tlaxcala, quedan definidos los primeros factores señalados. Se trataría de la vulnerabilidad a la sequía y a las heladas de los campesinos que producen maíz de temporal.

La capacidad adaptativa de estos agricultores se ha desarrollado y ha quedado demostrada por más de 5,000 años (desde el *teosinte* hasta las modernas variedades híbridas). Existen en México 41 razas y cientos de variedades de maíz que constituyen una gran riqueza en biodiversidad y a su cultivo se dedica el 40% del sector (Nadal, 2000). De la producción del

TIENE QUE
FALLA DE...

maíz dependen cerca de 18 millones de personas (Nadal, 2000b), siendo el país que tiene más habitantes dependientes de este grano como alimento básico. El maíz es el único grano que puede cultivarse desde nivel del mar hasta más de 2000m de altura, entre el ecuador y a 50°N y 50°S del planeta, adaptándose a muy variados climas. Su cosecha y limpia resulta un proceso más sencillo que otros granos y la duración del grano almacenado para ser consumido es de varios meses (Warman, 1995).

En México, desde la década de los cincuenta, la producción y los rendimientos de maíz crecieron de manera importante, lo que también se observa para el caso del estado de Tlaxcala, en donde de rendimientos promedio de alrededor de media tonelada por hectárea, se pasó a obtener cerca de 2 ton/Ha a partir de los años ochenta. Este crecimiento puede asociarse a las innovaciones tecnológicas que permitieron contar con nuevos fertilizantes, pesticidas, herbicidas y nuevas variedades de maíz.

Si bien lo anterior indudablemente mejoró la producción, no están aún suficientemente estudiados los impactos de los agentes químicos en cuanto a la contaminación del suelo y de los mantos freáticos en el estado. También, es importante considerar que un aumento de esa magnitud en la producción se dio asociada al cambio de una agricultura de policultivos a la de monocultivo (Trujillo, 1990), lo que reduce las opciones del productor ante eventos climáticos adversos (menor flexibilidad, capítulo 1, tabla 1.3).

Esas características provocan que los cambios a otro cultivo como medida adaptativa a un clima cambiante sean de muy corto plazo, o bien, muy difíciles de aplicar por la resistencia de los productores de maíz de subsistencia a abandonar el cultivo.

En la figura 3.9 se muestra la tendencia al cambio de cultivos de temporal durante los años 1991 a 1998. Durante ese periodo, la producción del maíz de temporal decayó fuertemente, aumentando la producción de cultivos alternos como la cebada y el trigo. Sin embargo, los precios para adquirir maíz grano aumentaron en 1997-1998 en 158% con respecto a 1991-1992 (Eakin, 2002; Conde, y Eakin, 2003), probablemente por la alta demanda del grano. Por tanto, es posible suponer que la producción de los cultivos alternos decayó cuando las condiciones climáticas fueron más favorables, esto es, cuando dejaron de prevalecer las condiciones propias de El Niño. Una explicación de lo anterior se encuentra en el hecho de que es muy difícil para los productores comercializar los productos alternos señalados

TIENE CON
FALLA DE EQUIPO

(Eakin, 2002), con la desventaja de que la calidad de la mayoría de la producción obligaría a que la cosecha se destinara a forraje. Así, tendrían que vender su cosecha para adquirir los granos básicos para su autoconsumo, lo que representa un problema mayor que el tratar de producir algo de maíz. Sin embargo, la figura 3.9 es ilustrativa de los cambios de cultivo para la región cuando el clima no es favorable para el cultivo de maíz. De hecho, esos productos son mucho más aptos para su producción dadas las condiciones climáticas de Tlaxcala. Así, en términos agroclimáticos la medida adaptativa sería el cambio de cultivos, pero son los factores socioeconómicos los que limitan esa posibilidad. Esto contrasta con el hecho de que el 71% de la superficie agrícola en Apizaco está dedicada al cultivo del maíz, y solo el 20% y el 2% de está dedicada al cultivo de trigo y cebada, respectivamente (INEGI, 1996).

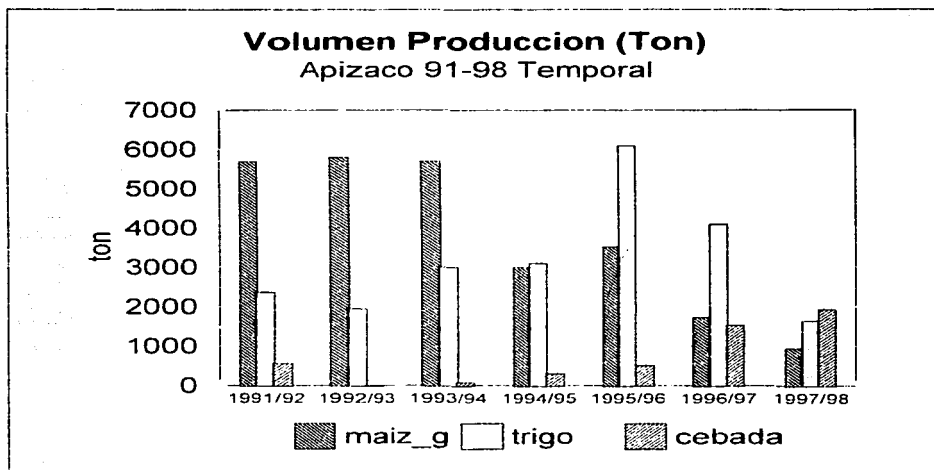


Figura 3.9. Producción de maíz grano (maíz -g), trigo y cebada en Apizaco en los ciclos 1991/1992 a 1997/1998. FUENTE: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Delegación en el Estado, Subdelegación de Planeación y Desarrollo Rural.

TRES CON
FALLA DE ORIGEN

Así, la producción de maíz de temporal en el municipio es muy *estable*, considerando los rendimientos promedio y la superficie de labor dedicada a este grano, aún en condiciones climáticas adversas. Además, los productores tienden a regresar a su cultivo después de uno o varios años de sembrar cultivos alternos, ya que, entre otros factores, cuentan con muchas variedades criollas (desarrolladas en y para la región) de las que tienen un gran conocimiento en cuanto a su manejo, control de plagas, almacenamiento, etc.

La producción de maíz es muy poco *flexible*, en tanto que se ha pasado del policultivo al monocultivo, lo que los hace más vulnerables a las sequías y a las heladas (Altieri y Trujillo, 1987; Trujillo, 1990). El cambio de cultivo a otros más resistentes a estos eventos climáticos, enfrenta el problema de su distribución en los mercados y su poca aptitud para el consumo humano.

Otro factor medioambiental que hay que considerar en Tlaxcala para evaluar la flexibilidad de las opciones que se propongan, es la fuerte erosión de suelos que existe en el Estado. Los datos de la Subsecretaría de Recursos Naturales, Semarnap, (1996) mostraban que el 65.5% y 16% de la superficie del Estado se encuentra con severa o muy severa erosión cólica, respectivamente, que 57% de la misma sufre también erosión hídrica.

En cuanto a la *equidad* o acceso a recursos, sólo el 2.3% de los agricultores de maíz de temporal en el municipio estudiado cuentan con riego, y sólo el 11% tienen acceso a seguros o créditos para su labor. Estas condiciones limitan de manera importante la posibilidad de aplicar esos apoyos como medidas de adaptación ante los eventos climáticos adversos.

La desaparición de CONASUPO (1998; Eakin, 2002), que establecía precios de compra a los campesinos temporales, el retiro de los subsidios agrícolas y la liberización del mercado para el maíz a partir del 2005, condición establecida en el Tratado de Libre Comercio (acordado en 1994), deben considerarse para evaluar las condiciones futuras de la producción de maíz, ya que éstos hechos apuntan a un aumento significativo en la vulnerabilidad futura de este sector.

Todos los factores anteriores caracterizan al riesgo al que están sometida la agricultura de maíz de temporal, por lo que es posible afirmar que la vulnerabilidad de la agricultura de temporal era ya mayor entre los eventos El Niño 1982 – 1983 y 1997 – 1998, aún cuando

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

estos eventos fueron similares en cuanto al retraso en las lluvias y sequías en los veranos ya discutidos, los otros factores que hubieran permitido la aplicación de medidas adaptativas se habían reducido sensiblemente durante ese último evento. Los únicos que pudieron intervenir para evitar la pérdida total fueron los agricultores asociados en PRODUCE, A.C., que entendieron y aceptaron el pronóstico y las sugerencias de la Secretaría de Agricultura en cuanto a qué cultivo cambiar si las lluvias se retrasaran hasta finales de mayo a inicios de junio.

Es este marco de condiciones socioeconómicas el que permitiría analizar con más profundidad la posible vulnerabilidad futura, en condiciones de cambio climático. Durante el Estudio de País (Gay, 2000; Conde *et al*, 1997) se concluyó que el retiro de subsidios para la producción de maíz de temporal reduciría o aún anularía las medidas técnicas de adaptación (como incremento en la aplicación de fertilizante) en condiciones de cambio climático (Ferrer, 1999). En esos estudios se consideró que los costos de producción y los precios para el maíz en el futuro serían similares a los existentes durante la década pasada. La situación presente muestra que esa suposición estuvo lejos de ser acertada, ya que los precios de los insumos (fertilizantes, pesticidas, semillas) se han incrementado de tal forma que ocupan entre el 20% y 50% de los gastos de producción de algunos agricultores (Eakin, 2002) y el precio del maíz y de los granos básicos decayeron en el país un 37.6% de 1984 a 1994 (Calva-Tellez, 1997). A pesar de la caída del precio del maíz grano, los precios de la tortilla ha aumentado, de \$0.60 por kilogramo en 1994, a \$4.50 por kilogramo en 1999 (Nadal, 2000). Esto, a pesar de que la industria de la tortilla recibe el maíz importado a precios mucho menores que el producido nacionalmente, y que además recibe fuertes subsidios del gobierno para mantener el precio del producto estable (Nadal, 2000).

Por otro lado, los escenarios de cambio climático (Ferrer, 1999) generados aplicando los métodos del Estudio de País, muestran condiciones favorables para la producción de maíz, ya se supone que la temperatura mínima aumentará, alejando el riesgo del peor evento climático en la región, las heladas. Sin embargo, estas proyecciones del clima futuro se han construido variando las medias climáticas (1961 - 1990) y no suponen que no habrá cambios en la variabilidad, particularmente no se considera que habrá más eventos extremos. Sin embargo, el modelo Ceres - maiz aunque permite hacer cambios en los suelos para considerar la degradación de los mismos por procesos de erosión, sería

necesario hacer el estudio específico de ese cambio en condiciones de cambio climático. Por lo anterior, también se propuso en la tesis citada (Ferrer, 1999) comparar los resultados entre dos sitios de estudio, uno de ellos con suelos con menor materia orgánica. Los resultados mostraron un decrementos en los rendimientos de maíz (del 8%, en el mejor de los casos), aún en condiciones de cambio climático favorable y dejando las otras condiciones (variedad, aplicación de fertilizante, etc.) constantes.

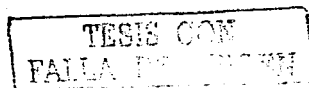
3.1.4. Información para reducir la Vulnerabilidad y Aumentar la Capacidad Adaptativa.

De lo presentado en las secciones anteriores, es claro que el aumento de la capacidad adaptativa actual y su viabilidad en el futuro, queda determinada por la intensificación de los estudios climáticos y medioambientales a fin de contar con la información suficiente y necesaria para que dicho aumento ocurra. Sobresale de la discusión anterior, los beneficios de impulsar y sostener la elaboración de pronósticos climáticos en Tlaxcala, tarea actualmente a cargo del Dr. Tomás Morales, de la Universidad de ese Estado.

También se hace evidente que las políticas agrarias y de conservación de suelos tienen que contemplar la alta dependencia alimentaria y de subsistencia material que tienen los agricultores del Estado del cultivo del maíz. En este aspecto, son muchas las propuestas de la Secretaría de Agricultura (1998), del INIFAP (Legorreta, 1998) y las elaboradas por investigadores del área Calva-Tellez, 1997, Nadal 2000 y 2000b) que plantean las posibles soluciones de corto y mediano plazo para mejorar la situación de la agricultura en México. En estudios más recientes (Ferrer, 1999; Eakin, 2002; Conde y Eakin, 2003), se analizan algunas de esas opciones en el contexto de la variabilidad climática y del cambio climático.

Las opciones planteadas incluyen desde la reconversión de cultivos al regreso y fortalecimiento de la agricultura tradicional. En el primer caso, se proponen algunas de las siguientes medidas:

- La reconversión de cultivos con base en las características agroecológicas de los Distritos de Desarrollo Rural.



- La elaboración de escenarios posibles de condiciones climatológicas y las opciones de cultivos para ellos.
- Reducir los limitantes a la reconversión de cultivos tales como disponibilidad de semilla, maquinaria, etc. y de mercados.
- Promover del uso de tecnologías adecuadas a la conservación de los suelos, retención de humedad y cambio de las variedades de ciclo corto.

Además de:

- Rehabilitar la infraestructura previamente construida.
- Construir nuevas obras de irrigación.
- Elevar los rendimientos por unidad de superficie, mediante la generación de nuevas semillas mejoradas, difusión de nuevos paquetes tecnológicos y la adopción de nuevas tecnologías (mecánicas y químicas).

Para el caso de la agricultura tradicional Altieri y Trujillo (1987) proponen:

- Impulsar el manejo policultivos y sistemas de propósitos múltiples tanto a pequeña escala como a gran escala.
- Usar racionalmente las colinas y las pendientes al través de sistemas de terrazas permanentes, especialmente con la incorporación de bordes de *Agave* spp.
- Mantener la diversidad genética de los campos, que no sólo reducen la amenaza de la pérdida de los cultivos, sino que constituyen depósitos *in situ* de germoplasma.
- Diversificar las técnicas de manejo de los recursos mediante terrazas, chinampas, que permitan recuperar recursos naturales en peligro (suelo, biodiversidad, microclimas).

Cualquiera de estas propuestas tienen que ser evaluadas con la participación de los actores claves del sector, particularmente los campesinos, y su posible aplicación pasa por el diseño de políticas regionales y nacionales que las incluyan en sus planes de desarrollo, de combate a la pobreza y de conservación de los recursos naturales. Las posibilidades de los estudios de cambio y variabilidad climáticos en este contexto son amplias, pero no independientes de las políticas citadas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.2. El Estudio de caso de Sonora.

Este estudio (Magaña y Conde, 2003) tiene como antecedente el estudio "Variability and Its Potential Impact on Transboundary Freshwater Resources in North America", realizado en 1997 con el apoyo de la Comisión de Cooperación Ambiental (Conde *et al.*, 1998). El estudio se centró en el análisis de los recursos hídricos en el Estado de Sonora, particularmente en el municipio de Hermosillo (Magaña *et al.*, 2000). Esta investigación no incluyó para su desarrollo con la participación de los actores claves de la región bajo estudio, lo que limita la aplicación del esquema propuesto por PNUD (capítulo 1, tabla 1.3). Sin embargo, los resultados expuestos en el artículo anexo a este trabajo, permitirían tener la información básica de los posibles actores involucrados, de la variabilidad y el cambio climáticos en la región, y de la vulnerabilidad actual y futura, y de las posibles medidas de adaptación.

Agregaremos entonces en esta sección los nuevos elementos que pueden enriquecer la investigación citada, elaborados para el examen de candidatura previo a esta tesis.

Posiblemente uno de los efectos más temidos del cambio climático sea la reducción de la disponibilidad de agua para el consumo humano, incluyendo en éste a las actividades productivas como la agricultura.

El Grupo II del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPPC, WGII, 2001) afirma que uno de los impactos negativos posibles es el decremento de la disponibilidad de agua en muchas regiones que ya de por sí tienen problemas de escasez de agua, particularmente en las regiones subtropicales. La modelación tanto de los cambios en los caudales y de los acuíferos se ha basado fundamentalmente en las proyecciones de los cambios en la precipitación, variable de por sí difícil de precisar a niveles regionales.

En cualquier caso, los impactos de este cambio en los caudales de los ríos como en las recargas de los acuíferos pueden incrementar notablemente la vulnerabilidad de varias regiones que ya tienen estrés de agua, particularmente las de los países en desarrollo. De

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

hecho, este desarrollo puede verse comprometido con una disminución del recurso o aún con un suministro irregular para las necesidades regionales.

Aproximadamente, 1.7 mil millones de personas - un tercio de la población mundial - viven en regiones que presentan ya un alto estrés¹ por falta de agua. Es posible que esta población mundial aumente a 5 mil millones para el 2025, y aún no está claro como variará el suministro de agua regional (figura 3.9), que depende fuertemente del cambio en la precipitación regional.

A diferencia de algunas regiones de Asia y África, para México los cambios proyectados a nivel regional en la precipitación y los escurrimientos dependen del modelo y del escenario futuro seleccionados. Particularmente, para el norte del país los modelos pueden presentar resultados diametralmente opuestos (capítulo 2), ya que en una buena parte de los escenarios se observa un incremento importante en la región Noroeste del país (en especial para Baja California Norte y Sonora).

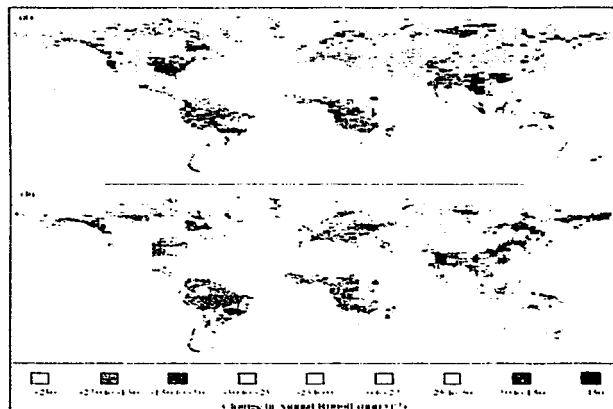
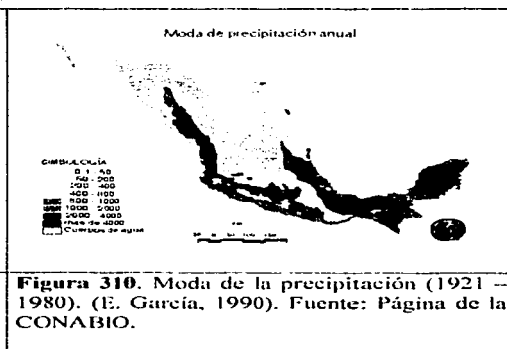
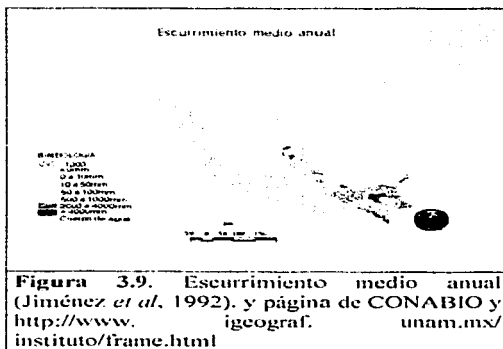


Figura 3.9. Cambios proyectados para los escurrimientos el 2025, con respecto al escenario base 1961- 1990, siguen en buena medida a los cambios proyectados para la precipitación. Estos cambios fueron calculados con un modelo hidrológico, usando como entradas el modelo de circulación atmósfera océano (AOGCM) del Hadley Center, para un incremento de un 1% de CO₂ en la atmósfera, con a) HadCM2 b) HadCM3. Fuente: IPCC, WGII, 2001.

¹ un consumo de más del 20% de su suministro renovable de agua es un indicador de estrés de agua

La Comisión Nacional del Agua (1999) ha calculado que de 96 de los acuíferos más importantes del país se extraen anualmente $14.1 \times 10^5 \text{ m}^3$ de agua, mientras que solamente se recargan $9.4 \times 10^5 \text{ m}^3$. Este déficit puede verse incrementado, aún sin condiciones de cambio climático, dadas las creciente demanda y desperdicio. Este puede ser un claro ejemplo en el que las medidas de adaptación aplicadas serían del tipo ganar – ganar, aunque los impactos del cambio climático fueran menores a lo proyectado.

Bajo condiciones de cambio climático (figura 3.9) se prevé que para el caso del NW de México la variación del escurrimiento anual se encontraría entre 0 y -25% , por lo que los cambios en el escurrimiento medio anual (Jiménez *et al.*, 1992) podrían ser considerables. Los autores citados (Jiménez *et al.*, 1992) se basaron en datos para el periodo 1945 a 1980 de las estaciones hidrométricas más cercanas a la desembocadura de una cuenca para construir el escenario base. Para buena parte de Sonora, incluyendo al municipio de Hermosillo, el promedio para el escurrimiento que obtuvieron se encuentra entre 10 – 50 mm (figura 3.10). Así, el cambio proyectado en condiciones de cambio climático sería grave, ya que esta región cuenta con menos de 400 mm anuales de precipitación (figura 3.11) en la actualidad.



En cuanto a la agricultura mundial, es probable que las condiciones óptimas para la producción de cereales se desplacen hacia latitudes mayores (150 a 200 Km.) o bien a lugares con altitudes mayores (150 a 200 m). Las grandes incógnitas para el diseño de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

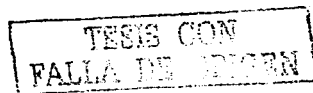
estrategias de adaptación (Parry, M. *et al*, 1999) en esta actividad surgen de las incertidumbres asociadas a la disponibilidad de agua para irrigación, la tendencias en la demanda de agua (incluyendo las de la creciente población), y la posibilidad de tener acceso a los cambios tecnológicos futuros en la agricultura (nuevas técnicas, nuevas semillas, etc.), entre otros factores.

Indudablemente es también una gran limitante la incertidumbre en cuanto a los cambios climáticos específicos para cada región. En general, la reducción en la producción de cereales estará asociada de manera inmediata a una reducción en la estación de crecimiento de los cultivos y al decremento de la disponibilidad de agua por el aumento en las tasas de evapotranspiración. Para cultivos como el maíz el efecto "fertilizante" positivo del incremento del CO₂ bien puede quedar contrarrestado por los factores negativos mencionados.

Los resultados a partir de modelos como el del Hadley Center (HadCM2 y HadCm3) muestran que la reducción de cereales puede ser muy elevada para Europa del Este (menor del 60% actual para el 2080), y para África (menor del 40% para el 2080). Latinoamérica, que incluye hasta América del Sur, puede tener decrementos para el 2050 y, aparentemente, ligeros incrementos para el 2080 (Parry *et al*, 1999). Sin embargo, Latinoamérica será una de las regiones más expuestas a la hambruna, ya que el número de personas en riesgo crecerá en 5 millones para el 2050 y hasta 15 millones para el 2080. Esto es, según el autor citado, la producción de alimentos no va a satisfacer el crecimiento de la población.

En México, la agricultura es la gran usuaria del agua. Del agua total empleada, 43% se extrae de fuentes superficiales o del subsuelo, y el sector agrícola ocupa 60.5 Km³ (cerca del 30%), mientras que el sector público y la industria ocupan juntos menos del 15%. Cabe señalar además que en el país los sistemas de riego tienen una eficiencia por debajo del 80% (menos del 70% en algunas regiones) por lo que implementar medidas de eficiencia en el uso del agua en sector agrícola en México puede indudablemente reducir la escasez y los posibles impactos futuros por cambio climático.

3.2.1. Aspectos climáticos e hidrológicos de la región.

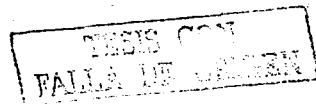


Para las regiones Noroeste de México y Suroeste de los Estado Unidos, se proyectan (IPCC, WGII, 2001) posibles decrementos en la recarga del agua subterránea, con la consecuente reducción en las reservas de agua. Asimismo, algunos modelos suponen incrementos en la frecuencia o intensidad de las lluvias, con lo que el riesgo de inundaciones repentinas aumentaría. Finalmente, es probable que se presenten deshielos más tempranos de las nieves invernales, con lo que los caudales de primavera pueden incrementarse. Estos factores contribuirían a la disminución o cambio en las actividades agrícolas con sistema de irrigación, pues es posible que tanto las aguas superficiales como las subterráneas decrezcan o bien que éstas tendrán sus máximos en otros periodos de tiempo (inicios de la primavera, por ejemplo).

En cualquier caso, la evaluación del impacto de un posible cambio climático en una región y/o sector específico necesariamente tiene que hacer referencia a los escenarios de cambio climático empleados y a las proyecciones socioeconómicas esperadas para dicha región, esta "doble exposición" (O'Brian, *et al.*, 2000) nos permite definir la vulnerabilidad futura. Estos dos aspectos globales (cambio climático global y globalización económica) sitúan tanto al Estado de Sonora como a la agricultura de la región en condiciones de alta vulnerabilidad futura. De hecho, la agricultura en la región puede catalogarse aún en la actualidad como una de las actividades en riesgo, al tener que competir con otras actividades productivas (industria - maquiladoras -, minería, servicios) y contra otras regiones más favorecidas climática y comercialmente (por medio de tratados comerciales).

En el Estudio de País: México (Gay, 2000), la región hidrológica del noroeste (denominada vertiente del Pacífico Norte en el Estudio por Mendoza *et al.*, 1996) es considerada región seca (utilizando la clasificación de Koeppen) con precipitación anual menor de 500 mm México. Si se considera el crecimiento poblacional y la intensificación de las actividades productivas, bien puede clasificarse a esta región dentro de las que se consideran con un alto estrés hídrico (Maderey, 2000). En el mismo Estudio, se estableció que el incremento en la sequía meteorológica para la región podría llegar a ser del 30%, en condiciones de cambio climático (Hernández *et al.*, 2000).

Durante el estudio de País, se construyeron escenarios de cambio climático para condiciones de duplicación de bióxido de carbono, por medio de interpolación simple según los modelos CCC (Canadian Climate Center, Boer *et al.*, 1992) y el GFDL



(Geophysics Fluids Dynamics Laboratory, Wetherald *et al*, 1986) y por métodos estadísticos (Magaña *et al*, 1997).

Específicamente, para la región 3 de Douglas correspondiente a la región de Sonora, se partió de un escenario base con precipitación promedio (1951 – 1980) de 500 mm y temperatura media anual de 25°C. Los posibles cambios en la precipitación y en la temperatura, tanto anuales, como de invierno y de verano, se muestran en las tablas 3.2a y 3.2b. En ellas observamos que los cambios en la precipitación de verano pueden variar entre un -10% a un +20% para el verano, según el modelo, pero ambos muestran un decremento (entre -10 y 20%) para el invierno. En cuanto a la temperatura, ésta aumentaría entre 3 y 4 °C.

Los decrementos en la precipitación en invierno pueden significar a futuro una reducción importante en la recarga de los acuíferos y presas de la región.

Tabla 3.2a. Cambios en la precipitación (se multiplica la tasa por el valor base)

	Escenario Base (mm)	Cambio CCCM (Tasa)	Cambio GFDL (Tasa)
Pcp anual	509.2	0.9	1.1
Pcp verano	315	0.9	1.2
Pcp Invierno	75.7	0.8	0.9

Tabla 3.2b. Cambios en la temperatura (se suma la diferencia al valor base)

	Escenario Base (mm)	Cambio CCCM (Diff.)	Cambio GFDL (Diff.)
T anual	24.4	2.9	3.7
T verano	31.5	2.9	3.0
T invierno	17.1	2.5	3.9

ISSS CON
FALLA DE ORIGEN

En estudios previos de los impactos del evento El Niño en la región (Magaña *et al*, 2000), se obtuvo que las mayores lluvias de invierno han significado importantes alivios a la escasez en la disponibilidad de agua durante los veranos de esos años.

3.2.2. Agua, Agricultura y Población.

En la región Noroeste (que incluye a Baja California, buena parte de Sonora y Sinaloa, según la SEMARNAP, 1995), el escurrimiento anual de 27.2 Km³ por año de los cuales se utiliza el 64% para usos doméstico, agrícola e industrial (figura 3.11). La región cuenta con 149 acuíferos, de los cuales 20 se sobre-explotan por arriba de un 20% (figura 3.12). Estos son fundamentalmente los recursos hídricos regionales (clasificados como “escasos” por la SEMARNAP, 1995) a partir de los cuales se tendrían que elaborar planes de desarrollo, incluyendo en esos planes la variabilidad natural y el cambio climático.

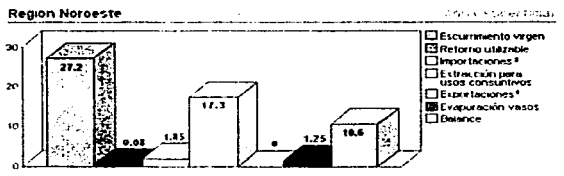


Figura 3.11. Balance de agua superficial en la región Noroeste. Fuente: página de SEMARNAP, 1995.

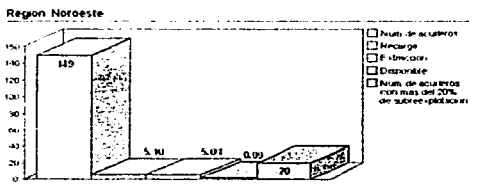


Figura 3.12. Balance de agua superficial en la región Noroeste. Fuente: página de SEMARNAP, 1995.

En cuanto a Sonora, la agricultura del estado absorbe el 97% del agua extraída en el subsuelo, con una eficiencia máxima de alrededor del 70%, ya que el resto se infiltra o se descarga al océano.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La población en Sonora, como en todo el norte del país crece a una tasa mayor (3% anual, de 1990 a 1995) que la promedio del país. Semejante fenómeno se presenta en la toda la región fronteriza (tabla 3.3).

Tabla 3.3. Población en la Frontera México – Estados Unidos de Norteamérica.

Nombre	*Total Población 2000	**Total Población 1997	**Urbana (%) 1997	**Rural (%) 1997	**Población por km ² 1997
Baja California	2,487,700	1,660,855	91.5	8.7	23.0
Sonora	2,213,370	1,823,606	81.5	18.6	10.1
Chihuahua	3,047,867	2,441,873	80.2	19.9	9.8
Coahuila	2,295,808	1,972,340	88.3	11.8	13.0
Nuevo León	3,826,240	3,098,736	93.0	7.1	47.5
Tamaulipas	2,747,114	2,249,581	83.3	16.8	29.0
California		29,760,020	92.7	7.4	73.7
Arizona		3,665,228	87.5	12.5	12.5
New Mexico		1,515,069	72.9	27.1	4.8
Texas		16,986,510	80.3	19.7	25.0

Fuente: * INEGI, 2001.

Fuente: ** Border XXI Program. <http://www.epa.gov/usmexicoborder/ef.htm>

Tabla 3.4. Población en 3 Ciudades de Sonora.

	Cananea	Naco	Hermosillo
Población 2000	32,074.0	5,352.0	559,154
Población urbana	94.7%	88.2%	94.3%
Población rural	5.8%	11.8%	5.7%
Población km ²	13.6	5.1	104.7

Como se observa en las tablas, la mayoría de la población es urbana, lo que implica requerimientos crecientes de drenaje y agua potable para las viviendas, como condición de higiene y bienestar en las ciudades. De 1950 a 1980, esta población en la frontera se duplicó, y es posible, si siguen las tendencias actuales, que para el 2025 se duplique otra vez la población (Westerhoff, 2000).

Así pues, serán los requerimientos urbanos y el desarrollo industrial (posiblemente las maquilas) los grandes competidores de la agricultura en la frontera norte. Existen dos factores más que considerar en cuanto a la agricultura regional. El primero es que, según la SEMARNAP, en el Estado se encuentran suelos con una fertilidad alta (Ojeda *et al*, 1996),

y que, simultáneamente, en el Estado existen distritos de riego con fuertes problemas de salinidad de los suelos, como son los que se encuentran en los márgenes del Río Mayo (Ortiz, 1993). Así, la productividad alta de los suelos impulsa la agricultura intensiva, con altos consumos de agua. Por otra parte, puede esperarse que con los aumentos en la temperatura, disminución de la precipitación y aumento de la evaporación (por procesos de cambio climático) la salinización de las fuentes de agua se acrecienta, impactando así directamente al sector agrícola.

Aún cuando la producción agrícola depende fuertemente los factores económicos (mercado), en Sonora los efectos climáticos y de disminución en la disponibilidad de agua impactan en la producción en años de fuertes eventos (como el Niño de 1997 - 1998). Siendo Sonora un importante productor de trigo a nivel nacional, el decremento prácticamente constante de la producción desde 1980 puede deberse a varios factores, pero es claro que la drástica disminución en 1998 (figura 3.13) se relaciona con la superficie siniestrada (figura 3.14) del mismo año, cuando el déficit de la precipitación, los caudales y los niveles de las presas provocaron pérdidas importantes. La producción de trigo en el estado se desarrolla de manera importante en el ciclo otoño - invierno, que es cuando la señal de El Niño es detectable en el noroeste del país.

