

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARERAS AGRONÓMICAS**



**“CAMBIO CLIMÁTICO Y SU RELACIÓN CON EL SECTOR  
ENERGÉTICO EN MÉXICO.”**

**POR**

**RAFAEL LARA ORTIZ**

**MONOGRAFÍA**

**PRESENTANDO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO  
DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

**FEBRERO DEL 2011**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

"CAMBIO CLIMÁTICO Y SU RELACIÓN CON EL SECTOR ENERGÉTICO EN  
MÉXICO."

MONOGRAFIA

MONOGRAFIA ELABORADA POR EL C. RAFAEL LARA ORTIZ BAJO  
SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORIA Y APROBADA COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

ASESOR:

  
M.C. HUGO AGUILAR MÁRQUEZ

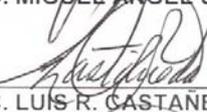
COASESOR:

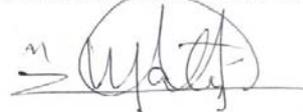
  
ING. RUBÍ MUÑOZ SOTO

COASESOR:

  
M. en C. MIGUEL ÁNGEL URBINA MARTÍNEZ

COASESOR:

  
M. en C. LUIS R. CASTANEDA VIESCA

  
M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO DEL 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“CAMBIO CLIMÁTICO Y SU RELACIÓN CON EL SECTOR ENERGÉTICO EN  
MÉXICO.”

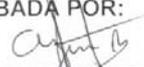
MONOGRAFIA

MONOGRAFIA ELABORADA POR EL C. RAFAEL LARA ORTIZ BAJO  
SUPERVISIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

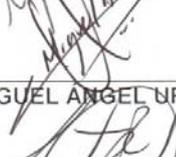
PRESIDENTE:

  
M.C. HUGO AGUILAR MÁRQUEZ

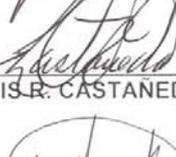
VOCAL:

  
ING. RUBÍ MUÑOZ SOTO

VOCAL:

  
M. en C. MIGUEL ÁNGEL URBINA MARTÍNEZ

VOCAL SUPLENTE:

  
M. en C. LUIS R. CASTAÑEDA VIESCA



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

  
M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO DEL 2011

## **AGRADECIMIENTOS**

**A dios:** Que siempre me ha acompañado, quien es mi fiel amigo que me ha mostrado el camino y me ayudo a salir adelante, guardándome de todo mal que pueda pasarme, dándome fe, amor y paciencia para poder lograr este objetivo tan importante en mi vida por qué sin el nada somos y nada seremos en esta vida de tantos obstáculos y él es que nos da aliento y valor de seguir adelante, también sé que de hoy en adelante me seguirá ayudando para tener un buen desarrollo como profesionista gracias dios por todo esto y todo lo que viene.

**A mi Universidad “ALMA TERRA MATER”:** que siempre llevaré su nombre en alto, por la oportunidad que me brindó en formarme como un profesionista al culminar satisfactoriamente mis estudios.

**A mis padres:** por su comprensión y ayuda en momentos malos y buenos. Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca las esperanzas, ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, se las dedico con el corazón en la mano los amo papas.

**A mis hermanos:** por los buenos momentos tan felices que pasamos juntos y por apoyarme en los malos momentos que he tenido.

**Al Ing. Hugo Aguilar Márquez:** por su predisposición permanente e incondicional en aclarar mis dudas y por sus substanciales sugerencias durante la redacción de esta monografía, ya que su esfuerzo y dedicación, sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para mi formación como profesionista.

**A mis vocales:** por su colaboración en este trabajo de titulación, y su gran amistad incondicional, que me brindaron en estos cuatro años y medio que convivimos, y la confianza que depositaron en mí.

**Al Mc. José de Jesús Quezada Aguirre:** por su gran amistad y amor que me brindo, sus consejos ya que sin ellos no podría ver llegado a ser una buena persona y poder ser un profesionalista.

## DEDICATORIAS

**En especial a mis excelentes padres:** la Sra. Elvira Ortiz Gómez y el Sr. Antonio Lara Ramos con mucho cariño y amor, por todos los buenos deseos, grandes consejos y apoyo que me brindaron y que siempre lo harán, me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia, mi empeño y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio; ellos me llenaron por dentro para conseguir un equilibrio que me permitió dar al máximo de mí, GRACIAS PAPÁS, “los quiero con todo mi corazón”. Todo mi trabajo va dedicado a ustedes.

**A mis hermanos:** Gabriela Lara Ortiz y Antonio Lara Ortiz por su paciencia, su comprensión, su fuerza, su amor, gracias por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

**A mi sobrina:** María Fernanda Gutiérrez Lara por haber sido y ser la inspiración de nuestra familia, y claro para mí en principal, porque tú trajiste mucha alegría, amor y felicidad.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Página

<b>Agradecimientos.....</b>	<b>i</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>iii</b>
<b>Índice de contenido.....</b>	<b>iv</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>vi</b>
<b>Palabras claves.....</b>	<b>vi</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>vii</b>
<b>Keywords.....</b>	<b>vii</b>
<b>I. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Objetivo.....</b>	<b>3</b>
<b>II. Revisión de literatura.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Impactos del cambio climático relevantes al sector energético.....</b>	<b>4</b>
<b>2.a aspectos generales.....</b>	<b>4</b>
Cambio en los eventos de precipitación intensa.....	4
Cambio en eventos de sequías.....	7
Cambio en la actividad de ciclones tropicales.....	9
Cambio en cuencas y escurrimiento.....	10
Cambio en oleaje.....	21
Cambio en la actividad de olas de calor.....	24
Cambios del nivel del mar.....	28
<b>2.2 Impactos en la estructura de la industria energética.....</b>	<b>30</b>
Impacto de vientos extremos en estructuras.....	31
Edificios y torres de transmisión.....	31
Plataformas.....	31

Líneas de transmisión.....	32
Carga de viento.....	32
<b>III. conclusiones.....</b>	<b>34</b>
<b>IV. Índice de figuras.....</b>	<b>38</b>
<b>V. literatura citada.....</b>	<b>41</b>

## **RESUMEN**

Este estudio examina el alcance de los impactos del cambio climático en la industria energética mexicana.

El consenso general es que el mundo se está calentando debido a los efectos globales de los gases de invernadero emitidos por la actividad humana. Los estudios regionalizados sugieren cambios locales en los patrones de temperatura y precipitación, vientos y oleaje, e inundaciones y tormentas intensas (huracanes) que podrían afectar a la sociedad profundamente.

En 2050, dentro del ciclo de vida de la infraestructura energética actual y planeada, la generación, la resiliencia de las redes y de demandas energéticas serán alteradas debido al cambio climático. El planeamiento exige que las decisiones importantes estén basadas sobre la mejor información disponible. La actual información del clima no permite que la industria tome decisiones informadas en la infraestructura y los requisitos operacionales futuros. Sin embargo, las buenas decisiones son necesarias para asegurar la seguridad y viabilidad energética mexicana.

## **PALABRAS CLAVES**

Sector energético, cambio climático, contaminación, energía y gases de invernadero.

## **ABSTRACT**

This study examines the extent of climate change impact on Mexican energy industry.

The general consensus is that the world is warming due to global effects of greenhouse gases emitted by human activity. Regionalized studies suggest local changes in temperature and precipitation patterns, winds and waves, and floods and intense storms (hurricanes) that could affect society deeply.

In 2050, within the lifecycle of current and planned energy infrastructure, generation, network resilience and energy demands will be affected by climate change. The planning requires that major decisions are based on the best information available. The current weather information does not allow the industry to make informed decisions on infrastructure and future operational requirements. However, good decisions are necessary to ensure the safety and feasibility of Mexican energy.

## **KEYWORDS**

Energy sector, climate change, pollution, energy and greenhouse gases.

## I. INTRODUCCIÓN

### a) Definición del problema

El clima del siglo XXI será diferente del clima del siglo XX debido al cambio climático antrópicamente inducido. Aunque se espera que las iniciativas del protocolo de Kioto reduzcan la magnitud este cambio, el riesgo de desastre permanecerá. Condiciones de aumento de temperatura y cambios en el ciclo hidrológico serán percibidas por la población al aumentar las ondas de calor o los eventos hidrometeorológicos extremos. Los escenarios proyectados sugieren aumentos en temperatura de entre 2°C y 6°C para México durante el presente siglo, lo cual podría tener consecuencias negativas en la disponibilidad de agua, al aumentar la evapotranspiración y disminuir escurrimientos e infiltraciones. Por otro lado, el cambio climático podría significar aumentos en la frecuencia e intensidad de los ciclones tropicales por el Caribe y el Golfo de México.

Uno de los sectores que se considera vulnerable ante el cambio climático es el energético. La producción y demanda de energía requerirán de modificaciones en su estructura si se considera que gran parte de su funcionamiento (eg. Producción hidroeléctrica, precios de verano para la energía en el norte del país, seguridad de las plataformas petroleras) depende de elementos climáticos como la precipitación, la temperatura y el viento. La generación de la hidroelectricidad es el área del sector eléctrico más probable de ser afectada (vulnerable) porque es sensible a cambios en el ciclo hidrológico. Un aumento en temperatura y disminución en precipitación resultará en menos disponibilidad de agua en las presas, afectando negativamente la producción de la hidroelectricidad; mayores caudales, si se miden el tiempo correctamente, pudieron ayudar a la producción hidroeléctrica.

Por otro lado, los escenarios de cambio climático también sugieren que los eventos de precipitación extrema aumentarán y con ello las posibilidades de que en periodos cortos se llegue a niveles de presas que constituyan un riesgo para la población al existir la posibilidad de desborde del embalse. Bajo tales condiciones, los proyectos actuales y futuros de generación de energía hidroeléctrica requerirán una consideración seria del riesgo que se enfrentará bajo un ciclo hidrológico más intenso. Los proyectos de generación de energía actuales y futuro deben así considerar una variabilidad climática aumentada, por lo que los sistemas de información climática serán de primordial importancia. Será un reto estimar

los costos que la adaptación del sector hidroeléctrico tendrá para poder mantener un funcionamiento adecuado en las presas.

#### **b) Descripción del sector energético mexicano**

La propiedad del estado de los activos de la energía es una característica históricamente significativa de la economía de México. Las entidades nacionales más importantes de energía son la compañía de petróleo y gas, Petróleos Mexicanos (PEMEX), y de generación de electricidad, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), ambas de propiedad del gobierno. El control sobre el sector de energía de México se concentra actualmente bajo las oficinas del Secretaría de Energía (SENER).

La política energética de México pretende ampliar el mercado del gas natural y la reducción del uso basado solamente en el petróleo. La política del estado mexicano es tener el gas natural como su combustible primario para el futuro. La secretaria de energía ha iniciado una política integrada de combustible, que busca reducir perceptiblemente el uso del petróleo en un plazo de 10 años. La política tiene cuatro componentes principales: (1) la construcción de nuevas centrales eléctricas de gas natural; (2) la conversión de varias centrales eléctricas en operación, basada en petróleo a gas natural; (3) un aumento en el uso industrial del gas natural de modo a satisfacer los nuevos estándares ambientales de 1998; y (4) la promoción del uso industrial y doméstico del gas natural.

La legislación de 1995 abrió el transporte, el almacenaje, y la distribución del gas natural a la inversión privada nacional e internacional, y permite que las compañías privadas importen y exporten el gas natural. PEMEX, que antes de 1995 controlaba la industria del gas de todo el país, mantiene control sobre el sector que existía anteriormente. Bajo esta ley, los nuevos sectores a ser explorados están abiertos totalmente en el sector privado. Las licencias concedidas a las compañías privadas son por 30 años, a través de licitaciones públicas.

La industria del gas natural en México ahora es posiblemente la menos regulada de los subsectores de la energía de México. La Comisión Reguladora de la Energía de México (CRE) supervisa la industria del gas natural que tiene como meta implementar una industria competitiva, eficiente, segura, y sostenible del gas natural como parte de los esfuerzos de México en el incremento del uso del gas natural debido a razones ambientales, económicas, y otras.

Los inversionistas privados pueden ahora participar en la generación de energía, pero la transmisión y la distribución de la electricidad todavía se reserva para el sector público. Al lado del mandato constitucional, el gobierno mexicano tiene el dominio directo, permanente, e intransferible sobre la distribución de la electricidad y transmisión a los usuarios públicos.

## **1.1 OBJETIVO**

El estudio propuesto tiene por objeto estimar la importancia del factor cambio climático en el sector energético. En particular, se analizan los efectos que el aumento en la temperatura y los cambios en el ciclo hidrológico tendrán en la generación hidroeléctrica, líneas transmisión, torres de transmisión, incremento en las demandas domésticas de electricidad, así el impacto de los eventos extremos en las infraestructura de las torres de transmisión y en las plataformas marítimas de producción de petróleo).

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Impactos del cambio climático relevantes al sector energético

#### 2.a aspectos generales

##### **Cambio en los eventos de precipitación intensa**

A medida que el clima se calienta, muchas regiones del globo podrán ser afectadas por un aumento significativo de eventos de precipitación intensa. Dicho escenario con lleva una gran cantidad de impactos socioeconómicos. Los Modelos de Circulación General con diversos escenarios de emisiones de gas invernadero (forzantes externas del sistema climático), sugiere mediante proyecciones, una señal consistente a la alza en la frecuencia de eventos extremos de precipitación comparados con los cambio en la precipitación media.

En términos globales, datos de precipitación sobre los continentes muestran que los eventos extremos tienen una contribución importante en la precipitación total en climas cálidos. Usando la ecuación de ClausiusClapeyron se puede mostrar que hay un incremento de 6.4% en el vapor de agua, por cada incremento de 1°C en la temperatura de la atmósfera. Los reanálisis globales del NCEP y ECMWF Era-40 presentan un aumentan continuo del vapor de agua global asociado al aumento de temperatura de la atmósfera en las ultimas 4 décadas. En la región tropical hay evidencias de observaciones que indican que la tasa de aumento de vapor de agua es del orden de 5.5%/°C.