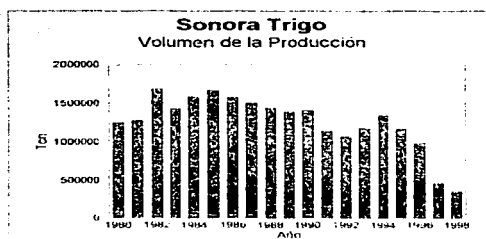


Figura 3.13. Producción (Ton) en Sonora de trigo 1980 - 1998

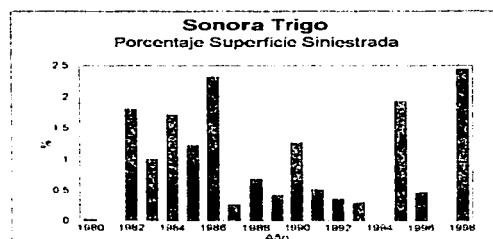


Figura 3.14. Superficie siniestrada (Ha) en la producción de trigo 1980 - 1998.

En Hermosillo, el consumo de agua se ha calculado en alrededor de 300 litros por persona por día (Comisiones Municipales de Agua Potable, Comisiones de Servicios Públicos, 1995), cercano al consumo de la Cd. de México, que es de 360 lt /persona/día (Leal et al.

1996). Esto es casi 3 veces más que el consumo por persona en la mayoría de las ciudades Europeas, aunque mucho menor de las ciudades fronterizas del sur de los EU. Lo anterior indica que hay un margen de posible mejora en la conservación y re-uso del recurso, y por tanto, de adaptación a reducciones futuras en la disponibilidad por eventos climáticos.

En Hermosillo, para el año 2000, el 81% de las 146,510 viviendas en el municipio contaba con conexiones de agua y 95% con servicios sanitarios exclusivos. Es de suponerse que el bienestar de las familias en la actualidad y en el futuro dependerá de que este servicio se proporcione a todas las viviendas.

En cuanto a ocupación, en el municipio de Hermosillo menos del 7% de la población ocupada son trabajadores agropecuarios, mientras que 16.5 son obreros y cerca del 21% se dedica al comercio u oficina. Así, la población urbana y las actividades más ligadas a la industria y los servicios demandarán más el recurso agua, por encima del sector agropecuario.

Un factor más de presión para el sector agrícola en la frontera de nuestro país es el tratado de 1944, mediante el cual México y Estados Unidos han acordado el uso y entrega de cantidades fijas de agua anualmente. Evidentemente, este tratado se pactó sin considerar posibles condiciones de cambio climático, por lo que el cumplimiento de estos compromisos internacionales hacen peligrar también el futuro de la actividad agrícola y la estabilidad social de la región.

Así, en ambos lados de la frontera tendrán que diseñarse estrategias para hacer más eficiente el uso del agua, en todos los sectores que compiten por ella, pero particularmente, en el sector agrícola. Decidir los cultivos menos demandantes de agua, irrigar con menos desperdicios, probar nuevas técnicas como son riego por goteo, capturar agua de lluvia, son algunas de las posibles soluciones que se están analizando en la frontera.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

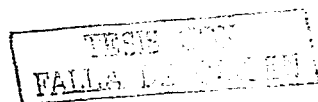
Conclusiones

Los métodos aplicados en los nuevos estudios de cambio y variabilidad climáticos están en vías de desarrollo. En esta tesis se describen estos métodos, incluyendo las oportunidades y retos que los mismos plantean. Se detallan los análisis y discusiones actuales que pueden aportar herramientas para apoyar esos estudios en México, en especial, se discuten los conceptos de vulnerabilidad, adaptación e impactos, empleados en los estudios de cambio climático. Particularmente, se describe la necesidad de considerar la vulnerabilidad inicial o previa al impacto climático, se resalta la importancia de la capacidad adaptativa y se delinea el concepto de potencialidad adaptativa, considerada como la característica que describiría la viabilidad y el ejercicio de la capacidad adaptativa.

Se contrastan además las diferencias conceptuales, aún no resueltas, que existen con los términos empleados en otras áreas del conocimiento, particularmente en los estudios de prevención de desastres. Si bien se coincide en que los daños posibles de los eventos climáticos están asociados a la exposición de los sistemas a dichos eventos, la vulnerabilidad en los estudios de desastres naturales es una componente que se determina previamente al análisis del riesgo. En contraparte, para estudiar la vulnerabilidad en el contexto del cambio climático, se emplea el enfoque de rangos y umbrales de tolerancia, fuera de los cuales se encontraría el espacio de riesgo y los sistemas pueden ser más vulnerables.

Al incorporar los estudios de la variabilidad climática y de la vulnerabilidad actual para definir las posibles medidas de adaptación, los estudios de cambio climático se incorporan al análisis de los problemas más apremiantes, como es el hacer frente a eventos climáticos extremos, y aportan criterios para evaluar si las estrategias establecidas son consistentes con la adaptación al cambio climático de largo plazo.

Los estudios climáticos relacionados con el riesgo asociado a eventos extremos son claves para la posible adaptación al cambio climático futuro, ya que permiten evaluar las adaptaciones actuales y del pasado a esos eventos, además de que convierten a los actores claves en partícipes del diseño y desarrollo de dichos estudios. Sin embargo, cabe aclarar que no hay en la mayoría de esos actores la información acerca de los posibles cambios futuros, por lo que la construcción de escenarios de cambio climático es una tarea



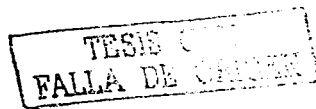
ineludible para disminuir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad adaptativa. El reto es diseñar las respectivas estrategias considerando las incertidumbres inevitables asociadas a esos escenarios.

Se considera que además de los posibles impactos en los diferentes sectores y regiones que conllevan los eventos climáticos extremos, estos impactos se han dado y se darán en función de las condiciones socioeconómicas del sistema de interés humano bajo estudio, condiciones cada vez más dependientes del contexto mundial. Integrar estos dos aspectos constituye uno de los más grandes retos a los que se enfrenta las ciencias relacionadas con el cambio climático, pues sin su integración no será posible aumentar la capacidad adaptativa, disminuir el riesgo a los eventos climáticos adversos, ni diseñar medidas de adaptación viables.

Si para el caso de los estudios climáticos la incertidumbre del futuro del clima aumenta en la medida en que reducimos la escala espacial o queremos precisar la escala temporal, en los estudios socioeconómicos emerge un problema similar. No es posible asegurar que la viabilidad de ciertas medidas de adaptación planteadas a partir de estudios de caso puedan constituirse en políticas generales para regiones más amplias o ser aplicables para el mismo sector en otra región. Así, el problema de “bajar” o “subir” la escala de las conclusiones obtenidas a partir de dichos estudios integrados requiere de un esfuerzo teórico adicional, del que aún no hay ejemplos concretos pero si proyectos de investigación en curso, de los que se espera obtener respuestas y nuevas preguntas de investigación.

Considerando algunos de los escenarios presentados en este trabajo, México enfrenta un serio riesgo en los sectores agrícola y de recursos hídricos de que en el futuro su clima sea más seco y caliente en casi todo su territorio, particularmente durante el verano. Esto implicaría que el clima podría ser similar a un evento El Niño, por lo que las medidas de prevención y el diseño de políticas agrarias y de manejo del recurso agua tendrían que contemplar esos escenarios con el fin de aplicar acciones preventivas en el presente, que sean útiles y viables también para el futuro.

Urge por tanto incrementar la capacidad adaptativa de los sectores mencionados, realizando los estudios y los cambios en las políticas respectivas, a fin de que las potenciales medidas de adaptación se conviertan en estrategias nacionales, regionales y locales.



En esta tesis se presentan dos estudios de caso, uno para Tlaxcala (Conde y Eakin, 2003) y el otro para Sonora (Magaña y Conde, 2003). Para estos artículos, se desarrollaron proyectos de investigación en donde se incorporaron los conceptos descritos anteriormente y se dio la interacción del grupo de investigación interdisciplinario con los organismos nacionales, internacionales y, en el primer caso, con los tomadores de decisiones y posibles afectados ante los eventos climáticos que pueden amenazar a los sectores respectivos.

La organización de esos equipos interdisciplinarios es fundamental en los nuevos estudios de cambio climático, tanto como su interacción con los actores (académicos, políticos y sociales) de los sectores y regiones más vulnerables.

En México existe un importante desarrollo en los estudios de cambio y variabilidad climáticos, incluyendo estudios de caso en los que se han construido los equipos de trabajo mencionados, los métodos para los análisis climáticos y sus impactos, y la práctica en la presentación de la información e integración de los actores claves en las regiones de estudio. Las investigaciones que se están realizando en la actualidad (Gay *et al.*, 2002) y los que están por iniciarse (Lim, 2003) están impulsando por tanto la aplicación de los nuevos métodos delineados en este trabajo.

Las estrategias adaptativas ante el cambio y la variabilidad climáticos tendrán que insertarse de manera natural en las políticas actuales de prevención de desastres y alerta temprana, pero también en las políticas de combate a la pobreza, de medioambiente y de desarrollo, a fin de que dichas estrategias sean viables.

TESIS
FALLA DE CALLEN

GLOSARIO

Fuentes Básicas:

IPCC, WGII. 2001. *Climate Change 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability*. J. J. McCarthy, O. F. Canziani, N. A. Leary, F. J. Dokken, K.S. White (eds.). Cambridge University Press. Anexo B: 982-996. <http://www.ipcc.ch/pub/syrgloss.pdf>

Carter, T.R., et al., 2001: Developing and applying scenarios. En: *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [McCarthy, J.J. et al., (eds)], pp. 145-190.

Actores o interesados (stakeholders). Personas o grupos de personas interesadas y/o afectadas en las proyecciones (climáticas u otras) que se quieren evaluar. Pueden ser planificadores, administradores de recursos, investigadores, grupos de campesinos, indígenas, etc. En la toma de decisiones y en el diseño y aplicación de medidas o estrategias de adaptación, la participación de estos es indispensable.

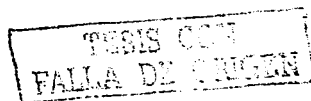
Adaptación. Ajuste en los sistemas humanos o naturales a un nuevo o cambiante medio ambiente. La adaptación al cambio climático se refiere al ajuste en los sistemas mencionados en respuesta a los estímulos climáticos (presentes o esperados) o a sus efectos. Estas respuestas moderan el daño o se ejercen las oportunidades benéficas. Se pueden distinguir entre adaptaciones anticipadas o reactivas, privadas o públicas, autónomas o planeadas.

Adaptabilidad. Habilidad, competencia o capacidad de alterarse o estar mejor adecuado a los estímulos climáticos (esencialmente sinónimo de capacidad adaptativa).

Barreras. Obstáculos para alcanzar un potencial y que puede sobreponerse por políticas, programas o medidas.

Capacidad Adaptativa. La habilidad de un sistema de ajustarse al cambio climático, incluyendo a la variabilidad climática y a los extremos climáticos. Esta habilidad le permite moderar el daño potencial, de tomar ventaja de las oportunidades o resistir o hacer frente a sus consecuencias.

Clima. En un sentido restringido se define usualmente como el estado medio del tiempo. Más rigurosamente se define en términos de una descripción estadística de los



promedios y variabilidad de cantidades relevantes en un período de tiempo que va desde meses a cientos de años. La Organización Meteorológica Mundial (WMO) establece un período de 30 años para esta definición. Las cantidades relevantes son en general variables de superficie como la temperatura, la precipitación, el viento. En un sentido amplio, el clima es el estado, incluyendo su descripción estadística, del sistema climático.

Construcción de capacidad (capacity building). En el contexto de cambio climático, la construcción de la capacidad es el proceso de desarrollar habilidades técnicas o capacidad institucional en los países en desarrollo y de economías en transición para que les permita participar en todos los aspectos de la adaptación a, la mitigación de, y la investigación de el cambio climático.

Coping Range (Rango de soporte, de resistencia). Las variaciones en los estímulos climáticos que el sistema puede absorber sin que se produzcan impactos significativos.

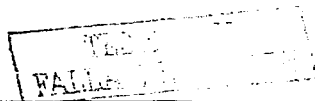
Costo – efectivo. Un criterio que especifica que una tecnología o una medida otorga un beneficio o servicio a un costo igual o menor que la práctica común, o bien es la alternativa menos costosa para alcanzar un objetivo dado.

Desierto. Ecosistema con menos de 100 mm de pcp/año

Escenarios. Un escenario es una descripción coherente, internamente consistente y plausible descripción de un posible estado futuro del mundo (IPCC, 1994). No es un pronóstico; cada escenario es una alternativa de cómo se puede desarrollar el futuro. Además de los climáticos, los escenarios pueden ser socioeconómicos, de emisiones, de concentraciones de CO₂, de uso y cubierta de suelo, de otros factores medioambientales, de disponibilidad de agua, del nivel del mar, entre otros.

Escenario Base o Línea Base, Referencia. Es cualquier conjunto de datos contra los que el cambio se mide. Puede ser la línea base actual, en la que se representan las condiciones observables actuales.

Escenario climático. Es una representación plausible, frecuentemente simplificada, del clima futuro. Esta representación está basada en la consistencia interna del conjunto



de relaciones climáticas, que se han construido explícitamente para emplearse para investigar las consecuencias potenciales del cambio climático antropogénico. Usualmente se emplean como entrada de los modelos de impacto. Las proyecciones climáticas se utilizan como base para construir escenarios climáticos, estos escenarios usualmente requieren información adicional como el clima actual observado. Un escenario de cambio climático es la diferencia entre el escenario climático y el clima actual.

Escenarios Integrados. También llamados Escenarios de cambio global. Escenarios que incluyen a los climáticos y los no climáticos. Se espera que entre ambos haya consistencia.

Escenario de Emisiones.

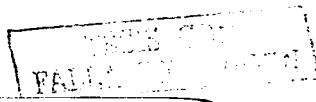
Estabilidad. Estado del cual un sistema no es fácilmente movido o modificado.

Evaluación de la Adaptación. La práctica de identificar opciones de adaptación al cambio climático y la evaluación de éstas en términos de disponibilidad, beneficios, costos, efectividad, eficiencia y viabilidad.

Impactos climáticos. Consecuencias del cambio climático en los sistemas naturales o humanos. Dependiendo de la adaptación, se pueden distinguir entre impactos potenciales o residuales. Los potenciales son los impactos que pueden ocurrir dado un cambio proyectado en el clima, sin considerar adaptación. Los residuales son los que ocurrirían después de la adaptación. Los impactos se pueden estimar considerando que las tendencias actuales prevalecen (sin incluir cambio climático), lo que se denomina línea base futura. También se estiman suponiendo condiciones de cambio climático, sin considerar otros cambios. Para integración de los factores que pueden impactar a un sistema se utilizan los escenarios integrados (ver definición).

Flexibilidad. Grado al que un sistema puede plegarse, amoldarse a los estímulos climáticos (similar al término adaptabilidad).

Línea Base o línea de referencia (baseline). Es cualquier conjunto de datos contra los que se mide o compara el cambio. Puede ser la línea base actual, en cuyo caso



representa a las condiciones observables, actuales. Puede ser una línea base futura, que es un conjunto de condiciones proyectadas a futuro que excluye el factor forzante (driving) de interés. Interpretaciones alternativas de las condiciones de referencia dan lugar a múltiples líneas base.

Modelo climático. Una representación numérica del sistema climático, basado en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, sus procesos de interacción y retroalimentación, y considerando todas o algunas de sus propiedades conocidas. El sistema climático se puede representar por modelos de complejidad variable, esto es, para un componente o combinación de componentes se puede identificar una "jerarquía", difiriendo en aspectos como el número de dimensiones, la extensión en que los procesos de los componentes son explícitamente representados, o el nivel al que están incluidos las parametrizaciones empíricas. Los modelos acoplados atmósfera — océano —hielo, (AOGCMs) proporcionan una representación coherente del sistema climático. Los modelos climáticos son aplicados como una herramienta de investigación para estudiar y simular al clima, pero también tienen el propósito de realizar predicciones climáticas (mensuales, estacionales, e interanuales).

Modelos de impacto. Simulan la respuesta de la unidad de exposición a las variaciones climáticas. Se utilizan para evaluar estos impactos, pues se obtienen proyecciones cuantitativas de esas respuestas.

Predicción climática. La predicción o pronóstico es el resultado de intentar producir una descripción más probable o de estimar una evolución del clima en el futuro (a escalas de tiempo estacional, anual o de más largo período),

Proxy. Sustituto de lo que se quiere describir. Un proxy debe cumplir los siguientes criterios: resumir o simplificar la información relevante, hacer visible o perceptible los fenómenos o características de interés, cuantificar o medir la información relevante de lo que se quiere describir. En la reconstrucción de las condiciones climáticas en épocas o eras del pasado, los anillos de los árboles o los núcleos de hielo en la Antártica, se utilizan como proxy.

Proyecciones climáticas. Son proyecciones de la respuesta del sistema climático a escenarios de emisiones o concentraciones de gases de efecto invernadero o de aerosoles, o de escenarios de forzamiento radiativo, usualmente basados en simulaciones de modelos climáticos. Las proyecciones climáticas se distinguen de los pronósticos para enfatizar que las proyecciones dependen de los escenarios de emisiones / concentraciones / forzamiento radiativo empleado, que se basan en suposiciones relativas a, por ejemplo, los desarrollos socio-económicos o tecnológicos futuros que pueden o no alcanzarse. Por ello se dice que están asociados a incertidumbres.

Pronóstico. Cuando a una proyección (ver definición) se le llama "muy probable", entonces se convierte en un pronóstico. El pronóstico se encuentra en general usando modelos o conjunto de modelos determinísticos, que permitirían asociar un nivel de confianza a las proyecciones

Proyección. Cualquier descripción del futuro y los caminos para llegar a él. En el caso de la proyección climática, se trata de estimaciones hechas a partir de modelos.

Rango de temperatura diurna: la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima de un día.

Regiones Áridas. Ecosistemas con menos de 250 mm de precipitación por año.

Regiones semi-áridas. Ecosistemas con más de 250 mm por año pero que no son altamente productivas, usualmente clasificadas como rangelands.

Resiliencia. Capacidad del sistema para recuperarse sin cambiar de estado.

Resistencia. Grado en que un sistema se opone o enfrenta a los efectos de un estímulo climático.

Retroalimentación climática. Un mecanismo de interacción entre los procesos del sistema climático se le llama retroalimentación climática cuando el resultado de un proceso inicial dispara un segundo proceso que, a su vez, tiene influencia en el primero. Una retroalimentación positiva intensifica el proceso inicial, una negativa lo reduce.

TESS COPY
FALLA DE ORIGEN

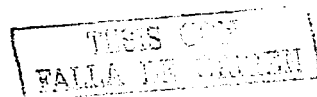
Sensibilidad al grado al cual un sistema es afectado, negativa o positivamente, por los eventos climáticos. Estos eventos deben ser descritos en términos de las características medias del clima, de la variabilidad climática y de la frecuencia y magnitud de los extremos. El efecto puede ser directo (cambios en los rendimientos en respuesta a los cambios de temperatura, por ejemplo), o indirectos (daños causados por un aumento en la frecuencia de las inundaciones costeras por aumento en el nivel del mar).

Susceptibilidad. Grado en el que un sistema es abierto y sensible a los estímulos climáticos (similar a sensibilidad, pero haciendo énfasis en el posible daño).

Sensitividad Climática. Para el IPCC, la sensitividad climática de *equilibrio* se refiere al cambio del equilibrio en la temperatura de superficie media global que sigue al doblamiento (o su equivalente) de la concentración del CO₂. Más general, la sensitividad climática de equilibrio se refiere al cambio de la temperatura del aire superficial que es producto de una unidad de cambio en el forzamiento radiativo (°C/Wm⁻²). En la práctica, la evaluación de la sensitividad climática de equilibrio requiere de simulaciones muy tardadas con modelos de circulación acoplados. La sensitividad climática efectiva ahorra ese requerimiento. Se evalúa a partir de las salidas del modelo para condiciones que tienden al equilibrio. Es una medida de el peso relativo que se atribuye a las retroalimentaciones en el sistema climático a un tiempo en particular y puede variar con los forzamientos incluidos en el estado climático.

Sensitividad. Grado al cual un sistema es afectado, sea en forma adversa o benéfica, por estímulos relacionados con el clima. El efecto puede ser directo (p.e. un cambio en los rendimientos en respuesta al cambio en la media, rango o variabilidad de temperatura), o indirecto (p.e. daños causados por el incremento en la frecuencia de inundaciones en las costas debidas al aumento del nivel del mar).

Sequía. Fenómeno que existe cuando la precipitación ha sido significativamente menor de los niveles registrados como normales, causando serios desbalances hidrológicos que afectan adversamente los sistemas productivos basados en el recurso suelo.



Sistema Climático. El sistema climático es un sistema altamente complejo que incluye a los siguientes componentes principales: atmósfera, hidrósfera, criósfera, la superficie terrestre y a la biosfera, y a las interacciones entre éstas. El sistema climático cambia en el tiempo bajo la influencia de su dinámica interna y por forzamientos externos como las erupciones volcánicas, las variaciones solares y por los forzamientos inducidos antropogénicos, como el cambio en la composición atmosférica y el cambio en el uso del suelo.

Sistema. En los estudios de cambio climático, el objeto de estudio que se define para determinar los posibles impactos, la vulnerabilidad, y la adaptación. Puede estar referido como: sistema humano, sistema de interés, unidad de análisis, unidad de exposición, actividad de interés, sistema sensitivo.

Unidad de Exposición. Actividad, grupo, región o recurso expuesta a variaciones climáticas significativas

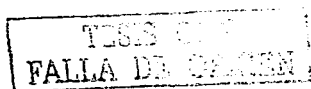
Variabilidad climática. La variabilidad climática se refiere a las variaciones del estado medio y de otras estadísticas (desviaciones estándar, la ocurrencia de extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de eventos de tiempo individuales. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna) o por variaciones en el forzamiento natural o antropogénico.

Vulnerabilidad es el grado al cual un sistema es susceptible de, o es incapaz de afrontar a, los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los extremos. La vulnerabilidad es función del tipo, magnitud y tasa del cambio climático o a variaciones a las que el sistema es expuesto; también depende de la sensibilidad y la capacidad adaptativa del sistema.

TESIS CON
FALLA DE IMPRESIÓN

Bibliografía

- Adem, J. 1965. Experiments Aiming at Monthly and Seasonal Numerical Weather Prediction. *Mon. Wea. Rev.* **93**: 495-503.
- Adem, J. 1965. Experiments Aiming at Monthly and Seasonal Numerical Weather Prediction. *Mon. Wea. Rev.* **93**:495-503.
- Adem, J. 1982. Simulation of the annual cycle of climate with a thermodynamic numerical model. *Geof. Int.* **21**(3): 229-247.
- Adem, J., R. Garduño. 1984. Sensitivity Studies on Climatic Effect of an Increase on Atmospheric CO₂. *Geof. Int.* **23**(1). 17-35.
- Altieri, M.A., J. Trujillo. 1987. The Agroecology of Corn Production in Tlaxcala, México. *Human Ecology.* **15**(2):189-220.
- Benioff, R., S. Guill and J. Lee (editors) 1996. Vulnerability and Adaptation Assessments. An International Handbook. Kluwer Academic Publishers. U.S. Country Studies Management Team. Netherlands.
- Birman, R., L.O. Pochop. Evaporation, Evapotranspiration and Climatic Data. Development in Atmospheric Science. 22. Elsevier. Netherlands.
- Boer, G.J., N. McFarlane, M. Lazare. 1992. Greenhouse Gas – Induce Climatic Change Simulated with the CCC Second Generation GCM. *Journal of Climate.* **5**:1045-1077.
- Bolin, B. 1994. Science, Values and Climate Change. En: Equity and Social Considerations related to Climate Change. IPCC Workshop Proceedings.. Nairobi, Kenya, 18-22 July, 1994. WMO, UNEP. 39 – 43.
- Calva-Tellez, J.L. 1997. Crisis Agrícola en México: 1982 – 1996. Diagnóstico y Propuesta de Solución. Reporte de Investigación No. 38. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial. Universidad Autónoma de Chapingo. 16 pp.
- Cane, M., G. Eshel, R. Buckland. 1994. Forecasting Zimbabwean maize yields using eastern equatorial Pacific Sea surface temperature. *Nature* **370**: 204-205.
- Carter, T., E.L. La Rovere et al. 2001.. Developing and Applying Scenarios. In IPCC WGII Third Assessment Report. Chapter 3. 147-190.
- Carter, T.R., et al., 2001: *Developing and applying scenarios*. En: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [McCarthy, J.J. et al., (eds)]. pp. 145-190.
- Carter, T. 2002. Development of integrated scenarios in impacts, adaptation and vulnerability assessment. Presentación en el curso: AIACC course on Development and Applications of Scenarios in Impacts, Adaptation and Vulnerability Assessments. Norwich, UK, abril 15 – 26, 2002. Cavazos, T., S. Hastenrath. 1990. Convection and rainfall over México an their modulation by the southern oscillation. *Int. J. Clim.* **10**: 377 – 386.



Celis, P. 1992. Diagnóstico de la contaminación del agua en el estado de Sonora. In *Ecología, Recursos Naturales y Medio Ambiente en Sonora*. José Luis Moreno (compilador). El Colegio de Sonora - Secretaría de Infraestructura Urbana y Ecología. Hermosillo, Son. 165 -187.

Centella, A. T. Gutierrez, M. Limis and R.R. Jaspe. 1999. Climate change scenarios for impact assessment in Cuba. *Climate Research*. 12: 223-230.

Centella, A. 1998. Climate Change Scenarios for Impacts Assessments in El Salvador. Executive Summary. National Climate Change Project: UNDP/GEF/MARN/ELS/97/G32. 22pp.

Chambers, R. 1983. *Rural Development: putting the last first*. London. Longman. Citado por Watts et al, 1993.

Conde, C., H. Eakin. 2003. Adaptation to Climatic Variability and Change in Tlaxcala, Mexico. 2003. Chapter in: *Climate Change, Adaptive Capacity and Development.*, J. Smith, R. Klein, S- Huq. (editors). Imperial College Press , London.

Conde, C., K. Lonsdale. 2003. Stakeholder Engagement in The Adaptation Process Technical Support Paper No. 2. *Adaptation Policy Framework*. Outline and Draft. UNDP-GEF. http://www.undp.org/cc/apf_outline.htm.

Conde, C., R.M. Ferrer,. 2003. Perceptions of Climate change among different sectors in the Mexican population. Trabajo aceptado en la reunion Open Meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research Community. Montreal, Canadá. 16 - 18 October, 2003.

Conde, Cecilia, Rosa Ma. Ferrer, Victor Magana, Raquel Araujo, and Carlos Gay. 2000a. *Regional Climate Forecast for the Summer of 2000 and its Application in the Agricultural Activities of Tlaxcala*. Proceedings of the International Forum on Climate Prediction, Agriculture and Development. New York, USA. 26 - 28 April 2000. Edited by James Hansen. International Research Institute for Climate Prediction (IRI). 224-226.

Conde, C., R.M. Ferrer, D. Liverman. 2000. Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal en mediante el modelos CERES - Maize. Capítulo VI en: *México: Una Visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México*. Resultados de los Estudios de Vulnerabilidad del País, Coordinados por el INE con el Apoyo del U.S. Country Studies Program. C. Gay (compilador). SEMARNAP, UNAM, USCSP. 119 -141.

Conde, C., M. Magaña, R.M. Ferrer. 1999a. On the Use of a Climate Forecast in the Planning of Agricultural Activities in the State of Tlaxcala, Mexico. 11th Conference on Applied Meteorology . American Meteorological Society. 10 - 15 Jan. 1999. Dallas, Texas. Preprints: 101-102.

Conde, C., R. Ferrer, C. Gay, V. Magaña, J.L: Pérez, T. Morales, S. Orozco. 1999. "El Niño y la Agricultura". In: *Los Impactos de El Niño en México*. Víctor Magaña. México (editor). 103 - 135.

Conde, C., R. M. Ferrer et al. 1998. Variabilidad climática y agricultura. *GeoUNAM*. (51): 26 - 32.

TESIS CON
FALLA DE INGRESO

Conde, C., Liverman, D., Flores, M., Ferrer, R., Araujo, R., Betancourt, E., Villarreal, G., Gay, C. 1997. Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to climate change. *Climate Research*. 9(1):17-23.

Conde, C. Pronóstico del Volumen Almacenado en la Presa Tacotán, Jalisco, México considerando las anomalías de la Temperatura Oceánica Promedio en la Región Niño 3. 1996. *Informe Final*. Curso Regional de Entrenamiento sobre Aplicaciones Prácticas de la Predicción Climática Estacional e Interanual a los Recursos Hídricos y la Agricultura en Mesoamérica y el Caribe. San José de Costa Rica. 11 al 24 de agosto de 1996.

Conde, C., O. Sánchez, C. Gay. 1995. Escenarios básicos y regionales. Estudio de País: México. Memorias del Primer Taller de Estudio de País: México. México ante el cambio climático. Cuernavaca, Mor. 18 -22 abril, 1994. 39 -43.

Corporación Andina de Fomento (CAF). 2000. *Las Lecciones de El Niño. Memorias del Fenómeno El Niño 1997 - 1998. Retos y Propuestas para la Región Andina*. Vol. 4: Ecuador. Ex Libris. Venezuela. 311 pp.

Delgadillo, J., Aguilar, T., Rodríguez, D. 1999. Los Impactos económicos y sociales de El Niño. Capítulo 6 en: *Los Impactos de El Niño en México* Magaña, V. (editor). México. UNAM, IAI; SG. 228 pp.

Díaz, H. , C. A. Anderson. 1995. Precipitation trends and water consumption related to population in the southwestern United States. A reassessment. *Water Resources Research*. 31: 713-720. Abstract en <http://gcochange.er.usgs.gov/sw/>.

Dilley, M. 1997. Climatic factors affecting annual maize yields in the valley of Oaxaca, Mexico. *International Journal of Climatology* Vol. 17: 1549-1557.

Douglas, A. 1993. Mexican Temperature, Precipitation and Drought Data Base Documentation. ftp: hurricane.ncdc.noaa.gov. 13 pp.

Enfield, D.B., and E.J. Alfaro. The dependence of Caribbean rainfall on the interaction of tropical Atlantic and Pacific Oceans. *Journal of Climate*, 12(7):2093-2103 1999

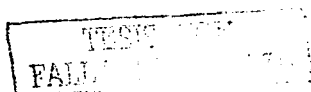
Eakin, H. 2002. Rural Households Vulnerability and Adaptation to Climatic Variability and Institutional Change: Three Cases from Central Mexico. PhD. Dissertation. Dept. of Geography and Regional Development. University of Arizona. 507 pp.

Feenstra, J., I. Burton, J.B. Smith, and R.S.J. Tol (eds). 1998. *Handbook on Methods of Climate Change Impacts Assessment and Adaptation Strategies*. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, and Institute for Environmental Studies, Amsterdam, The Netherlands. 448 pp.

Ferrer Perdomo, R.M. 1999. Impactos del cambio climático en la agricultura tradicional de Apizaco, Tlaxcala. Tesis de Licenciatura. Biología. Facultad de Ciencias. UNAM.

Frich, P., Alexander, L.V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. and Peterson, T., 2001: 'Global changes in climatic extremes during 2nd half of the 20 th century', *Climate Research*, accepted for publication.

Flores, M., R. Araujo, E. Betancourt. 2000. Vulnerabilidad de las zonas potencialmente aptas para el maíz de temporal en México ante el cambio climático. Capítulo VI en: México: Una Visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Resultados de los



Estudios de Vulnerabilidad del País, Coordinados por el INE con el Apoyo del U.S. Country Studies Program. C. Gay (compilador). SEMARNAP, UNAM, USCSP. 103-118.

Floresecano, E. 1980. Análisis Histórico de las Sequías en México. ¿?

Galindo, I., A. Chávez. 1979. Estudio del Clima Solar en la República Mexicana. I. Radiación Solar Total. Instituto de Geofísica UNAM. Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional.

García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Offset Larios, México, 217 pp.

García, E. 1986. Apuntes de Climatología. Quinta Edición. México. 155 pp.

Garduño, R. 1995. El Veleidoso clima. Colección La Ciencia desde México. No. 127. Fondo de Cultura Económica. 169 pp.

Gay, C., L.G. Ruiz, M. Imaz, C. Conde (eds). 1995. Memorias del Primer Taller del Estudio del País: México ante el Cambio Climático. Cuernavaca, Mor. 1994. INE, CCA, UNAM, USCSP. México.

Gay, C., L.G. Ruiz Suárez, M. Imaz, C. Conde y B. Mar. (eds). 1996. Memorias del Segundo Taller del Estudio del País México ante el Cambio Climático. Cuernavaca, Mor. 1995. INE, CCA, UNAM, USCSP. México.

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

Gay, C., C. Conde, J.L. Pérez. 2001. Escenarios Climáticos Regionales para Estudios de Cambio y Variabilidad Climáticas en México. En: El Tiempo del Clima. A.J. Pérez Cueva, E. López Baeza, J. Tamayo Carmona (editores).. 95-102.

Gay, Carlos (PI), R. Seiller, C. Conde, H. Eakin, M. Vinocur, et al. 2002. Proyecto "Integrated Assessment of Social Vulnerability and Adaptation to Climate Variability and Change Among Farmers in Mexico and Argentina" aprobado por UNDP-GEF. 2002-2004.

Geng, S., J.S. Auburn, E. Brandsetter and B. Li. 1988. A program to simulate meteorological variables: Documentation for SIMMETEO. Agronomy Progress report No. 204. Dept. of Agronomy and Range Sci. Univ. of California. CA. (citado en Tsuji et al).

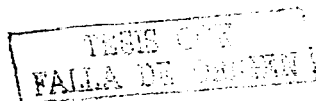
Gibbs, W., J.V. Maher. 1967. Rainfall deciles as drought indicators. Bureau of Meteorology Bullitin. 48. Commonwealth of Australia.

Girogi, F., B. Hewitson. 2001. Regional Climate Information – Evaluation and Projections. Capítulo 10 del IPCC, WGI, Third Assessment Report. 563 –768.

Giorgi, F. and R. Francisco, 2000a: Uncertainties in regional climate change predictions. A regional analysis of ensemble simulations with the HadCM2 GCM. *Clim. Dyn.*, **16**, 169-182. (citado en Giorgi et al, 2001).

Gleik, P.H. 1990. Vulnerability of water systems. In P.E. Waggoner. Ed. Climate Change and US Water Resources. New York, John Wiley. 223-240. (citado por UNEP, 2001).

Good y, R.M. 1964. Atmospheric Radiation. Vol. I. Theoretical Basis. *Oxford Monogr. On Meteorol.* Oxford and Clarendon Press.



Good y, R.M., Y.L. Yung. 1989, Atmospheric Radiation. Theoretical Basis. Second Edition. Oxford Univ. Press.

Grissino - Mayer, H. D. 1996. A 2129-year annual reconstruction of precipitation for northwestern New Mexico, USA. In Dean, J.S., D.M. Meko, and T.W. Swtnam, eds. Tree Rings, Environment, and Humanity. Radiocarbon 1966. Tucson, AZ, Dept. of Geosciences. U. de Arizona. Pp 191 - 204.

Goodness, C., M. Hulme, T. Osborn. 2001. The identification and evaluation of suitable scenario development methods for the estimation of future probabilities of extreme weather events. Tyndall Centre Working Paper No. 6. School of Environmental Sciences. Univ. of East Anglia. 44 pp.

Gutiérrez, T., Centella, A., Limia, M., López, M. 1999. Impactos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación para Cuba. Informe del Proyecto No. FP/CP/2200-97-12. 181 pp.

Henderson - Sellers, K. McGuffie. 1991. Introducción a los Modelos Climáticos. Ediciones Omega. 231 pp.

Hernández, E., A. Tejeda y S. Reyes (1991). "Atlas solar de la República Mexicana". *Colec. Textos Universitarios*, Universidad Veracruzana / Universidad de Colima.

Hernández, M.A., L.A. Torres, G.V. Madero. 2000. Sequía Meteorológica. Capítulo II en: México: Una Visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Resultados de los Estudios de Vulnerabilidad del País, Coordinados por el INE con el Apoyo del U.S. Country Studies Program. C. Gay (compilador). SEMARNAP, UNAM, USCSP. 25-40.

Hess, S.L. 1959. Introduction to Theoretical Meteorology. Henry Holt and Co. New York.

Houghton, J.T. et al (eds). 1996. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press. U.K. 572 pp.

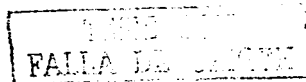
Hulme, M., O. Brown. 1998. Portraying climate scenario uncertainties in relation to tolerable regional climate change. *Clim. Res.* 10: 1-14.

Hulme, M., N. Sheard. 1999. Escenarios de Cambio Climático para Mesoamérica. Folleto. WWF, UEA, UK. 6pp.

Hulme, M., T.M.L. Wigley, E.M. Brown, S.C.B. Raper, A. Centella, S. Smith, and A.C. Chipanshi. 2000a. Using Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessment: MAGICC and SCENGEN. Version 2.4 Workbook, Climate Research Unit, Norwich. UK, 52 pp.

Hulme, M. 2002. Climate Scenarios in Vulnerability, Impact and Adaptation Assessments: an overview. Presentación en el curso: AIACC course on Development and Applications of Scenarios in Impacts, Adaptation and Vulnerability Assessments. Norwich, UK, abril 15 - 26, 2002. Hulme, M., X. Lu. 2000. How to Factor Interannual Climate Variability into Climate Scenarios. A note prepared for the DETR Fast track impacts group. Draft. 11pp.

Hulme, M., Crossley, J. and Lu, X., 2001: *An Exploration of Regional Climate Change Scenarios for Scotland*. The Scottish Executive Central Research Unit, ISBN 1-84268-493-0.



INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1996. Atlas Agropecuario del Estado de Tlaxcala. VII Censo Agropecuario. 1991. 80 pp.

Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2002. IPCC Workshop on Changes in Extreme Weather and climate events. Beijing, China. 11- 13 June, 2002.

IPCC, WGII (Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group II). 2001. Climate Change 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability. J. J. McCarthy, O. F. Canziani, N. A. Leary, F. J. Dokken, K.S. White (eds.). Cambridge University Press. 1032 pp.

IPCC, WGI (Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I). 2001. Summary for Policy Makers. A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Cambridge University Press. 20 pp.

IPCC-TGCI (Task Group on Climate Scenarios for Impacts Assessments). 1999. Guidelines on the use of Scenario data for climate impact and adaptation assessment. Version 1. Prepared by T.R. Carter, M. Hulme and M. Lal, Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, 69 pp.

IPCC, 1994: *IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations*. Prepared by Working Group II [Carter, T.R., M.L. Parry, H. Harasawa, and S. Nishioka (eds.)] and WMO/UNEP. CGER-IO15-'94. University College - London, UK and Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan, 59 pp

IPCC, 1992. Preliminary Guidelines for Assessing Impacts of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climatic Change. Environmental Change Unit. U.K.

Jáuregui, E., A. Tejada. 2000. Un Escenario de las condiciones bioclimáticas en la Ciudad de México para una duplicación en la concentración de CO₂. En el libro: México: Una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. SEMARNAP, UANM, USCSP. C. Gay (compilador). 195-211.

Jáuregui, E. 1995. Rainfall Fluctuations and Tropical Storm Activity in México. *Erkunde. Archiv Für Wissenschaftliche Geographie*. 49: 39 – 48.

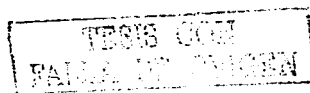
Jáuregui, E. 1995. Rainfall fluctuations and tropical storm activity in Mexico. *Erkunde. Archiv Für Wissenschaftliche Geographie*. 49:39-48.

Jáuregui, E. 1977. Climate changes in Mexico during the historical and instrumented periods. *Quaternary International*. 43/44: 7-17.

Jiménez R, y Madrey R (1992) "Esguerrimiento medio anual" en Hidrogeografía IV.6.4. Atlas Nacional de México. Vol. II, Escala 1:4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Jones, C. A. and Kiniry, J. R. (1986), *CERES - Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development*. Texas A&M Press, College Station, Texas, USA.

Jones, R. 2002. Representing Uncertainties & Selecting Scenarios. Presentación en el curso: ALACC course on Development and Applications of Scenarios in Impacts, Adaptation and Vulnerability Assessments. Norwich, UK, abril 15 – 26, 2002.



Jones, R. 2000. Analysing the risk of climate change using an irrigation demand model. *Clim Res.* 14: 89-100.

Jones, R.N. 2000. *Managing uncertainty in climate change projections – issues for impact assessment. Climatic Change.* 45, 403 – 419.

Jones, R. Climate Variability. Presentación. Technical Paper No. 4. Adaptation Policy Framework. (In process).

Jones, R., L. Mearns, Assessing current and future climate risks. Technical Paper No. 5. First order draft. Adaptation Policy Framework. In process.

Kasperson, J., Kasperson, R.E. 2001. Workshop Summary. International Workshop on Vulnerability and Global Environmental Change. 17-19 May 2001. Stockholm Environment Institute (SEI). Stockholm, Sweden. 42 pp

Karl, T.R., Nicholls, N. and Ghazi, A. (eds.), 1999: 'Weather and climate extremes: changes, variations and a perspective from the insurance industry', *Climatic Change*, 42, 1-349.

Leal, M., V. Chávez, L. Larralde. 1996. Temas Ambientales. Zona Metropolitana de la Ciudad de México. SEMARNAP, PNUMA. 123 pp.

Legorreta, 1998. Conversión Productiva del Temporal para Tlaxcala. Opciones para Reducir el Impacto de Eventos Climáticos en el Agro. Tríptico de divulgación. INIFAP, SAGAR; AGROTLAX. Fundación Produce, Tlaxcala.

Lim, B. 2003. Capacity Building for Stage II Adaptation to Climate Change in Central America, Mexico and Cuba. UNEP – GEF project. PIMS # 2220

Lippsset. L. 2000. Beyond El Niño. *Sci. Am.* 11(1): 76-83.

Liverman, D. K. O'brian. 1991. Global warming and Climate Change in Mexico. *Global Environmental Change.* 1(4): 351-364.

Liverman, D., M. Dille, K. Obrian and L. Menchaca. 1994. Possible Impacts of climate change on maize yields in Mexico. In: Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study (Rosenzweig, C. and Ana Iglesias (eds.). U.S. Environmental Protection Agency, Mexico. Washington D.C. :1-4.

Liverman, D. 1999. Social Costs, Environmental Impacts, Economic Damages. Climate Change and the Borderlands: An Introduction and Assessment. *Borderlines*, 7(5): 1-4. <http://zianet.com/ircl/borderline/>

Liverman, D. 2000. Adaptation to Drought in México. En: Drought. Edited by Donald White. Vol II: Routledge Hazards and Disaster Series. London. 35-45.

Lorenz, E.N. 1993. *The Essence of Chaos*. Seattle, Wash. University of Washington Press. Citado por Stern, P.C., William, E. 1999 (ed). Making Climate Forecasts Matter. National Academy Press. (<http://www.nap.edu>). 175 pp.

Madercy, L.E, A. Jiménez. 2000. Los Recursos Hidrológicos del Centro de México ante un Cambio Climático Global. Capítulo III en el libro: México: Una visión hacia el siglo XXI. EL Cambio Climático en México. C. Gay (compilador). SEMARNAP, UANM, USCSP. C. Gay (compilador). 41-62.



Magaña, V.O. 1996. Escenarios Físicos de Cambio Climático. Estudio de País: México. Memorias del Segundo Taller de Estudio de País: México. México ante el cambio climático. Cuernavaca, Mor. 8 -11 mayo, 1995: 93-100.

Magaña, V., 1994: "An strategy to determine regional climate change". En: México ante el cambio climático. *Primer Taller Estudio de País: México*. Cuernavaca, Morcos, México, 1994. pp 45-51.

Magaña, V.O. 1996. Escenarios Físicos de Cambio Climático. Estudio de País: México. Memorias del Segundo Taller de Estudio de País: México. México ante el cambio climático. Cuernavaca, Mor. 8 -11 mayo, 1995: 93-100.

Magaña V., A. Quintanar. 1997. On the Use of General Circulation Model to Study Regional Climate. 2nd UNAM GRAY Supercomputing Conference on Earth Sciences. Mexico City. June, 1997. Ed. Cambridge University Press. 39 - 48.

Magaña V., et al, 1997. Proyecto: Uso de pronósticos climáticos para las actividades agrícolas en Tlaxcala. USCSP, IAI. 1997 - 1999 (no publicado).

Magaña, V., C. Conde, O. Sánchez, Gay, C. 1997. Assessment of current and future regional climate scenarios for Mexico. *Climate Research*. 9(2):107-114.

Magaña, V. (editor). 1999. *Los Impactos de El Niño en México*. México. UNAM, IAI; SG. 228 pp. <http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/nino.htm>.

Magaña, V., J. Pérez, J. Vázquez, E. Carrisoza, J. Pérez. 1999a. El Niño y el Clima. Capítulo 2 del libro: *Los Impactos de El Niño en México*. México. UNAM, IAI; SG. 23 - 62.

Magaña, J. Amador and S Medina. 1999b. The midsummer drought over Mexico and Central America. *Am. Met. Soc*, 12(6): 1577-2588.

Magaña, V and C. Conde 2000. Climate variability and freshwater resources in northern Mexico. Sonora: a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*. KLUWER Academic Publishers. 61: 167- 185

Magaña et al, 2002. Estudio de Factibilidad sobre la Predicción y Atenuación de los Impactos Socioeconómicos de El Niño - Oscilación del Sur en Latinoamérica y el Caribe. Propuesta del Sistema Nacional de Alerta Temprana en Centro América ante el Fenómeno El Niño / Oscilación del Sur. Proyecto IBD - ATN/jF - 6579 - RG. Organización Meteorológica Mundial y Banco Interamericano de Desarrollo. 77 pp.

Magaña, V., C. Conde. 2003. Climate Variability and climate Change Impacts on the Freshwater Resources for Northwestern Mexico, Sonora: A Case Study. In: *Climate, Water and Transboundary Challenges in the Americas*. Edited by H. F. Diaz. and B. J. Morehouse. 373-391.

Manabe,S., Stouffer,R.J., Spelman,M.J. and Bryan,K. 1991. Transient response of a coupled ocean-atmosphere model to gradual changes of atmospheric CO2. Part I: annual-mean response *J. Climate*. 4, 785-818

Marland, G., T. A. Boden and A. L. Brenkert, 2000. Global, Regional, and National Fossil Fuel CO2. Emissions. Published by Carbon Dioxide Information Analysis Center. http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/emis/meth_reg.htm

Meko, D., C.W. Stockton, W.R. Boggess. 1995. The tree-ring record of severe sustain drought. *Water Resources Bulletin*. 31(5):719-801.

Mendoza, V.M., E.E. Villanueva, J. Adem. 1996. Estudios de vulnerabilidad basados en escenarios de cambio climático en México, derivados de resultados de GCMs con un doblamiento del CO2 atmosférico (El ciclo anual presente).

Mendoza, V.M., E.E. Villanueva, J. Adem. 1997. Vulnerability of basins and watersheds in Mexico to global climate change. *Clim. Res.* (2): 139-145.

Meredith, R. 2001. A Primer on Climate Variability and Change in the Southwest. Udall Center for Studies in Public Policy. 28 pp.

Mitchell, J.F.B., Johns, T.C., Eagles, M., Ingram, W.J. and Davis, R.A. 1999. Towards the construction of climate change scenarios. *Climatic Change*. 41: 547-581.

Mitchell, T.D., Hulme, M., and New, M. 2002. Climate data for political areas. *Area* 34:109-112.

Moguel, P., V.M. Toledo. 1996. El café en México. Ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias*. 43: 40-51.

Monterroso, A.I., J. D. Gómez. 2002. Mapas de Clima de la República Mexicana de Acuerdo al Criterio de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la desertificación en países afectados por sequía grave o desertificación. PNUMA / ORPALC/UNDC - 1994.

Morales, T., Magaña, V. 1999. *Unexpected Frosts in Central Mexico during Summer*. 11th Conference on Applied Meteorology. American Meteorological Society. 10 - 15 Jan. 1999. Dallas, Texas. Preprints. 262-263.

Morales R., V. Magaña, C. Millán, J.L. Pérez. 2002. Efectos del Calentamiento Global en la Disponibilidad de los Recursos Hidráulicos de México. Proyecto HC-0112. CAN, IMTA, CCA -UNAM. 151 pp.

Morris, M.D. 1997. Measuring The Conditions of the World's Poor: The Physical Quality of Life Index. New York, Pergamon Press. (citado por UNEP, 2001).

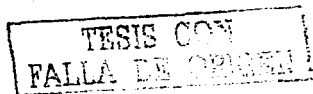
Nadal, A. 2000. The Environmental & Social Impacts of Economic Liberalization on Corn Production in Mexico. A study commissioned by Oxfam, GB and WWF International. 122 pp.

Nadal, A. 2000b. El Maíz en México: Algunas Implicaciones Ambientales del Tratado de Libre Comercio en América del Norte. Secretariado de la Comisión de Cooperación Ambiental. 182 pp.

Nakicenovic, et al. 2000. *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

New, M., Hulme, M., P.D. Jones. 1999. Representing twentieth - century space-time climate variability. Part I: development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology. *J. Climate*. 12: 829-856.

New, M. G., M. Hulme and P. D. Jones, 2000. Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: Development of 1901-1996 monthly grids of terrestrial surface climate. *J. Climate*, 13: 2217-2238.



Obasi, G.O.P. 1996. *Foreword*. World Climate News. June 1996, No. 9. Pag. 3. WMO. Ginebra, Suiza.

O'Brian, K.L., R.M. Leichenko. 2000. Double Exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization. *Global Environ. Change*. Elsevier Science. 10: 221- 232.

Ojeda, D., E. Ojeda. 1996. Suelos cultivados de la República Mexicana. Contenido medio de nutrientes aprovechables. Univ. Autónoma de Chapingo. México.

Ortiz, M. 1993. Distribución y extensión de suelos afectados por sales en México y en el Mundo. Suelos. Univ. Autónoma de Chapingo. México.

Osborn, T.J. and M. Hulme, 1998: Evaluation of the European daily precipitation characteristics from the Atmospheric Model Intercomparison Project, *Int. J. Climatology*, 18, 505-522 (citado por Giorgi et al, 2001).

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

Orozco, S. 2000. Cambio Climático en Tlaxcala. Tesis para obtener el Grado de Maestro en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM:

Palmer, W.C. 1965. Meteorological Drought. Research Paper No. 45. US Department of Commerce Weather Bureau, Washington D.C.

Parry, M. 1999. *Global Environmental Change*. 9: S51 -S67.

Parry, M. L., T.R. Carter, N.T. Konij. 1988. The Impact of Climate Variations n Agriculture. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Citado por N.J. Rosenberg (ed). 1993.

Paltridge, G.W., C.M.R. Platt. 1976. Radiative Proecesses in Meteorology and Climatology Developments in Athmospheric Sciences. Vol. 5. Elsevier Scientific Publishing Co. New York.

Pérez, J.L. 1997. Cambio Climático Regional en México. Tesis para obtener el título de Físico. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.

Pérez, J.L. 2001. Variabilidad Climática Regional del Altiplano Central de México. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias (Física de la Atmósfera). Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. México, D.F.

Pexioto, J.P., A. H. Oort. 1993. Physics of Climate. American Institute of Physics. New York. 412-449.

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. PNUD. 1999. Taller Temático sobre la Evaluación de la Vulnerabilidad y la Adaptación. Ciudad de México, México, 8 - 10 septiembre, 1999. Informe de Taller. Programa de Apoyo a las Comunicaciones Nacional. 15 pp.

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. UNEP (United Nations Environmental Program). 2001. Vulnerability Indices. Climate Change Impacts and Adaptation. Policy Series. Vol. 3.

Ramanathan, V. 1976. Radiative Transfer within the Earth's Troposphere and Stratosphere: A Simplified Radiative – Convective Model. *J. Atmos. Sci.* **30**: 1330 – 1346.

Ropelewski, C F., M.C. Halpert. 1987. Global and Regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.* **115**: 1606-1626.

Reyes Castañeda, P.R. 1981. Historia de la agricultura: Información y Síntesis. México. AGT Editor, S.A. citado por O'Brian, K., D. Liverman. 1996. Climate Change and Variability in México. en el libro: Climate Variability, Climate Change and Social Vulnerability in the Semi-Arid Tropics. J.C. Cambridge Univ. Press. Ribnot et al, editors.

Rind, D. 2000. Drought, Variability and Climate Change in the Twenty-First Century. En: Drought. Edited by Donald White. Vol. II. Routledge Hazards and Disaster Series. London. 264-272.

Roeckner, E., Arpe, K., Bengtsson, L., Brinkop, S., Dümenil, L., Esch, M., Kirk, E., Lunkeit, F., Ponater, M., Rockel, B., Suasen, R., Schlese, U., Schubert, S. and Windelband, M. 1992. Simulation of the present-day climate with the ECHAM4 model: impact of model physics and resolution Max-Planck Institute for Meteorology, *Report No.93*, Hamburg, Germany, 171 pp.

Rosenberg, N.J.. (ed.). 1993. Towards an Integrated Assessment of Climate Change: The MINK Study. Kluwer Academic Publishers. 173 pp.

Rzedowski, J. 1978. *La vegetación en México*. Limusa, México. Citado en: *Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México*. Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA), 1994. FAO, PNUMA. 159 pp.

Rzedowski J. 1978. *Vegetación en México*. México. Ed. Limusa. 432 pp.

Stern, P.C., W. E. Easterling (editors). 1999. Making Climate Forecasts Matter. National Academy Press. Washington, D.C. 175 pp

Secretaría de Gobernación. Coordinación General de Protección Civil. "Reglas de Operación del Fondo de Desastres Naturales 2000". 81 pp.

SEMARNAT. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). Estadísticas Selectas. Agua. Balance de agua superficial y subterránea, 1995. www.semarnap.gob.mx/naturaleza/estadística-am/

Schneider, S.H. 1992. Introduction to climate modeling. Chapter 1 in *Climate System Modeling*. K.E. Trenberth. (editor). Cambridge University Press. New York. NY. 3-26.

Smith, J., D. Tipak (editors). 1989. The Potential Effect of Global Climate Change on the United States, EPA-230-05-89-050. Environmental Protection Agency. Washington D.C.

Smit, B., Pilifosova, O., et al. 2001. Adaptation to Climate Change in the Context of Sustainable Development and Equity. Chapter 18. IPCC, WGII. 2001. Climate Change 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability. J. J. McCarthy, O. F. Canziani, N. A. Leary, F. J. Dokken, K.S. White (eds.). Cambridge University Press.

Somerville, R. 1987. The predictability of weather and climate. *Clim. Change*. 11: 239-246. Citado por Schneider, S.H. 1992. Introduction to climate modeling. Chapter 1 in *Climate System Modeling*. K.E. Trenberth. (editor). Cambridge University Press. New York. NY. 3-26.

Stern, P.C., William, E. 1999 (ed). Making Climate Forecasts Matter. National Academy Press. (<http://www.nap.edu>). 175 pp.

Stocker, T.F., K.C. Clarke, H. Le Treut, R.S. Lindzen, V.P. Meleshko, R.K. Mugar, T.N. Palmer, R.T. Pierrehumbert, P.J. Sellers, K.E. Trenberth, J. Willebrand (Lead Authors). 2001. *Physical Climate Processes and Feedbacks*. Capítulo 7, IPCC, WGI.

Torres-Ruiz, E. 1995. Agrometeorología. Ed. Trillas.

Tejeda, A., J.L. Vázquez. 1996. Explicación de la hoja de cálculo RADAIC2.xls. Versión 1.0. Universidad Veracruzana. 3 pp.

Tejeda, A. y A. Vargas. 1996. A correlation between visual observations and instrumental records of cloudiness in Mexico. *Geofísica Internacional* 35: 421-424.

Tsuji, G.Y. , G. Uehara, S. Balas (editors). 1994. DSSAT. Ver.3. University of Hawai, Honolulu, Hawai.

Tourre Y. M. (editor). Climlab 2000. version 1.1.0. A Statistical Software Package for Climate Applications. International Research Institute for Climate Predictions. N.Y. USA. 55 pp.

Tol, R. S.J. 1998. Socio-Economic Scenarios. Chapter 2 in: Handbook on Methods of Climate Change Impacts Assessment and Adaptation Strategies. Feenstra, J., I. Burton, J.B. Smith, and R.S.J. Tol (eds). United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, and Institute for Environmental Studies, Amsterdam, The Netherlands, 448 pp.

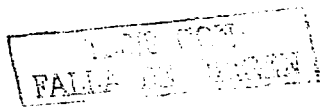
Trautmann, W. 1991. Los Cultivos Indígenas de Tlaxcala y la Mesa Central: Tipología y problemas de su datación. Historia y Sociedad en Tlaxcala. *Memorias del 4º Y 5º. Simposio Internacionales de Investigaciones Socio-Históricas sobre Tlaxcala. Octubre 1988, Octubre 1989*. Gobierno del Estado de Tlaxcala. 62-65 p.

Trujillo, J. 1990. Adaptación de sistemas tradicionales de producción de maíz a las condiciones "sinictrantes" de Tlaxcala. *Historia y Sociedad en Tlaxcala. Memorias del 3º. Simposio Internacional de Investigaciones Socio-Históricas sobre Tlaxcala. Octubre de 1987*. Gobierno del Estado de Tlaxcala. 67-69 p.

Turnpenny, J. 2002. Power, Politics and Science: Development of the UKCIPO2 Climate Change Scenarios for the UK. Presentación en el curso AIACC course on Development and Applications of Scenarios in Impacts, Adaptation and Vulnerability Assessments. Norwich, UK, abril 15 - 26, 2002.

Uribe, E.M. 2000. Análisis de la variabilidad de la precipitación en Tamaulipas. Tesis para obtener el título de licenciado en Ingeniería Geofísica. Facultad de Ingeniería, UNAM.

Vázquez, J.L. 2000. Caracterización Objetiva de los Nortes del Golfo de México y su Variabilidad Interanual. Tesis para obtener el título de licenciado en Ciencias Atmosféricas. Universidad Veracruzana. 62 pp.



Villalpando, F., O. Arango, J. Ducci, C. MacDonald, V. Magaña, R. Rosales. 2003. Sistema de Información para la Toma de Decisiones en Sectores Socioeconómicos Vulnerables a El Niño y otras Variaciones del Clima en México (SICLIMEX). 97 pp.

Villers, L., I. Trejo. 1997. Assessment of the vulnerability of forest ecosystems to climate change in Mexico. *Clim. Res.* 9: 87-93.

Villers-Ruiz, L., I. Trejo-Vázquez. 2000. El cambio climático y la vegetación en México. Capítulo V en el libro México: Una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. SEMARNAP, UANM, USCSP. C. Gay (compilador).195-211.

Washington, W.M. 1992. Climate – model responses to increased CO2 and other greenhouse gases. Chapert 20 in *Climate System Modeling*. K.E. Trenberth. (editor).Cambridge University Press. New York. NY. 643-668.

Warman, A. La historia de un bastardo: maíz y capitalismo. Fondo de Cultura Económica. 281 pp.

Watts, J. M., Bohle, H.G. The space of vulnerability: the causal structure of hunger and famine. *Progress in Human Geography*. 17(1): 43 – 67.

Watson, R.T., M.C. Zinyowera, R.H. Moss, D., J. Dokken. 1997 Informe Especial del IPCC; 1997. Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad. PNUMA. OMM. 16 pp.

Wetherald, R.T.; S. Manabe. 1986. *Climate Change*. 10:1-42.

Westerhoff, P. Overview. In The U.S. – Mexican border environment: Water issues along the U.S. – Mexican border, ed. P. Westerhoff. 1-8. SCERP Monograph Series, no. 2. San Diego State Univ. Press.

Wigley, T.M.L. 1994. MAGICC (Model for Assessment of Greenhouse –gas Induced Climate Change): User's Guide and Scientific Research Manual. National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colo.

Wilks, D.S., 1995: *Statistical Methods in the Atmospheric Science*, Academic Press, pp. 200-357.

World Fact Book, 2000. Prepared by Central Intelligence Agency, USA. *Journal of Climate* 12 (10) 3004-3032. <http://www.odci.gov/cia/publications/factbook/docs/concopy.html>

A N E X O S
PAGINACIÓN
DISCONTINUA

Artículos anexos

1. Gay, C., C. Conde, J.L. Pérez. 2001. Escenarios climáticos regionales para estudios de cambio y variabilidad climáticas en México. En: *El Tiempo del Clima*. A.J. Pérez-Cueva, E. López Baeza y J. Tamayo Carmona (Eds). Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. 95 – 102.
2. Conde, C., H. Eakin. 2003. Adaptation to Climatic Variability and Change in Tlaxcala, Mexico. 2003. Chapter in: *Climate Change, Adaptive Capacity and Development.*, J. Smith, R. Klein, S- Huq. (editors). Imperial College Press , London.
3. Magaña, V., C. Conde. 2003. Climate Variability and climate Change Impacts on the Freshwater Resources for Northwestern Mexico, Sonora: A Case Study. In: *Climate, Water and Transboundary Challenges in the Americas*. Edited by H. F. Diaz. and B. J. Morehouse. 373-391.
4. Conde, C., K. Lonsdale. 2003. Stakeholder Engagement in The Adaptation Process Technical Support Paper No. 2. *Adaptation Policy Framework*. Outline and Draft. UNDP-GEF. http://www.undp.org/cc/apf_outline.htm.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El Tiempo del Clima

A. J. Pérez-Cueva
E. López Baeza
J. Tamayo Carmona



Publicaciones de la
Asociación Española de Climatología (AEC)
Serie A, nº 2

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Primera Edición 2001

Copyright © Asociación Española de Climatología y Autores

Esta obra recoge las aportaciones presentadas al II Congreso de la Asociación Española de Climatología (Valencia, 7-9 Junio, 2001) y aceptadas por el Comité Científico.

Comité Científico: C. Almaraz (INM), S. Alonso (Univ. Islas Baleares), R. Cañada (Univ. Autónoma de Madrid), J. Creus (Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC), E. López-Baeza (Univ. Valencia), J. Martín-Vide (Univ. Barcelona), M.ª V. Marzol (Univ. La Laguna), A. J. Pérez-Cueva (Univ. Valencia), M.ª F. Pita (Univ. Sevilla), J. M. Raso, E. Rodríguez-Camino (INM), J. Tamayo (INM), L. A. Vázquez (INM).

Comité Organizador: A. J. Pérez Cueva, E. López-Baeza, J. Tamayo Carmona. Colaboradores: R. Armengot Serrano, A. Bodas Salcedo, J. Canet López, N. Castell Balaguer, N. Caudet Bastante, C. Ferrer García, J. F. Gimeno Ferrer, J. Morell Cuevas, D. Peñarrocha Ferrer, A. Sánchez Alandí.

El II Congreso de la Asociación Española de Climatología fue organizado por la propia Asociación y por la Universitat de Valencia, y Coorganizado por el Instituto Nacional de Meteorología (Ministerio de Medio Ambiente) y la Consellería de Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana.

ISBN 84-607-2433-6

Depósito Legal: V-2468-2001

Derechos reservados para todos los países

No se permite la reproducción total o parcial de este libro ni la compilación en un sistema informático ni la transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro o por otros medios, presentes y futuros, ni el préstamo, alquiler o cualquier otra forma de cesión del uso del ejemplar, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del copyright.

Printed in Spain - Impreso en España

Edición a cargo de
Garnas Impresores
Colón, 73 - 46360 BUÑOL (Valencia)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESCENARIOS CLIMÁTICOS REGIONALES PARA ESTUDIOS DE CAMBIO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICAS EN MÉXICO

Carlos GAY*, Cecilia CONDE*, José Luis PÉREZ*

* Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN

Se discuten en este trabajo las técnicas empleadas en diversos estudios en México para crear escenarios regionales de cambio climático y para analizar los posibles impactos del fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur en el país.

Particularmente, se presentan los avances obtenidos en la aplicación de los métodos estadísticos, que permiten estudiar las relaciones que se establecen entre las variables de gran escala y las variables regionales o locales. Mediante ecuaciones de regresión, se utilizan entonces las simulaciones de los modelos de circulación general (MCGs) en condiciones de cambio climático.

Actualmente, se están empleando los modelos MAGICC y SenGen (HULME, 2000) para realizar estudios de país, en el marco de las llamadas Comunicaciones Nacionales, compromiso contraído por los países ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, quienes sugieren el uso de esos modelos para los estudios de vulnerabilidad y adaptación ante el cambio climático.