La teoría, las simulaciones climáticas y la evidencia empírica confirman que los climas más calientes, resultado en parte de un incremento en la cantidad de vapor de agua, generarán eventos de precipitación más intensos (Fig. 7), aun cuando la precipitación total permanezca constante. En otras palabras, aun con perspectivas de más eventos de precipitación intensa la precipitación total podría disminuir. Una de las implicaciones prácticas de los cambios en la precipitación son los relacionados con la seguridad de la infraestructura energética. En las últimas décadas un incremento en la cantidad de precipitación de eventos de precipitación intensa diarios se han observados en muchas áreas de México.

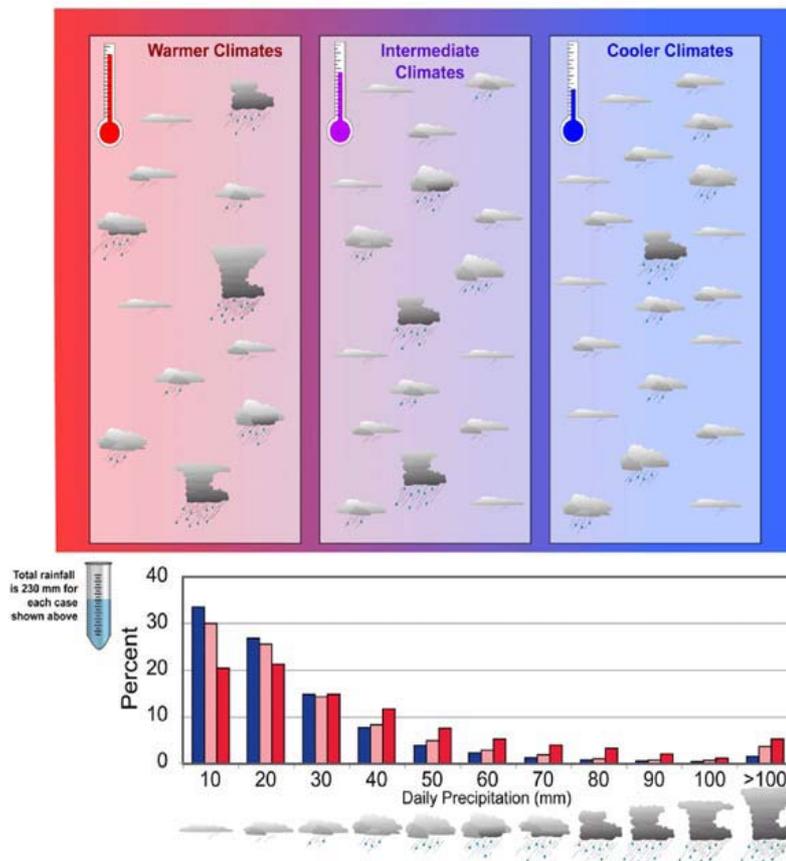


Figura 2a-1: El diagrama muestra que climas más calientes (rojos) tienen un porcentaje más alto de la precipitación total, producto de eventos de intensos y muy intensos. Los datos se basan en una distribución de estaciones globales, pero cada uno tiene la misma cantidad media estacional de precipitación de 230 ( $\pm 5$ ) milímetros. Por ejemplo las ciudades de San Fernando (Tamaulipas) y Nagasaki tienen la misma precipitación media, pero la temperatura media en verano de Nagasaki es de 11 °C mientras en San Fernando es de 35°C. Para los climas fríos (azules), hay más eventos diarios de precipitación que en los climas más calientes (adaptados de Karl y de Trenberth, 2002). Los varios símbolos de la nube y de la lluvia reflejan las varias tasas de precipitación diarias y se han categorizado en el panel superior de esta figura para reflejar la proporción aproximada de las varias tasas de precipitación para los climas fríos, moderados, y calientes a través del globo.

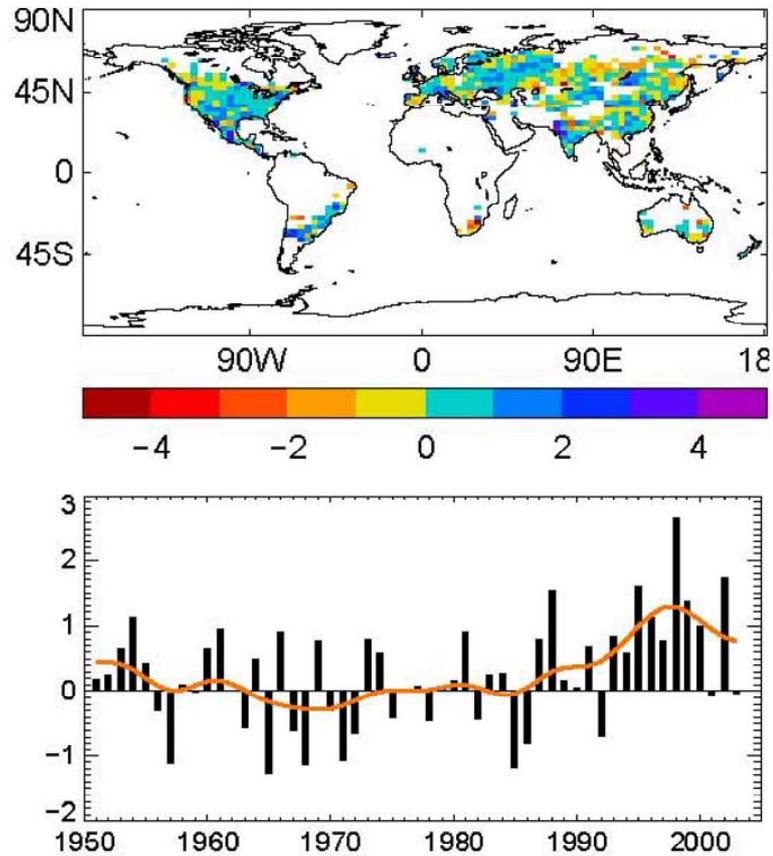
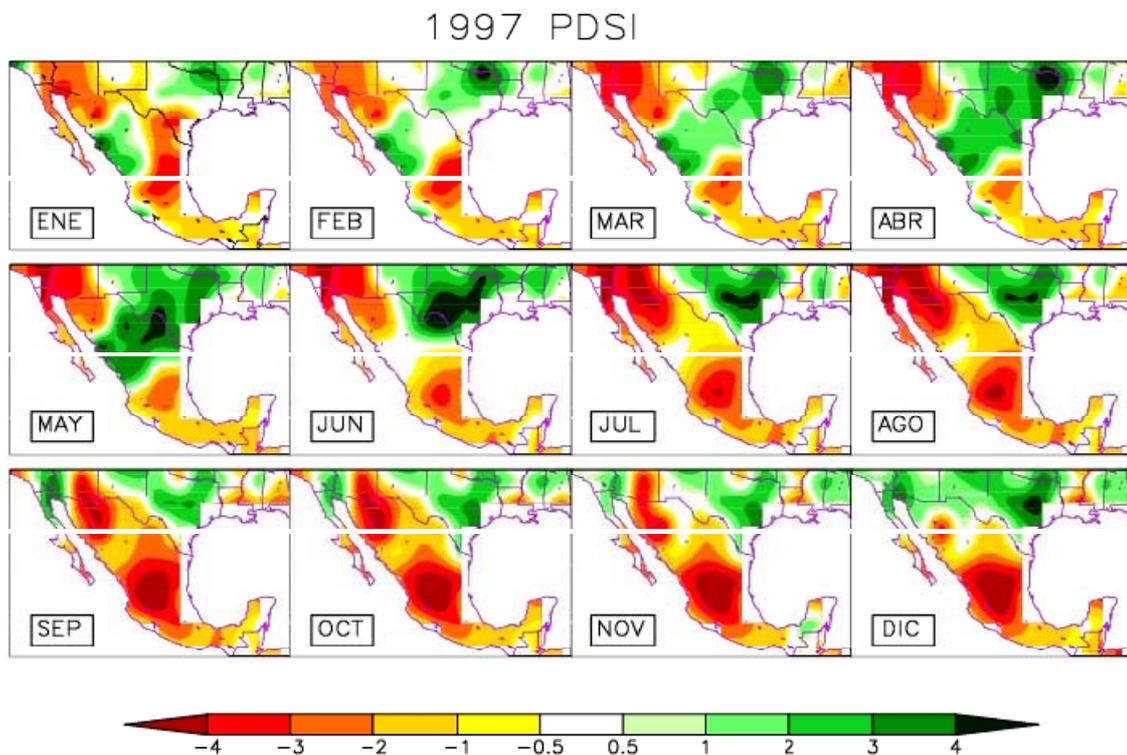


Figura 2a-2: Cambios en la contribución de la precipitación intensa con respecto a la cantidad total de precipitación. Los valores anuales son suavizados (línea color naranja) para representar mejor la variabilidad decadal. Globalmente ha ocurrido un cambio de aproximadamente 2% desde la segunda mitad del siglo XX (figura de Alexander et al., 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, D05109, doi: 10.1029/2005JD006290)

Tasas y cantidad de precipitación más altas y, especialmente en regiones montañosas, pueden aumentar perceptiblemente las inundaciones, conduciendo a más daños e incluso pérdida de vida, porque virtualmente toda la precipitación adicional en suelos saturados resulta en escurrimientos, llenando las presas en plazos mucho cortos que pueden causar problemas en el manejo de los caudales aguas abajo del excedente del agua afectando las poblaciones y actividades económicas.

## Cambio en los eventos de sequías

La sequía es una característica que se repite en el sistema climático. Es decir hemos tenido sequías importantes en el pasado, y esperamos tener sequías importantes en el futuro. La sequía en México parece tener una variabilidad multi-anual y multi-decadal, pero no hay ninguna evidencia convincente sobre tendencias sistemáticas de más largo plazo. Sobre el México y EU no hay patrones claros de aumento de precipitación que emerjan de simulaciones climáticas para escenarios de aumento de temperaturas globales. Así que aumentos en la precipitación en décadas pasadas pueden no persistir y aún más, se podría invertir la tendencia. Tal reversión, agregada al aumento de la temperatura, podría conducir a mayor severidad y frecuencia de sequía hidrológica y agrícola, especialmente durante los períodos de tiempo seco debido a los aumentos en la evaporación. En México la sequía más extensas y severas ocurrieron en las décadas de treinta y cincuenta en la parte norte de México. Más recientemente la sequía entre 1997-98 cubrió gran parte del centro de México (Fig. 2a-3).



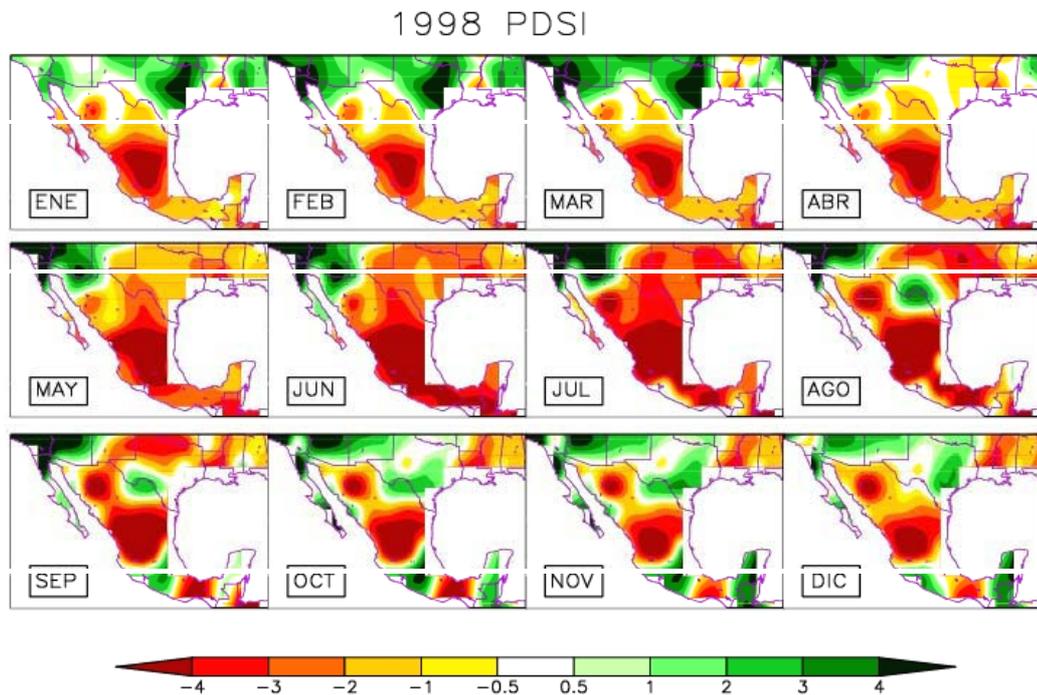
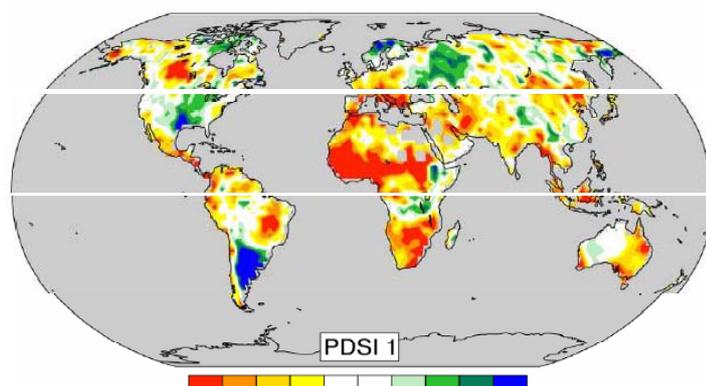


Figura 2a-3: Distribución del Índice de Palmer en la sequía de 1997-98 en México

Los datos de paleoclima (medidas de los anillos de los árboles) se han utilizado para reconstruir los patrones de la sequía para el período antes del instrumental moderno. Estas reconstrucciones demuestran que hubo frecuentes periodos de sequías severas en los últimos quinientos años en la parte norte y centro sur de México perdurando por varias décadas.