Palabras clave: Cambio Climático, Variabilidad Climática, Reducción de escala, Escenarios Regionales.

ABSTRACT

In this paper we present the techniques applied for generating regional climate scenarios as well as to analyze the impacts of El Niño/Southern Oscillation in Mexico. In particular, we present the results obtained applying statistical methods, that allow us to study the relationships established between the sea surface temperature (SST) and the regional or local variables. Regression equations are constructed introducing the outputs of General Circulation Models (GCMs) under climate change conditions.

Currently, we are using the model MAGICC and SenGen (HULME, 2000) to develop studies related to the National Communications, a commitment that the countries agreed to accomplish under the United Nations Framework Convention for Climate Change. This organization suggests the use of several models and techniques in the vulnerability and adaptation assessments.

Key Words: Climate Change, Climate Variability, Downscaling, Regional Scenarios.

TESIS CAN
FALLA DE ORIGEN

1. INTRODUCCIÓN

El artículo 2 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático establece que el objetivo último de esta convención es lograr estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero a un nivel que permita prevenir las interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Este nivel se tendría que lograr en un tiempo suficiente tal que se permitiera que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático; se asegurara que la producción de alimentos no esté amenazada y se permitiera que el desarrollo económico sea de manera sostenible (WATSON *et al.*, 1997).

Por otra parte, según OBASI (1996), en la reunión de diciembre de 1995 del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) se llegó a las siguientes conclusiones básicas:

- El balance de la evidencia sugiere que es discernible la influencia humana en el clima global (Grupo de Trabajo I, WGI)
- El reto no es encontrar la mejor política (para enfrentar al cambio climático) ahora para los próximos 100 años, sino seleccionar una estrategia prudente y ajustarla en el tiempo a la luz de nueva información (Grupo de Trabajo III, WGIII)

A partir de la segunda conclusión, se buscaría además desarrollar una "cartera" de medidas de adaptación y mitigación que permitiera entonces tener la suficiente rapidez y flexibilidad para disminuir los posibles impactos negativos del cambio climático. El gran dilema para desarrollar lo anterior es el contar con los grupos de trabajo nacionales y regionales que permitieran obtener y actualizar no sólo las bases de datos necesarias, sino también las metodologías y modelos aplicables regional o localmente.

Es este marco el que explica el impulso a los llamados "Estudios de País" y en particular el desarrollado en México. Así, este estudio se inició en México en 1994 simultáneamente con otros 50 países. Un reto para estos estudios fue el emplear las mismas metodologías, tal que los resultados fueran comparables e integrables a nivel global. A escala nacional, fue necesario impulsar trabajos interdisciplinarios, que permitieran el flujo de la información en todas direcciones.

En el "Estudio de País: México" (GAY *et al.*, 1996) se analizaron las perspectivas que tendría el país ante un posible cambio climático. Para ello, se generaron diversos escenarios de cambio climático que fueron empleados en los estudios de vulnerabilidad, dentro de las líneas de investigación: agricultura, recursos hídricos, ecosistemas forestales, sequía y desertificación, energía e industria y asentamiento humano. El estudio también incluyó la construcción de un inventario de gases de efecto invernadero para México.

Este Estudio estuvo coordinado por el Dr. Carlos Gay y en él participaron diez instituciones de investigación y alrededor de 30 investigadores, técnicos y estudiantes, principalmente de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La investigación de los escenarios climáticos fue dirigida por el Dr. Victor Magaña y los estudios de Vulnerabilidad fueron coordinados por el Dr. Carlos Gay, ambos miembros del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

Parte medular de este trabajo fue la elaboración de escenarios climáticos, actuales y de cambio.

Esto es fundamental para examinar la vulnerabilidad de cualquier sistema y determinar las estrategias de adaptación. La comparación entre las condiciones climáticas actuales y aquellas que prevalecerían bajo condiciones de cambio, permite identificar y cuantificar el grado de vulnerabilidad de las regiones o sitios en donde el cambio climático sería más adverso (por ejemplo, reducción en los rendimientos agrícolas, disminución en las reservas de agua, etc.).

2. ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Los escenarios de cambio climático constituyen una combinación posible de condiciones que se pueden usar para ilustrar eventos futuros. A pesar de que es muy probable que el incremento en los gases de efecto invernadero incrementará la temperatura y precipitación globales, existe incertidumbre en cuanto a las magnitudes y tiempo en que se darán dichos cambios. En el caso de la lluvia, incluso existe incertidumbre en cuanto al signo de dicho cambio en un contexto regional.

Si bien no es posible "predecir" el futuro, se utilizan estos escenarios para evaluar la sensibilidad de los sistemas estudiados al posible cambio climático.

En general, en condiciones de cambio climático, con incrementos en la temperatura de 1.5 a 3°C, se considera que se presentará mayor calentamiento en los continentes que en los océanos y mayor calentamiento en las regiones polares; se espera también una reducción en la diferencia entre la temperatura diurna y la nocturna. También, existe la posibilidad de una alteración del ciclo hidrológico que produzca un aumento en la lluvia y nieve en las latitudes altas y también una disminución en la humedad del suelo, particularmente en verano.

Las condiciones anteriores se obtienen al emplear los modelos físicos más avanzados que existen en la actualidad, los modelos de circulación general (MCGs). En estos modelos se introducen condiciones de un doblamiento de bñido de carbono, y se obtienen como resultados o salidas los cambios en las variables físicas más determinantes: temperatura, precipitación, radiación.

Para regionalizar los escenarios de cambio climático generados por los MCGs, es necesario establecer criterios basados en principios físicos que relacionen las condiciones de gran escala con el clima regional. En general, esto se logra con esquemas simples de interpolación de las salidas de los MCGs para los experimentos numéricos con condiciones de 1xCO₂ y 2xCO₂. En este trabajo presentamos los cambios regionales para México obtenidos mediante ese método.

En cuanto al escenario base, que describiera las tendencias y condiciones climáticas actuales, fue necesario contar con datos de temperatura y precipitación que fueran comunes, accesibles y confiables para todas las líneas de investigación de vulnerabilidad. Se decidió que estos datos que incluyeran el periodo 1950 a 1980 para 18 regiones del País (figura 1), según se muestra en las tablas 1 y 2. Estos datos fueron procesados por el Dr. Arthur Douglas, de la Universidad de Creighton, Nebraska. La descripción detallada de los criterios para regionalizar y las estaciones seleccionadas para cada región se pueden encontrar en (<http://www.ccrdc.noaa.gov>). La base de datos de Douglas contiene los promedios de temperatura (92 puntos) y precipitación (279 puntos) de más de 30 años.

TESIS CON
FALLA DE CALIFICACIÓN

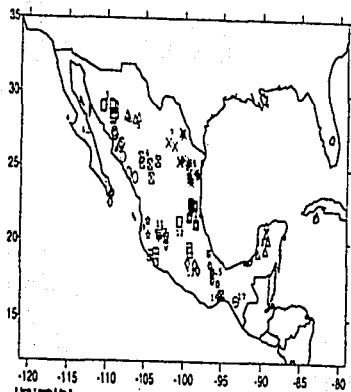


Figura 1: Mapa con las 18 regiones propuestas por A. Douglas. (Magaña, et al, 1997)

Tabla 1: TEMPERATURA POR REGIÓN (°C) (1950 - 1980)

mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	16.0	17.0	16.2	18.2	20.0	18.8	16.8	15.3	14.9	17.3	17.7	16.2	13.5	20.0	18.4	19.9	22.9	20.6	22.4
2	16.6	17.4	17.9	19.3	21.1	19.1	16.2	16.8	17.7	17.7	17.3	14.8	21.3	19.6	20.5	23.4	21.7	23.5	
3	17.8	19.3	19.4	21.0	22.1	20.7	18.1	20.7	19.0	21.9	19.7	17.1	21.0	21.2	23.1	23.3	24.1	23.9	
4	19.3	21.9	22.6	21.8	19.9	18.0	22.1	24.6	22.9	24.8	21.9	18.5	23.5	20.3	23.5	26.5	26.0	27.5	
5	21.3	24.8	26.0	26.8	19.6	20.9	24.6	26.6	22.4	26.2	23.4	19.0	21.9	21.9	26.5	27.4	26.8	28.3	
6	23.4	26.6	30.6	30.1	23.5	23.1	24.5	23.8	21.0	22.9	18.5	24.5	23.0	23.8	26.3	23.6	28.1		
7	27.9	30.8	32.5	30.9	22.8	22.3	24.9	28.7	23.3	26.8	21.3	17.5	23.3	27.4	24.9	25.4	29.0	27.6	
8	28.7	30.3	31.5	29.0	21.8	21.5	26.6	28.8	25.3	26.9	21.2	17.6	23.3	29.8	25.1	25.4	29.0	27.7	
9	27.4	28.4	30.9	28.9	20.1	20.1	24.2	26.7	21.2	26.3	21.0	17.2	22.8	26.6	24.4	23.0	24.7	27.3	
10	24.2	26.3	27.0	26.6	16.4	17.2	23.1	22.9	22.3	26.4	19.9	16.2	22.3	24.4	23.5	24.6	24.3	26.0	
11	19.5	22.0	20.6	22.3	11.7	13.8	15.8	15.9	15.9	22.5	18.2	14.8	14.4	21.2	21.7	21.3	22.2	24.2	
12	16.6	18.6	17.1	19.2	8.4	11.0	13.0	15.6	18.1	24.3	16.4	13.7	20.1	18.9	20.3	20.0	20.4	22.9	

Tabla 2: PRECIPITACIÓN POR REGIÓN (MM/DÍA) (1950 - 1980)

mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0.5	0.3	1.0	0.9	0.8	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6	0.4	0.3	0.3	1.3	2.2	0.3	0.3	0.5
2	0.5	0.2	0.6	0.4	0.5	0.2	0.4	0.7	0.3	0.1	0.2	0.2	0.1	1.4	2.0	0.2	0.3	0.8
3	0.3	0.0	0.4	0.3	0.1	0.1	0.3	0.7	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	1.6	1.0	0.2	0.3	0.5
4	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	1.5	0.2	0.1	0.3	0.9	0.7	2.6	2.4	0.3	1.0	1.0
5	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.2	2.4	0.3	0.4	1.0	1.8	2.4	6.2	5.9	1.7	2.9	2.9	
6	0.0	0.0	1.1	1.6	1.6	1.5	3.2	5.6	5.0	5.0	3.5	4.5	9.9	14.5	7.8	7.4	5.3	
7	0.2	1.0	4.8	6.3	4.6	2.8	13.2	11.2	6.3	7.0	4.0	4.4	8.7	13.2	5.8	6.4	5.0	
8	0.3	2.4	4.3	7.0	4.6	3.4	17.3	13.4	6.0	6.0	3.9	4.5	11.7	15.0	6.0	6.1	5.4	
9	0.4	2.7	1.9	4.0	2.9	2.6	23.5	10.6	8.1	4.8	3.6	4.5	11.4	17.2	8.6	7.7	6.6	
10	0.3	1.0	0.9	1.7	1.0	0.9	11.2	3.3	3.3	1.7	2.6	2.5	5.7	9.7	2.8	3.8	3.9	
11	0.3	0.3	0.5	0.3	0.2	0.5	0.9	0.6	0.7	0.4	1.0	1.3	2.9	4.7	0.8	1.0	1.5	
12	0.6	0.5	0.9	1.0	0.9	0.3	0.4	0.5	0.7	0.3	0.3	0.1	1.5	2.3	0.3	0.4	1.1	

En cuanto a los escenarios de cambio climático, en primer lugar, cada línea de vulnerabilidad aplicó los escenarios incrementales propuestos a nivel regional o local, a fin de realizar estudios de sensibilidad del sistema estudiado a cambios climáticos arbitrarios. Para ello, se aplicaron incrementos arbitrarios de temperatura y precipitación (+2, +4 y $\pm 10\%$, $\pm 20\%$, respectivamente) y combinaciones de ellos (por ejemplo, +2 para la temperatura y $\pm 10\%$ para la precipitación).

Un segundo método (ver tabla 3) para los escenarios de cambio se basó en usar las salidas de dos MCC: el GFDL (modelo del Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) y el CCCM (modelo del Canadian Climate Center).

Todas las líneas de vulnerabilidad (excepto zonas costeras) aplicaron la interpolación de las variaciones de temperatura y precipitación simuladas por el GFDL-R30 y el CCCM.

Tabla 3. DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. DE ACUERDO CON LOS MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL

MÉTODOS	ESCENARIO CAMBIO CLIMÁTICO MCC	VARIABLES CLIMÁTICAS	RANGOS DE VARIACIÓN
I) INTERPOLACIÓN	CCCM (1989): 3.75°x3.75° 10 niveles	T (°C) med max, min Pcp (mm) S (hrs sol)	ΔT (°C) (media anual) ΔPcp (%) (media anual) Método I: CCCM 1.5°C < ΔT < 3.5°C $\Delta Pcp < 0$ -20% < ΔPcp < -10%
II) ESTADÍSTICOS	GFDLR30 (1994): 2.22°x3.75° 14 niveles GFDLR30 (1994) NCAR (1994)	diarios mensuales estacionales anuales	GFDLR30: 2.5°C < ΔT < 4.5°C $\Delta Pcp > 0$ 10% < ΔPcp < 20% Método II: GFDLR30: 1.5°C < ΔT < 2.5°C $\Delta Pcp > 0$ NCAR 1.5°C < ΔT < 2.5°C

Dependiendo de la línea de investigación de Vulnerabilidad, para la generación de los escenarios base se utilizaron datos diarios, mensuales, estacionales o anuales, o bien datos de más o menos estaciones de la base de Douglas. Sin embargo, el método empleado en todos los casos fue el de sumar a la temperatura base las cantidades dadas por los modelos. Para la precipitación, se multiplica la del escenario base por las cantidades dadas por los modelos. Para la radiación se procede de manera análoga que la precipitación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3. MÉTODO ESTADÍSTICO

Para interpretar los resultados de los MCG a escala regional se propuso como método alternativo el uso de análogos y modelos estadísticos para asociar patrones de circulación de gran escala con el clima local (MAGANA, 1994).

En el estudio de las anomalías de temperatura y precipitación se emplearon las salidas de los modelos acoplados NCAR y el GFDL. Para mejorar el estudio regional, se emplearon las corrientes de control y de doblamiento de CO₂ obtenidas a través de INTERNET (<http://www.ckr.de>), para los modelos citados. Se realizó primero un análisis estadístico del comportamiento de las variables locales de interés (temperatura y precipitación) frente a variables de gran escala observadas: presión a nivel de mar (SLP), temperatura de superficie del océano (SST), temperatura en 500 y 700 mb (500 y 700) y altura geopotencial en 500 y 700 mb (z500 y z700) (PÉREZ, 1997).

Los escenarios regionales de temperatura y de precipitación fueron elaborados estableciendo ecuaciones de regresión entre las series de tiempo de temperatura (o precipitación) de cada una de las 15 regiones de Douglas (ver, por ejemplo, figura 2) tomada como variable dependiente, y los patrones de gran escala de SLP y SST, en 2 puntos distintos con correlación extrema (en total 4 variables independientes) para un periodo que abarca de 1947 a 1987.

Actualmente, diversos países están empleando los modelos MAGICC/SENGEN para generar múltiples combinaciones de escenarios de emisiones y sensibilidades climáticas con las salidas de por lo menos catorce GCM. El MAGICC es un modelo climático simple (según definición de HARVEY *et al.*, 1997) que permite evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero y de dióxido de azufre ante diversas condiciones socioeconómicas globales. En el MAGICC también se considera la incertidumbre en el aumento de la temperatura global, asociada a las complejas respuestas que se dan en el sistema climático y que no pueden modelarse totalmente; así, el IPCC propone tres valores para la sensibilidad climática a 1.5°C, 2.5°C y 4.5°C.

El SENGEN permite generar escenarios climáticos globales. En él se encuentran las salidas de catorce modelos de circulación general (MCG) que, en una rejilla de 5 x 5, proponen los posibles cambios (con respecto a 1960-1990) en la temperatura, en la precipitación y en la cubierta nubosa (mensual, estacional o anual) asociados a los aumentos de gases de efecto invernadero obtenidos con el MAGICC. La base de datos del SENGEN puede entonces emplearse para construir los escenarios de cambio climático en la región de estudio.

Aún no está plenamente aceptado un único método para bajar de escala esas salidas de los MCG (*downscaling*) a nivel regional, nacional o local, con el fin de realizar estudios de vulnerabilidad y adaptación, tema central en la actualidad, particularmente para los países del tercer mundo.

4. CONCLUSIÓN

En vista de que el MAGICC-SENGEN permite generar escenarios de cambio climático con diferentes concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero de una manera sencilla, es posible construir bajo ciertas suposiciones acerca de la evolución global de las emisiones de efecto invernadero una posible evolución del clima mismo. Esta sucesión de escenarios por su parte

permitiría que las estrategias de adaptación se pudieran analizar con resolución temporal facilitando la labor de los planeadores y tomadores de decisiones. Sin embargo para que los escenarios sean más útiles es necesario que sean relevantes regional o localmente y para esto es necesario hacer la reducción de escala. Es nuestra intención aplicar los métodos que ya fueron ensayados con éxito a las salidas del MAGICC-SENGEN.

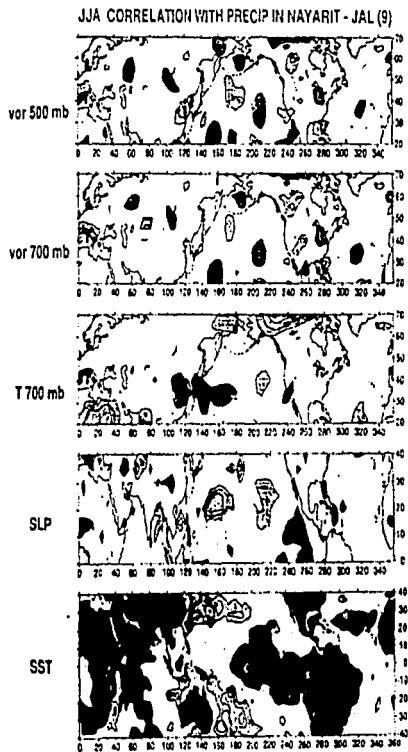
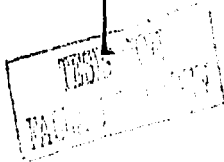


Figura 2. Correlaciones para la región 9 de Douglas, para el verano (JJA).



5 REFERENCIAS

- GAY, C., RUIZ, L.G., IMAZ, M., CONDE, C. y MAR B. (ed.) (1996): "Memorias del Segundo Taller de 'Estudio de País: México'". En "México ante el Cambio Climático", 1^o Workshop Country Study, Cuernavaca, Morelos, 8 a 11 mayo, 1995.
- FARVEY, D.; GREGORY, J.M., HOFFERT, M., JAIN, A., LAL, M., LEEMANS, R., RAPER, S., VIGLEY, T.M.L. y DE WOLDE, J. (1997): "An introduction to simple climate models used in the PCC Second Assessment Report". IPCC Technical Paper II. Inter-governmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 47 pp.
- HULME, M., WIGLEY, T.M.L., BARROW, E.M., RAPER, S.C.B., CENTELLA, A., SMITH, S. y CHIAPANSHI, A.C. (2000): "Using a Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments: Magic and ScenGen". Versión 2.4, Workbook, Climatic Research Unit, Norwich, UK, 52 pp.
- NAGAÑA, V. (1994): "A strategy to determine regional climate change". En "México ante el Cambio Climático", 1^o Workshop Country Study, Mexico, Cuernavaca, Morelos, México, pp. 45-51.
- NAGAÑA, V., CONDE, C., SÁNCHEZ, O. y GAY, C. (1997): "Assessment of current and future regional climate scenarios for Mexico". *Clim. Res.* 9(2), pp. 107-114.
- CBASI, G.O.P. (1996): "Foreword". *World Climate News*, 9, p. 3, WMO, Ginebra, Suiza.
- FÉREZ, J.L. (1997): "Cambio Climático Regional en México". Tesis para obtener el título de física, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- VATSON, R.T., ZINYOWERA, M.C., MOSS, R.H. y DOKKEN, J. (1997): "Informe especial del IPCC". En "Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad", PNUMA, OMM, 16 pp.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Climate Change, Adaptive Capacity and Development

**Editors: Joel B. Smith, Richard J.T. Klein and
Saleemul Huq**

[for inclusion on front of back of title page:]

Sponsors:

**Canadian International Development Agency
Climate Change Unit, Environment Division, World Bank
Electric Power Research Institute, USA
Federal Ministry for Economic Co-operation and Development/
Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Germany
Organisation for Economic Cooperation and Development
United Nations Development Programme**

Cosponsors:

**Adaptation and Impacts Research Group, Environment Canada
Netherlands Climate Change Studies Assistance Programme
United Nations Environment Programme**

TESIS COM
FALLA DE ORIGEN

Contents

- Acknowledgments**
(Joel B. Smith, Richard J.T. Klein, Saleemul Huq)
- Chapter 1 Introduction**
(Joel B. Smith, Richard J.T. Klein, Saleemul Huq)
- Chapter 2 From Adaptation to Adaptive Capacity and Vulnerability Reduction**
(Barry Smit, Olga Pilifosova)
- Chapter 3 Social Aspects of Adaptive Capacity**
(W. Neil Adger)
- Chapter 4 Adaptive Capacity: What Does It Mean in the Context of Natural Hazards?**
(John Handmer)
- Chapter 5 Lessons from Famine Early Warning and Food Security for Understanding Adaptation to Climate Change: Toward a Vulnerability/Adaptation Science?**
(Thomas E. Downing)
- Chapter 6 Assessing Vulnerability in the Context of Changing Socioeconomic Conditions: A Study of Egypt**
(Gary Yohe, Kenneth Strzepek, Tammy Pau, Courtney Yohe)
- Chapter 7 Do We Have the Adaptive Capacity to Develop and Use the Adaptive Capacity to Adapt?**
(Ian Burton)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Chapter 8 The Legal Framework of Adaptation and Adaptive Capacity**
(Roda Verheyen)
- Chapter 9 Adaptation Funding—Legal and Institutional Issues**
(Roda Verheyen)
- Chapter 10 Adaptive Capacity: The Philippines Coastal Resources Experience**
(Rosa T. Perez)
- Chapter 11 Adaptation to Climatic Variability and Change in Tlaxcala, Mexico**
(Cecilia Conde, Hallie Eakin)
- Chapter 12 Engaging Africa in Adaptation to Climate Change**
(Chris H. D. Magadza)
- Chapter 13 Adaptation, Sustainable Development and Equity: The Case of Pakistan**
(Shaheen Rafi Khan)
- Chapter 14 Enhancing the Capacity of Developing Countries to Adapt to Climate Change: A Policy Relevant Research Agenda**
(Richard J.T. Klein, Joel B. Smith)
- Appendix Workshop Agenda and List of Participants**

UNEP COM
FALLA DE GARCIA

11. Adaptation to Climatic Variability and Change in Tlaxcala, Mexico

C. Conde

*Centro de Ciencias de la Atmósfera
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, Circuito Exterior, 04510 México, D.F. México*

H. Eakin

*Department of Geography and Regional Development
University of Arizona, Tucson, AZ, USA 85721*

This paper discusses anticipated impacts of climatic change and variability on the agriculture sector in the state of Tlaxcala, Mexico, and the potential of farmers to mitigate their vulnerability through improved crop management. The project involved close collaboration with farmers and researchers in Tlaxcala to identify and analyze climatic risk and impacts, and to explore adaptation options. The initial optimism for maize yields in Tlaxcala based on climate change scenarios introduced in a crop simulation model was tempered by the observed negative implications of the El Niño-Southern Oscillation for rainfall distribution and frequency of frost events in the state. Facilitating "appropriate" crop choice has been the primary focus of adaptation in the state, and there is some evidence of successful risk mitigation using seasonal forecasts in crop decisions. Further investigation revealed the importance of the socioeconomic context of farmers' decision-making and the need to consider household risks and opportunities in the promotion of adaptation options.

1. Introduction

Recent research in Mexico on the vulnerability of agriculture and water resources to climatic variability and change has illustrated the importance of flexibility in decision-making as a key element in adaptation capacity



(Conde et al., 2000; Eakin, 2000). Climate change scenarios and analyses of the effects of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) in Mexico have shown that agricultural yields, particularly in the central highlands, are particularly sensitive to changes in rainfall and temperature patterns. Populations dependent on rainfed agriculture, as well as populations located in regions where water is already a scarce and contested resource, will perhaps be the most affected by anticipated climatic changes. Under these circumstances, the study of possible climatic change conditions and the forecasts of ENSO events could be important tools in the design of coping strategies.

The capacity of such populations to adapt, however, depends in large part on the diversity of choices available to them and the flexibility of their livelihoods. This flexibility depends in part on political, economic and institutional factors and the influence of these factors in risk management. Furthermore, the empirical knowledge of environmental change held by vulnerable populations is often ignored as a resource in adaptation. This knowledge and experience not only can serve to improve climate impact scenarios and guide scientific research, particularly where observational data are absent, but also can serve as fundamental ingredients in the development of public policies that facilitate innovative adaptation to environmental change.

These issues are explored in a case study of adaptation in Mexico. We discuss the anticipated impacts of climatic change and variability on the agriculture sector in Tlaxcala in relation to the implications of economic globalization processes for vulnerable populations, illustrated in the region by the North American Free Trade Agreement (NAFTA), urbanization and social inequality. Collaboration with farmers in Tlaxcala on climate forecasting for agriculture has illustrated how adaptation capacity is closely tied to the broader socioeconomic context of decision-making. The empirical climate knowledge held by Tlaxcalan farmers has been an important tool in improving climate impact analyses for the state. In addition, their knowledge of climate risk management in production offers some possible avenues for improving the capacity for adaptation in the sector, if such strategies could be made compatible with broader economic and social policy.

Over the last decade, water availability has become a major concern for Mexico. The Ministry of Environment (SEMARNAT, 2001) has launched a campaign ("Crusade") for forest and water conservation in the country, since these issues are considered a matter of national security, particularly in the



center and northern regions of the country, where population growth rates suggest that population could double by 2025. More than 80 percent of Mexico's territory is classified as arid or semi-arid (Reyes Castañeda, 1981). Water resources are not equally distributed. Seven percent of the country's surface, in the southeast, receives 40 percent of the total amount of rainfall in Mexico (Figure 1). In contrast, 60 percent of the country's population, concentrated in the central regions, receives only 12 percent of the country's rainfall. Almost half of all Mexico's agricultural activities take place in the central regions, and this area supports some of the country's largest urban populations.

More than 70 percent of Mexico's rainfall occurs between May and September (Figure 2), making the country very sensitive to climate variability or climate change processes that are manifest in the spring-summer rainy season. Spring and summer rains are fundamental for the agriculture in the central highlands, an activity that is undertaken basically under rainfed conditions. The sensitivity of rainfed maize to climatic variability and change is of concern because of the economic and cultural importance of this crop in rural areas, particularly for populations that have traditionally depended on their own production for their subsistence.

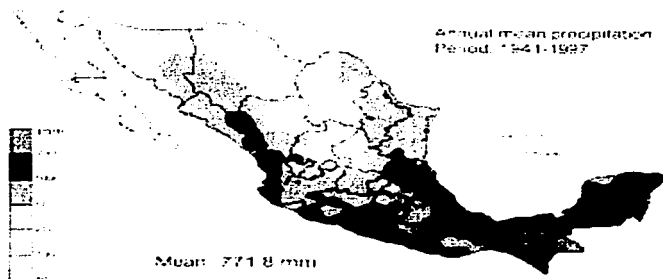


Figure 1. Annual mean precipitation for Mexico, 1941-1997

Source: National Water Commission, National Meteorological Service,
<http://smn.cna.gob.mx/productos/map-lluv/lamina.html>.

Tlaxcala
FALLA DE ORIGEN

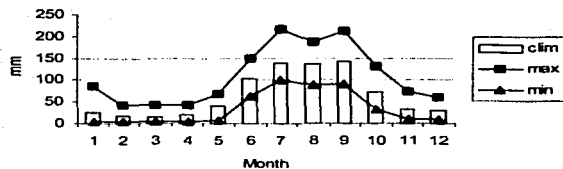


Figure 2. National monthly precipitation averages (in mm: *clim* in the figure), including the maximum and minimum values from 1941 to 1998; “*clim*” denotes the average of 30 years or more of any climatological variable

2. Previous Research

According to the results of the climate change scenarios developed for the Mexico Country Study (1994-1996) (Gay, 2000), this seasonal sensitivity would be exacerbated under climate change, especially in the central and northern highlands (Magaña et al., 1997). In the country study, we generated climatic base and change scenarios, applying the same methods used by all country studies and generally suggested for these studies (Feenstra et al., 1998). Therefore, the base scenario was constructed using a period of 30 years (1951 to 1980) of data, including temperature (observed, maximum, minimum); precipitation (such as “*clim*” in Figure 3, which is the average of the 1961-1990 series); and solar radiation at the surface. Monthly and daily data were obtained mainly from the National Meteorological Service (SMN, 2000) and from the Mexican Institute for Technology of Water, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2000). The climate change scenarios were obtained using the outputs of two general circulation models (GCMs) suggested by the U.S. Country Studies Program (Benioff et al., 1996): the Canadian Climate Center Model (CCCM) and the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) model. The monthly anomalies of the basic climatological variables were added to those of the base scenario.

These base and change scenarios conditions were introduced into a model that simulated the crop development under those conditions—the CERES-Maize model (Jones and Kiniry, 1986)—which can also simulate

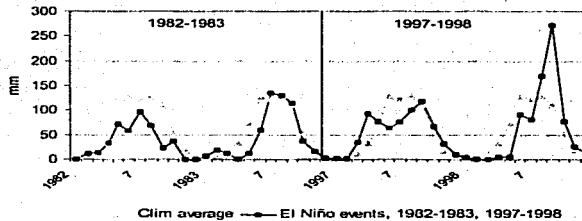


Figure 3. "Clim" indicates monthly average (1961-1990) (base scenario) for Tlaxcala. During 1982-1983 and 1997-1998 El Niño events, lower than normal rain in summer and a delay in the beginning of the rainy season were observed. Also, there was higher than normal precipitation in September and October, particularly in 1998.

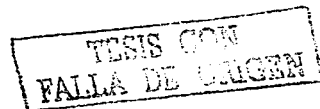
the "fertilizing" or physiological effect (PE) responses of maize to an increase or even a doubling of CO_2 . Climate change impacts in crop yields were in general negative, except for the sites chosen in the central highlands of the country (Conde et al., 1997), where the model indicated an important increase in crop production, mainly associated with a decrease in the probability of frost. The positive impacts in rainfed agriculture in central Mexico could be quite important for an adaptation strategy in a country where most of the population consumes diverse varieties of maize in their daily diet.

The country study was followed by a case study of climate change in Tlaxcala, which is in the central region of the country (Figure 1). We applied the same methods, confirming the general results that yields would be increasing (Ferrer, 1999). Climatic, crop management and soil data were obtained with the help of the researchers and students from the University of Tlaxcala, particularly for several municipios (counties), such as Apizaco (Figure 1).

For this county (Ferrer, 1999) we chose two different study sites, considering that soil changes are not taken generally into account in the numeric experiments performed with the CERES model, and that soil

degradation could eventually occur. For this reason, a site with better soil nutrient conditions was compared with one that was deficient in nutrients. In both cases, the yields increased under the climate change scenarios. Given these results, future increase in yields could be expected, and agricultural planners could look for seeds, fertilizers and other factors that could enhance this possibility. Data related to seed varieties were obtained directly from farmers and from INIFAP, and soil analysis data were obtained from the University of Tlaxcala (Hernández-Rojas, 1991; Rojas-Martinez, 1997). Our optimism over the results of the country study analyses was tempered, however, with observations of recent trends in climatic variability. On average, we found that the overall impact of ENSO events in Mexico tended to reflect the climatic changes anticipated when statistical downscaling techniques were used to generate scenarios, e.g., less rainfall during the summer months and increased precipitation during the winter (Magaña, V., Gay, C., Robinson, R., and Conde C., 1997, project on the use of a climate forecast in planning agricultural activities in the state of Tlaxcala, Mexico; with the support of U.S. Country Studies Management Team and Inter-American Institute; unpublished). The extreme events and local variability associated with ENSO were not, however, consistent with the GCM models. Over the 1990s, in central Mexico, anomalous frost events appeared to be increasingly frequent and precipitation patterns were often irregular, shortening the growing season rather than lengthening it as the models predicted. Moreover, if the changes in climate imply more frequent, intense or larger ENSO events (Watson et al., 2001), the "optimistic" expectations found in these studies could be misleading.