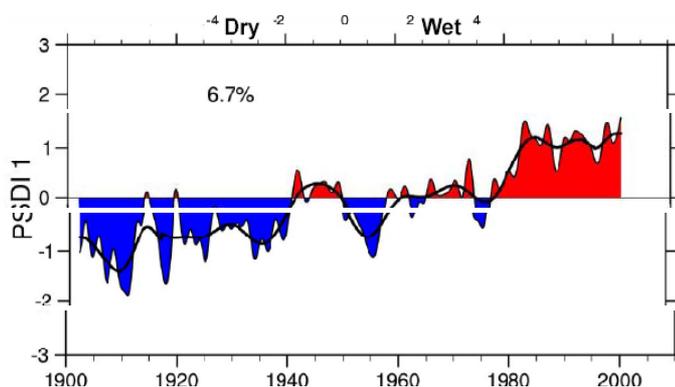


Figura 2a-6: Distribución del índice de Palmer global en los últimos 100 años

### Cambio en la actividad de los ciclones tropicales

Las relaciones entre los ciclones tropicales y el cambio climático son científicas y socialmente complejas y con grandes implicaciones económicas. En el año de 2005 ocurrieron un gran número (27) de ciclones tropicales (vientos sostenidos sobre 17 m s<sup>-1</sup>) con nombre y el número mayor (14) de huracanes (vientos sostenidos sobre 33 m s<sup>-1</sup>). Este año fue incluso el único con tres tormentas de la categoría 5 (vientos sostenidos máximo sobre 67 m s<sup>-1</sup>). La naturaleza excepcional de la estación de huracanes de 2005 en el Atlántico Norte proporciona una gran motivación para considerar el espectro de interacciones de causas y efectos de este tipo de fenómeno meteorológico en el marco del cambio climático.

Los cambios del clima también están cambiando las características de ciclones tropicales, incluyendo sus efectos en precipitación, nivel del mar y marea de tormenta; tendencias en combinación con el aumento de la vulnerabilidad de la sociedad son causa de preocupación.

En un mundo más caliente y húmedo, un incremento en la actividad de huracanes hace más probable que la intensidad de los vientos máximos aumente en un 10% para un ambiente con doblamiento de CO<sub>2</sub>. Estudios observacionales indican que la intensidad de los huracanes se ha incrementado substancialmente desde los años 70 (Emanuel 2005a, b; Webster et al. 2005). Asimismo, estudios de modelación climática indican que tanto la velocidad del viento como la precipitación tenderán a aumentar (Knutson y Tuleya 2004).

Esta amplia consistencia entre las observaciones, los modelos, y la teoría es un indicador del problema que estamos probablemente ya experimentando en cuanto a ciclones tropicales más intensos como resultado de calentamiento global. Además, hay evidencias de que los patrones de circulación general atmosférica están cambiando, por lo que es probable que el número, la trayectoria, y otras características de ciclones tropicales estén también cambiando bajo nuevos patrones de la circulación en a un mundo más caliente. Con un nivel del mar demás alto debido océanos más cálidos, la erosión de playas y manglares debido a tormentas de marea asociadas a ciclones tropicales pueden causar impactos más severos, aunque otros aspectos de ciclones tropicales permanezcan inalterados.

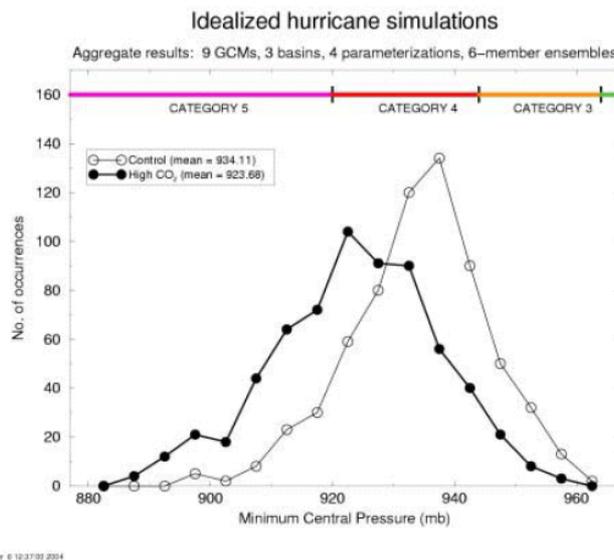


Figura 2a-8: Cambio de categoría de huracanes bajo cambio climático

## Cambio en cuencas y escurrimientos

### El Desarrollo de las Presas en México

Históricamente en México las actividades y asentamientos humanos se han dado en zonas donde el agua escasea, para equilibrar esta situación, ha sido necesario realizar un gran esfuerzo para desarrollar la infraestructura que permita regular el agua que escurre por los cauces. A la fecha se cuenta con 160 grandes presas, más de 1,200 presas medianas y 2,090 presas derivadas que en conjunto con otras obras hidráulicas permiten almacenar y regular 155 km<sup>3</sup> que se suman a los 14 km<sup>3</sup> de almacenamiento natural en lagos y lagunas (CNA, 1994b; Paz, 1999).

En lo relacionado con la hidroelectricidad se cuenta con 64 centrales las que generan el 20% de la producción nacional y permiten cubrir la sobredemanda principalmente en las horas pico, siendo el sector doméstico el más importante con una participación del 88% de usuarios. La infraestructura para el control de avenidas ha permitido incorporar un número superior a las 500,000 ha a las actividades productivas principalmente agrícola y ganadera. El control de avenidas ha sido esencial para el desarrollo de las regiones que son afectadas por inundaciones, especialmente en la vertiente del Golfo de México (Castelán, 1999). Se calcula que para el 2010 la mayoría de las presas del país habrán cumplido su vida útil de 50 años.

### Ciclo hidrológico

En hidrología, una de las interrogantes más importantes es si el cambio climático futuro tendrá repercusión en el comportamiento del ciclo hidrológico y su grado de afectación. El interés se enfoca en las variaciones de la disponibilidad del recurso, el incremento en la frecuencia e intensidad de tormentas, avenidas y sequías. A este respecto, la evidencia indica el aumento de intensidad del ciclo hidrológico (Huntington T. Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. *Journal of Hydrology* 319 (2006) 83–95) y por cada grado de temperatura que aumente, se prevé un aumento global en la precipitación del 2 al 4 por ciento (Fig. 3). Sin embargo, las variaciones regionales son significativas y en algunas zonas serán mayores que otras. Entre las latitudes 30°N and 85°N, por ejemplo, se prevé un incremento del 7–12% mientras que entre las latitudes de 0°S–55°S es sólo del 2% y en algunos lugares disminuye (Fig3) (Folland et al., 2001). Groisman et al. (2004)

De la misma manera, los resultados de diversos estudios sugieren un incremento probable de los escurrimientos en regiones ecuatoriales y latitudes altas y una disminución en latitudes medias y algunas regiones tropicales como una respuesta a la variación diferenciada del clima en diferentes regiones (Alcamo et al., 1997; Arnell, 1999; Manabe et al., 2004). La disminución de los escurrimientos puede ocurrir cuando el incremento de la evapotranspiración es mayor que el de la precipitación.

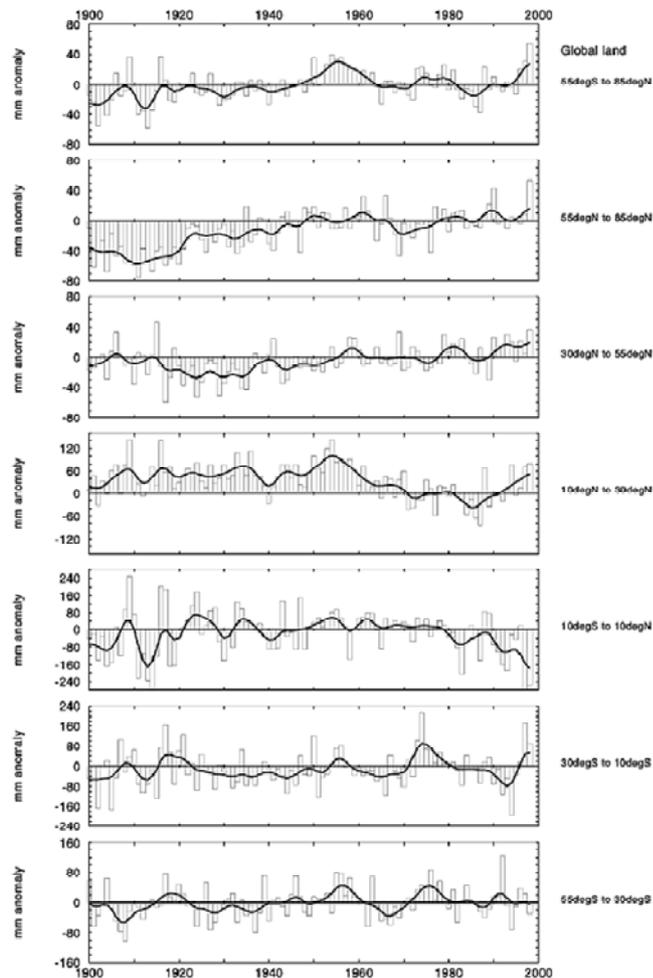


Figura 2a-9: Anomalías de precipitación anual media global con respecto a 1961 – 1990 en zonas de seis latitudes diferentes. Fuente: Implications of ClimateChangeforLargeDams&their Management (Part IV). November 2000. PreparedfortheWorldCommissiononDams (WCD).NigelArnell y Mike Hulme.

### Hidroeléctricas en México

Entre las fuentes de energía renovables que generan electricidad, las hidroeléctricas, las cuales generan electricidad por medio del funcionamiento de presas, son la de mayor potencial. En el mundo, actualmente las grandes presas generan alrededor del 20% de la energía eléctrica y en México es de aproximadamente 23% (Fig. 4) y la mayor parte son generadas por las grandes presas (Tabla 1), las que aprovechan los caudales de los principales ríos del país (Fig. 5).

La importancia de las hidroeléctricas reside es que utiliza el agua como fuente de energía, el cual es un producto renovable que no contamina, no produce subproductos ni requiere de combustible además de producir beneficios adicionales para la comunidad. La ventaja para México es que posee recursos hidráulicos importantes lo cual representa para el país un potencia importante en la generación de energía eléctrica

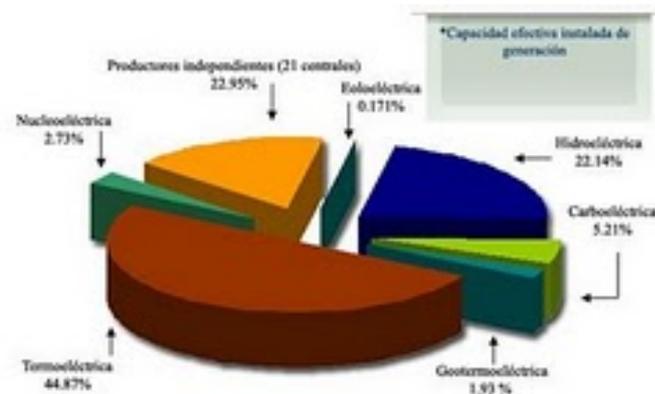


Figura 2a-10: Capacidad efectiva instalada de generación eléctrica (fuente: CFE)

### Escurrecimientos y cambio climático

Los cambios en los escurrimientos de los ríos tendrían un impacto directo en la cantidad de electricidad generada ya que ésta depende de los niveles de almacenamiento. Como regla general, la disminución de 1% en el volumen de escurrimiento disminuye más del 1 por ciento la generación de energía eléctrica debido a que con niveles bajos en el almacenamiento se reduce la presión del agua y, por lo tanto, la energía producida. En la cuenca del río Colorado, por ejemplo, una reducción del 10 por ciento disminuye en 36 por ciento la producción de electricidad.

Los cambios en el flujo de los ríos dependen no sólo de los cambios en el régimen de la precipitación sino también en los cambios de la temperatura, de la evapotranspiración y de la humedad del suelo. Es decir, afecta los procesos más relevantes del ciclo hidrológico. La evaporación, por ejemplo, es una variable muy importante debido a que las áreas de los espejos de agua de las presas estarán expuestas a una radiación más intensa, incrementando los volúmenes de evaporación.

Adicionalmente, en áreas donde el cambio climático provoque deforestación, la erosión y sedimentación del suelo y ríos traerá como consecuencia la disminución de la vida útil de las presas.

El constante crecimiento de la población y creciente demanda de energía eléctrica crea la necesidad de aprovechar más y mejor los recursos hídricos del país. Para esto, se debe tomar en cuenta a futuro la frecuencia y magnitud de eventos climáticos extremos asociados con el calentamiento global, el cual introduce un nuevo elemento de riesgo en la planeación y diseño de las presas ya que los pronósticos hidrológicos se vuelven inciertos. Es decir, la suposición en el diseño de presas de que el periodo de retorno es estacionario en el tiempo sería válida si no existieran evidencias del cambio climático.

#### Escenarios de escurrimiento ante el cambio climático

Lo anteriormente descrito muestra la importancia de la evaluación de los escurrimientos ante los cambios climáticos futuros. Para esto se evaluaron los principales sistemas hidroeléctricos del país: El del río Grijalva y el del Balsas.

El sistema hidroeléctrico del río Grijalva está compuesto por cuatro presas hidroeléctricas: Angostura, Chicoasén (Fig. 2a-13), Malpaso y Peñitas y tienen una capacidad efectiva instalada, en conjunto, de cerca de 5400 MW. Este sistema representa el 52% de la potencia hidroeléctrica del país.

El conjunto de presas para la generación de energía construido sobre el río Balsas representa el segundo sistema hidroeléctrico más grande de México. Está integrado por las presas El Infiernillo, La Villita y El Caracol en la zona baja del río Balsas (Fig. 2a-14), además del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, el cual se encuentra ubicado en el noroeste del Estado de México donde aprovecha las corrientes de los ríos Malacatepec, Valle de Bravo e Ixtapan del Oro, en dicha entidad, y las de los ríos Tuxpan y Zitácuaro, en el estado de Michoacán, todos pertenecientes a la subcuenca del río Cutzamala, afluente del río Balsas. Una serie de presas permite el aprovechamiento de esos ríos: (Villa Victoria, Valle de Bravo, Tilostoc, Tuxpan, Del Bosque, Colorines, Ixtapantongo y Los Pinzanes, con una capacidad instalada total de 370,675 KW).



Fig. 2a-13. Presa Chicoasén. Fuente: CFE

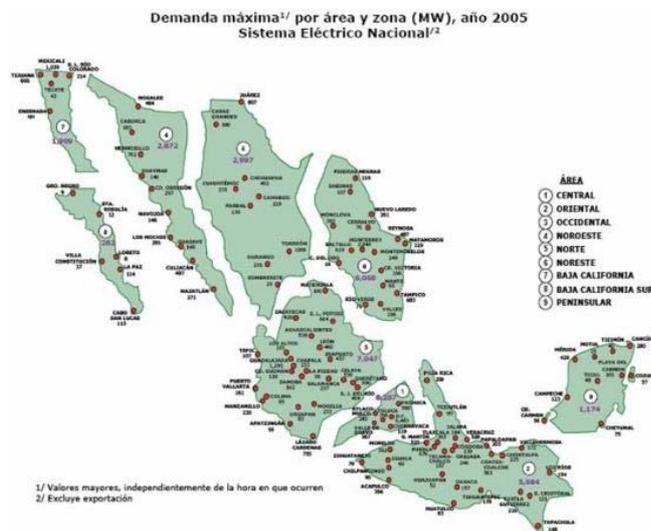


Figura 2a-14: Localización de las presas Hidroeléctricas El Infiernillo y La Villita

Para este análisis se seleccionó el sistema del río Grijalva para estimar los cambios en el escurrimiento ante escenarios de cambio climático. La selección se hizo con base en la importancia de este sistema en el sector eléctrico

Para este estudio se utilizó un método de reducción de escala (StatisticalDownscalingModel: SDSM), que se basa en procedimientos estadísticos de regresión para la generación de escenarios de cambio climático. Este método constituye una de las herramientas de fácil empleo, que utiliza los conceptos clásicos de generación de series de tiempo conservando los estadísticos de la muestra original y que, por tanto, aporta gran cantidad de información de gran valor para el estudio de impactos del cambio climático.

A partir de este modelo se estimaron valores mensuales medios de los escurrimientos del sistema y se ponderaron las variables climáticas de NCEP con mayor significado para el periodo 1961-1990 para conocer en qué medida reproduce la climatología observada (Fig. 10 y 11). Resulta claro que la nueva serie generada a partir de datos climáticos de gran escala da buenos resultados ya que en la figura referida se puede observar que ésta conserva los valores medios de la muestra observada.

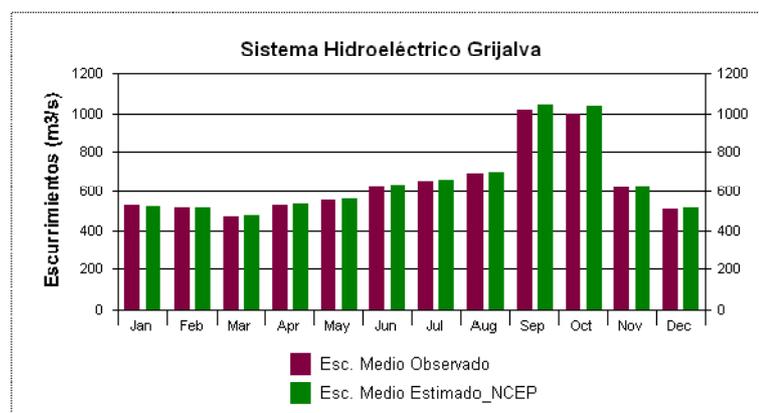


Figura 2a-16: Ecurrimientos medios observado y estimado del sistema hidroeléctrico del río Grijalva

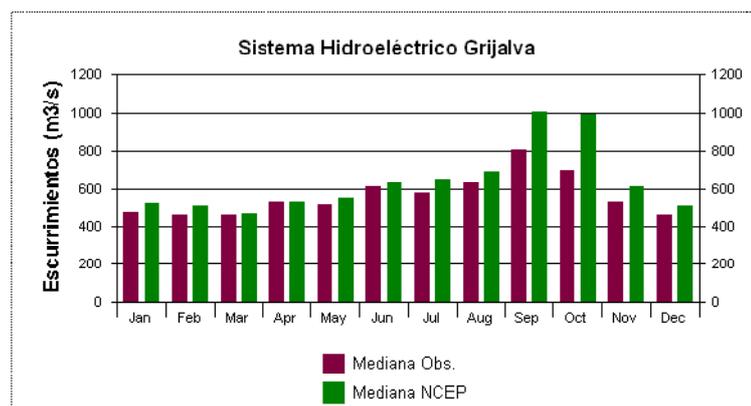


Figura 2a-17: mediana de los escurrimientos observado y estimado para el sistema hidroeléctrico del río Grijalva

A partir de este análisis con el SDSM, se estimaron proyecciones de cambio climático para el periodo 1961-2099 para dos tipos de escenarios: A2 y B2. El escenario A2 contempla un control de las emisiones futuras, al contrario del escenario B2, que supone la opción más desfavorable y ningún tipo de control ni de medidas de adaptabilidad. Para cada uno de los escenarios se estimaron sus estadísticos y se compararon con los estadísticos de los escurrimientos observados (Fig. 2a-16 a 21).

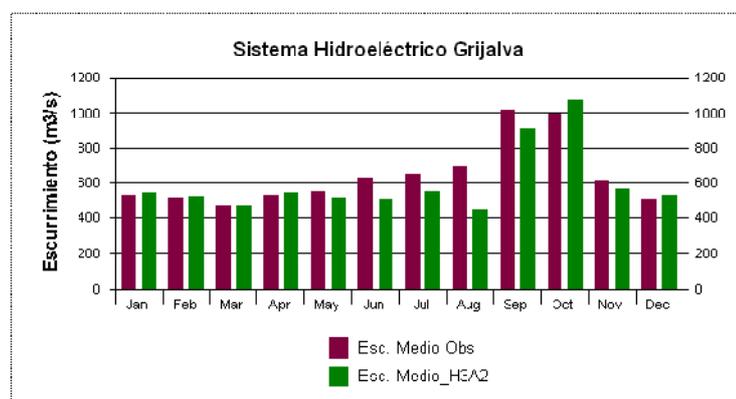


Figura 2a-18: Escurreimientos medios mensuales de la muestra observada y de los escenarios A2 estimados.

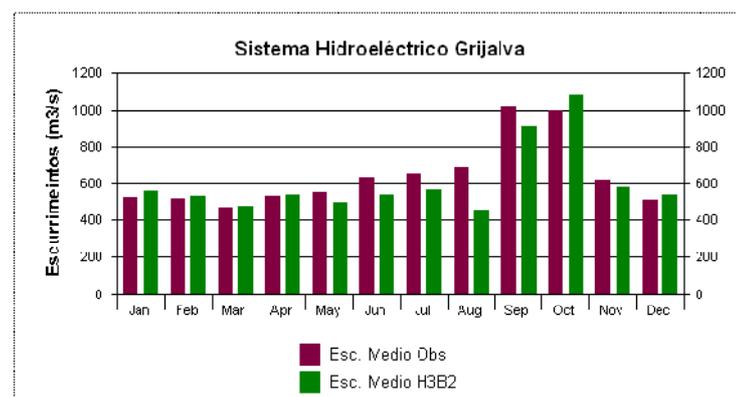


Figura 2a-19: Escurreimientos medios mensuales de la muestra observada y de los escenarios B2 estimados.

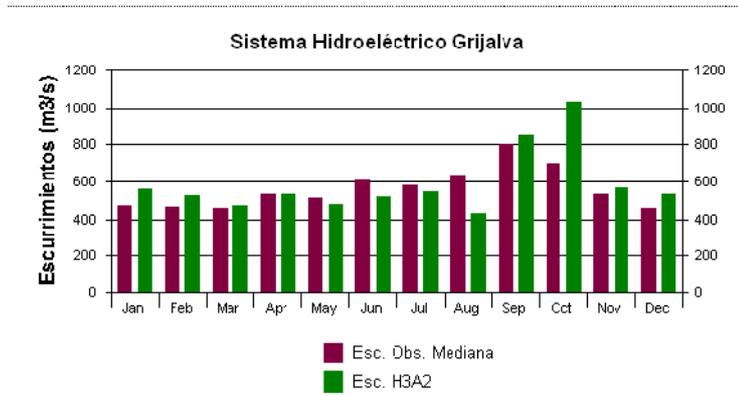


Figura 2a-20: Mediana mensual de los escurrimientos del sistema hidroeléctrico Grijalva y de los escenarios A2 estimados.

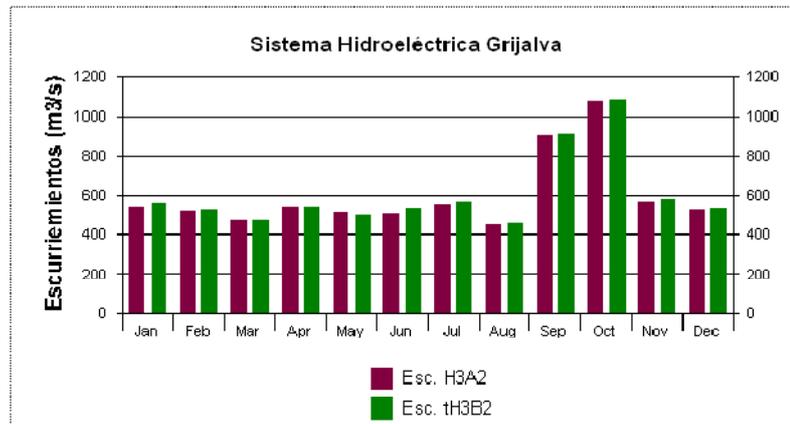


Figura 2a-21: Mediana mensual de los escurrimientos del sistema hidroeléctrico Grijalva y de los escenarios A2 estimados

Los estadísticos de los escenarios estimados muestran una gran coincidencia con los estadísticos de los escurrimientos observados en el sistema hidroeléctrico del río Grijalva; asegurando con esto la confiabilidad en los datos de los escenarios generados. Con estos resultados, se compararon en un gráfico los resultados de los dos escenarios elegidos (Fig. 2a-22). Los resultados muestran la tendencia a disminuir los escurrimientos, lo cual coincide con los resultados de estudios realizados para latitudes medias.

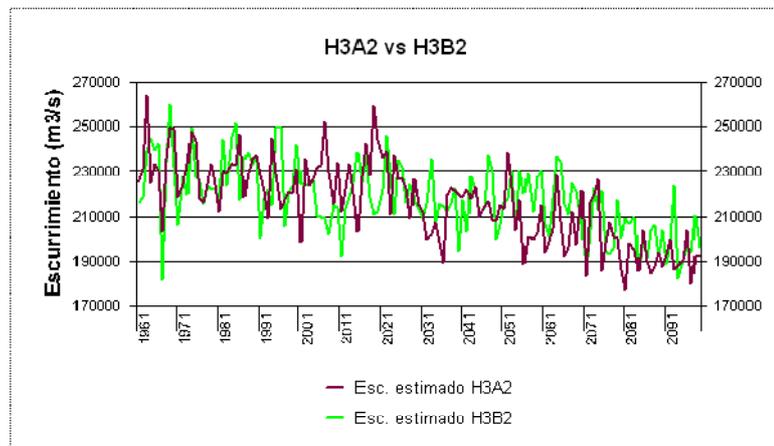


Figura 2a-22: Comparación de los escurrimientos estimados con dos escenarios propuestos

### Consideraciones Adicionales

Debido a la localización de las presas hidroeléctricas del país, es importante considerar los diversos tipos de clima existentes en el país (Fig. 2a-23) el cual está estrechamente relacionado con la variación espacial de la temperatura (Fig. 2a-24) para poder considerar estas variables en el diseño, operación y planeación futura de las presas.