Furthermore, while the CERES-Maize model led us to believe that adaptation through improved crop and farm management would be theoretically possible, during the country study we questioned the feasibility of such adaptation options in the dynamic and often volatile political-economic context of production (Conde et al., 1997). To pursue these questions, we initiated a new phase of research in 1997, this time working with present-day variability and extreme events and actual decision makers in an effort to understand vulnerability and adaptation from the perspective of those most affected by the anticipated climatic changes. Not only did the results of the GCMs give us some confidence in using ENSO events as approximations of the conditions that might become increasingly probable under climate change, but also, by focusing on present-day climatic variability, we were essentially exploring climate change as the farmers



themselves experienced it: as short-term trends, interannual variability and extreme events. We hoped that climate forecasts based on ENSO might prove to be a useful tool in facilitating adaptation not only to extreme events but also to the interannual variability associated with climatic change.

3. Tlaxcala Case Study

We chose Tlaxcala, in central Mexico, as a case study to explore these issues of climatic variability and adaptation (V. Magaña, C. Gay, R. Robinson and C. Conde, 1997 project on the use of a climate forecast in planning agricultural activities in the state of Tlaxcala, Mexico; with the support of U.S. Country Studies Management Team and Inter-American Institute; unpublished) for several reasons. First, the state exemplified the type of agriculture so characteristic of central Mexico: smallholder maize farmers (averaging 3 hectares) planting under rainfed conditions and using low-input technologies. Importantly, the proximity of Tlaxcala to the markets of Puebla, Veracruz and Mexico City meant that despite their technology use and size, these farmers were typically well aware of and affected by changes in agricultural policy and market conditions. Second, the state had been affected by recent ENSO events and thus we anticipated that we would be able to learn which adaptation measures of all the possible ones (found with our models) were adopted by the farmers during these events to overcome the negative ENSO impacts. Finally, and most important, a group of farmers organized in a nongovernmental association named *Fundación Produce AC* were willing to participate in and support this regional project. The project also benefited from the substantial contributions of agroclimatology experts of the University of Tlaxcala. Some of the state's agricultural officials were also interested and were included in the discussion of the results. The participation of these regional actors (stakeholders) turned out to be a fundamental feature in the success and continuity of this experience. The objective of the project was twofold: first, we wanted to understand the climatic variability of the state sufficiently to produce a climate forecast, based on ENSO indicators (V. Magaña, C. Gay, R. Robinson and C. Conde, 1997 project on the use of a climate forecast in planning agricultural activities in the state of Tlaxcala, Mexico; with the support of U.S. Country Studies Management Team and Inter-American Institute; unpublished). Second, we hoped to understand the process of farmers' decision-making

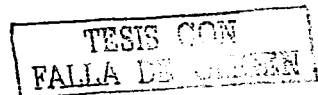
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

and their information needs sufficiently to determine how this information might facilitate adaptation (Eakin, 2000). Over the 1997-1999 period of the study, we had more than 10 workshops with farmers and other stakeholders, and several training mini-workshops. We found that ENSO conditions were a very good starting point to discuss climate perceptions and farmers' climatic needs since our explanation of how local climate variability related to El Niño events and the possibility of regional/local forecasts based on this knowledge were highly appreciated in a community that had not received climatic information on a regular basis from governmental or academic institutions.

We learned in these workshops that to be useful, a climate forecast based on ENSO must include not only the total summer amount of rain but also as much detail as possible about the beginning and distribution of the rainy season. Also, farmers desired information related to hazards like frosts and hails, the two extreme events responsible for their greatest production losses. Moreover, the east-central region of Mexico is affected by a climatic event called the *canicula*, or midsummer drought, characterized by a decline in the amount of precipitation during July and August, depending on the location. If this *canicula* is intense, maize growth can suffer, since the plants are at the end of their silking stage or in the beginning of the filling grain stage. Knowledge of the timing and intensity ("dryness") of the *canicula* was thus understandably important for farmers, particularly for crop choice and seed variety selection.

All of these climatic needs resulted in new research issues for us (Magaña et al., 1999; Morales and Magaña, 1999). From our climatic analysis, we learned that during El Niño conditions, two possible drought situations might appear, suggesting that there might be at least two different strategies for coping with this adverse event. For example, it would be unlikely that the same crop or varieties would be successful in both El Niño years, not only because of differences in the rain's distribution, but also because of the economic losses the farmers experience in the first year of El Niño would be likely to diminish the range of possible choices they have in the second year.

In Figure 3, we show that, during the strong 1982-1983 and 1997-1998 El Niño events, in the first year we might anticipate a normal beginning of the rainy season (compared with the base climatic scenario), but the very strong decrease in the summer rain (a strong *canicula*) might mean important production losses. On the other hand, the second year of a strong El Niño



event might imply a delay in the beginning of the rainy season, which would then delay the planting date. This could mean that the early frost in September might appear in the last stages of the plant's growth. Also, higher than normal precipitation in September-October in the second year (particularly in 1998) could exacerbate erosion processes and lead to more crop losses.

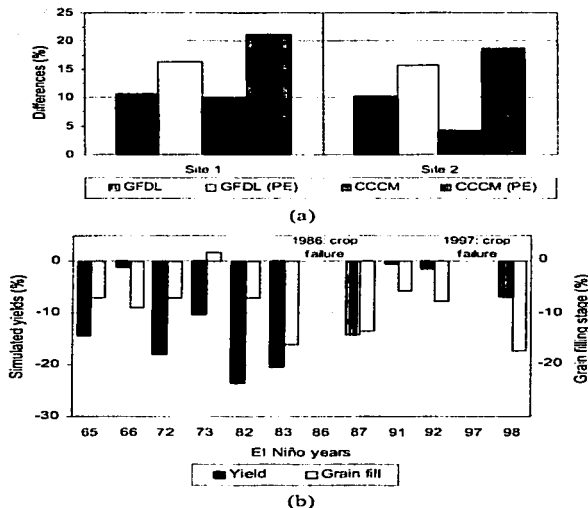
The variation in the timing of the initial rains and the nature of the *canicula* during different phases of the ENSO event underline the importance of the farmer's questions: "Is the *canicula* coming with water?" or "Is it going to be a dry *canicula*?" These were questions that we could not answer until we studied the 1997-1998 event. We now recognize that a useful regional forecast must include the "dryness" or "wetness" of the midsummer drought.

The severe impact of anomalous frost events on farmers' yields in the late 1990s and the farmers' interest in frost information as part of their agricultural planning led us to explore in more detail the implications of ENSO for frost. The results from runs of the CERES-Maize model illustrated that if future climate conditions were expected to be similar to an El Niño event, then the possible positive impacts expected from the GCMs (Ferrer, 1999) would be severely diminished. This would be because of the increase in early frosts during El Niño events, which could be associated to a general decrease in atmospheric humidity conditions (radiative frosts). The longer growing season and less frequent frosts associated with the GCM outputs were the opposite of what farmers had experienced and what we modeled with the CERES-Maize model for ENSO conditions (Conde et al., 1999) (Figures 4a and 4b).

Once we understood the importance of climate variability and extreme events such as frost to the farmers we consulted, our next step was to understand the feasible options for adaptation to such events. Agricultural adaptation strategies suggested in the climate change literature, and reflected in analyses involving crop models, typically involve adjustments in crop management (input applications, planting/tillage methods and timing) and crop and seed choice, as well as a variety of other adaptations involving accessing new markets, use of insurance or production contracts and other mechanisms (Easterling, 1996).

In Tlaxcala, the experience of the farmers of *Fundación Produce A.C.* with the 1998 forecast led us to believe that one of the more promising options for adaptation was crop choice. The farmers in the association





Figures 4a and 4b. (a) Results obtained with the CERES model for two study sites show increases in the yields in Apizaco, Tlaxcala, under climate change scenarios (GFDL and CCCM) with respect to observed (OBS.) and climatic baseline scenario (BASE). PE refers to the physiological effect of a doubling of CO₂ on maize. (b) Under El Niño climate conditions, the CERES model, evaluated only in Site 1, reports decreases in the yields specifically as a result of a decrease in the filling grain stage of maize.

decided in May to make an early (and thus less expensive) purchase of oat seeds, basing their decision on the regional forecasts we delivered and on the crop suggestions and financial support of the government agencies with whom we were working. The harvest of these farmers was used mainly as forage for their cattle, and as seed for the subsequent years' planting. This application of the 1998 forecast was one of the most successful achievements of our climatic research, suggesting that the forecasts could have an important function in cropping decisions in the state. Nevertheless, we realized that this was a partial success obtained with a small group of farmers in a very strong ENSO event. Our next challenge was to understand the process of agricultural decision-making in greater depth, particularly if we were to hope that forecasts would have utility for a broader segment of the agricultural population and under circumstances of greater climatic risk.

4. Adaptation to Climatic Variability in Tlaxcala

The success of the farmers' oat crop under the 1998 climatic conditions was not completely unexpected. In workshops and interviews, farmers suggested that with the expectation of a late onset to the rainy season, they would consider annual adaptation measures ranging from using different varieties of maize seeds with shorter development cycles to switching from planting maize to planting shorter-cycle crops like barley, wheat or oats (Eakin, 1998). After analyzing the suitability of different crops for the state under ENSO conditions, the government of Tlaxcala was also promoting these crops as alternatives to maize (Legorreta-Padilla, 1998). Oats were considered particularly advantageous because of their 80-day growing cycle compared to the 130 to 160 days for most of the state's maize varieties.

To facilitate this "crop conversion", the agricultural ministry of Tlaxcala was offering small quantities of hybrid barley and oat seed as well as commercial maize seed at a discount through a program called *Kilo por Kilo*, with the hope that farmers would gradually replace local maize varieties with more crops considered more appropriate both in climatic and commercial terms (Legorreta-Padilla, 1998). Oat seeds were also distributed free to farmers who reported the heaviest losses to frost in 1999. The production volume of barley and oats in Tlaxcala has increased in recent years, perhaps in response to persistent losses in maize and the government's promotion of alternative crops (Figure 5).

TESIS CON
FALLA DE ENGEN

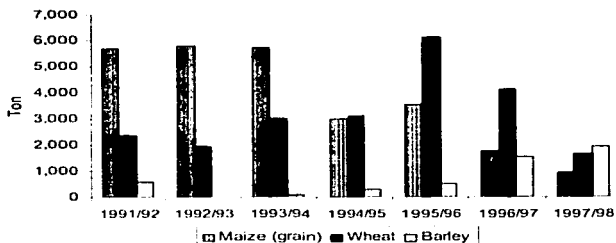


Figure 5. Maize, wheat and barley production for Apizaco, Tlaxcala (1991-1998). The trends shown can be associated with farmers' adaptation responses to the climatic extreme events during those years and also to the agricultural policy in the region to support changes in crop production.

To explore in greater depth the opportunities for and obstacles to adaptation in Tlaxcala, ethnographic research involving surveys and in-depth interviews was conducted with households in two rainfed agricultural communities in Tlaxcala in 2000 (Eakin, 2000a). The communities were representative of the two predominant types of smallholder producers in the state: those that are primarily oriented toward subsistence production and those that are "semi-commercial", selling a variety of rainfed grains in small quantities in local markets. The interviews revealed that most farmers were quite aware of the adaptive advantages of oats and barley in comparison to maize in years when the onset of the rainy season was delayed or the risk of frost was perceived to be high. Despite this recognition, the household data also suggested that persistent uncertainties and risk related to participating in both consumer and producer markets might impede some households from switching crops as an adaptation strategy (Eakin, 2001b).

Until the mid-1980s, farmers had enjoyed price supports for all basic grains as well as subsidized fertilizer and seed from state-owned agencies PRONASE and FERTIMEX. For Mexico's smallholders, this support was typically channeled through the public agricultural bank, BANRURAL.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Although the bank's influence over farmer's production choices and technology was criticized as "patronizing" and heavy-handed, credit for smallholders was relatively easily acquired, and each loan was accompanied by mandatory insurance (Myhre, 1998). In the aftermath of the 1982 economic crisis, these institutions were rapidly dismantled. By 1989, price supports were withdrawn for all crops but maize and beans, and the public input suppliers were closed or privatized credit (de Janvry et al., 1997). BANRURAL was restructured to focus on "commercially viable" farmers, such that between 1989 and 1991 the land accredited by BANRURAL fell from 7.2 million hectares to 1.2 million hectares, essentially excluding the vast majority of Mexico's smallholders from formal credit (de Janvry et al., 1997; Myhre, 1998). By 1996, less than 2 percent of Mexico's maize area was insured (Myhre, 1998). While few would argue reform was needed, in the late 1990s, farmers were left in what de Janvry et al. had called "an institutional vacuum" (de Janvry et al., 1995).

Partly as a result of these changes, the market for barley and oats is now quite narrow. Both barley and oats are commercial crops and are not processed by the households for human consumption. Farmers have neither a guaranteed price nor a guaranteed buyer for their harvests. Farmers can attempt to sell their harvests to the malt industry for a potentially higher price than they would receive in local markets, but unless they invest in the seeds and chemical inputs required to meet the industry's standards, they are unlikely to be able to access the market. Even with the *Kilo por Kilo* subsidy, this investment is risky, for the very reason that frost events are frequent and insurance is inaccessible. It is far safer to minimize investment costs by planting from local seed stocks, although this strategy restricts a farmer to selling the harvest as grain, forage or hay to local merchants and seed stores. In these markets, the prices are rarely better than those for maize (Figure 6), and at the relatively low yields obtained by farmers in Tlaxcala (averaging just over 2 tons/hectare for barley), few farmers can guarantee that they will earn enough from their sales to purchase the maize they need for their own consumption.

The household surveys and interviews revealed that those households who planted oats or barley were planting these crops in addition to maize rather than "switching" out of maize entirely. Those households who reported planting oats in 1998 and 1999 also reported fewer crop losses in those years, confirming the farmers' perceptions of the climatic advantages of the crop. However, despite the widespread recognition of these

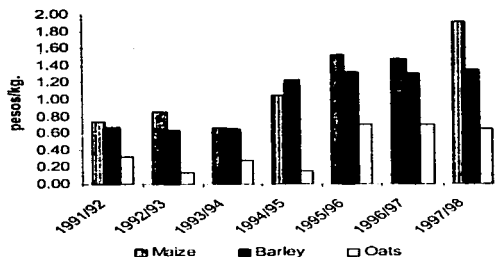


Figure 6. Prices of basic grains in Tlaxcala, from 1991 to 1998. Among other features, price of maize is also an important element for farmers' choices.

Source: Agrit Database, SAGAR-Tlaxcala

advantages, fewer than half of the surveyed households in the two communities planted oats. Those that did were households with more than 3 hectares; they planted oats in addition to several hectares in maize, substantiating farmers' comments that only when their household food needs were met would they consider diversifying their crop mix.

Given the obstacles for commercialization of oats and barley, those households who had sufficient land to diversify their crop base planted oats and barley only if they had sufficient livestock to consume the harvests as forage. Milk cows and goats were the preferred investments in the two communities. Although the markets for small-scale livestock production are not well developed in Tlaxcala, like maize, the animals provided the households with both subsistence products (milk and meat) and cash to facilitate the recuperation of crop losses.

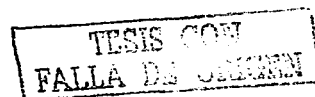
These case studies suggest that land area and subsistence requirements may be an obstacle to the adoption of an oat/barley/livestock strategy, either with or without the assistance of a forecast. Despite the sensitivity of maize to precipitation anomalies and frost, for smaller-scale households maize represents food security and insurance against economic uncertainty. Rural households can use maize for their own subsistence as well as for their

livestock, and, in comparison to other grains, maize grains can more easily be cooked, stored and sold. Farmers also still control knowledge of organic pest management and fertilizers, and other management features (Warman, 1995). Neither oats nor barley are consumed directly by households, thus unless a household has large livestock, these crops are far less useful (Eakin, 2001b). Thus, while the combination of economic changes and a decade of adverse climatic conditions has encouraged more farmers to adopt barley and oats in Tlaxcala (Figure 5), our case studies in the state suggest that this adoption may be only *in addition* to maize and only with those households where sufficient land is available to diversify into alternative grains (Eakin, 2001b).

5. Conclusions

Our research in Tlaxcala illustrated the importance of involving key regional actors in our exploration of the nature of climatic variability, its impacts and the potential for adaptation. The success of our analysis of climatic variability and trends was in part due to the active participation of farmers, government officials and agroclimatic researchers in the state in the discussion of climate impacts and their importance to particular aspects of agricultural decision-making. Through these discussions we identified priorities for our research, and came to recognize the importance of locally held perceptions and knowledge of climate in the design of a forecast. We not only were able to conduct research that was more appropriate to the region, but we also formed the basis of a common language in which climatic uncertainty and risk could be discussed with stakeholders. Our resulting analysis of the relationship of ENSO to local climatic features illustrated the potential utility of seasonal climate forecasts for decision-making.

Translating such analysis of variability and impacts into a practical tool for adaptation has proven more challenging than we anticipated. While the farmers who participated in the project were fully aware of the potential utility of forecast in seed and crop choice decisions, ethnographic research in several communities in Tlaxcala revealed that such presumably simple adaptation strategies are far more complex than they would seem. Households are constantly in a process of adaptation, but not only to climate variability and change. Rural producers are also simultaneously adjusting to



changing institutional circumstances and opportunities that affect the viability of their subsistence and household economy. These nonclimatic factors play significant roles in their strategies such that simulated "optimal" adaptations such as planting oats instead of maize during El Niño years may in fact do little to achieve household goals of food security.

There are obvious advantages to planting alternative crops during years where anomalous rainfall is predicted. The increase in the production of oats and barley in the latter half of the 1990s illustrates the response of some farmers to the promotion of these crops. Yet our interviews with farmers revealed that despite the strong promotion of barley and oats, maize—particularly local varieties—remain preferred crops given their role in the household economy and the stability that subsistence maize offers at a time when consumer prices and input costs are escalating. This is particularly true for those farmers for whom planting alternative crops would mean forgoing area for maize. Thus farmers continue to plant a wide variety of maize, even in very small amounts, for use in several annual festivities; this allows them the flexibility the different varieties offer. From the point of view of adaptation, maize production is still the activity that gives the small farmers a broader set of choices (Warman, 1995) and more flexibility in face of both economic and climatic risk. Our findings indicate that if climate forecasts are to be associated with crop choice in Tlaxcala, they will be most effective in a political-economic environment that is supportive of the commercialization of these alternative crops.

It also appears that for smaller-scale farmers, the development of commercial opportunities for shorter-cycle maize varieties may also facilitate adaptation. Farmers are already accustomed to planting rapidly maturing local landraces along with their higher-yielding white maize varieties. There has been little attention in Tlaxcala to developing commercial opportunities for these alternative maize varieties for those households who are reluctant to abandon maize as their primary crop. While further research on the potential of climate information more generally and climate forecasts specifically to facilitate adaptive responses in agriculture is important, our research has illustrated that considerable attention must be paid to the broader institutional context in which farmers operate. As has been argued elsewhere, understanding the process of adaptation requires understanding risks and uncertainties from the perspective of the decision maker. Not only, as has been argued elsewhere, does this mean explicit attention to climatic variability and extreme events (Burton, 1996; Smit



et al., 1996), but it also means a concerted attempt to account for the dynamic social environment that in many circumstances may represent to the farmers a far greater source of uncertainty than changes in climate (Chiotti et al., 1997; Smithers and Smit, 1997).

Acknowledgments

We want to thank R.M. Ferrer for her help and comments on the CERES model results and Joel Smith and Ana Iglesias for their valuable suggestions to improve this work. H. Eakin would also like to acknowledge the financial support of a National Science Foundation Graduate Fellowship for the social science research component of this project, and the support and patience of the farm households who participated in this study.

References

- Benioff, R., Guill S. and Lee J., eds. (1996), *Vulnerability and Adaptation Assessments: An International Handbook*. U.S. Country Studies Management Team. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Burton, I. (1996), The growth of adaptation capacity practice and policy. In *Adapting to Climate Change: Assessments and Issues*, Smith, J., Bhatti, N., Menzhulin G. et al., eds. Springer, New York, 55-67.
- Chiotti, Q. et al. (1997), Agricultural response to climate change: a preliminary investigation of farm level adaptation in southern Alberta. In *Agricultural Restructuring and Sustainability*, Ilbery, B., Chiotti Q. and Rickard. T., eds. CAB International, Oxon and New York, 201-218.
- Conde, C., Ferrer, R. and Liverman D. (2000). Mexico. Una vision hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Resultados de los Estudios de Vulnerabilidad del País, Coordinados por el INE con el Apoyo del U.S. Country Studies Program, 119-141 SEMARNAP, UNAM, Mexico.
- Conde, C., Magaña, V. and Ferrer, R. (1999). Paper presented at the 11th Conference on Applied Climatology, 10-15 January, Dallas, TX, USA.
- Conde, C., Liverman, D., Flores, M., Ferrer, R., Araujo, R., Betancourt, E., Villarreal, G. and Gay. C. (1997). Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to climate change. *Climate Research* 9, 17-23.
- De Janvry, A. et al. (1995), Reformas del sector agrícola y el campesinado en México. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola e Instituto-Interamericano Cooperación para la Agricultura, San José de Costa Rica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- De Janvry, A. et al. (1997), Mexico's Second Agrarian Reform: Household and Community Responses. San Diego Center for U.S.-Mexico Studies, University of San Diego, CA, USA.
- Eakin, H. (1998), Adapting to Climate Variability in Tlaxcala, Mexico: Constraints and Opportunities for Small Maize Producers. Geography and Regional Development. M.A. Thesis. University of Arizona, Tucson, AZ, USA.
- Eakin, H. (2000), Smallholder maize production and climatic risk: a case study from Mexico. *Climatic Change* 45, 19-36.
- Eakin, H. (2001a), Paper presented at the Annual Meetings of the Association of American Geographers, February 28- March 3, New York.
- Eakin, H. (2001b), Paper presented at the Open Meetings of the Human Dimensions Research Comm., October 6-8, Rio de Janeiro, Brazil.
- Easterling, W. (1996), Adapting North American agriculture to climate change in review. *Agricultural and Forest Meteorology* 80, 1-53.
- Fckenstra, J., Burton, I., Smith, J. B. and Tol, R. S. J., eds. (1998), *Handbook on Methods of Climate Change Impacts Assessment and Adaptation Strategies*. UN Environment Programme, Nairobi, Kenya, and Institute for Environmental Studies, Amsterdam, The Netherlands.
- Ferrer Perdomo, R. M. (1999), Impactos del cambio climático en la agricultura tradicional del maíz en Apizaco, Tlaxcala. tesis. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gay García, C., compilador (2000), México: Una Visión hacia el Siglo XXI, El Cambio Climático en México. Resultados de los Estudios de Vulnerabilidad del País, Coordinados por el INE con el Apoyo del U.S. Country Studies Program. SEMARNAP, UNAM, México.
- Hernández-Rojas, F. C. (1991), Sistemas y Técnicas Agrícolas Tradicionales en Tlaxcala. Gobierno del Estado de Tlaxcala, Mexico.
- IMTA (2000), ERIC II (Extractor Rápido de Información Climática). CD edited by Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.
- IPCC, WGI (2001), Summary for Policy Makers. A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel of Climate Change.
- Jones, C. A. and Kiniry, J. R. (1986), *CERES - Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development*. Texas A&M Press, College Station, TX, USA.
- Legorreta-Padilla, F. (1998), Conversión productiva del Temporal para Tlaxcala. Opciones para reducir el impacto de Eventos climáticos en el Agro. SAGAR, AGROTLAX e INIFAP. Fundación Produce, Tlaxcala, México.
- Magaña, V., Amador, J. and Medina, S. (1999), The midsummer drought over Mexico and Central America. *American Meteorological Society* 12, 1577-1588.
- Magaña, V., Conde, C., Sánchez, O. and Gay C. (1997), Assessment of current and future regional climate scenarios for Mexico. *Climate Research* 9, 107-114.
- Morales, T., and Magaña, V. (1999), Unexpected frosts in central Mexico during summer. *Proceedings of the 10th Symposium on Global Change Studies, 10-15 January, 1999, Dallas, TX, Preprint Volume*. American Meteorological Society, Boston, MA, USA, 262-263.

RECIBIDO EN
FALLA DE ORIGEN

- Myhre, D. (1998), The Transformation of Rural Mexico. Reforming the Ejido Sector. W. Cornelius and D. Myhre. San Diego Center for U.S.-Mexico Studies. University of San Diego, San Diego, CA, USA.
- Reyes Castañeda, P. R. (1981), Historia de la agricultura: Información y Síntesis. México. AGT Editor, S.A., México.
- Rojas-Martínez, I. (1997), Guía para la Producción de Maíz de Temporal en Tlaxcala. Folleto Técnico No. 4. SAGAR, AGROTLAX, INIFAP. Fundación Produce, Tlaxcala. México.
- SEMARNAT (2001), Crusade for Forests and Water. Minister of Environment and Natural Resources. Available at <http://www.semarnat.gob.mx/bosque-agua/vision.html>. (Spanish).
- Smit, B. et al. (1996), Agricultural adaptation to climatic variation. *Climatic Change* 33, 7-29.
- Smithers, J. and Smit, B. (1997), *Agricultural Restructuring and Sustainability. A Geographical Perspective*. Ibery, B., Chiotti, Q. and Rickard, T., eds. CAB International, Oxon and New York.
- SMN (2000), Dat 322 V.1.0. Gerencia del Servicio Meteorológico Nacional. Developed by Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.
- Warman, A. (1995), *La Historia de un Bastardo: Maíz y Capitalismo*. FCE, UNAM, Mexico.
- Watson, R. T. et al. (2001), Summary for policy makers. In *Climate Change 2001: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Watson, R. T. and the Core Writing Team. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1-34.

TESIS CON
FALLA DE CUBRIR

ADVANCES IN GLOBAL CHANGE RESEARCH

VOLUME 16

Editor-in-Chief

Martin Beniston, *Institute of Geography, University of Fribourg, Perolles,
Switzerland*

Editorial Advisory Board

B. Allen-Diaz, *Department ESPM-Ecosystem Sciences, University of California, Berkeley,
CA, U.S.A.*

R.S. Bradley, *Department of Geosciences, University of Massachusetts, Amherst, MA,
U.S.A.*

W. Cramer, *Department of Global Change and Natural Systems, Potsdam Institute for
Climate Impact Research, Potsdam, Germany.*

H.F. Diaz, *Climate Diagnostics Center, Oceanic and Atmospheric Research, NOAA,
Boulder, CO, U.S.A.*

S. Erskman, *Institute for Communication and Analysis of Science and Technology - ICAST,
Geneva, Switzerland.*

M. Lal, *Centre for Atmospheric Sciences, Indian Institute of Technology, New Delhi, India.*

U. Luterbacher, *The Graduate Institute of International Studies, University of Geneva,
Geneva, Switzerland.*

I. Noble, *CRC for Greenhouse Accounting and Research School of Biological Sciences,
Australian National University, Canberra, Australia.*

L. Tessier, *Institut Méditerranéen d'Ecologie et Paléoécologie, Marseille, France.*

F. Toth, *International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.*

M.M. Verstraete, *Space Applications Institute, EC Joint Research Centre, Ispra (VA),
Italy.*

CLIMATE AND WATER

Transboundary Challenges in the Americas

Edited by

Henry F. Diaz

*Climate Diagnostics Center,
Oceanic and Atmospheric Research,
NOAA, Boulder, CO, U.S.A.*

and

Barbara J. Morehouse

*Institute for the Study of Planet Earth,
University of Arizona, Tucson, AZ, U.S.A.*



KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS
DORDRECHT / BOSTON / LONDON

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ISBN 1-4020-1529-1

Published by Kluwer Academic Publishers,
P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands.

Sold and distributed in North, Central and South America
by Kluwer Academic Publishers,
101 Philip Drive, Norwell, MA 02061, U.S.A.

In all other countries, sold and distributed
by Kluwer Academic Publishers,
P.O. Box 322, 3300 AH Dordrecht, The Netherlands.

Printed on acid-free paper

All Rights Reserved

© 2003 Kluwer Academic Publishers and copyright holders
as specified on appropriate pages within.

No part of this work may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted
in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, microfilming, recording
or otherwise, without written permission from the Publisher, with the exception
of any material supplied specifically for the purpose of being entered
and executed on a computer system, for exclusive use by the purchaser of the work.

Printed in the Netherlands.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLE OF CONTENTS

<i>Acknowledgments</i>	ix
<i>Foreword</i>	xi
<i>Preface</i>	xiii
<i>Contributing Authors</i>	xvii
 <i>Section A: Water Policy, Institutions, and Society</i>	
1. Climate and Water in Transboundary Contexts: An Introduction <i>Henry F. Diaz and Barbara J. Morehouse</i>	3
2. Boundaries in Climate-Water Discourse <i>Barbara J. Morehouse</i>	25
3. Experience and Role of the Organization of American States in Transboundary River Basin Management in Latin America <i>Jorge Rucks</i>	41
4. Coping with Climate Variability: Municipal Water Agencies Agencies in Southern California <i>Denise Lach, Helen Ingram, and Steve Rayner</i>	59
5. Impacts of Climate Fluctuations and Climate Changes on the Sustainable Development of the Arid Norte Grande in Chile <i>Hugo Romero and Stephanie Kampf</i>	83
6. Water Resource Management in Response to El Niño-Southern Oscillation (ENSO) Droughts and Floods: The Case of Ambos Nogales <i>Terry Sprouse and Lisa Farrow Vaughan</i>	117

vi	<i>Climate and Water</i>	<i>Table of Contents</i>	v	
7.	Transboundary Water Problems as "Jurisdictional Externalities": Increased Economic Efficiency Through Institutional Reforms <i>Charles W. Howe</i>	145	14. Climate and Climate Variability in the Arenal River Basin of Costa Rica <i>Jorge A. Amador, Rafael Chacón, and Sadi Laporte</i>	317
8.	Impacts in Mexico of Colorado River Management in the United States: A History of Neglect, A Future of Uncertainty <i>David H. Getches</i>	163	15. Nonlinear Forecasting of River Flows in Colombia Based Upon ENSO and Its Associated Economic Value for Hydropower Generation <i>Germán Poveda, Oscar J. Mesa, and Peter R. Waylen</i>	351
9.	Reservoir Management in the Interior West: The Influence of Climate Variability and Functional Linkages of Water <i>Andrea J. Ray</i>	193	16. Climate Variability and Climate Change, and Their Impacts on the Freshwater Resources in the Border Region: A Case Study for Sonora, Mexico <i>Victor O. Magaña and Cecilia Conde</i>	373
<i>Section B: Climate, Hydrology, and Ecosystem Processes</i>				
10.	Biomes, River Basins, and Climate Regions: Rational Tools for Water Resources Management <i>Henry F. Diaz</i>	221	17. Land Cover Changes and Climate Fluctuations in the Upper San Pedro River Basin in Sonora, Mexico <i>Héctor M. Arias</i>	393
11.	The Transboundary Setting of California's Water and Hydropower Systems: Linkages between the Sierra Nevada, Columbia, and Colorado Hydroclimates <i>Daniel R. Cayan, Michael D. Dettinger, Kelly T. Redmond, Gregory J. McCabe, Noah Knowles, and David H. Peterson</i>	237		
12.	The Role of Transboundary Agreements in the Columbia River Basin: An Integrated Assessment in the Context of Historic Development, Climate, and Evolving Water Policy <i>Alan Hamlet</i>	263		
13.	Climate Doesn't Stop at the Border: U.S.-Mexico Climatic Regions and Causes of Variability <i>Andrew C. Comrie</i>	291		



 TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

CLIMATE VARIABILITY AND CLIMATE CHANGE, AND THEIR IMPACTS ON THE FRESHWATER RESOURCES IN THE BORDER REGION

A Case Study for Sonora, Mexico

Victor O. Magaña and Cecilia Conde

Center for Atmospheric Sciences, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Mexico City 04510, Mexico

Abstract Climate change scenarios and recent studies on climate variability refer to important low-frequency variations of precipitation regimes for the northern regions of Mexico. Data on precipitation, streamflow, and water levels in storage reservoirs are used to analyze tendencies and changes in water availability during the last 30 years. El Niño/Southern Oscillation (ENSO) events become of particular interest since El Niño boreal winters generally result in more precipitation and increased water availability in northwestern Mexico. However, summer precipitation in the region does not show a clear El Niño signal. Furthermore, the interannual variability of precipitation associated with the Mexican monsoon does not appear to be modulated by sea surface temperature (SST) variations.

Historically, the economic development of the state of Sonora has been constrained by inequitable distribution of transboundary freshwater resources, a condition that may seriously worsen in the future. This issue will be particularly important in the design of strategies to adapt to or ameliorate the negative impacts of climate change. The predicted decline in water availability may exacerbate the trend toward increasing competition for water resources, namely, between productive activities, such as agriculture and industry (particularly *maquiladoras*), and domestic consumption by the increasing population in urban areas. These conditions make northern Mexico one of the most vulnerable regions in the country to climate changes.

TESIS CON
FALLA DE ENGEN

1. WATER RESOURCES AND WATER AVAILABILITY IN MEXICO

In Mexico, national and regional development, both rural and urban, is highly dependent on limited water resources. In contrast, political and/or economic regional plans or programs generally consider water as a constant, or as an unlimited resource that must satisfy an increasing population. However, current data contradict this view. A National Water Commission (Comisión Nacional del Agua, CNA, 1999) analysis of 96 aquifers showed that $14.1 \times 10^3 \text{ m}^3$ of water are extracted annually, while only $9.4 \times 10^3 \text{ m}^3$ are recharged. Moreover, scenarios of future climate and natural climate variability events indicate that rainfall could have important temporal (interannual) and spatial changes, even if the global annual precipitation increases. Water management, from a sustainable development perspective, should consider the mitigation of future negative climatic change impacts, in order to assure that development between regions or productive sectors is non-discriminatory.

In 1999, the Minister of Environment and Natural Resources and Fisheries (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, SEMARNAP, 1999) and the CNA, calculated the total water availability for the country at 463 km^3 per year. Nearly half of this total (43%) is now extracted from superficial or groundwater sources and used to satisfy the needs of the agriculture (60.5 km^3), public and industrial supply (13.5 and 4.1 km^3 , respectively), fisheries (1.1 km^3), and thermoelectric (0.2 km^3) sectors. Approximately 489 km^3 of the total water resources available correspond to transboundary waters—regulated by international agreements from Guatemala (47 km^3) and the United States (1.9 km^3).

The geographic distribution of water availability per capita is not homogeneous. In the southern border region of the country, $28,400 \text{ m}^3$ per capita are available. In the central basins of the north and the Río Bravo region, the average has been calculated to be $2,200 \text{ m}^3$.

In 1998, more than 80 million people in the country had access to potable water, 80% of them living in urban areas. Increasing population (Fig. 1a), particularly in urban regions, has resulted in a greater demand for public services (Fig. 1b), and pressure to increase the water supply and to improve water quality. With the growth in the region's economy, the water demand has also increased for diverse economic sectors (Fig. 2).

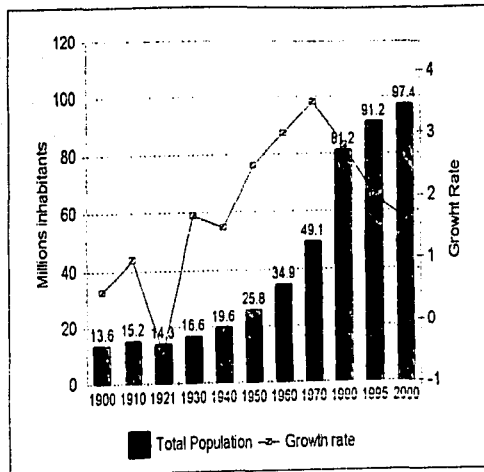


Figure 1a. Total population and population growth rate in Mexico, 1900–2000.

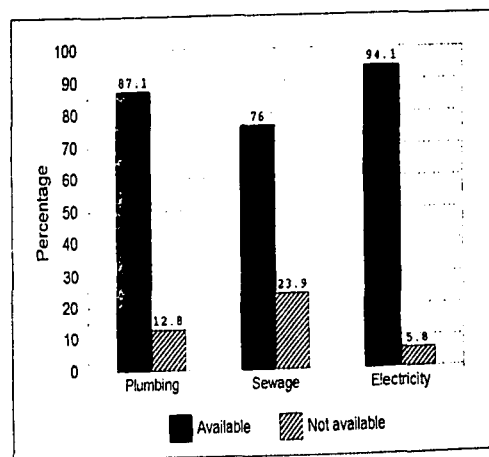


Figure 1b. Percentage of population in Mexico with access to potable water and public services, 1990–2000.

TESIS CON
FALLA DE IMPRESION

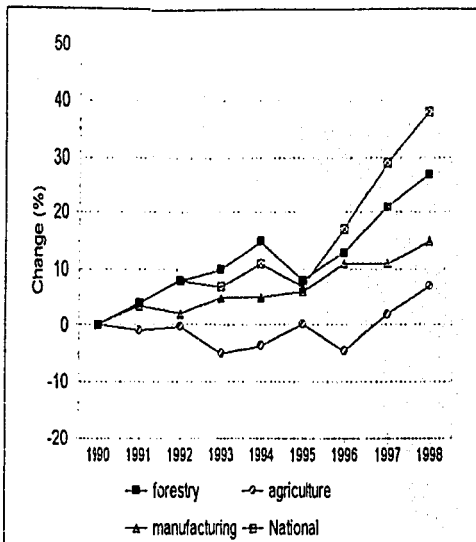


Figure 2. Percentage changes in the Mexican gross domestic product and for selected productive sectors: forestry, agriculture, and manufacturing, and national total.

2. THE MEXICAN NORTHERN BORDER

In 1983, Mexico and the United States signed the "La Paz Agreement," defining the "Border Region" as the area lying 100 km or 62.5 miles to the north and south of the 2,000 km long U.S.-Mexico border. Six Mexican states and four U.S. states share this border, its environment, and its resources. There is an intense transboundary movement of people and goods as a result of the rapid growth in population and industry (Table 1, Data from Demographic Data Viewer, 2000, and Border XXI Program web pages). Mutual benefits can be attained if greater political, economic, and scientific collaboration is established with consideration for the sustainable development of this critical region.

From 1950 to 1980, the border population almost doubled, and if the current rates of population growth continue, this population will double again by 2025 (Westerhoff 2000). In 1997, more than 10.5 million people lived along the 2,000 km border region (U.S. Environmental Protection Agency, USEPA, and SEMARNAP, 1997), 6.2 million in the United States

and 4.3 million in Mexico. Almost 90% of them lived in urban areas (Table 1), in the so-called sister cities communities (Fig. 3), so named because of the proximity, and economic and social interdependence of the cities, on each side of the border. If the population trends continue, in the near future the competition for available water supplies will increase and water prices likely will also rise, forcing users and governments to apply stronger water conservation regulations. The Mexican minister of Environment, V. Lichtinger, has announced the gradual removal of subsidies for water consumption, especially for major agricultural and mining industries situated in the north of the country, "where there is no more water" (González 2001). This policy will severely increase production costs unless more efficient use and water distribution systems are developed.

Table 1. Population data for the Border States.

Name	Total population, 2000*	Total population, 1997	Urban (%), 1997	Rural (%), 1997	Population per square kilometer, 1997
Baja California	2,487,700	1,660,855	91.5	8.7	23.0
Sonora	2,213,370	1,823,606	81.5	18.6	10.1
Chihuahua	3,047,867	2,441,873	80.2	19.9	9.8
Coeahuila	2,295,808	1,972,340	88.3	11.8	13.0
Nuevo León	3,826,240	3,098,736	93.0	7.1	47.5
Tamaulipas	2,747,114	2,249,581	83.3	16.8	29.0
California		29,760,020	92.7	7.4	75.7
Arizona		3,665,228	87.5	12.5	12.5
New Mexico		1,515,069	72.9	27.1	4.8
Texas		16,986,510	80.3	19.7	25.0

* Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI), 2001.

In the last decade, transboundary freshwater has become scarce mainly because of the drought situation declared in the Mexican northern states, which allows them to have financial support from the national disaster prevention commission. In the last 4 years, Mexico has been unable to deliver its 430 million m³/year obligation to the United States; the current Mexican government has agreed to deliver almost half of this debt before July 2001 (Restrepo 2001), a month when some northern regions typically experience the "canicula," or midsummer drought. This situation illustrates the necessity to develop binational agreements, which might prevent conflict between states or nations, and which could include climate variability and climate change conditions foreseen for the twenty-first century.

TESIS CON
FALLA DE CUBRIMIENTO

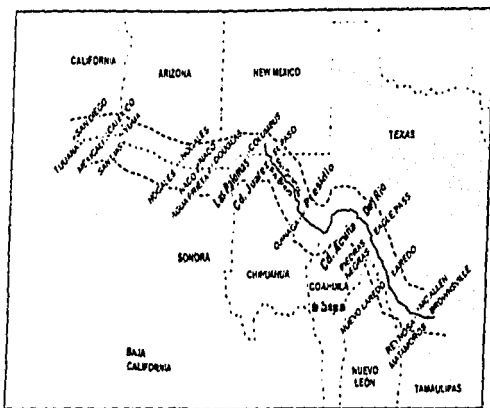


Figure 3. Sister cities along the Mexico-U.S. border. (Source: USEPA, SEMARNAP, 1997. The 1997 U.S.-Mexico Border Environmental Indicators report.)

The expected increase in population also indicates a possible shift in water use, now concentrated in agricultural irrigation, to domestic and industrial applications. Domestic uses may also imply an additional demand for higher water quality standards, which are higher for human consumption than for irrigation or industrial purposes.

Urban consumption and use of water is not homogeneous among municipios (municipalities) on the Mexican side of the border. Data on water use per capita in Mexicali city for 1995 shows 500 liters/day, while in Nogales, Sonora, the availability was only 183 liters/day, with only 64% of its urban population having access to potable water (Table 2).

Table 2. Water statistics for selected northern Mexico cities.

City	Potable water available in 1996. In liters/day.	Population in 1996 with potable water. In percent.	Population in 1996 with sewage drainage. In percent.	Drinking water disinfected before delivery. In percent.
Mexicali*	500	93	80	100
Nogales, Son*	183	64	81	100
Ciudad Acuña	372	89	39	100
Piedras Negras	419	95	80	100
Matamoros	262	72	47	100
Reynosa	294	92	57	100

*Sources: Comisiones Municipales de Agua Potable; Comisiones de Servicios Públicos 1995.

If we assume that standards of living will increase in the border region, then the Mexican municipios may tend to consume as much water as Mexicali in the future. Moreover, the average water consumption in the U.S. border counties in 1996 averaged 615 liters/capita/day (lpcd), 41% greater than in Mexico (Westerhoff 2000). This might indicate a future urban demand of at least twice the $1.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ per year consumed in the U.S.-Mexico border region. All of these conditions in the region indicate that great efforts must be made to strengthen research and sustainable management of water resources. The Ministry of Environment (SEMARNAT 2001) has launched a "Crusade" for forest and water conservation in the country, as these issues are considered a matter of national security.

3. SONORA CASE

There are two main hydrologic water units in the state of Sonora (Celis 1992): the "sierra," which provides water for most of the state, and the coastal valley, which delivers water to the southern region. In the state of Sonora the primary surface streamflows are mainly distributed from north-northwest to east-southeast. The Yaqui River drains 53% of the water toward the Gulf of California, and the Mayo River drains another 34% of the total. Runoff is stored behind 14 dams, with a total capacity of approximately 10^{10} m^3 . Five of them have 98% of the total storage capacity (listed in Table 3, except Cuauhtémoc Dam). Plutarco E. Calles Dam is the largest, with a capacity of more than $3 \times 10^9 \text{ m}^3$, and is the only one in the list that is not near its limit of useful life, while the rest of them are more than 50 years old (Sánchez 2001). These dams have three main functions (Fig. 4): generation of energy; control of runoff; and water supply for livestock, agriculture, and urban purposes.

Sonora requires more than $7 \times 10^{10} \text{ m}^3$ annually for agriculture (94% of the total demand of the state), urban uses, and mining and other industries. Storage can provide only 12% of this demand.

Dams like Angostura also are used in generating electricity. However hydroelectric power generation represents less than a third of the total capacity installed in the country, which depends strongly on thermoelectric service. The Abelardo Rodríguez Dam has serious water quality problems. It receives solid waste from the urban areas, swine farms, and industries of Hermosillo.

The climate in the northwestern part of the state is dry, and therefore there are no permanent flows of surface water. Consequently, groundwater management becomes an issue of vital importance. Such management includes a strategy to reduce the rapid increase in the salinity of this resource

TESIS CON
FALLA DE CALIDAD

Table 3. Principal dams in Sonora.

Name of Dam (Name of nearest town)	Location	Latitude(N)	Longitude (°W)	Altitude(m)
Presa Alvaro Obregón (Oviachic)	Yaqui River	27.82	109.9	70
Presa Lázaro Cárdenas (La Angostura)	Yaqui River	30.45	109.38	965
Presa Abelardo Rodríguez (Hermosillo)	Sonora River	29.08	110.93	211
Presa Adolfo Ruiz Corines (Mocúzari)	Mayo River	27.22	109.12	135
Presa Cuauhtémoc (Sta. Teresa)	Concepción River-A. Co- cóspera	30.87	111.53	590
Presa Plutarco E. Calles (El Novillo)	Yaqui River	29.9	110.6	596

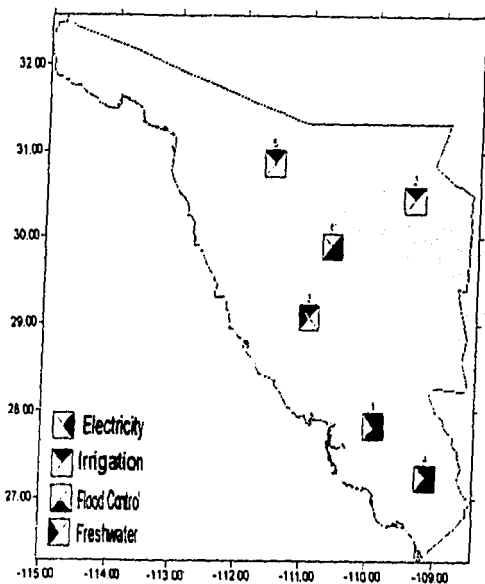


Figure 4. Principal dams in Sonora. Numbers match the first column in Table 3.

LIBRO DE
FALLA DE OROGINA

4. CLIMATE VARIABILITY, CLIMATE CHANGE, AND WATER RESOURCES IN SONORA

4.1. Mean Precipitation in Mexico

The U.S.-Mexico border is characterized by a semiarid climate, with higher precipitation towards both coasts (Magaña 2001). Evaporation exceeds precipitation almost all the year, causing soil moisture deficits.

Precipitation over the northern part of Mexico is relatively low compared to the average for the country, 772.7 mm (Fig. 5). The annual average precipitation amounts (1941-99) for the northern states were: Baja California, 448 mm; Sonora, 428 mm; Chihuahua, 423 mm; Coahuila de Zaragoza (or usually named just Coahuila), 314 mm; Nuevo León, 591 mm; and Tamaulipas, 764 mm. Low to very low precipitation rates exist in almost half of Mexico, especially in the northwest border regions of Sonora and Baja California, where annual mean precipitation ranges between 1 and 100 mm. The summer monsoon is one of the main sources of precipitation in northwestern Mexico, while winter storms originating in Alaska seem to play an important role in that season, particularly for the state of California (Diaz and Anderson 1995).

Temperatures ranging from 10° to 28°C can be found in the western end of the border, with the Arizona-Sonora border displaying a much more extreme and arid climate, with only 80 mm of precipitation and maximum temperatures reaching 45°C.

On a seasonal basis, 81% of the total precipitation in the country occurs from May through October, while the other 19% take place from November through April (Table 4). In the northwestern part of Mexico, summer rain is related to the North American monsoon (Douglas et al. 1993). The passage of mid-latitude systems, such as cold fronts, determines the winter rains.

Table 4. Monthly mean precipitation for Mexico.

Month	Precipitation (mm)	Month	Precipitation (mm)
November	32	May	40
December	30	June	103
January	27	July	138
February	18	August	137
March	15	September	141
April	19	October	73

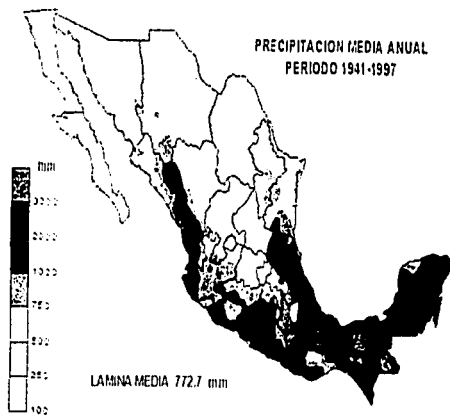


Figure 5. Annual mean precipitation for Mexico for the period 1941-97. The weighted average annual value for Mexico is approximately 773 mm. (Source: Comisión Nacional del Agua (CNA). http://smn.cna.gob.mx/productos/map-lluv_GRAF-NAL.gif).

In Sonora, the mean annual cycle precipitation exhibits a pronounced summer season maximum, with the highest amounts occurring during July and August (Fig. 6a). This annual cycle in water availability is reflected in the streamflow and in water levels at the Angostura Dam. Even though water availability is also determined by management policies, climate variability during the summer season can severely affect water consumption. Also, winter precipitation plays an important role in the recovery of the dam's water level, since processes like evaporation and irrigation reduce storage.

The precipitation regime described above can also be seen in San Luis Rio Colorado (with county's meteorological station in Riito, Sonora), and in Yuma, Arizona, two sister cities at the border. In Figure 6b, a 29-year monthly average of precipitation can be observed: it is clear that the rainfall in July and August plays an important role in determining seasonal totals. This behavior in the precipitation distribution can also be seen over a longer period of time (80 years) for Yuma. Nevertheless, the patterns for these two locations are not completely similar, particularly for the month of August, when Yuma seems to receive greater precipitation.

TESIS
FALLA DE CALIDAD

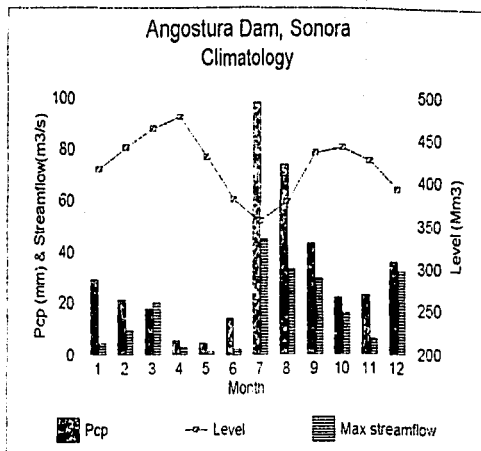


Figure 6a. Climatology of monthly precipitation (millimeters), streamflow (cubic meters per second), and dam level (million cubic meters) at La Angostura hydrological station.

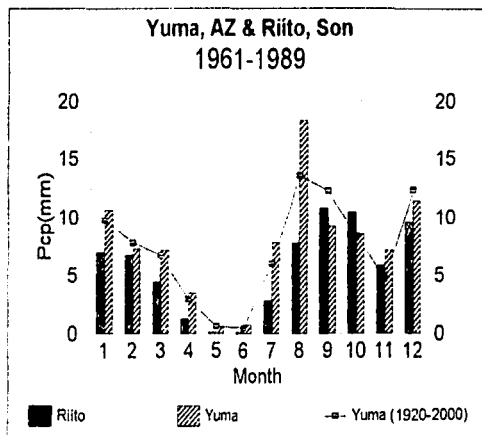


Figure 6b. Averaged monthly precipitation for Riito, Sonora, and Yuma, Arizona, for 1961-89. The line corresponds to the averaged values for Yuma, for 1920-2000.

4.2. Interannual and Interdecadal Variability

One of the most challenging problems in water resources management is related to the interannual variability of precipitation. As was proposed by Magaña and Quintanar (1995), precipitation is modulated, on an interannual basis, by the occurrence of El Niño and La Niña events. These phenomena may explain up to 25% of the variability in monthly precipitation in some parts of Mexico. For the northern states, El Niño/Southern Oscillation (ENSO) impacts can be summarized as shown in Table 5.

The large interannual variability in winter precipitation is mainly related to ENSO, particularly in the northwestern region of the country. The problem of climate predictability for this region is an important one since the relationship between ENSO and the North American monsoon is still an open scientific question.

Table 5. El Niño and La Niña impacts for winter and summer along the northern Mexican states.

ENSO event	Summer	Winter
El Niño (eastern Pacific sea surface temperature [SST] anomalies > 0°C)	Precipitation below normal	Precipitation above normal (in most cases)
La Niña (eastern Pacific SST anomalies < 0°C)	Precipitation above normal	Precipitation below normal

In the northern part of the country, winter precipitation might even exceed the precipitation during the summer during strong El Niño events. This was the case during the 1982–83 El Niño, when the total amount of water in the six dams (listed in Table 3) was affected by a decrease in the total precipitation for the state in 1982 (Fig. 7) and was restored because of the heavy winter precipitation in 1982–83.

Although El Niño winters are associated in general with more water availability in northwestern Mexico, less precipitation has fallen during some El Niño years. This may be seen at the Huites Dam in the southern part of Sonora, at the border with Sinaloa (Fig. 8).

The inter-El Niño variability in Mexican precipitation depends on the intensity of SST anomalies and on the characteristics of winter atmospheric circulation. On the other hand, the impacts of La Niña events appear to be more consistent with less winter precipitation and normal or above normal summer precipitation and water availability. Current prediction schemes tend to take into account possible variations in the impacts of El Niño. It should be remembered that precipitation in northern Mexico also depends on hurricane activity, so regional ocean conditions should be taken into account in long-term prediction models.

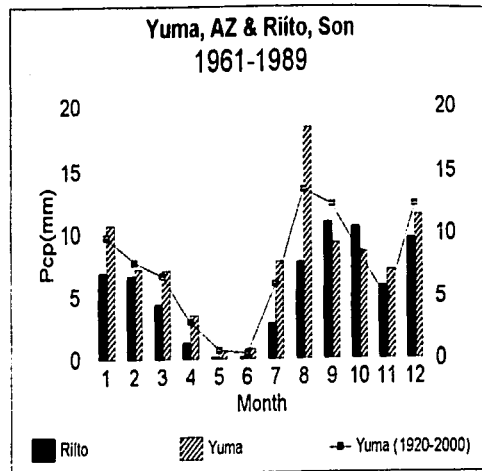


Figure 7. Standardized anomalies of the SST in the Niño3 region, the cumulative level of the six dams (Table 3), and the monthly precipitation for the state of Sonora.

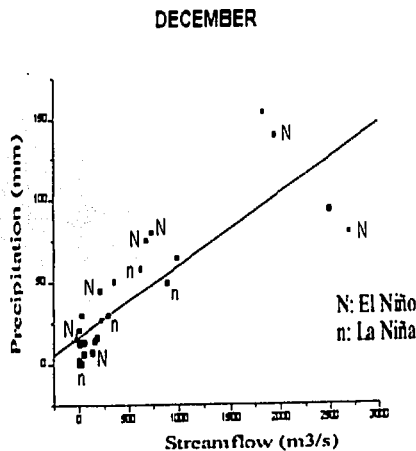


Figure 8. December precipitation (millimeters) vs. streamflow (m^3/s) at the Huites Dam (Magaña et al. 2000).

TESIS COM
FALLA DE CALIBRE

Water availability in northwestern Mexico exhibits large fluctuations on interdecadal time scales. As an example, this tendency can be observed in the precipitation for the state of Sonora since 1940 (Fig. 9a). Pronounced year-to-year fluctuations have occurred in recent decades, probably related to the more frequent occurrence of El Niño events (Fig. 9b). Even some dam level records for the same Sonoran region reflect part of this interdecadal variability (Fig. 10). This is the case for the Cuauhtemoc Dam, whose relative minima appear to be correlated to some extent to fluctuations in global surface temperature. In any event, there is a slight positive trend in the previous time series, which appears to suggest more water availability in recent decades, as the period of the 1950s to mid-1960s was exceptionally dry in the region.

As was stated previously, El Niño events during winter correspond generally to more precipitation in northwestern Mexico (Fig. 11a). The increases in streamflow at some locations, such as the Altar River (Fig. 11b), are mostly related to larger values of streamflow in winter, when the maximum values generally reflect the occurrence of extreme events, many of which are associated with the ENSO phenomenon.

More frequent and strong El Niño events have been experienced during the last two decades. Records indicate that there is a tendency for increased levels at some Mexican water reservoirs (Fig. 10). However, some very low water levels have been reached in recent years along Border States, associated with severe drought. Such large fluctuations in water levels, related to interannual variability in climate, must be an important element in water management planning.

4.3. Climate Change

Regional climate change scenarios for Mexico were generated by using statistical downscaling techniques applied to General Circulation Model- (GCM) outputs, for conditions of a possible duplication of carbon dioxide ($2 \times \text{CO}_2$) in the future, associated to global climate change (Magaña et. al. 1997). The results indicate that Mexico will probably experience less or unchanged summer precipitation, but increased precipitation during winter. This conclusion is consistent with the recent climate record, which has exhibited more frequent strong El Niño events. Under these climate change scenarios, more water may be available along the border in winter.

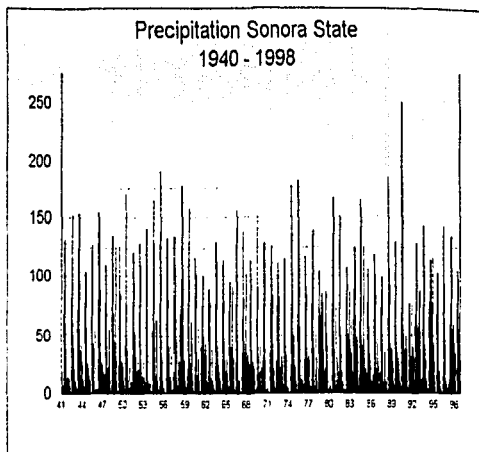


Figure 9a. Monthly precipitation (millimeters) for the period 1940-98 for the state of Sonora.

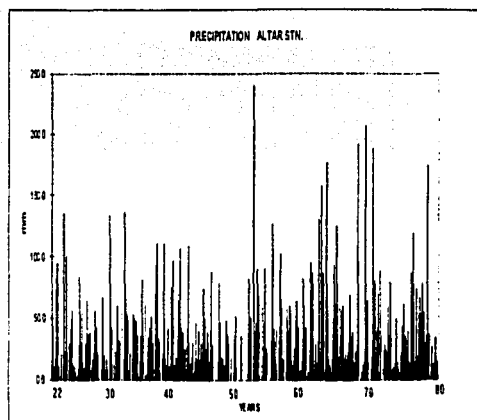


Figure 9b. Monthly precipitation (millimeters) for the period 1922-80 for Altar, Sonora.

Cuahtémoc, Dam, Sonora. 1950 - 1996
Annual volume vs Global Temp. anomaly

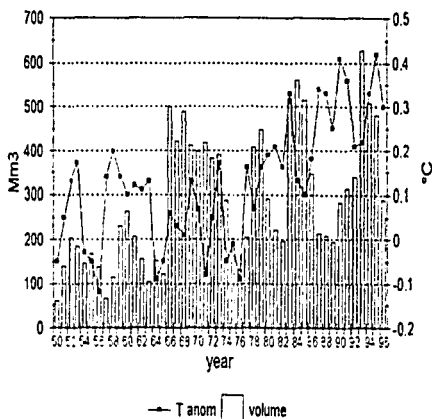


Figure 10. Annual volume (million cubic meters) for the period 1950-96 at Cuahtémoc Dam, in northern Sonora, and global ocean and land surface temperature anomalies.

(http://www.cdc.noaa.gov/climate/research/1998/anomalies/annual_land_and_ocean.t)

Climate change scenarios were also generated with a combination of a simple climate model, MAGICC, and a climate scenario database, SCENGEN (Hulme et al. 2000). The results indicate that a 10% to 20% increase in precipitation may occur after 2050 during winter in the northwestern regions of the country, under the emission scenario IS92a—defined by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in 1995—and applying simple interpolation techniques to the outputs of the Hadley Center Unified Model 2 (HadCM2). Whether this potential increase in freshwater resources in Mexico will keep up with the rapidly growing demand for water is still to be determined.

An important conclusion from the Third Assessment Report (TAR) of the IPCC, Working Group II (IPCC, WGII, 2001), is that there is a high confidence that in the western region of the Mexico-U.S. border, the “snow-melt-dominated watersheds... will experience earlier spring peak flows and reduction in summer flows...”. Under these climatic change conditions, increased water storage during winter, for use during the summer low-flow season, would be a feasible adaptation measure, if management programs and infrastructure are planned accordingly.

Sonora Seasonal pcp changes (%)
1982-1983 & 1997-1998 El Niño events

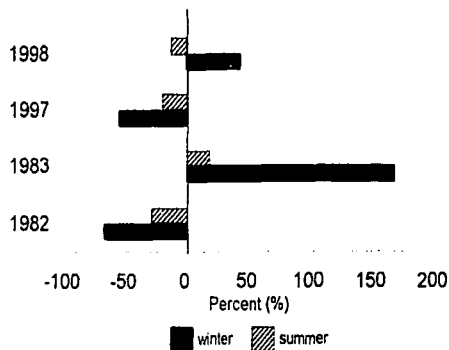


Figure 11a. Changes in precipitation during summer and winter in the state of Sonora for two very strong El Niño events. Winter changes are nearly double those in summer.

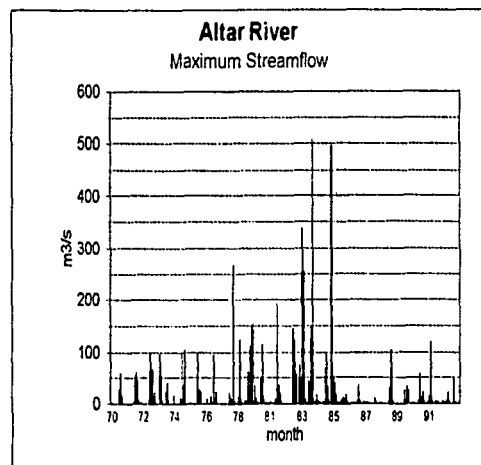


Figure 11b. Maximum monthly streamflow at Altar River, Sonora.

TRIS CON
FALLA DE BARRAJES

5. CONCLUSION

Given the nature of observed climatic variability and the range of possible future climatic scenarios, freshwater resources in the Mexico-U.S. border region are highly vulnerable. This vulnerability could be exacerbated because of increasing demand and competition, and declining water quality. Water management could be improved if social and governmental experiences during El Niño years are taken into account and integrated into binational strategies and future agreements. As part of these strategies, improved seasonal precipitation forecasts must be used to improve the decision-making processes for socioeconomic activities and plans. Also, new infrastructure, maintenance, and improvements of water treatment plants should be promoted, as well as more efficient technologies for increased water reuse.

Future research projects could extend the analyses of water availability in relation to the occurrence of ENSO events, and cooperative programs that monitor atmospheric and oceanic conditions in the region should be strengthened. More efficient use of water in the border regions should include new technologies but also more conscious and efficient use of water by the populations of both countries. Binational education activities related to this subject could be an important adaptation to possible climatic change in the future.

6. ACKNOWLEDGMENTS

This research was partially supported by the Interamerican Institute for Global Change Research (IAI) Collaborative Research Network 73 Grant to study climate variability in the Mexico, Central America, and Caribbean region. We also wish to acknowledge Henry Diaz and Carlos Gay for their comments on this chapter.

7. REFERENCES

Border XXI Program. <http://www.epa.gov/usmexicoborder/ef.htm>

Celis, P. 1992. Diagnóstico de la contaminación del agua en el estado de Sonora. In, *Ecología, Recursos Naturales y Medio Ambiente en Sonora*. José Luis Moreno (compiler). El Colegio de Sonora-Secretaría de Infraestructura Urbana y Ecología. Hermosillo, Sonora, pp. 155-187.

Comisión Nacional del Agua (CNA). 1999. *Compendio Básico del agua en México*. CNA, México. Secretaría de Medio Ambiente recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), México.