Figura 2a-23: Grupos y subgrupos de climas (Fuente: INEGI)

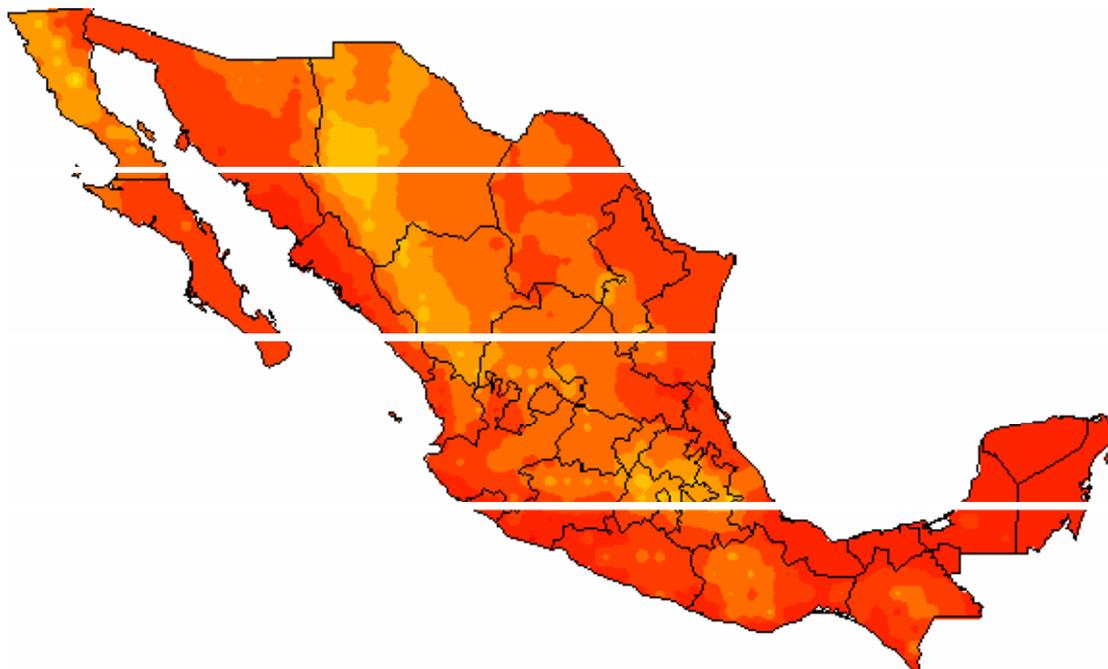


Figura 2a-24: Temperatura media anual en la República Mexicana

Conocer la distribución espacial de la temperatura y la localización de las presas, además del efecto del cambio climático en los escurrimientos, permite establecer un mejor conocimiento del problema con fines de prevención y establecimiento de medidas de adaptabilidad. En el caso del recurso hídrico en México, la vulnerabilidad del país a fluctuaciones en las lluvias depende de la zona hidrológica (Fig. 2a-25), en combinación con el aspecto humano de la misma (densidad poblacional, capacidad de transporte y almacenamiento de agua, uso en la generación de energía eléctrica, en la agricultura y ganadería, y en actividades domésticas). El incremento en la intensidad de las tormentas, sin aumentar el volumen de agua disponible, puede ocasionar avenidas súbitas y arrastre de sedimentos reduciendo la capacidad de las presas y, por lo tanto, reducir la producción de energía eléctrica. Ante estos escenarios, el análisis hidrológico debe considerar los cambios climáticos futuros para garantizar la vida útil de las presas y garantizar la cobertura de la demanda de energía.

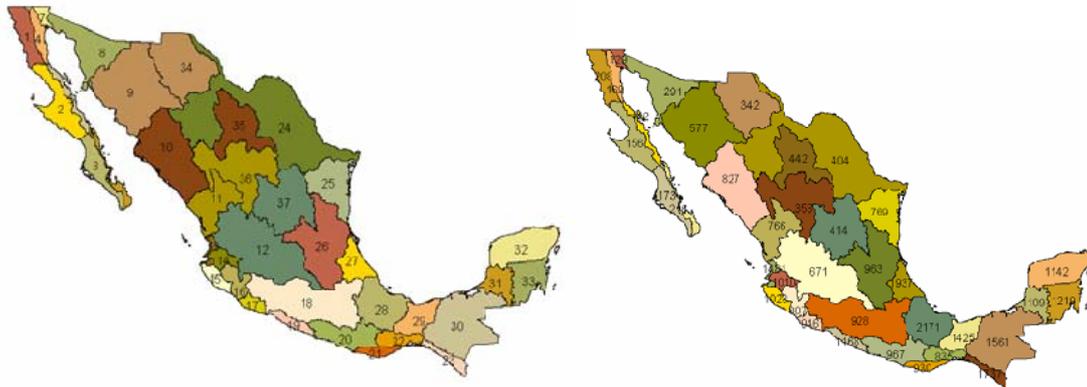


Figura 2a-25: Regiones hidrológicas del país (izq.) y su precipitación media (der.) (mm)

Algunos modelos climáticos sugieren la intensificación del ciclo hidrológico con veranos más secos e inviernos más húmedos con tormentas más severas. El cambio climático también afecta la evaporación y, consecuentemente, el almacenamiento en las presas debido al aumento de la radiación sobre el cuerpo de agua.

El impacto del cambio climático en los escurrimientos se debe ver en el contexto de otros cambios que afecten la disponibilidad del recurso hídrico en los almacenamientos, como el aumento de la demanda al aumentar la población, medidas de adaptabilidad como el uso eficiente del recurso y de operación de las presas. Por otra parte, los resultados obtenidos aquí, muestran la necesidad de implementar medidas de prevención, de adaptación al cambio climático, políticas de operación más eficientes y nuevos criterios de diseño de presas futuras.

### **Cambio en Oleaje**

#### Proyecciones de oleaje bajo el cambio climático

Las alturas de onda oceánicas (entre muchas otras características de la superficie del océano) se podrán ver afectadas por el forzamiento antropogénico. Sin embargo, las alturas de onda oceánicas no están directamente disponibles de salidas de los modelos globales climáticos. Las proyecciones del clima futuro de altura de onda necesitan ser producidas con acercamientos tipo “downscaling” dinámicos o estadísticos, similar cualquier otra información regionalizada del cambio climático. Por lo tanto, hay varias fuentes de la incertidumbre en la generación de las proyecciones de la altura de onda bajo el cambio climático.

La existencia de varias fuentes de incertidumbre se requiere caracterizar la incertidumbre, para evaluar el nivel de la confianza en una simulación “regional” del cambio del clima. Varios estudios (Wang y Swail, 2001 y 2002) han demostrado que, en escala estacional, las variaciones de la altura significativa de onda (ASO) en los océanos del hemisferio norte en las últimas cuatro décadas están asociadas con las variaciones en la región la presión media del nivel del mar (PMNM) contemporánea. Tales relaciones entre los campos de ASO y de PMNM han utilizado para hacer proyecciones de ASO bajoescenarios de cambio climático para el siglo XXI (Wang y otros. 2004a, Wang y Swail2004).

#### Proyecciones en la altura de onda del océano

Los resultados son presentados como un clima medio (para la media estacional y extremos) de oleaje resultante de la combinación de la simulaciones para los escenarios A2 y B2. Como los cambios son no lineales, la diferencia entre ASO de los años 2080 y 1990 fueron utilizadas para mostrar los cambios a partir del año 1990 al año 2080.

Para el escenario A2, las medias estacionales proyectadas muestran que las áreas con los mayores aumentos de la ASO son el Pacífico Norte (PN) y el Atlántico Norte (AN) para el otoño y invierno. En el invierno (EFM), los cambios proyectados se extienden hacia el Golfo de México). Para la región tropical, durante el invierno hay disminución de la ASO en el área caribeña de Sudamérica, mientras en el Pacífico mexicano hay un pequeño aumento cerca de la costa de Guerrero y en la toda el área de la alberca caliente. Durante la primavera (AMJ) y verano (JAS), hay aumentos en alturas de oleaje medio estacional para el noreste del Atlántico y uno significativo para verano en la región del Atlántico caribeño donde se ubica durante este periodo la máxima intensidad de la corriente de chorro de bajo niveles. Para el otoño, no hay cambios significativos en las proyecciones de los patrones de ASO para la región de Mesoamérica.

Con el escenario forzante más débil B2, los cambios proyectados son generalmente más pequeños pero tienen patrones similares a los proyectados con el escenarios A2, especialmente en las estaciones de AMJ y de JAS.

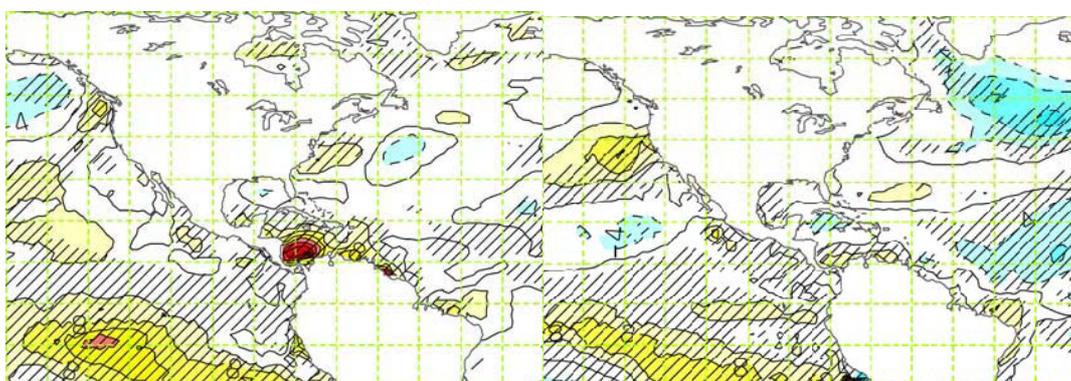
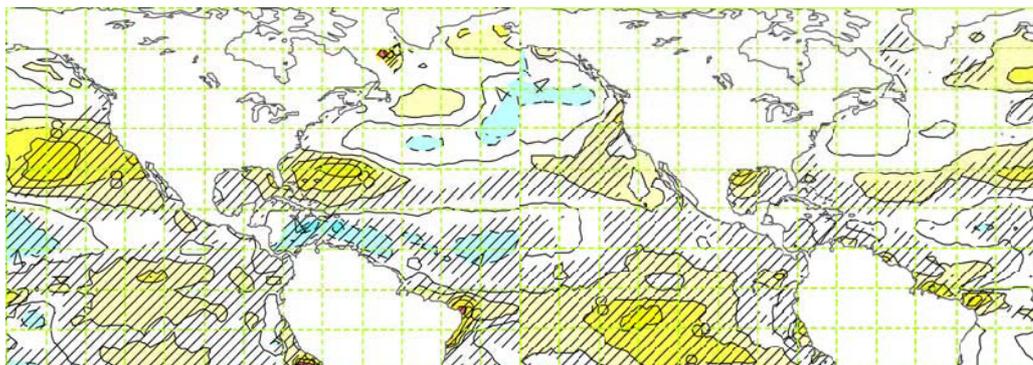


Figura 2a-26: Cambios en la media de la ASO estacional de 1990 2080 (año 2080 menos año 1990), estimados de los ensambles de los tres modelos climáticos para el escenario A2. El intervalo del contorno es 4 cm. Líneas trazo y sólidas indican contornos negativos y no negativos, respectivamente. Las áreas con tramas indican tendencia significativa (a nivel de 5%) en las medias estacionales de la ASO.

Estos cambios proyectados en alturas de onda son consistentes con los cambios proyectados en las trayectorias y actividades de los ciclones extra-tropicales tropicales (Wang y otros. 2004b). Las áreas de aumentos significativos en la altura de onda coinciden la mayor frecuente de ocurrencia de ciclones intensos en el clima más caliente en latitudes medias y altas. Para los trópicos los resultados parecen indicar que en el Pacífico mexicano, cerca de la costa de Guerrero, el aumento de oleaje puede estar asociado a mayor frecuencia de ocurrencia de ciclones tropicales, mientras del lado de Atlántico caribeño, el gran aumento de la oleaje cerca de la costa este de central América la causa no es totalmente clara, pues dos factores pueden estar contribuyendo para esta intensificación; ciclones tropicales más intensos o intensificación de la corriente de chorro de bajos niveles del Caribe.

## Cambios en la actividad de olas de calor

La temperatura media global de superficie de la tierra y del mar aumentaran por arriba de en  $0.6 \pm 0.2$  °C en el último siglo (Houghton y otros., 2001). Casi todo este aumento ocurrió en dos períodos: 1910-1945 y desde 1976 a la fecha (Fig. 2a-28). En escala regional, se ha observado calentamiento en todos los continentes, con los cambios de temperatura más grandes ocurriendo en las latitudes medias y altas del hemisferio norte. Los eventos extremos de tiempo son, por definición, eventos estocásticos poco comunes. Con el cambio del clima, aunque la distribución estadística de tales acontecimientos sigue siendo igual, un cambio en la media exigirá una respuesta no lineal en la frecuencia de los eventos extremos (Fig. 2a-29).

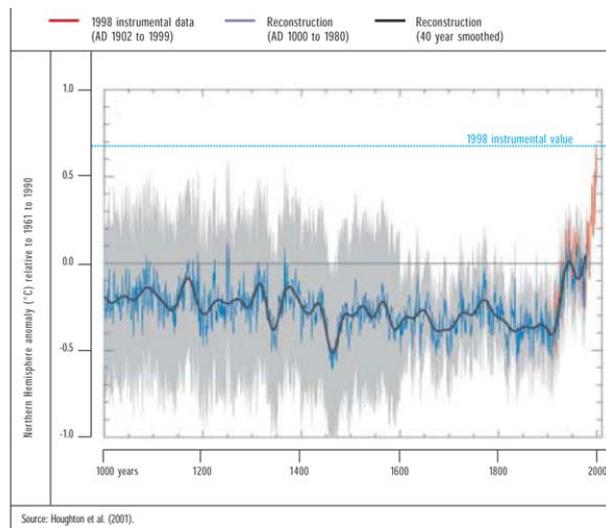


Figura 2a-28: Variación de la temperatura en superficie global en el hemisferio norte en los últimos 1000 años

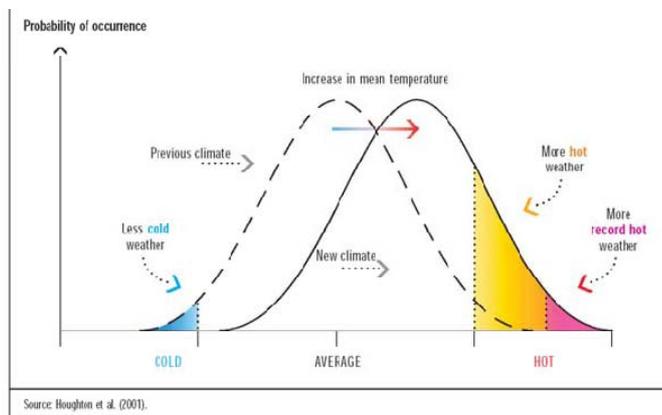


Figura 2a-29: Cambio en la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos

#### Cambios observados en la frecuencia e intensidad de olas de calor

Varios estudios han mirado series largas de datos observados para determinar si la frecuencia o la intensidad de los extremos de temperatura ha cambiado (IPCC). Análisis utilizando datos en malla del NCEP y ECMWF de temperatura mensual global de los últimos 50 años, indican que el aumento reciente en las temperaturas de superficie global es acompañado por reducciones en áreas afectadas por temperaturas extremadamente bajas y por aumentos en áreas con extremadamente temperaturas altas. Los análisis proxy para el hemisferio norte indican que el aumento en temperatura en el Siglo XX es probablemente el mayor que cualquier siglo anterior durante los últimos 1000 años (Fig. 2a-28). La tendencia hacia temperaturas superficiales globales medias más altas ha sido desigual durante el siglo pasado, la tendencia para el período desde 1976 es aproximadamente tres veces mayor que los últimos 100 años.