- Demographic Data Viewer v3.1. U.S.-Mexico Version Copyright 2000 Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) & The Trustees of Columbia University, New York. <http://plus.secdac.ciesin.org/plus/ddviewer/ddv30-USMEX>
- Diaz, H.F., and C.A. Anderson. 1995. Precipitation trends and water consumption related to population in the southwestern United States: A reassessment. *Water Resources Research* 31: 713-720.
- Douglas, M.W., R. Maddox, K. Howard, and S. Reyes. 1993. The Mexican Monsoon. *Journal of Climate* 6: 1665-1667.
- González, J. 18 April 2001. Busca Semarnat eliminar subsidios de agua para grandes industrias. *El Financiero*, p. 22.
- Hulme, M., T.M.L. Wigley, E.M. Barrow, S.C.B. Raper, A. Centella, S. Smith, and A.C. Chappanshi. 2000. *Using a Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments: MAGICC and SCENEX*. Version 2.4 Workbook. Climatic Research Unit, Norwich, UK. 52 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI). 2001. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. <http://www.inegi.gob.mx/>. Preliminary results.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group II, (IPCC, WGII). 2001. Summary for Policy Makers. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. <http://www.usgcrp.gov/ipcc/>
- Magaña, V. 2001. Contribution to Chapter 15: *North America*, of the IPCC Third Assessment Report, *Climate Change 2001, Impacts, Adaptations, and Vulnerability*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, pp. 735-800.
- Magaña, V., and C. Conde. 2000. Climate variability and freshwater resources in northern Mexico. Sonora: a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 61: 167-185.
- Magaña, V., and A. Quintanar. 1995. On the use of general circulation models to study regional climate. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) CRAY Second Conference on Supercomputing, Mexico City, June 1995.
- Magaña, V., C. Conde, O. Sánchez, and C. Gay. 1997. Assessment of current and future regional climate scenarios for Mexico. *Climate Research* 9(2): 107-114.
- Restrepo, I. 23 Abril 2001. Sequía y mal uso del agua en la frontera. *La Jornada*, p. 20.
- Sánchez, J.D. 2001. La Guerra que viene: por agua. *EPOCA* 517: 10-15.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 1999. *Estadísticas de Medio Ambiente. Información Estadística y Geográfica. Indicadores y Estadísticas Selectos*. http://beta.semarnap.gob.mx/estadisticas_ambientales/estadisticas_an_98/agua/
- SEMARNAT (Minister of Environment and Natural Resources). 2001. *Crusade for Forests and Water*. Available at <http://www.semarnat.gob.mx/bosque-agua/vision.html>. (Spanish).
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), SEMARNAP. 1997. *The 1997 U.S.-Mexico Border Environmental Indicators report*. <http://www.epa.gov/usmexicoborder/indica97/ic.htm>
- Westerhoff, P. 2000. Overview. In, Westerhoff, P. (ed.), *The U.S.-Mexican Border Environment: Water Issues Along the U.S.-Mexican Border*. Southwest Center for Environmental Research and Policy (SCERP) Monograph Series, No. 2. San Diego State University Press, pp. 1-8.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Technical Paper 2

STAKEHOLDER ENGAGEMENT IN THE ADAPTATION PROCESS

Lead Authors: Cecilia Conde¹ and Kate Lonsdale²

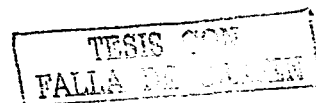
- 1 Center for Atmospheric Sciences UNAM, Mexico DF, Mexico
- 2 Stockholm Environment Institute, Oxford, United Kingdom

Contributing author: Anthony Nyong³, Yvette Aguilar⁴

- 3 University of Jos, Jos, Nigeria
- 4 Environment and Natural Resources Ministry, San Salvador, El Salvador

Reviewers: Atiq Rahman⁵, Mozaharul Alam⁵, Carlos Gay⁶, Maynard Lugenja⁷, Mohamed El Raey⁸, Mousse Cisé⁹, Maria Carmen Lemos¹⁰, Kees Dorland¹¹, Mohan Munasinghe¹², Samir Safi¹³, Barry Smit¹⁴, Ulka Kelkar¹⁵, Suruchi Bhawal¹⁶, Juan-Pedro Searle Solar¹⁷, Ana Rosa Moreno¹⁸, Roger Jones¹⁹, Henk Bosch²⁰

- 5 Bangladesh Centre for Advanced Studies, Dhaka, Bangladesh
- 6 Center for Atmospheric Sciences UNAM, Mexico DF, Mexico
- 7 The Centre for Energy, Environment, Science & Technology, Dar Es Salaam, Tanzania
- 8 University of Alexandria, Alexandria, Egypt
- 9 ENDA Tiers Monde, Dakar, Senegal
- 10 University of Michigan, US
- 11 Institute for Environmental Studies, Netherlands
- 12 Munasinghe Institute for Development, Colombo, Sri Lanka
- 13 Lebanese University, Beirut, Lebanon
- 14 University of Guelph, Guelph, Canada
- 15 The Energy and Resources Institute (TERI), New Delhi, India
- 16 Comisión Nacional Del Medio Ambiente, Santiago, Chile
- 17 The United States-Mexico Foundation for Science, Mexico
- 18 CSIRO Atmospheric Research, Aspendale, Australia
- 19 The Netherlands



2.1 Introduction

Adaptation is a process by which strategies to moderate, cope with and take advantage of the consequences of climatic events are enhanced, developed and implemented. Adaptation occurs through public policy making and decisions made by individual stakeholders, groups and organisations (governmental agencies or NGOs), and their networks. Relevant stakeholder groups need to be brought together to identify the most appropriate forms of adaptation. Analysing the role of stakeholders to cope with and adapt to climatic events is fundamental to characterizing current and possible future vulnerability. Understanding the decision-making process will assist in the implementation of adaptation policies.

The term “stakeholder” in climate change studies refers to policy makers, scientists, administrators, communities that historically own environmental resources, managers in the economic sectors most at risk, including both public and private enterprises and community members, who will act together to develop a joint understanding of the issues and create solutions to preserve and enhance their adaptive capacity. The definition used here is **“Stakeholders are those who have interests in a particular decision, either as individuals or as representatives of a group. This includes people who influence a decision, or can influence it, as well as those affected by it”** Hemmati, M. (2002).

Many countries have already undertaken what are called the first generation impact, vulnerability and adaptation (V&A) studies. Some countries have also undertaken more in-depth projects aimed at preventing or ameliorating climate impacts and risks. The APF seeks to support new V&A studies emphasizes the importance of a more stakeholder-driven approach. Stakeholders are fundamental to the process of adaptation as it is they who will sustain the process as the “adaptation community”.

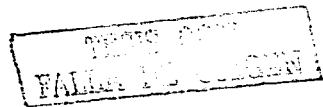
Each of the five steps of the APF involves stakeholders in a number of ways. This technical paper gives guidance on who, why, when and how to design a stakeholder involvement strategy. Its aim is to suggest ways to engage stakeholders in such a way that the interaction of different stakeholder groups is strengthened and broadened (TP7).

This technical paper suggests an overall strategy and techniques for engaging stakeholders at each of these stages. Not all the identified stakeholders will participate in all the steps, but, adaptation is not a linear process, they might re-enter the process at a later stage. This technical paper is closely aligned with the other cross-cutting technical paper (TP7), which is concerned with measuring and enhancing adaptive capacity.

2.2 Relationship to the APF as a Whole

This Technical Paper relates to all five steps of the APF process (see Figure 2.1), since a distinguishing feature of the APF is that it is stakeholder-driven. The composition of the stakeholder group may change as the types of efforts change, but the involvement of stakeholders is essential to design the project, determine the analytical approach to be used, evaluate candidate policies and measures, continue the process, and communicate results of the efforts.

The participants in the stakeholder process, types of participation, and outcomes are discussed in the remaining sections of this Technical Paper.



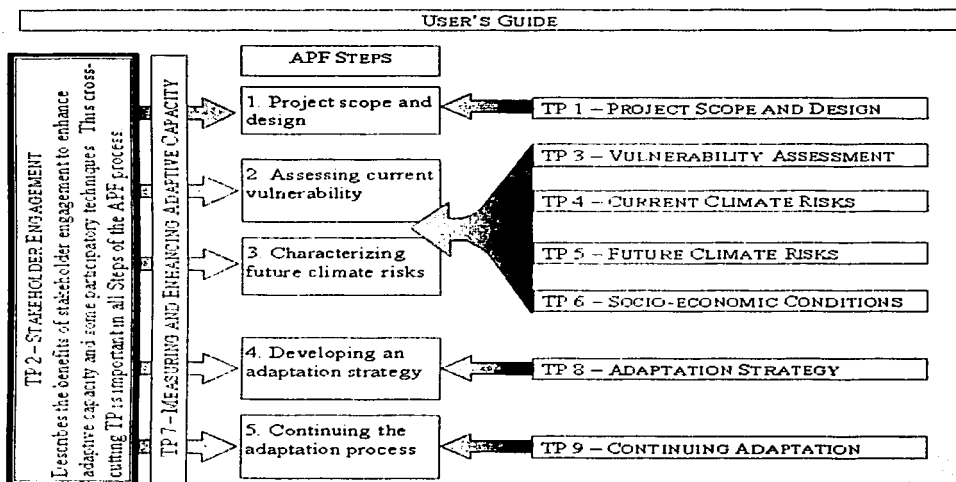


Figure 2.1

2.3 Why Engage Stakeholders?

Stakeholders, at different levels and stages, are crucial to the success of an APF project. Through listening to the views of others, stakeholders can build a shared understanding of the issues. Priority areas for action emerge that account of everyone's perceptions. This process requires time to build trust between groups and individuals involved and is empowering, as solutions are worked out jointly (Box 2). If each participant is seen as having a valid view, a stakeholder process can encourage longer-term capacity building by developing pathways for coordinated action. Adaptive capacity is developed if people have time to strengthen networks, knowledge, resources and the willingness to find solutions. However, stakeholder participation does not in itself guarantee equity, fairness or eventual buy-in; the process must be carefully designed and implemented.

Stakeholders are individuals or groups who "have the current and past experience of vulnerability and adaptation to climate variability and extremes" (Project: Capacity Building for Stage II Adaptation to Climate Change in Central America, Mexico and Cuba). The principal resource for responding to climate change impacts is people themselves, and their knowledge and expertise. Through an ongoing process of negotiation they can assess the viability of adaptive measures. The research community and the stakeholders can incorporate the scientific or factual information with the local knowledge and experience of change and responses over time to develop adaptive strategies.

ESTE CON
FALLA DE GREEN

Box 1 describes an example of the importance of stakeholders' involvement in climate studies and of their possible role in the different steps of the research.

Box 1. Example Engagement of Stakeholders, APF Steps 1 and 2.

Mexico Study Case (1997 – 1998). First year

Rainfed maize agriculture is fundamental for the regional economy in the state of Tlaxcala, Central Mexico. During this project it was found that farmers did find climatic forecasts useful if they were delivered before April and if they included the beginning of the rainy season and its summer distribution. These findings match popular sayings of the region (Conde *et al.*, 1999, Conde and Eakin, 2003). For example, the festival of St John (24 June) is seen as a critical date to switch to another crop (e.g. oats or barley). As planting maize after that date will expose it to early frosts at the end of the season. The 1997-1998 *El Niño* (Magaña *et al.*, 1999, <http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/nino.htm>) had severe impacts in the area and this gave the research team the opportunity to strengthen their interaction with policy makers and farmers organisations.

By applying regional climatic and crop models the impacts of climate change and climate variability were determined. During the project seasonal and monthly forecasts were developed to coordinate with the timing of decisions that the farmers had to make during the year. Ways to reduce the possible negative climate impacts were discussed with the farmers. As a result, climate forecasts for several counties in the state were produced in 1998. This was an *El Niño* drought year and as a result of the forecast some farmers involved in the project decided to buy oat seeds in advance (May) at low prices, before other farmers in the state. By the end of summer they had produced enough to cover their initial investment, feed their cattle, and even had a small surplus to sell.

The following table outlines the project including the stakeholders involved and the methods used to engage them, shifting from "participation in giving information to functional and interactive participation" (see figure 2). Two important outputs of the project are capacity building (the project is being continued by researchers in Tlaxcala) and developing independent regional support (the new research is being financed by national government agencies).

Objectives and Outputs	Tasks	Review/Research:	Stakeholders	Methods of engagement
<p>1997</p> <p>First Semester:</p> <p>Project design, submission and approval.</p> <p>Project presentation and approval of: objectives, methods, workplan and budget</p>	<p>Project team organization</p> <p>Selection of region / sectors</p> <p>Choice of methods, models</p>	<p>Climate studies: : Regional Climate Variability and Change.</p> <p>Impacts methods used in Country Study.</p> <p>International organizations (USCSP, IAI).</p> <p>National and Regional Programs: Agriculture, Environment, Development</p> <p>Specific case studies for the area and related policies</p>	<p>Project team:</p> <p>+ Researchers on climate, agriculture, environment, water resources issues.</p> <p>+ Regional experts: climate, agriculture</p> <p>Policy makers:</p> <p>+National climate change representatives: Regional agriculture, environment and development officials</p> <p>+Leaders of farmers organization (public and private).</p>	<p>Seminars, workshops</p> <p>Interviews, meetings, workshops</p>
<p>1997</p> <p>Second Semester</p> <p>First diagnosis of current V&A</p> <p>Climate and socioeconomic databases; regional experts directory</p>	<p>Development of regional seasonal forecasts</p> <p>Analysis of possible regional impacts</p>	<p>Climate studies: Climatic forecasts. ENSO correlations with regional climate and maize production.</p> <p>Crop models</p> <p>Socioeconomic diagnosis, past climate impacts documentation and adaptation measures applied.</p>	<p>Research team:</p> <p>+Climatologist from UNAM, UAT,</p> <p>+Biologists, agronomist from UNAM</p> <p>UAT, Geographer expert in social vulnerability issues, UNAM</p> <p>Policy makers:</p> <p>+Regional and local agricultural leaders.</p> <p>+Farmers and their leaders from selected counties</p>	<p>Seminars, workshops, master thesis.</p> <p>interviews, surveys, focus groups</p>

Project Background: Developed from work by the Country Studies project 1994-1996 (Gay *et al.*, 2000). Project team from National University of Mexico (UNAM) and University of Tlaxcala (UAT).



Box 2 Benefits of Stakeholder engagement
(adapted from Twigg, J. 2001)

- Participatory initiatives are likely to be sustainable because they build on local capacity and knowledge, the participants have 'ownership' of them and they are more likely to be compatible with long-term development plans.
- Working closely with local communities can help decision-makers gain greater insight into the communities they serve, enabling them to work more effectively and produce better results. In turn, the communities can learn how the decision-making process works and how they can influence it effectively.
- The process of working and achieving things together can strengthen communities and build adaptive capacity. It can reinforce local organisations, build up confidence, skills and capacity to cooperate (and improve the compliance of decisions made collective), consciousness, awareness and critical appraisal. In this way it increases people's potential for reducing their vulnerability. It empowers people more generally by enabling them to tackle other challenges, individually and collectively.
- Participation in the planning, learning about people's priorities and preferences, and implementation of projects by stakeholders accord with people's rights to participate in decisions that affect their lives. Processes of engagement can improve the likelihood of equity in decision-making and provide solutions for conflict situations.
- The process of engaging of stakeholders may take longer than conventional processes but may be more cost-effective in the long term than externally driven initiatives, partly because a stakeholder process is more likely to be sustainable and because the process allows the ideas to be tried, tested and refined before adoption.

2.4 Stakeholder Engagement Approaches

There are a vast number of approaches to stakeholder engagement. The choice of which to use depends on the complexity of the issues to be discussed and the purpose of the engagement, both of which will be determined in the initial steps of the project, where a careful evaluation of the time and resources available should be performed. There is no 'one size fits all' formula but a number of tools and techniques that can be applied to suit a given situation.

Stakeholder engagement approaches vary from quite passive interactions, where the stakeholders provide information, to 'self mobilisation', where the stakeholders themselves initiate and design the process. The level of participation can be illustrated using the ladder of participation (Figure 2). Engagement closer to self-mobilisation is not necessarily 'better' because it is more participatory. Different levels of participation will be appropriate for different stages of the project and given the experience of the research team. However, it is important that the stakeholders understand how they are being involved, how the information they provide will be used and whether they have any power to influence decisions.

It is also important to consider the scope of the issues that stakeholders will participate in defining and solving (Thomas, 1996). When designing the engagement, it is important to take into account the stage at which the engagement is occurring in terms of the policy making process, what decisions have already been taken and what positions are already fixed. It may be that the

Second-order draft, do not cite or quote

engagement, though very participatory in itself, is not effective because the scope is too constrained and there is no opportunity for developing creative solutions.

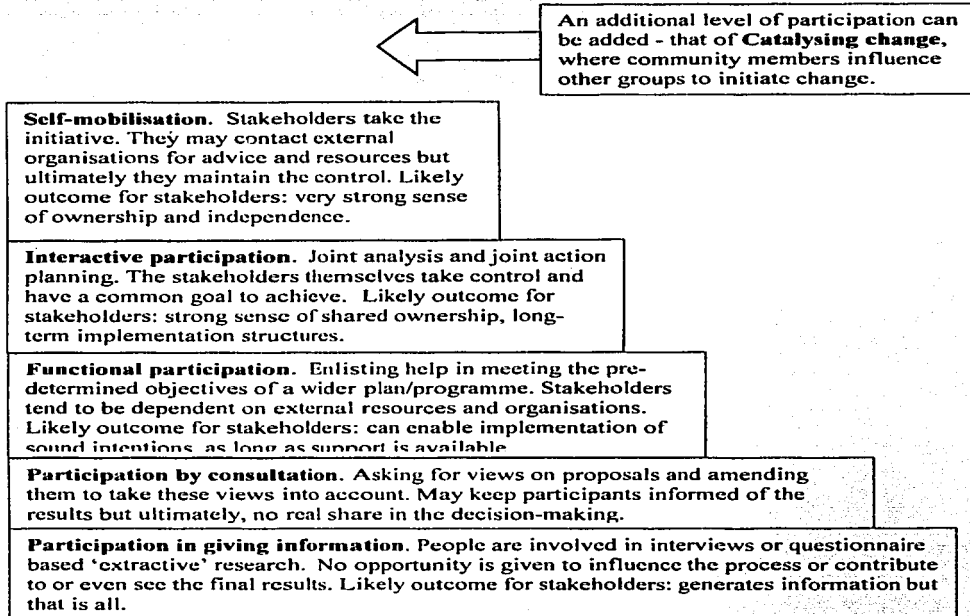


Figure 2. Ladder of Participation (adapted from Pretty, 1994, *Typology of Community Participation*)

Box 3 Guidelines for effective engagement

Effort please shorten this box by 50%. Make sure what is left is relevant to guidance
Be clear about the aims and objectives of the engagement. What are you trying to achieve? Are the techniques appropriate? Work towards a shared definition of the problem, acknowledging differences in people's perception of it. Be realistic about what can be achieved given the resources of time, money, expertise and political will available. Have a clear communication strategy including access to, and presentation of, information. Short-term interests inevitably take over when resources are scarce.

Understanding of related processes

Be clear about how the engagement fits in with official decision-making processes. Will the engagement process feed into and inform these other processes effectively? It is important to identify people, groups and structures that can provide support to achieve any actions identified through the engagement process.

Management of information

Having access to information is a form of power. Some groups will need to be persuaded of the benefit that they will receive from sharing information and developing a more holistic understanding of the issues. Information should be provided in an accessible way, without using complex concepts and jargon.

Communication and decision-making is not purely a rational process; people's feelings and attitudes are also important. People process information in different ways. This needs to be taken into account and respected. Information may also be presented in different ways, for example as values or moral opinions, as scientific facts or as personal experience. Explain the aims and purpose of the process in advance as well as detailing what participants will actually be required to do.

Support and capacity building

Some groups may need training or other support to enable them to engage on an equal footing with the other stakeholders. This may be in the form of information that enables them to contribute to the discussions or provision of data on likely impacts for their area or sector.

Transparency

Stakeholder groups should be identified in an open and transparent manner. From these groups, participants should also be invited in an open manner.

Trust-building

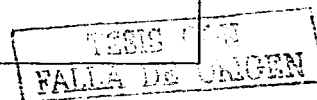
Stakeholder processes may bring together groups with opposing views. Trust between certain groups may be poor. People need to feel that the other members of the process will hear their views respectfully. Assuring participants that this is the intention of the process is important. When people feel reassured that their voices will be heard, they will be more able to listen effectively to others.

Time for the process

Lack of time is given as one of the most common constraints of many engagement processes. Effective stakeholder does take more time than conventional processes as time is required to develop the process, build partnerships and strengthen networks between stakeholders, raise awareness and build trust.

Feedback and flexibility

Participatory processes can be very flexible. If one technique is not working, another can be used or the questions changed to obtain the information required. This flexibility needs to be planned, and time must be allowed to get feedback on how effective the process is. Are the right questions being asked? Is everyone contributing fully? If not, what is preventing them and what could be improved? The analysis and synthesis of the outputs should be presented to stakeholders before general dissemination. Any conflicts of interest should be stated explicitly. This demonstrates a respect for differences.



2.5 The Team Structure

It is envisaged that the APF team that will initiate and lead the stakeholder identification and involvement will include one or more team leaders, preferably with experience of climate change projects. The group should also include individuals with experience of vulnerability and adaptation (V & A), climate and socio-economic research. This interdisciplinary team should decide in each step of the process which team member will have the responsibilities to design and facilitate the stakeholder process within the APF objectives and with the team's guidance. This facilitator has a key role in the stakeholder engagement process (see Box 4).

Box 4. The role of the facilitator

The facilitator is an extremely important member of the team. Even the best-planned approaches fail if the facilitator does not enable everyone to contribute fully. The facilitator needs to be able to balance out the conflicting interests of different groups and identify common ground. The facilitator's role is 'to encourage everyone to participate, promote mutual understanding and cultivate shared responsibility' (Kaner et al., 1998). The person acting as the facilitator must be aware of his or her own desires, biases and prejudices and not allow them to influence the process.

Many consider that this role can only be played by a neutral player, that is, someone who is not a stakeholder, like a member of the team. It might also be possible to have a rotating facilitator from the different stakeholder groups so that the responsibility is shared and no one group is being seen to be favoured. To be able to function effectively, the facilitator chosen must be acceptable to everyone involved. He or she also needs to have experience of running participatory processes, be responsive to the needs of the group and be able to vary the style of their approach to fit the demands of the situation.

2.6 Guidance for Developing a Stakeholder Strategy

The strategy is based on the five steps outlined in this APF. At each step, the team should review several participatory techniques, and decide which they feel comfortable using. The facilitator can offer advice as to which would be appropriate for a given task (see examples in Annex 1).

APF Step 1. The scope of the project

Who is involved?

The scope will be determined by the project team (see TP1). This project team will propose the region and/or sector of research, based on the results of previous national studies and on the advice and needs of decision makers and regional experts. The results of this first stage should be made widely available to regional NGOs and other interested groups for comments. This helps to ensure transparency and build trust in the process.

Tasks in Step 1

As stated in TP1 (*Project scope*), in Step 1 the project team performs a brief review of the current national policies for climate change (e.g., UNFCCC National Communications), for development and for the environment as a way to identify national priorities and the institutions that would be engaged in the project. If your country is a signatory of any multilateral environmental agreements (e.g., conventions on biodiversity and desertification) these must also be taken into account in the project design as climate change adaptation policies should be integrated with those efforts. In this review process, the project team can start to build up a directory of national experts, international

agencies and projects (governmental or NGOs) whose work is related to adaptation and who could be a source of information and support. The relevant national and regional governmental decision makers should be encouraged to read and comment on these initial reports. It is important to include the key people at an early stage of the project. Being familiar with the project from the beginning means that they are more likely to take note of the conclusions at the end and include them in their decision-making processes and policy design.

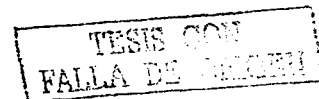
The stakeholders have different interests in the predicted climate impacts and vulnerability assessments. Some examples of the diverse interests of different stakeholder groups are given in Table 1. They also have an important role to play in the development of adaptation policies.

Table 1. Example of potential stakeholders, their influence (international, national, regional or local) and their access to human and material resources (after Y. Aguilar, 2001).

Stakeholders	Interests and Roles
Global Environmental Facility (GEF)	<ul style="list-style-type: none"> • to develop national technical expertise on adaptation • to develop financing criteria and procedures on adaptation programs
National government and ministries (e.g. agriculture, health, environment, education); Early warning systems and disaster prevention institutions	<ul style="list-style-type: none"> • to honour international agreements and participate in international negotiations on regional programs • to implement sectoral policies, programs and plans • to improve local human development • to build capacity and develop effective mechanisms to solve local problems • to reduce the risk of local, climate-related damage
Local governments	<ul style="list-style-type: none"> • to solve local problems • to develop local capacity • to finance local plans and programs • to strengthen institutions • to prevent climate damage and disasters
National/regional research centres and universities	<ul style="list-style-type: none"> • to contribute to solving national and regional climate problems affecting vulnerable human systems and ecosystems • to build permanent national and regional capacity in climate change • to develop national and regional approaches with a developing country perspective to address climate change
Local environmental/development NGOs	<ul style="list-style-type: none"> • to facilitate the organization of local people and identify action to fulfill local needs. • to finance local development programs and projects. • to develop technical and financial capacity • to strengthen local institutions
Local communities/people affected by climate risks and damages	<ul style="list-style-type: none"> • to increase or preserve incomes • to improve or preserve health, education and housing • to improve or preserve land and aquatic productivity • to decrease local vulnerability to climatic risks • to improve or preserve adaptive capacity to climatic risks.

APF Step 2. Assessing current vulnerability

Who is involved?



The most vulnerable, as identified in Step 1, particularly those who would be increasingly affected by the foreseen impacts, either positively or negatively,) as well as those who have a role in influencing adaptation. Regional climate, history and socioeconomic experts could give advice on current conditions in the study region.

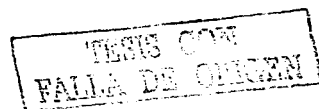
Tasks in Step 2:

It is important to develop a common understanding amongst the stakeholders of what is meant by the words used. For example, the meaning of the words 'vulnerability', 'adaptation', 'coping range' and 'climatic hazard' should be discussed and agreed. Having this shared understanding is the first step to finding realistic solutions and building capacity. The project team and the regional experts should prepare a brief initial description of current climate and its variability in the region, as well as a description of the current socioeconomic conditions and trends. These results will be disseminated and then discussed with key stakeholders (organizations or individuals).

Successful examples of coping strategies used in the past, or examples with a useful learning point can then be presented to the group. Such discussions can provoke conflicts between stakeholders. The project team must be aware that is not the objective of the APF to solve such conflicts, but to reach consensus in the issues where there is convergence or common ground (see Box 4). In this step, the priority areas of concern, as well as the coping strategies adopted in the past must be identified. An agreed assessment can then be elaborated, including the strategies currently accepted as successful. This information can be acquired through meetings, focus groups or workshops, where a number of different techniques (diagrams, tables, flow charts, etc.) are used to obtain information. (Information about "conceptual models", which can be used at this stage, is given in TP4). Good examples (Box 5) of how to engage stakeholders at a community level to obtain this information and how this has been done can be found in several case studies. The team should identify those techniques that are appropriate to their region.

Access to and presentation of information is an important part of levelling out power differences between the stakeholders and with the project team. This is difficult, as some may be reluctant to present their work or ideas in a manner they perceive to be an oversimplification of reality and other stakeholders may feel alienated and disengage from the process if information is presented at too complex level or with the use of jargon. A local-level process may need to be preceded by an awareness-raising campaign to engage people and give them a clearer understanding of what may happen and how it might affect them or the group that they represent.

As in the Nigeria case study (Nyong, 2002; see Box 5), historical climate data also has to be obtained (e.g., climatic variables, frequency or intensity of extreme events and documentation on the immediate impacts). Stakeholders can document the measures or strategies they have used in the past or usually use to cope with those events. This provides a collective understanding of how the various social, economic and environmental systems might behave under different climatic conditions (Figure 2, TP4).



Box 5. Jos Plateau, Nigeria, Environmental Resources Development Programme: Project Identification Using Rapid Rural Appraisal techniques to elicit information from the stakeholders.

Aim: to identify viable projects to provide solutions to resource problems faced by people in the tin-mining region of the Jos Plateau. Focussed on two communities, Marit and Wereng.

The identification of priority projects required reliable yet quick and cost-effective appraisals to be undertaken in collaboration with the people in these communities as well as the relevant departments of Jos University, and government and non-government bodies active in the area. Previously, rapid appraisals have been criticised for only studying areas that were easily accessible, only involving the elite or well-to-do for choosing times that suited the researchers rather than the local communities. The researchers also failed to recognise the value of indigenous knowledge and never returned to the communities to report on what they had learned or how the information would be used. This project wanted to avoid these biases using the Rapid Rural Appraisal (RRA) approach, which incorporates the following concepts

Appropriate precision - gathering information at a sufficient level of accuracy. If you need monthly rainfall information why get daily?

Optimal ignorance - know what you don't want to know and, if you don't want it, don't waste time getting it.

Value indigenous knowledge

Triangulation/Iteration - check if you are getting a realistic picture by comparing the information from one source with that from other sources

Flexibility - this turned out to be a key concept for this project, as logistical problems meant that the time frame had to shift considerably.

Interactive teamwork - a small team with mixed skills, each assigned a specific role.

The study areas were identified using a Rapid Rural Reconnaissance process (see Chambers 1983). In this process the local people identified the most vulnerable areas. This is important when secondary data sources (maps, reports, etc.) are of poor quality or out of date.

Data collection

The team used a number of techniques to create a the history of the communities: past events, how they had had affected the community and effective responses. **Qualitative methods:** in depth interviews; informal, spontaneous conversational interviews, semi-structured interviews (topic areas chosen but not the actual questions) and standardised open-ended interview (structured questions). **Diagram techniques:** participatory mapping of the community, transect walks through agricultural zones, Venn/Chapatti diagrams of organisational structures. **Trend analysis:** daily activity charts (to know where people are at different times of day); seasonal calendars; annual calendars.

Having synthesised the data from the RRA exercises and identified the key issues with the community grouped and prioritised them. The Marit team decided to take a multi-purpose approach and identify projects that could involve more than one key issue at the same time. They came up with 22 possible projects, reduced to 9 'best bet' projects. The Wereng team undertook a similar project identification process. Criteria used by the Wereng team to assess project viability included productivity, sustainability, stability, equitability, cost, time to benefit, social, technical and institutional feasibility.

Conclusions of the process

Considerable, but perhaps not unusual, logistical problems were encountered during the project (vehicular failure, inadequate catering facilities, timekeeping, etc.). Many of the lessons learned were related to how to involve external agencies in rural development. Overall, it was felt that the objectives of the project (training and project identification) were satisfactorily achieved. One issue that became apparent during the process was the absolute necessity for follow-up. Follow-up included training, so that learning could become institutionalised and not lost, and the project identification, so that the projects identified always lead to action.

Source: material presented by Anthony Nyong at AIACC meeting in Trieste, Italy, 2002 and unpublished Interim Project Reports



The question of who participates at this stage is determined by the methods used to identify stakeholders. A simple but effective way is to ask the stakeholders identified by the project team in Step 1 to suggest other stakeholders who are then, in turn, asked who they consider to be relevant stakeholders until no more are identified. In addition to having the power to influence the adaptation process or being part of a group that will be directly affected by a predicted climatic impact, identified stakeholders must also be willing to participate in the process. This iterative method should be applied in each of the five APF steps. However, limited resources and time make it likely that the project team may have to limit the number of stakeholders involved once all the relevant stakeholders have been identified.

In many cases, the stakeholders involved are the 'usual suspects,' i.e., government and NGO representatives, local dignitaries, businessmen and academics. Such people are familiar and comfortable with the existing structures and ways of working and confident in voicing their opinions. Other groups, particularly the highly vulnerable, are likely to require more effort or support to engage as they may not be able to attend meetings at certain times, they may distrust the process or feel uncomfortable in voicing their opinions or embarrassed about their lack of knowledge or education. Their involvement in the process is fundamental, as they will play a key role in adapting to the impacts of climatic, environmental or socio-economically critical events. Also, they have rich experience and much knowledge about what kind of adaptation is practical.

Once the basic information has been collected and summarized, the links may be identified between climate and the chosen regions and/or sectors in relation to the socioeconomic situation and the current state of vulnerability. A report containing a summary of the stakeholder discussions and this initial analysis can then be presented back to all the stakeholders who have been involved in the process up to this stage to enable them to check that it is a fair account. Indicators and models that relate climate events, the socioeconomic context and the impacts of climatic hazards can then be identified, tested and agreed either using the data in the report or with the stakeholders themselves. These can then be used to evaluate future vulnerability.

APF Step 3. Assessing future vulnerability.

Who is involved?

Essentially, the same stakeholders as in Step 2 will be involved in Step 3 – stakeholders involved in the policy making process and in decision making in the relevant sector, and stakeholders that have been involved in developing scenarios of the possible climatic and socio-economic futures.