El cambio climático, muy probablemente será acompañado por un aumento en la frecuencia e intensidad de olas de calor así como por veranos más calientes e inviernos más cálidos. Hay varios indicios que en las últimas décadas el número anual de los extremos de calor crecen dos veces más rápidamente que esperado y por disminución correspondiente del número de extremos fríos. Durante período 1976-1999, en la Europa las temperaturas mínimas (noche) aumentaron más fuertemente que temperaturas máximas (día). En México la tendencia de temperaturas máximas está también el aumento (Fig. 2a-30)

Los aumentos en temperatura proyectados al 2020 implican que la demanda aumentará al menos en un 30% en el estado de Sonora. Si a eso se añade el crecimiento de la población y por tanto un mayor número de usuarios, los retos para satisfacer la demanda de energía crecerán.

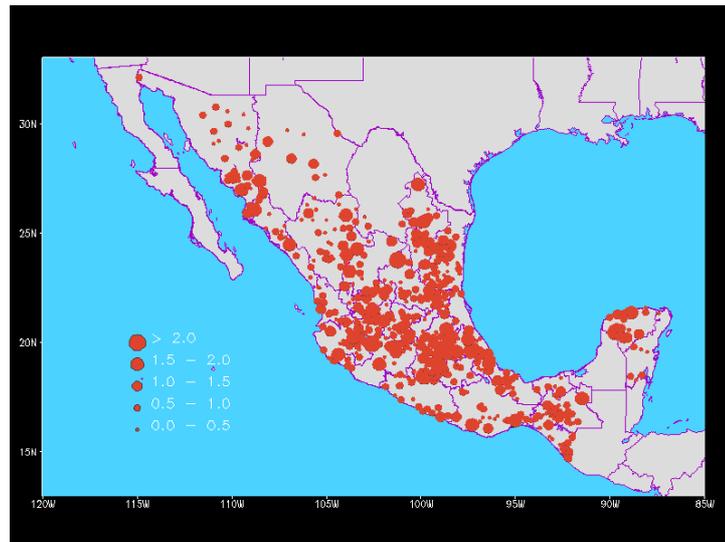


Figura 2a-30: Ilustra las tendencias en temperaturas máximas diarias en México los periodos más largos de días calurosos (olas de calor) han llegado a ser más frecuentes, especialmente en abril y mayo.

Los aumentos en temperatura proyectados al 2020 implican que la demanda aumentará al menos en un 30% en el estado de Sonora y similares proyecciones para el resto del país. Si a eso se añade el crecimiento de la población y por tanto un mayor número de usuarios, los retos para satisfacer la demanda de energía crecerán.

El período de aplicación de las tarifas de verano que aplica la Comisión Federal de Electricidad (CFE) comprende descuentos en los 6 meses más cálidos del año, de acuerdo a las observaciones de las estaciones termométricas que rijan en cada localidad. Sin embargo, las tendencias del cambio climático proyectan aumentos en la duración de la época de calor, por ejemplo en Nayarit (Fig. 2a-31). En años recientes, se han incrementado las demandas para que las tarifas de verano inicien por lo menos un mes antes en varios estados del norte de México.

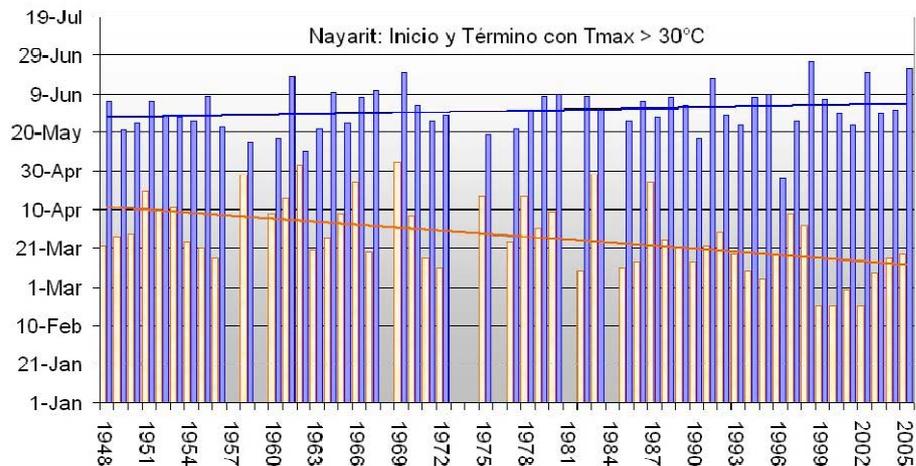


Figura 2a-31: Tendencias en las fechas promedio de inicio y término de los periodos con temperatura máxima mayor a 30°C en Nayarit.

Los informes del IPCC indican que, a medida que las temperaturas globales continúan aumentando debido al cambio climático, el número y intensidad de eventos extremos es probable aumentar (WMO, 2003). Los nuevos registros eventos extremos de registro son reportados a cada año en alguna parte del globo, pero estos últimos años los números de tales extremos han estado aumentando.

El impacto del calor extremo del verano en salud humana se puede exacerbar por aumentos en la humedad. Las olas de calor ocurren generalmente en situaciones sinópticas con el desarrollo lento y movimiento de masas de aire, que conlleva a stresses de calor intensivo y prolongado. Incluso mismo episodios corto o moderados de calor intenso afecta adversamente la salud humana.

El planeamiento y el diseño urbanos apropiados del edificio proporcionan medidas de reducir el stress de calor para los individuos que viven en ciudades y pueden reducir la isla de calor urbana. La arquitectura apropiada puede evitar que los edificios calienten y de tal modo asegurar un de interior cómodo ambientes sin el uso del aire acondicionado artificial. Para maximizar comodidad térmica en áreas urbanas y minimizar el consumo de energía, los aspectos climáticos se deben considerar en todas las escalas, del diseño del edificio individual al planeamiento regional.

Aire acondicionado

El aire acondicionado en los hogares, en los lugares de trabajo y en edificios públicos y comerciales proporciona un ambiente refrescado y reduce la exposición de la gente a la temperatura alta. Hay evidencia en los Estados Unidos que indican que el aire acondicionado parece ser una intervención eficaz en la prevención del choque de calor y de enfermedades relacionadas con el calor durante una ola de calor. El aire acondicionado reduce perceptiblemente el índice de mortalidad durante el tiempo caluroso alrededor 42%. El cambio de lugares sin ventilación para ambientes con aire acondicionado redujo el riesgo de mortalidad por un factor de cerca de 5-6 durante la ola de calor de 1995 en Chicago. Un estudio la agencia de información energética realizada en los Estados Unidos en 2003 encontró que la disminución de la mortalidad a partir de los años 80 estuvo ligada al uso creciente del aire acondicionado. Además, el aire acondicionado reduce la penetración del aire exterior (contaminado) en ambientes cerrados.

Sin embargo, el aire acondicionado tiene desventajas, siendo asociado a los efectos negativos que directamente o indirectamente afectar la salud humana. El aire acondicionado aumenta el consumo de energía, que aumenta emisiones de gases invernaderos si no se utiliza una tecnología para neutralizar la generación del dióxido de carbono por la producción energética. Las centrales eléctricas pueden fallar especialmente durante olas de calor, cuando aumenta la demanda energética y emiten los agentes contaminadores, que pone en peligro calidad del aire. El aire acondicionado por otro lado contraría el buen diseño de arquitectónico, pues los arquitectos pueden utilizar el aire acondicionado para evitar la responsabilidad de proporcionar la comodidad a los ocupantes de maneras más naturales.

La producción antropogénica del calor empeora el efecto de isla del calor urbano. La tendencia de aumento, en las últimas décadas, de la isla de calor urbana nocturna en Londres en primavera, verano y otoño es causada en parte, por el mayor uso del aire acondicionado. La necesidad de utilizar energía adicional en contrapartida a la isla de calor urbana afecta desproporcionadamente los presupuestos de la gente, que vive en áreas urbanas y hace frente a menudo al fenómeno de la isla del calor.

### **Cambio del nivel del mar**

El cambio climático probablemente acelerará la subida del nivel del mar (Fig. 2a-32) con el calentamiento de los océanos y el derretimiento de los cascos polares, que por su vez afectará el desarrollo costero, los recursos de los manglares,

actividades industriales (plantas de generación eléctrica y las actividades de recreación y turísticas a lo largo de la costa mexicana, particularmente en el golfo de México los estados de Veracruz, Campeche y (Fig. 2a-33).

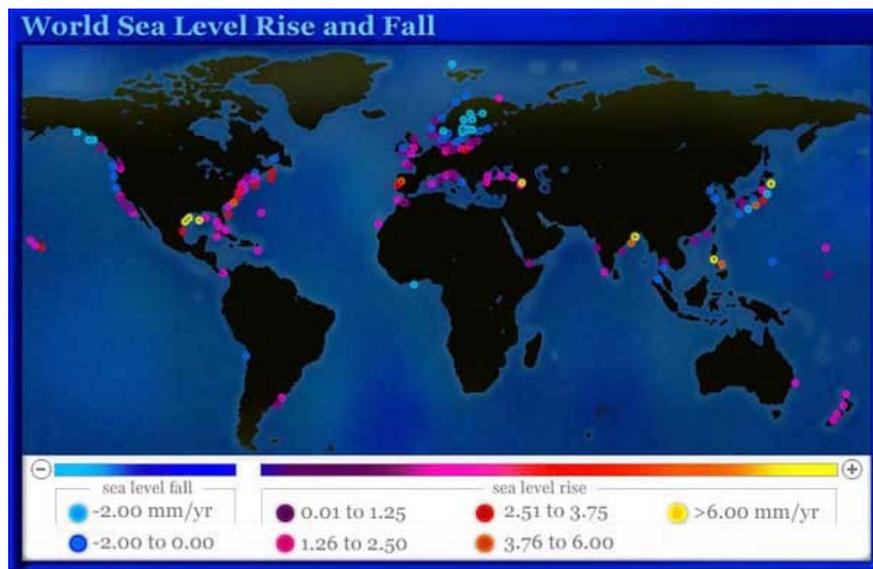
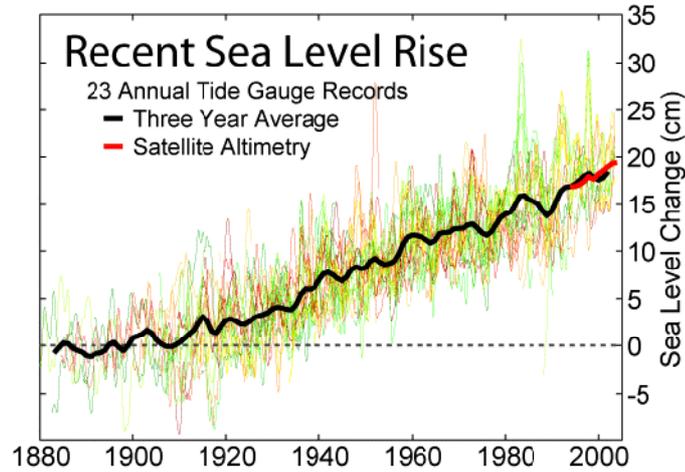


Figura 2a-32: Tendencias observadas de aumento del nivel del mar

Las respuestas a la subida del nivel del mar a nivel nacional, estatal, y el nivel local deben por lo tanto reflejar una comprensión de las interacciones complejas de sistemas humanos y ecológicos en áreas costeras.

Las áreas en México más vulnerables a la subida del nivel del mar están en los estados con zona costera en el Golfo de México (debido a su baja topografía, alto valor económico, frecuencia relativamente alta de huracanes el hundimiento rápido de la tierra). Aunque la evidencia del derretimiento de los cascos polares existe en términos geológicos, las evaluaciones recientes sugieren que la probabilidad de

este acontecimiento ocurrir en el este siglo es muy baja. El IPCC concluye los aumentos en el temperatura global durante el este siglo se acelerará al índice histórico de subida del nivel del mar media global de l. a 2.5 milímetros por año a cerca de 5 milímetros por año (50 cm/siglo), con una gama de la incertidumbre de 2 a 9 milímetros anual (IPCC, 1996a).



Figura 2a-33: a) nivel del mar actual; b) nivel del con un aumento de 1.5 metros

## 2.2 Impactos en la estructura de la industria energética

Aquí son discutidos en términos generales algunos de los impactos en la estructura de la industria energética y en la matriz de impactos (en anexo) se encontrará desglosados, en detalle, los procesos en la industria que son afectados por el cambio climático. Cabe mencionar dada la imposibilidad de hacer entrevistas con partes interesadas debido la falta de tiempo y otros factores, la matriz de impactos fue construida tomando como base informes similares realizados en otros países (Canadá, EU, Brasil, Suiza, Inglaterra y otros). Se tomó en cuenta los procesos de la industria que son relevantes para México y los analizaron bajo los resultados obtenidos en los análisis de impactos de otros países llevando en cuenta las características, relevancia y estructura de la industria energética mexicana.

Por último es presentado un estudio de caso de tendencias de confort térmico y consumo de energía eléctrica, bajo cambio climático, para el estado de Veracruz.

## **Impacto de vientos extremos en estructuras**

### Edificios y torres de transmisión

El papel de las normas de construcción de edificio y torres de transmisión de energía eléctrica son también relevante. Los Códigos varían con la localización, pero requieren que las estructuras soporten los vientos hasta una cierta velocidad del umbral, por ejemplo 120 mph. Así, aumentos relativamente pequeños en viento máximo medio, pueden desplazar la función de distribución de la probabilidad y causar un aumento significativo en el número de ocurrencias de los vientos que exceden un umbral dado, dando por resultado fallas catastróficas en el diseño de la infraestructura para el umbral. Recordando como comentado anteriormente que los efectos no lineales pueden hacer que incluso un pequeño aumento de la magnitud de la velocidad del viento puede causar daños importantes, porque estos son proporcional al cubo de la magnitud del viento.

### Plataformas

La infraestructura los yacimientos petroleros en el Golfo de México incluye más de un centenar de plataformas, con vida promedio de 40 años. Las crestas extremas y alturas de ondas más allá de las previstas durante los últimos 100 años de eventos de tormenta (onda centenar) han sido experimentadas durante acontecimientos recientes de huracanes, dando lugar a destrucción y/o al daño de decenas de estructuras mar adentro sean fijas o flotantes.

La interacción entre las ondas intensas y estructuras flotantes es una preocupación primaria dentro el diseño de construcción de estructuras en el mar. El fenómeno llamado carga de Greenwater ocurre, frecuentemente en plataformas costeras cuando ondas que la azotan exceden la altura de las cubiertas de las plataformas. Estas ondas extremas han causado daños significativos a las estructuras debido a las enormes fuerzas creadas por el choque de la onda. Con frecuencia, el greenwater varre y daña los equipos en la cubierta y en algunos casos causa lesión o muerte a las personas en este sector de la plataforma. El greenwater también podía afectar la estabilidad de las estructuras. En 2004-2005, los huracanes Ivan, Katrina, y Rita dañaron un gran número de estructuras offshore en el golfo de México. Estos huracanes generan ondas intensas que eran más grandes que los criterios del diseño para muchas de las estructuras.

La intensidad de los daños Greenwater, pueden en principio ser atenuada por una variedad de procedimientos incluyendo la elevación de la cubierta, configurando de nuevo disposiciones de la cubierta o instalando blindaje para protección de los

equipos. Por lo tanto bajo el cambio climático, nuevos diseños de plataformas y otras estructuras instaladas offshore que soporten ciclones de categorías 4 y 5 y actividad de oleaje de alta intensidad deben ser planteados.

### Líneas de transmisión

El sistema de transmisión eléctrico es afectado por las altas temperaturas por el fenómeno denominado de sag(holgura, ceder). Este tipo de fenómenos ocurre frecuentemente en verano y causan interrupción de energía. En periodo de altas temperaturas genera una demanda para más electricidad para el aire acondicionado, las líneas de energía sobre calientan, estiran, y ceden. Si una línea sobrecargada cede en un árbol, la corriente se puede descargar a la tierra, causando un cortocircuito y accionando a veces una interrupción importante de la energía. El sag fue la causa de los dos apagones principales de los EU en 1996 y 2003.

### Carga del viento

Otro factor que puede causar daños a líneas de transmisión son los vientos intensos: la velocidad y la turbulencia del viento dependen de la aspereza del terreno. Con el aumento de aspereza del terreno, hay incrementos en la turbulencia y disminución de la velocidad del viento cerca del suelo.

La velocidad del viento de referencia para una línea particular es dado por:

$$V_R = K_R \times V_M$$

Donde  $V_M$  es la magnitud del viento y  $K_R$  es la rugosidad de la superficie. El cálculo de la carga del viento toma en cuenta:

Presión del viento en los conductores:  $P = 0.634 V_M^2 \text{ N/mm}^2$

Presión del viento en las estructuras:  $P = 1.0252 V_M^2 \text{ N/mm}^2$

El factor de resistencia del aire es tomado como 1.71 para presiones total del viento, frente y detrás de la estructura. Así la presión total en la estructura es dada por

$$P = 1.71 * 1.0252 \cdot V_M^2$$

En el área proyectada de la torre. Esta práctica y número se basa en el "Guía para el diseño de torres transmisión de acero" de la Sociedad Americana de los Ingenieros Civiles No.52; Tomando como ejemplo un cambio de 10% en los

vientos para fenómenos extremos de tiempo (un huracán categoría con vientos sostenidos –33-42 m/s) la presión total en la torre aumentaría en 20%.

Bajo el cambio climático este tipos de fenómenos podrán ocurrir más a menudo, por lo tanto nuevos procedimientos y tecnologías (hardware y software), nuevas normas de construcción de líneas de transmisión debe ser desarrollados e implementadas para mitigar este tipo de fenómeno.

### III. CONCLUSIONES

Hay una fuerte evidencia que la mayor parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años es atribuido a las actividades humanas”. Desde entonces, otros estudios han examinado muchas variables climáticas para detectar cambios del clima y para atribuirlos a la variabilidad natural o a los forzantes externos naturales o antropogénicos. Los cambios del clima observados son muy poco probables ser solamente debidos a la variabilidad interna natural, y que los factores antropogénicos son responsables por la mayor parte del cambio climático del siglo XX. Los datos de observación globales han sido examinados para encontrar las tendencias climáticas medias y extremas.

Los datos colectados desde 1861 muestran que la anomalía global combinada de las temperaturas del aire y de la superficie del mar para 2005 es la segunda más caliente registrada. Desde 1951 ha ocurrido aumentos generalizados en escala global de temperatura asociados al calentamiento, y también un aumento en los eventos intensos de precipitación continental. El nivel del mar ha subido entre 1 a 3mm por año durante el siglo XX.

La industria energética mexicana genera electricidad, extrae gas y petróleo, los distribuye, lo exporta principalmente para los EU y vende a los consumidores nacionales. Todas estas actividades son afectadas por el tiempo y son por lo tanto potencialmente vulnerables al cambio climático.

Los planes de la industria de generación son afectados por metas gubernamentales a nivel nacional e internacional. La meta de Kyoto es reducir las emisiones de gases de invernadero de 12.5% por debajo de los niveles 1990 para el período 2008-2012. Las reducciones de emisiones podrían venir, por ejemplo, del cambio hacia centrales eléctricas a gas o otras energías renovables como hidroeléctrica, eólica, biomasa, células solares y energía de las olas oceánicas.

#### *Matriz de impactos bajo cambio climático*

Fueron identificados cerca de varios tipos de elementos de proceso en la industria energética de extracción y generación del gas y óleo, distribución, transmisión, suministro y demanda. De la misma forma, las sensibilidades al tiempo y al clima de los elementos fueron encontradas.

Entonces los impactos al cambio climático esperado que podría afectar cada elemento, fue seleccionado y los potencialmente e más importante fueron identificados.

Más que un tercio de los elementos de proceso de la industria energética tenían una sensibilidad fundamental a la temperatura. Muchos elementos tenían sensibilidades a humedad, vientos, precipitación y nivel del mar. Otros son sensibles a la densidad del aire, a la presión, a la humedad, inundaciones, a

niebla, al granizo y al relámpago.

Los impactos del cambio climático identificados de prioridad más alta, basados en estudios similares, fueron los daños a la infraestructura de generación por hundimiento, inundación y vientos intensos; reducción de la capacidad normal de cable aéreos debido a altas temperaturas; la inundación de centrales nucleares (costeras) debido a la subida del nivel del mar y tormenta de marea; carencia del agua para refrigeración de plantas de generación, eficacia reducida de las turbinas de gas debido a una densidad más baja del aire y variaciones estacionales de la demanda.

Se espera que la “estacionalidad” de la demanda aumente para veranos más calurosos debido al mayor uso del aire acondicionado y equipos de refrigeración en verano. Aumentos significativos en la demanda eléctrica en verano podrían causar una presión adicional en la red de generación, por la reducción de la eficiencia de turbinas a gas debido a una más baja densidad del aire.

Los impactos del cambio climático identificados de media prioridad fueron: cambios a la capacidad e intermitencia de la energía eólica; daños a la infraestructura de distribución y transmisión por hundimiento, inundación y vientos intensos; un aumento en los requisitos de resiliencia de los cables arriba de los límites de sag; impactos de la subida y cambios del nivel del mar en los flujo costero.

### *Modelación climática*

Los modelos climáticos son herramientas útiles para determinar los impactos del cambio del clima en la industria energética porque proporcionan una proyección comprensiva, físicamente constante, prudente del clima futuro.

Sus debilidades principales son que su resolución horizontal es actualmente en el mejor de los casos cerca de 200 kilómetros, ellas no se integran con infraestructura de la industria energética (no hay en estos modelos en ciclo hidrológico completo) y hay incertidumbres en las predicciones. Una amplia gama de los datos de predicción del clima está disponible pero tiene incertidumbres significativas y requiere la interpretación experta. Las incertidumbres se presentan en la carencia de predictabilidad de las emisiones futuras, de las incertidumbres sobre diseño del modelo climático, y de la variabilidad natural del clima.

Una alternativa sería utilizar modelos climáticos regionales (resolución horizontal de 20-30 km) como propone el Programa de Modelación Climática en México. Estos modelos permiten la regionalización de las proyecciones con un mayor detalle.

Este estudio se basó en proyecciones de modelos globales dado el corto tiempo disponible para elaborar escenarios regionalizados para este informe final. A pesar de la baja resolución horizontal las proyecciones presentan variaciones regional y estacional significativas. Los aumentos medios de temperatura son mayores en el norte, sureste, especialmente en verano. Las variaciones regionales en la precipitación no son significativas, notando, sin embargo, que estas proyecciones no son capaces de generar sistemas de mesoescala (huracanes) que causan eventos de precipitación intensa. Sobre el altiplano mexicano el efecto urbano de isla del calor muy probablemente aumentará.

Los programas nacionales e internacionales en curso de desarrollo de modelos climáticos de alta resolución, utilizando la metodología de ensamble, propiciarán nuevas oportunidades para la explotación de los datos y profundización de conocimiento de la industria energética y otros sectores sensibles al cambio y variabilidad climáticas, a través de predicciones climáticas probabilísticas y análisis eventos extremos.

Los pronósticos mensuales y estacionales pueden ser utilizados para mejorar las estimaciones de la probabilidad de una estación extrema en distintas regiones de México y tiene potencial significativo para la industria energética.

Un aspecto importante no contemplado en este estudio, son los factores socioeconómicos que determinan la demanda energética en los sectores domésticos, industriales y comerciales.

Varios factores pueden contribuir para el aumento de la demanda entre ellos; el aumento de personas que viven solas, envejecimiento de la población, el aumento de aparatos electrodomésticos y de malestar térmico combinados con la contaminación atmosférica y el ruido que conllevan al uso creciente del aire acondicionado.

Por lo tanto para determinar completamente los impactos del cambio climático en la industria energética, los escenarios socioeconómicos debe ser considerado. Estos escenarios determinan otros impactos importantes en la capacidad de la industria y de la sociedad para adaptarse al cambio climático. El cambio del clima también afectará los escenarios socioeconómicos futuros en sí mismos a través, por ejemplo, reducción de confort en vivir en islas del calor urbanas, los patrones de migración y en el del aire acondicionado.