Tasks in Step 3

For this step the project team must have a brief but clear description of climate change projections, the socio-economic future scenarios related to these projections and a brief review of previous impact studies done by the team in Step 2. Stakeholders involved in the policy making process and in decision making in the relevant sector (see Table 1) will decide what planning horizons to work to for the chosen region/sectors (see TP5).

Much adaptation in the developing world relies on people's previous experience of dealing with climate-related risks. Their perceptions of the risks they encounter in their lives now and how they view these changing in the future should thus be included in the design of strategies to cope with climate change in the future. Examples of how this could be done using a stakeholder-driven approach are given in TP4 and TP5 (see also Jones, 2000; Hulme and Brown, 1998). Participatory scenario building, simulation, role play, visioning and backcasting (descriptions of these techniques are given in Annex 2) are techniques that can be used with stakeholders to

construct possible futures resulting from the combination of possible “coping ranges” and possible future “climate change”. This kind of analysis can be used to explore questions such as, What if the climate changes but the coping range does not? What if the climatic changes in the future are predicted to be generally positive, but the socio-economic projections suggest that the coping ranges will decrease? Because both of these factors change with time, there are many more dynamic situations that can be investigated.

Future risks can also be evaluated using impact thresholds (see TP4). This concept suggests that certain thresholds can be identified in a system – thresholds that, if crossed, will lead to severe deterioration in the resilience of the system. These thresholds can be established using models, the knowledge and experience of stakeholders, and their perception of possible futures.

The analysis of how to recover from future climatic (or socio-economic) shocks that might weaken the capacity of the system to adjust has great uncertainties associated with it. Crucial for this analysis are the planning and policy horizons (TP5). For example, dam construction has a time horizon of more than 50 years; national park time horizons might be longer. These groups will have to take climate change impacts into account in their planning. Also, international negotiators for transboundary water use might need to know the long-term future scenarios for that resource. In other sectors the planning horizons may be much shorter, and it may thus be harder to persuade such sectors to take notice of predictions of climate change impacts and make provision for adaptation. In these cases, examples of climate variability impacts in the past are useful.

The project team will elaborate a consensus synthesis of the possible climatic and socio-economic futures. The stakeholders’ description of perceived changes and expected futures on local or regional levels will be specifically addressed. These syntheses should then be disseminated, with an executive summary, for local or regional policy makers. Strategies to raise public awareness of these possible futures and to influence policy makers to include these results in their regional / national agenda should be discussed and agreed by the team.

The case study in Box 6 shows how farmers in Mali used a participatory approach to find ways to improve their soil fertility management and plan for future changes to make the best use of scarce resources.

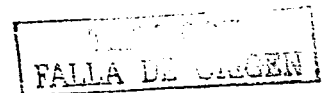
APF Step 4. Developing an adaptation strategy

Who is involved?

All stakeholders, particularly local, regional and national policy makers.

Tasks for Step 4

By Step 4 of the process the stakeholders will have determined the scope of the issues of interest and identified the links between climate and the sector or region under consideration. They (or a subset of them) will have considered the future climate and socio-economic scenarios and discussed the implication of these for the sector or region. At this stage they may undertake a cost-benefit analysis or other evaluation and prioritization process for the adaptation measures suggested to assess the feasibility of implementing such measures (TP8).



Box 6. Participatory approaches to plan future changes, a case study from Mali.

A participatory action research process was developed by the Malian Farming Systems Research team to assist farmers in southern Mali to improve their soil fertility management practices. As more land is being brought under cultivation, the traditional practice of allowing land to lie fallow to restore soil fertility is becoming increasingly rare, leading to a widespread depletion of the organic matter and nutrient reserves of the soil. As there are many and varied farming and soil fertility management systems in Mali, solutions for an 'average' farmer and an 'average' field would not be sufficient.

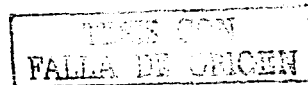
A collaborative learning and action approach was used, which enabled the farmers to play an active role in finding solutions. The participatory action research (PAR) process had been developed by the farming systems research team (Equipe Systemes de Production et Gestion de Ressources Naturelles) of the Malian agricultural research institute (IER: Institut d' Economic Rurale), with the aim of assisting farmers to improve their soil fertility management practices. The PAR process comprises four phases: (i) diagnosis/analysis, (ii) planning, (iii) implementation, and (iv) evaluation. After the diagnosis phase, the planning, implementation, and evaluation phases are repeated on a yearly basis, in a continuous active learning cycle.

The first element of the diagnosis stage is to ask the participants to list the criteria that they feel reflect the diversity of soil fertility management strategies. The participants were separated into groups of older men, women and younger men in order to show the different perspectives these groups have on the issue. The criteria were divided into two types – indicators that refer to 'proper' soil fertility management and socio-economic characteristics of the households that might influence soil fertility management. After this all the farming households in the village were classified as 'good', 'average' or 'poor' according to their ability to manage soil fertility. Five 'test' farmers from each group were then asked to participate in the remaining PAR process. The villagers themselves, in consultation with the researchers, selected farmers on the basis of their interest in learning and their capacity to exchange information with their peers.

Farm level resource flow models (RFMs) were used to analyse the soil fertility strategies. On large sheets of packing paper, test farmers drew the different elements of their farms, such as grain stores, fields, animal pens, compost piles. For each field both present and preceding crops were noted. Afterwards, farmers draw arrows to represent resource flows entering and leaving the farm, as well as flows between fields and other farm components. Quantities were given in units used locally e.g. cart loads, baskets. The arrows were labeled with approximate quantities. By visualising these flows and how they were managed, the farmers were able to discuss the present situation and to identify any improvements they could make with scarce resources. The RFMs also became a means of communicating with other farmers.. The next stage was the development of a planning map. The test farmers were asked to visualise their plans for the next year. Improvements to be made were marked on to a new map of the farm with estimated resource uses added, and other flows marked on, as before. These were then presented to other farmers at a village meeting where the technical implications were discussed. As the work was done, the actual resource flows were marked on to the planning RFMs and discrepancies between what was planned and the final usage was discussed.

The RFM's advantage over formal surveys is that the flows are visualised, allowing more reliable and complete data collection; omissions or mistakes are easier to spot. RFMs are context specific and easily understood. It was shown that the RFMs used by the farmers allow for the collection of information that can be successfully transformed into management performance indicators, soil nutrient flows and partial balances. This process improves both the farmers' and the researchers' understanding and knowledge and creates a common ground for creative interaction between researchers and farmers that can lead to finding ways to use the scarce resources more efficiently.

Source: Presentation at the AIACC Workshop in Trieste, 2002 and Defoer et al., 1998



In Step 4 the project group and the stakeholders can initiate the process of evaluating the viability of the proposed adaptation strategies and to identify key areas for further action. Policy makers play a key part in this step. Proceedings of workshops, technical reports and a summary for policy makers should be disseminated and could be used as a guide to the next stage of the adaptation process.

APF Step 5. Implementing the adaptation strategy

Who is involved?

All stakeholders, including the policy makers.

Tasks for Step 5

The aim of this task is to sustain the adaptation process, including selection of appropriate mechanisms (TP9). The national regional meetings described in Step 4 should have resulted in in-depth review and evaluation of the results and the identification of a list of priority areas for action to reduce vulnerability.

In some countries the adaptation policies designed during this APF process may not immediately influence the policy-making processes or be included in the national or regional agendas. However, those goals could be achieved, longer term, if this process can be sustained through the stakeholders and if they are able to replicate the process in other sectors or regions.

Step 5 is the time to start implementing an action plan to address these priority areas, to start thinking about the realistic next steps to achieve these goals, and how the results could be included in developing and environmental national or regional plans and budgets. This can be done in a formalized way by using a table such as Table 2.

Table 2. Examples of Next Action Steps

Action	Who can help us?	Who will try to stop us or be resistant?	What resources do we need? (time, money, skills)	Where can we get support for resources not currently available?	Who will take a lead on the prioritized action?
Increasing farmer access to markets through support of rural road building schemes	e.g. Ministry of Rural Affairs, local businesses, Chamber of Commerce, Farmer cooperatives	e.g. Ministry of Transport, Ministry of Finance, environmental groups	e.g. \$1,000,000 in first 10 years, would provide many jobs locally for low skilled workers	e.g. Local businesses, NGOs, multinational corporations with an interest in the area (cash crops)	e.g. Ministry of Rural Affairs Regional or local governmental agencies Farmers' Organizations
Increasing farmer access to micro-insurance schemes	Etc.				
Development of indigenous seed banks					
Provision of agricultural machinery through cooperative					

structures					
------------	--	--	--	--	--

At the action planning stage the project team should start to reduce its facilitation and guiding role. If the process has managed to build sufficient capacity in the stakeholders, then they, or a network of them, can step in to undertake the roles formerly played by the project team. If this handover is successful, then the responsibility for carrying out the action plans is taken on by these stakeholder groups and an 'adaptation community' could be said to have been formed. It is also possible that the project team continues to play a mentoring role for some time before the stakeholder groups feel confident enough to take the lead. In any case, the project team and stakeholders will both have a role in monitoring and evaluating the performance of the adaptation measures and the next steps of the adaptation.

- Why engage stakeholders? Because they have knowledge and ideas that are relevant to the process, decisions made will affect them and they are more likely to consent to them if they feel they have contributed to making them.
- Decide what level of engagement is appropriate (see Fig 2 Ladder of Participation) and which are the key stakeholders in each step
- Be clear about the aims and objectives of the engagement, how it should operate and what is expected of participants.
- Encourage and support those who are unfamiliar with voicing ideas and information.
- Use techniques that are appropriate for the group involved and type of information required
- Decide which techniques are appropriate and feasible to feedback useful information and results to the stakeholders involved.

Add conclusion. One para to explain what has been done here and what the teams should do next.

In synthesis, there is no 'one size fits all' solution to engaging stakeholders for enhancing adaptive capacity. Stakeholders involvement will be developed in a context where political differences, inequalities, or conflicts might come up, most of which the APF is not intended to resolve, but will be immersed in. Every situation is different. Having decided the kind of information you require you then need to decide who should provide it and then the most appropriate technique to obtain it, cross-checking, if necessary, with another technique (triangulation). The next section suggests sources that may be useful in designing your approach. A variety of techniques are described, some require planning and others take a only few minutes to complete. Some are quite formal and others less so but remember people will engage more if the process is enjoyable.

References

- Aguilar, Yvette (2001). Personal communication.
 - Chambers, Robert (1983) *Whose Reality Counts? Putting the Last First*, ITDG Publishing.
 - Conde, C., R. Ferrer, C. Gay, V. Magaña, J.L. Perez, T. Morales, S. Orozco. 1999. El Niño y la Agricultura. In: *Los Impactos del Niño en México*. Magaña, V. (ed.). UNAM.CONACYT.SG.IAI. 103 - 135. <http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/nino.htm>
 - Conde, C., H. Eakin. 2003. Adaptation to Climatic Variability and Change in Tlaxcala, Mexico. 2003. Chapter in: *Climate Change, Adaptive Capacity and Development.*, J. Smith, R. Klein, S- Huq. (editors). Imperial College Press , London.
 - Defoer, T, De Groote, H., Hillhorst, T., Kante, S. and Budelman, A. (1998) Participatory action research and quantitative analysis for nutrient management in southern Mali: a fruitful marriage? *Agricultural Ecosystems and Environment*, 71, 215-228.
- Gay, C. (ed.). 2000. México: Una Visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Resultados de los Estudios de Vulnerabilidad del País Coordinados por el INE con el Apoyo del U.S. Country Studies Program. SEMARNAP, UNAM, USCSP.220 pp.
<http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/>
- Hemmati, M. (2002) Multi-stakeholder processes for governance and sustainability, Earthscan, London.
 - Hulme, M., Brown, O. (1998). Portraying climate scenario uncertainties in relation to tolerable regional climate change. *Clim. Res.* 10: 1-14.
 - IPCC, WGII. 2001. Summary for Policy Makers. A Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel of Climate Change. 18 pp.
 - Jones, P.J.S., Burgess, J. and Bhattachary, D. (2001) An Evaluation of Approaches for promoting relevant authority and stakeholder participation in European Marine Sites in the UK, English Nature (UK Marine SACs Project).
 - Jones, R. (2000), Analysing the risk of climate change using an irrigation demand model. *Clim Res.* 14: 89-100.
 - Kaner, S., Lind, L.,Toldi, C.,Fisk, S. and Berger, D. (1998) *Facilitator's Guide to Participatory Decision-Making*. New Society Publishers, Philadelphia.
 - Magaña, V. (ed.). 1999. *Los Impactos del Niño en México*. UNAM. CONACYT. SG. IAI. 229 pp. <http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/nino.htm>
 - Nyong, A. 2002. Presentation at AIACC meeting in Trieste, Italy, 2002 (http://www.start.org/Projects/AIACC_Project/meetings/meetings.html.) and unpublished Interim Project Reports.
 - Pretty, J. (1994) *Typology of Community Participation*, quoted in Bass, S., Dalal-Clayton, B. and Pretty, J. (1995) *Participation in Strategies for Sustainable Development*, London, Environmental Planning Group, International Institute for Environment and Development.
 - Thomas, H. (1996) *Public Participation in Planning* in: Tewdwr-Jones, M.(ed) *British Planning Policy in Transition; Planning in the 1990s*, UCL Press, London.
 - Twigg, J. (2001) *The Age of Accountability: Community involvement in disaster reduction*. <http://www.bghrc.com>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Annex 1

Good sources of information about different methods of participatory approaches

Participatory Workshops: a source book of 21 sets of ideas and activities, Robert Chambers, Earthscan, (2002). ISBN 1 185383 862 4 (paperback) Available from www.earthscan.co.uk Good source book of information about how to run workshops including lots of practical advice and common mistakes.

Participatory Learning and Action: A trainers guide, Jules N Pretty, Irene Guijt, Ian Scoones and John Thompson, International Institute for Environment and Development (IIED), (1995). ISBN 1 8998 2500 2 Available from: www.earthprint.com A valuable collection of advice, tips and methods for participatory approaches. The focus is mostly on participatory rural appraisal but much would also be relevant for APF workshops.

Enhancing Ownership and Sustainability: A Resource Book on Participation. International Fund for Agricultural Development (IFAD), Coalition for Agrarian Reform and Rural Development (ANGOC) and International Institute of Rural Reconstruction (IIRR), (2001). ISBN 1 930261 004 email: publications@iirr.org A collection of short reviews of participatory approaches and experience.

Facilitator's Guide to Participatory Decision-Making, Sam Kaner with Lenny Lind, Catherine Toldi, Sarah Fisk and Duane Berger (1996), New Society Publishers. A useful introduction to how to build consensus and make sustainable agreements with groups. Also gives advice on how to handle difficult group dynamics and individuals.

Power, Process and Participation: Tools for Change (London, Intermediate Technology Publishers), Slocum, R., Wischhart, L, Rocheleau, D., Thomas-Slater, B (eds). This talks about the history of participatory processes, how to apply them and some methods.

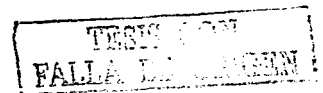
Embracing Participation in Development: Wisdom from the field, Meera Kaul Shah, Sarah Dengan Kambou and Barbara Monahan, October 1999, Care-US, available online at www.care.org/programs/health.reproductive_health.asp. Field guide to participatory tools and techniques, lots of insight from experience mainly based on the Participatory Learning and Action (PLA) approach.

Developing Technology with Farmers: A Trainers guide to Participatory Learning, Laurens van Veldhuizen, Ann Waters-Bayer and Henk de Zeeuw, 1997. Zed Books, London www.zedbooks.demon.co.uk. Focused on farmers but much of the material is more widely relevant. Designed to stimulate active learning.

PRAXIS, Institute for Participatory Practices, www.praxisindia.org, also available at the Institute of Development Studies, A collection of guidelines, examples, tips for trainers and experience gathered at a workshop.

Resources on the web

Participation Resource Centre, Institute of Development Studies, University of Sussex. <http://www.ids.ac.uk/ids/particip/index.html> Holds over 4000 documents. A limited document delivery service is available. Email: participation@ids.ac.uk



Second-order draft, do not cite or quote

Resource Centre, International Institute for Environment and Development (IIED), www.iied.org/resource. The resource centre has a searchable database available online. Non-OECD countries can use the information delivery service free of charge (OECD countries pay a charge). Email: resource.centre@iied.org

Sources of Information about Running Stakeholder Engagement Processes

Multi-stakeholder processes for governance and sustainability, Minu Hernmati, (2002), Earthscan, London. ISBN 1 85383 870 5. www.earthscan.co.uk A practical guide which explains how multi-stakeholder processes can be organised and implemented in order to solve complex issues related to sustainable development.

Institute of Development Studies Policy Briefing Issue No. 7 (1996) The Power of Participation, available online at <http://www.ids.ac.uk/ids/bookshop/briefs/brief7.htm> A summary of Participatory Rural Appraisal: what it is, how to do it and some of the problems.

Stirrat, R.L. (1996), The New Orthodoxy and Old Truths: Participation, Empowerment and other Buzz Words', Bastian, S., Bastian, N, (eds) Assessing Participation: A debate from South Asia, New Delhi: Duryog Nivaran/Konark Publishers. This publication provides a useful critique of participation.

Annex 2. TOOL BOX

Tool Box of Exercises Needed to Run a Participatory Workshop

The tools described below are some examples of techniques that could be used in different stages of a participatory workshop. This is by no means an exhaustive list. For more ideas and information about techniques, see the sources list. Participatory processes are numerous and flexible. If one method does not appear to be working, you can try another. Adapting existing methods or making up your own exercises will make the process more appropriate to your own set of circumstances.

Techniques for the start

Paired interviews

This is useful for finding out what the participants' expectations are. It can be a useful way to raise questions and uncertainties or address misconceptions.

Participants are split into pairs and each is asked to interview their partner. Questions focus on their background, reasons for attending and what they hope to achieve by participating. After five minutes they report back to the whole group. If it is a large group then feedback can be restricted e.g. to saying 'name two things you hope to achieve in this process'. If group consent has been given these can be recorded. This can then be referred to in the evaluation of the effectiveness of the process.

Source: Participatory Learning and Action: A trainers guide, Jules N Pretty, Irene Guijt, Ian Scoones and John Thompson, International Institute for Environment and Development (IIED), (1995). ISBN 1 8998 2500 2. Available from: www.earthprint.com

Hopes and fears

This is a good way to step back from the content of the process and allow participants to share any worries or misconceptions they might have brought with them.

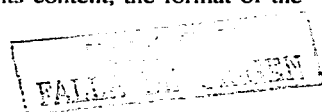
Participants are divided into small groups of 4-6 people and each group is given a piece of paper. Each group is asked to write down any fears or concerns that they may have had before coming. This should be done quickly (5 minutes). Each group is then asked to report back to the group. The facilitator then has the opportunity to empathise and reassure the participants and give any relevant information about the process that may previously have been unclear. The facilitator can then ask the question 'what can I do to reduce your concerns'. This may lead onto a discussion of groundrules.

Source: Newstrom, J.W. and Scannell, E.E. (1980) Games Trainers Play, McGraw-Hill Inc, USA.

Expectations and groundrules

This helps to determine what participants do and do not want from the process in terms of the content, format and practical details. This provides insight into how much consensus there is.

Each participant is given a number of small pieces of paper. On each piece they are asked to write one thing that they do or do not want from the session in terms of its content, the format of the



Second-order draft, do not cite or quote

meeting and practical details. These are then grouped and fed back to the group. They can form the basis of ground rules. It also gives the facilitator to address expectations that may not be met.

Source: *Participatory Learning and Action: A trainers guide*, Jules N Pretty, Irene Guijt, Ian Scoones and John Thompson, International Institute for Environment and Development (IIED), (1995). ISBN 1 8998 2500 2 Available from: www.earthprint.com

Agenda setting

If the agenda is to meet the needs of the participants there has to be a certain amount of flexibility in the planning process. At the workshop participants could be asked to write on a piece of card one item they would like to be addressed. The cards could then be sorted and an agenda drawn up to cover these items. The items could be prioritised by the group by giving each participant a number (3-5) of sticky dots (or crosses made with a pen) and asking them to mark those items they perceive to be the most important.

Techniques to promote discussion, scope issues and identify gaps

Buzz groups

This is a method for putting aside time to think; to allow participants to work through their emerging thoughts before presenting them to the whole group. Buzz groups can be used in many situations – for example after a presentation of new material and before questions are asked from the audience. A buzz group would enable participants to think through any parts they were unclear about in the presentation or would like further information on. Having had this opportunity they will then be more ready to contribute questions.

Participants are divided into pairs and the facilitator proposes a topic for discussion. One starts as the listener and the other is the thinker. At half time the roles reverse. During their thinking turn each person is encouraged to think out loud. They do not have to make sense. This is their opportunity to collect and develop their thoughts at their own pace and in their own way. The listener says nothing but listens attentively. The roles then swap.

Source: Langford, A. (1998) *Designing Productive Meetings and Events: how to increase participation and enjoyment*, South Oxfordshire District Council, Permaculture Academy and South Oxford District Council. www.southoxon.gov.uk/agenda21

Brainstorming

A brainstorm is a quick way to get a group to produce a list of ideas, questions, issues or topics for later discussion. The suggestions are recorded by an appointed person who notes them down. The meaning can be clarified but the recorder should not comment on, judge or praise the suggestions as they come in. The recorder does not participate in providing suggestions. The participants should be encouraged to think as creatively as possible and not be too concerned about practical realities at this stage. The list can later be sorted and prioritised (see Delphi technique, next).

Card sorting, Delphi technique

This is a similar process to brainstorming except that suggestions are recorded on small pieces of card; one suggestion per card. The cards are then clustered into themes on the wall or on the floor. The participants or the facilitator can do this. Duplicated ideas can be removed. The list can be prioritised if necessary.

Spider diagrams

This can be used to both generate ideas and link ideas together into themes. Write the issue of interest – e.g. institutional barriers to adaptation to climate change in Peru – in the centre of a large piece of paper. Then write down any interconnected ideas, thoughts, questions and draw lines between the ones that are linked. Continue until no more can be found. This can either be done in the large group or by smaller groups who can later compare and contrast their different diagrams.

Source: Participatory Learning and Action: A trainers guide, Jules N Pretty, Irene Guijt, Ian Scoones and John Thompson, International Institute for Environment and Development (IIED), (1995). ISBN 1 8998 2500 2 Available from: www.earthprint.com

Nominal group technique

This gives participants the opportunity to generate solutions to problems as individuals and then come to a collective view on priorities. Each participant is asked to write down solutions to the question e.g. how to encourage the business community to consider climate change impacts. This is done in silence. Participants are then given the opportunity to feed back to the group and the ideas generated are recorded. Any misunderstanding are clarified and a final list prepared. Participants are asked to prioritise the solutions by marking the five items they consider to be most important with a pen or sticky dot. The result is a set of independent views rather than a group view. Independent thinking is generally more creative and there is less pressure to conform.

Source: Oomkes and Thomas (1992) quoted in Participatory Learning and Action: A trainers guide, Jules N Pretty, Irene Guijt, Ian Scoones and John Thompson, International Institute for Environment and Development (IIED), (1995). ISBN 1 8998 2500 2 Available from: www.earthprint.com)

Carousel

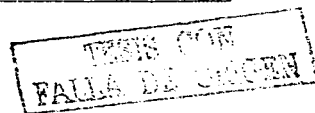
This is a semi-active technique to get people addressing different problems in a single issue or different aspects of the same problem e.g. what are the barriers to effective participation for different groups (children, elderly, women, disabled people). Here a series of questions or topics (2-5) are posed at different stations in a room or in different rooms. The group is divided into smaller sub groups (the same number as there is stations). Each station has a recorder who notes down responses. After a set time (5-10 minutes) the group moves on to the next station and repeats the process until all the questions have been covered.

Johari's Window

This technique explores the difference between professionals and local people's knowledge and helps to highlight inherent prejudices and preconceptions about the value of each.

Participants are asked to fill in the following matrix with examples from their own experience. This can be done on a general level for professionals and locals or on a more specific level e.g. administrators, small businesses versus landless people, small farmers etc.

	They know	They don't know
We know		
We don't know		



Second-order draft, do not cite or quote

Sources: Luft, J (1970) Introduction to group dynamics, quoted in Participatory Learning and Action: A trainers guide, Jules N Pretty, Irene Guijt, Ian Scoones and John Thompson, International Institute for Environment and Development (IIED), (1995). ISBN 1 8998 2500 2 Available from: www.earthprint.com and Chambers, R. (2002), Participatory Workshops: a sourcebook of 21 Sets of ideas and activities, Earthscan, London.

Techniques for participatory analysis

Sources various see annex 1

Maps

Maps provide a holistic picture of an area and are useful in discussions of location, distribution, access to resources and vulnerability. Maps can illustrate social, economic or environmental features (or combinations of these) and can be provided for discussion or developed by the participants using paper or other materials such as sand or clay. The discussions that result from developing or using maps indicate the relative importance of the various features on the map for the participants. For example, maps drawn by women of their local community generally differ quite considerably in the importance placed on the different buildings and facilities.

Listing and combining

Similar to the brainstorming and Delphi techniques described above.

Calendars and timelines

Calendars organise information in chronological or seasonal order. This helps in recognising patterns that are related to time. This is useful in working out community work patterns.

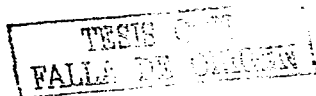
Timelines show a sequence of activities or changes over time. Their impact on the community can then be investigated by overlaying other trends such as migration from the area, changes in farming practices etc.

Ranking and scoring

Ranking is used for comparison of items based on criteria set by the group. For example, households could be ranked in terms of their wealth or well being. Scoring can be used to identify strengths and weaknesses of different items so that they may be compared. This could be done by individuals or the group. Scores can be compared with past scores or scores from different areas to observe trends. This technique can be used to prioritise adaptation measures (see TP8)

Diagrams

This tool helps participants to visualise information and how it relates in a system. Diagrams show how different elements interact (and how strong these links are) or work together and how one part can affect another part. Venn diagrams show organisational linkages. Flow charts can be used to illustrate flows of information.



Techniques for evaluation

Sources: Participatory Learning and Action: A trainers guide, Jules N Pretty, Irene Guijt, Ian Scoones and John Thompson, International Institute for Environment and Development (IIED), (1995). ISBN 1 8998 2500 2 Available from: www.earthprint.com and Chambers, R. (2002). Participatory Workshops: a sourcebook of 21 Sets of ideas and activities, Earthscan, London.

Smiley sheets

A simple sheet is given to each participant. One side has a smiley face on . On this side participants are asked to write something they like about the process or activity. ON the other side there is a sad face. On this side the participants write something they found difficult and how they would have done it differently.

Evaluation wheel

The group should first decide the criteria to be used for evaluation. You could base it on the expectations discussed at the beginning of the process. There should not be too many criteria (fewer than ten). Each participant is then asked to draw a wheel with the same number of spokes as there are criteria. The spokes should then be labelled with one criterion each. The spokes represent scales from low or zero in the centre to high or ten at the edge. Participants are then asked to indicate on the spoke their assessment of the course with respect to each criterion. The dots can then be joined. If done on overhead transparencies the different evaluations can be compared to give the degree of consensus between individuals.

Hopes and fears scoring

Take the hopes and fears given by the participants at the beginning of the process (see techniques for the start section). Turn any negative comments in to positive or neutral e.g. 'I am worried that I won't have a chance to give my opinions' could become 'opportunities to speak'. A matrix is then drawn up with the hopes and fears listed down the side and five columns to the right of this with a face at the top of each. The expressions on the faces vary from very sad the far left to very happy at the far right with a neutral face in the middle. Participants are then asked to indicate with a pen mark or a stick dot how they feel the different hopes and fears have been dealt with overall.

Feedback boards

These boards can be present throughout the process and they provide an opportunity for participants to write anonymous comments about the process and ideas for improvements. In addition to voicing their problem, participants should be encouraged to suggest practical solutions to the difficulties they encounter. Comments can be read back to the group with ideas for how they might be tackled.

Representatives

Ask the participants to suggest one or two representatives. Participants could tell these people any concerns they have and the representatives would then report back to the facilitators. Any changes suggested would then be fed back to the whole group.

Paired interviews

see above: *Techniques for the start*

Other techniques

Source: Van Asselt, M.B.A., Mellors, J., Rijkens-Klomp, N., Greuw, S.C.H., Molendijk, K.G.P., Beers, P.J. and van Notten, P. Building Blocks for Participation in Integrated Assessment: a review of participatory methods. International Centre for Integrative Studies (ICIC) Working Paper: 101 – E003.

Consensus conferences

A consensus conference is a public enquiry centred around a group of citizens who are asked to assess a socially controversial topic. These lay people put questions to a panel of experts, discuss the experts answers and then negotiate amongst themselves. This results in a consensus statement in the form of a written report for policy makers and the general public. The report expresses their expectations, concerns and recommendations at the end of the conference.

The lay panel should have no vested interests in the issues but should be chosen to represent different attitudes towards the issue. The group is balanced on age, gender, education, occupation and area of residence.

Focus groups

A focus group is a planned discussion in a small group (4-12) of stakeholders facilitated by a skilled moderator. It is designed to obtain information about preferences and opinions in a relaxed, non-threatening environment. The topic is introduced and in the ensuing discussion group members influence each other by responding to ideas and comments. In focus groups scientists play the role of facilitator or observer. They are not usually involved as full participants.

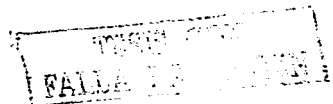
In one-to-one interviews it is assumed that individuals know what they feel and that they form ideas in isolation. When a new idea is being tested or the issue is controversial social scientists have noted that people often need to listen to other opinions before they form their own viewpoint. Also, during the course of a discussion the opinion of an individual may shift. The focus group thus enables viewpoints that might not have come forth in individual interviews and allows analysis of what might influence shifts in opinion.

Groups members are generally strangers to each other but all have something in common as this has been shown to make them more likely to communicate freely. Being strangers they know that they are unlikely to see each other again and so are less inhibited about sharing their thoughts and opinions.

Citizen's jury

Citizens juries are based on the rationale that given adequate information and opportunity to discuss an issue, a group of stakeholders can be trusted to make a decision on behalf of their community, even though others may be considered to be more technically competent. Citizen's juries are most suited to issues where a selection needs to be made from a limited number of choices. The process works better on value questions than on technical issues.

The jury is made up of a number (12-24) of stakeholders (with no special training) who listen to a panel of experts ('witnesses') who are called to provide information related to the issue. The stakeholders are chosen at random from a population appropriate to the scale and nature of the problem. Selection is based on several characteristics largely gender, education, age, race,



education, geographic location and attitude to the question in hand. The group is supposed to represent a microcosm of the community including its divers interests and sub groups. There are some doubts as to whether such a small group can really be representative of the diversity of opinion in the larger community. Does a middle-aged woman represent all middle-aged women? Some think it can only represent the community in a symbolic sense.

Experts are chosen by a panel with no interest (or stake) in the outcome. They represent a several points of view and additional experts can be called by the jurors to clarify points or to provide extra information.

Scenario building

In scenario analysis stakeholders create and explore scenarios of the future in order to learn about the external environment and to understand the decision-making behaviour of the organisations involved. This approach enables the exchange and synthesis of ideas and encourages creative thinking. This method is particularly useful for addressing complex issues and uncertain futures, where decision-making is generally based on non-quantifiable factors and where it is important to establish a dialogue between the key actors in order to plan for the future.

All stakeholders, including decision-makers and scientists will be actively involved in the process. Key issues or questions relevant to the subject are identified. From this key trends and driving forces can be determined. These may then be prioritised to determine which are the most important or uncertain. These strands are then be fleshed out to make the 'story line' from a beginning to an end. Following the initial workshop there may be a period of reflection where the trends and indicators developed for the different scenarios may be tested for robustness and plausibility.

Visioning

Visioning gives people the opportunity and the space to say how they would like things to be in the future without having to sort out the problems of today. A vision is a statement of how you would like the world to be. Goals are the practical components of visions. For example, your vision may be for a car free society. Your goal might then be reducing my family's car use by 50% by the end of the year. Visioning may sound like dreaming but holding a well developed vision of the future helps to give us a realistic appraisal of the current situation. Having developed a vision a process of 'backcasting' may then be used to bring the vision back to the present day. From there it is possible to identify steps that may be taken today to reach the ideal future. For a full description of how to run a visioning process

Source: Langford, A. (1998) Designing Productive Meetings and Events: how to increase participation and enjoyment, South Oxfordshire District Council, Permaculture Academy and South Oxford District Council. www.southoxon.gov.uk/agenda21