#### IV. ÍNDICE DE FIGURAS

#### Página

<b>Figura 2a-1:</b> El diagrama muestra que climas más calientes (rojos) tienen un porcentaje más alto de la precipitación total, producto de eventos de intensos y muy intensos. Los datos se basan en una distribución de estaciones globales, pero cada uno tiene la misma cantidad media estacional de precipitación de 230 (±5) milímetros. Por ejemplo las ciudades de San Fernando (Tamaulipas) y Nagasaki tienen la misma precipitación media, pero la temperatura media en verano de Nagasaki es de 11 °C mientras en San Fernando es de 35°C. Para los climas fríos (azules), hay más eventos diarios de precipitación que en los climas más calientes (adaptados de Karl y de Trenberth, 2002). Los varios símbolos de la nube y de la lluvia reflejan las varias tasas de precipitación diarias y se han categorizado en el panel superior de esta figura para reflejar la proporción aproximada de las varias tasas de precipitación para los climas fríos, moderados, y calientes a través del globo.....	<b>5</b>
<b>Figura 2a-2:</b> Cambios en la contribución de la precipitación intensa con respecto a la cantidad total de precipitación Los valores anuales son suavizados (línea color naranja) para representar mejor la variabilidad decadal. Globalmente ha ocurrido un cambio de aproximadamente 2% desde la segunda mitad del siglo XX (figura de Alexander et al., 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. J.Geophys.Res., D05109, doi: 10.1029/2005JD006290).....	<b>6</b>
<b>Figura 2a-3:</b> Distribución del Índice de Palmer en la sequía de 1997-98 en México.....	<b>8</b>
<b>Figura 2a-6:</b> Distribución del índice de Palmer global en los últimos 100 años...	<b>9</b>
<b>Figura 2a-8:</b> Cambio de categoría de huracanes bajo cambio climático.....	<b>10</b>
<b>Figura 2a-9:</b> Anomalías de precipitación anual media global con respecto a 1961 – 1990 en zonas de seis latitudes diferentes. Fuente: Implications of Climate Change for Large Dams & their Management (Part IV). November 2000. Prepared for the World Commission on Dams (WCD). Nigel Arnell y Mike Hulme.....	<b>12</b>

<b>Figura 2a-10:</b> Capacidad efectiva instalada de generación eléctrica (fuente: CFE).....	<b>13</b>
<b>Figura 2a-13:</b> Presa Chicoasén. Fuente: CFE.....	<b>15</b>
<b>Figura 2a-14:</b> Localización de las presas Hidroeléctricas El Infiernillo y La Villita.	<b>15</b>
<b>Figura 2a-16:</b> Escurrimientos medios observado y estimado del sistema hidroeléctrico del río Grijalva.....	<b>16</b>
<b>Figura 2a-17:</b> mediana de los escurrimientos observado y estimado para el sistema hidroeléctrico del río Grijalva.....	<b>16</b>
<b>Figura 2a-18:</b> Escurrimientos medios mensuales de la muestra observada y de los escenarios A2 estimados.....	<b>17</b>
<b>Figura 2a-19:</b> Escurrimientos medios mensuales de la muestra observada y de los escenarios B2 estimados.....	<b>17</b>
<b>Figura 2a-20:</b> Mediana mensual de los escurrimientos del sistema hidroeléctrico Grijalva y de los escenarios A2 estimados.....	<b>18</b>
<b>Figura 2a-21:</b> Mediana mensual de los escurrimientos del sistema hidroeléctrico Grijalva y de los escenarios A2 estimados.....	<b>18</b>
<b>Figura 2a-22:</b> Comparación de los escurrimientos estimados con dos escenarios propuestos.....	<b>19</b>
<b>Figura 2a-23:</b> Grupos y subgrupos de climas (Fuente: INEGI).....	<b>19</b>
<b>Figura 2a-24:</b> Temperatura media anual en la República Mexicana.....	<b>20</b>

**Figura 2a-25:** Regiones hidrológicas del país (izq.) y su precipitación media (der.) (Mm).....**21**

**Figura 2a-26:** Cambios en la media de la ASO estacional de 1990 2080 (año 2080 menos año 1990), estimados de los ensambles de los tres modelos climáticos para el escenario A2. El intervalo del contorno es 4 cm. Líneas trazo y sólidas indican contornos negativos y no negativos, respectivamente. Las áreas con tramas indican tendencia significativa (a nivel de 5%) en las medias estacionales de la ASO.....**22**

**Figura 2a-28:** Variación de la temperatura en superficie global en el hemisferio norte en los últimos 1000 años.....**24**

**Figura 2a-29:** Cambio en la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos...**24**

**Figura 2a-30:** Ilustra las tendencias en temperaturas máximas diarias en México.....**26**

**Figura 2a-31:** Tendencias en las fechas promedio de inicio y término de los periodos con temperatura máxima mayor a 30°C en Nayarit.....**27**

**Figura 2a-32:** Tendencias observadas de aumento del nivel del mar.....**29**

**Figura 2a-33:** a) nivel del mar actual; b) nivel del con un aumento de 1.5 Metros.....**30**

## V. LITERATURA CITADA

Alonso A, Cruz R y Fugarolas E (1994), Futuros de los recursos energéticos, en El sector eléctrico de México (Daniel ResendizNuñez coordinador), Comisión Federal de Electricidad y Fondo de Cultura Económica, México pp 427-475.

Informe de operación por entidad federativa 2002, Comisión Federal de Electricidad, México 2003.

Höppe P., (1999): Thephysiological equivalent temperature-a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. Int J Biometeorol 43:71-75.

Fanger P. O. (1972): Thermal comfort, Analysis and application in Environment Engineering. McGraw-Hill, New York.

Jendritzky G., Menz G., Schmidt-Kessen W., Schirmer H., (1990): Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen. Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover. (Citado por Höppe 1999).

Matzarakis A., Mayer H., Iziomon M., (1999): Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. Int J Biometeorol.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN. (2002a). Acuerdo que autoriza el ajuste, modificación y reestructuración a las tarifas para suministro y venta de energía eléctrica y reduce el subsidio a las tarifas domésticas. Poder Ejecutivo/Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Publicado el jueves 7 de febrero de 2002. 2-13pp.

Conde-Álvarez, A. C. (2003): Cambio y Variabilidad Climáticos. Dos estudios de caso en México. Tesis de Doctorado en Ciencias de la Tierra. UNAM. 300 pp.

- American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, ashrae. (1966). American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers Standard 55-56: Thermal environmental conditions for human occupancy.
- TUDELA, F. (1982). Ecodiseño. Univ. Aut. Metropolitana-Xochimilco. 235p.
- Rodríguez-Viqueira, L. y A. Tejeda-Martínez (2004). Demanda eléctrica para enfriamiento residencial en el estado de Veracruz ante la duplicación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Estudios de arquitectura bioclimática, (M. Rodríguez-Viqueira, compilador). Ed. Limusa y UAM Iztapalapa, Vol. VI: 325-338.
- Jáuregui E., Ruiz A., Gay C. y Tejeda A. (1996) Una estimación del impacto de la duplicación de CO<sub>2</sub> atmosférico en el bioclima humano de México, en Memorias del 2º taller de estudio de país, México, pp 219-246.
- Jáuregui E. y Tejeda A. (2001). A scenario of human thermal comfort in Mexico city for 2CO<sub>2</sub> conditions, *Atmósfera*, **14**, pp 125-138.
- Tejeda Martínez A. y Rivas Camargo D.A. (2003) El bioclima humano en ciudades del sur de México: un escenario bajo duplicación de CO<sub>2</sub> atmosférico, en estudios de Arquitectura Bioclimática ( M. Rodríguez Viqueira compilador), vol.5, 181- 194 pp.
- Magaña, V. 2005. Plan científico para un programa de modelación del clima en México, INE, 45pp.
- IPCC Climate Change 2001: Synthesis Report A 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 (Eds.) Contains the Synthesis Report itself, the Summaries for Policymakers and Technical Summaries of the three Working Group volumes, and supporting Annexes. Cambridge University Press, UK. pp 398.
- IPCC Climate Change 2001: The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) J. T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden and D. Xiaosu (Eds.) Cambridge University Press, UK. pp 944.

IPCC ClimateChange 2001: Impacts, Adaptation&Vulnerability. Contribution of WorkingGroup II totheThirdAssessmentReport of theIntergovernmental Panel onClimateChange (IPCC). James J. McCarthy, Osvaldo F. Canziani, Neil A. Leary, David J. Dokken and Kasey S. White (Eds.). Cambridge UniversityPress, UK. pp 1000.

IPCC ClimateChange 2001: MitigationContribution of WorkingGroup III totheThirdAssessmentReport of theIntergovernmental Panel onClimateChange (IPCC). Bert Metz, OgunladeDavidson, RobSwart and Jiahua Pan (Eds.). Cambridge UniversityPress, UK. pp 700.

Adger, Neil, K. Brown, R. Cervigni y D. Moran. (1994). "TowardsEstimating Total EconomicValue of Forests in Mexico". Inglaterra, University of East Anglia andUniversityCollege London. CSERGE WorkingPaper GEC 91-21.

Asociación Hidropónica Mexicana  
<http://www.hidroponia.org.mx/esp/info.php>

Ávila, Sara, C. Muñoz, L. Jaramillo y A. Martínez (2006). "Análisis del Subsidio a la Tarifa 09". Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Carabias, J. y R. Landa (2005). "Agua, medio ambiente y sociedad: Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México". México, El Colegio de México, Universidad Nacional Autónoma de México.

Diario Oficial de la Federación (DOF) 31 de enero de 2003. Determinación de zonas críticas para la recarga de acuíferos. Comisión Nacional del Agua, México.

Emanuel, K. (2005), "IncreasingDestructiveness of Tropical Cyclonesoverthepast 30 years," Nature436, 686-688.

IPCC. 1997. Introducción a los Modelos Climáticos Simples Utilizados en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC. Documento Técnico II del IPCC. Paris.

Epstein, Paul R. (2004). "ClimateChange and PublicHealth: EmergingInfectiousDiseases." Encyclopedia of Energy, Vol. 1, p. 381-392.

Fernández, A. y J. Martínez (comps) (2004). Cambio Climático. Una visión desde México. México, Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Epstein, P.R. (1997). "Climate, Ecology, and Human Health". Consequences, Vol. 3, No. 2.

Gay, Carlos, F. Estrada, C. Conde y H. Eakin (2004). "Impactos Potenciales del Cambio Climático en la Agricultura: Escenarios de Producción de Café para el 2050 en Veracruz, México", en García Condron, J.C., Diego Liaño, Fernández de ArróyabeHernández, Garmendia Pedraja y Rasilla Álvarez (Eds) (2004), El clima entre el mar y la montaña. Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria, Serie A. no. 4, Santander.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2007). Coordinación de Desarrollo Profesional e Institucional. Comunicación telefónica con Eduardo F. Donath,  
[edonath@tlaloc.imta.mx](mailto:edonath@tlaloc.imta.mx)

Instituto Nacional de Ecología (INE) (2006a). Análisis de escenarios de cambio climático y vulnerabilidad de sectores clave en México y propuestas de adaptación. Estudio desarrollado por el Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Informe de síntesis.

Instituto Nacional de Ecología (2006b). IntegratedNationalAdaptationPilot: Strengtheningtheresilience of thecoastalwetlands in theGulf of Mexicotoclimatechange (throughimprovedwaterresource management). Proyecto en desarrollo por la Universidad Autónoma Metropolitana y el Instituto Nacional de Ecología.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2004c). "Zonas marinas y costeras" en Perspectivas de Medio Ambiente. GEO 2004. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Programa Universitario de Medio Ambiente (1996). Riesgos Ambientales para la Salud en la Cd. de México. México, Programa Universitario de Medio Ambiente, UNAM.

SEMARNAT (2003), Informe de la situación del medio ambiente en México 2002,Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (1997), *México: Primera comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, Enkidu Editores. [www.semarnap.gob.mx](http://www.semarnap.gob.mx)
- Saavedra, J., Hugo G. y Macay G. (1991) Análisis de Histogramas de Consumo de Agua potable en México *Ingeniería Hidráulica en México*, enero abril, pp 14-20
- Romero Lankao P., Rodríguez Viqueira L., y Tejeda Martínez A. (2004) ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CAMBIO CLIMÁTICO Grupo de Estudios en Cambio Climático UAM-Xochimilco, Grupo de Climatología Aplicada de la Universidad Veracruzana, Instituto de Ingeniería de la UNAM. Estudio elaborado para: Instituto Nacional de Ecología SEMARNAT 218 pp
- Riojas Rodríguez H., Hurtado M., Idrovo J. y Vazquez H. 2006. Estudio Diagnóstico sobre los efectos del cambio climático en la salud humana de la población en México, Instituto Nacional de Ecología/Instituto Nacional de Salud Pública, México. Informe final, 36 pp.
- Programa Nacional Hídrico 2007-2012, editado por CONAGUA en 2008, 166 pp
- Pérez Ramos, F. (2000). *Dengue: Durmiendo con el enemigo*, Subdirección de Prevención y Control de Enfermedades de los Servicios de Salud de Veracruz.  
[http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/page/PROTECCIONVER/CAMBIO\\_CLIMATICO](http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/page/PROTECCIONVER/CAMBIO_CLIMATICO)
- OMS-OMM-PNUMA (2003) Cambio Climático y Salud Humana. Resumen. Ginebra, 40 pp.
- Mundo Molina D. y Martínez Austria P. (1994) El cambio climático y sus efectos potenciales en los recursos hídricos y la agricultura del Valle del Yaqui, Sonora (estudio preliminar indicativo). *Ingeniería Hidráulica en México*, IX(1): 13-33.
- Morales P., Magaña V., Barrera C.M. y Pérez J.L. (2001) “Los efectos del calentamiento global en la disponibilidad de los recursos hidráulicos en México”, Proyecto HC 0112, IMTA-CNA, México.

- Mendoza V., E. Villanueva E. y Maderey L (2004), Vulnerabilidad en el recurso agua de las zonas hidrológicas de México ante el Cambio Climático en Martínez J. y A. Fernández, Cambio climático: una visión desde México”, INE-SEMARNAT, pp. 215-226 <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/437/mendoza.html>
- Martínez-Austria P. (2007) “Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México”, IMTA-SEMARNAT, 42 pp.
- Martínez A. (2002) Calidad de agua para consumo humano en México. En: Memorias del Encuentro sobre uso y resultados de la aplicación de tecnologías económicas para la purificación de aguas en América Latina. Buenos Aires, 8 y 9 de noviembre.
- Magaña V. (2008) Cambio Climático y sus impactos en el recurso agua. <http://portal.sre.gob.mx/uaos/pdf/magana.pdf>, consultado 9-09-2009 12 pp.
- Magaña V. y Caetano E. (2007) Pronóstico climático estacional regionalizado para la República Mexicana como elemento para la reducción de riesgo, para la identificación de opciones de adaptación al cambio climático y para la alimentación del sistema: cambio climático por estado y por sector DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO y Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM, Informe final, Número de proyecto: INE/A1-006/2007
- Magaña, V. y Gay (2002) C. Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambiental, social y económicos. Gaceta Ecológica. Instituto Nacional de Ecología. 65:7-23.
- Instituto Nacional de Ecología (2006). México. Tercera Comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Hulme M. y Sheard N. (1999) Escenarios de Cambio Climático para Mesoamerica, Unidad de Investigación Climática, Universidad de Norwich, Reino Unido <http://www.cru.uea.ac.uk/~mikeh/research/mesoamer.span.pdf>