

Cambio climático y estadística oficial

Información oficial en Internet y fortalezas académicas para la elaboración de planes estatales ante el cambio climático

Datos e indicadores para detectar y atribuir eventos al cambio climático: los registros históricos del clima y su problemática

Gestión pública transversal ante el cambio climático y conceptos en materia de detección y atribución

Estimación de emisiones de GEI en inventarios corporativos

Balance nacional de energía y su relación con el Inventario nacional de emisiones

Detección y atribución de cambio climático a escala regional

Reseña del libro Tramas familiares en el México contemporáneo. Una perspectiva sociodemográfica



REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

INTERNATIONAL JOURNAL OF STATISTICS AND GEOGRAPHY

REALIDAD, DATOS Y ESPACIO

REALITY, DATA AND SPACE



INSTITUTO NACIONAL
DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

Presidente del Instituto

Eduardo Sojo Garza-Aldape

Vicepresidentes

Enrique de Alba Guerra

José Antonio Mejía Guerra

Mario Palma Rojo

María del Rocío Ruiz Chávez

Dirección General de Estadísticas Sociodemográficas

Miguel Juan Cervera Flores

Dirección General de Estadísticas Económicas

José Arturo Blancas Espejo

Dirección General de Geografía y Medio Ambiente

Carlos Agustín Guerrero Elemen

Dirección General del Servicio Público de Información

Enrique Jesús Ordaz López

Dirección General de Coordinación del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica

Norberto de Jesús Roque Díaz de León

Dirección General de Vinculación Estratégica

Alberto Manuel Ortega y Venzor

Dirección General de Administración

Froylán Rolando Hernández Lara

REALIDAD, DATOS Y ESPACIO. REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

Editor responsable

Alberto Manuel Ortega y Venzor

Editor ejecutivo

Gerardo Leyva Parra

Coordinación

Virginia Abrín Batule y Mercedes Pedrosa Islas

Corrección de estilo

José Pablo Covarrubias Ordiales y Laura Elena López Ortiz

Diseño

Carlos Luque Ancona y Juan Carlos Martínez Méndez

CONSEJO EDITORIAL

Enrique Cabrero Mendoza

Centro de Investigación y Docencia Económicas

Fernando Cortés Cáceres

El Colegio de México

Gerardo Bocco Verdinelli

Universidad Nacional Autónoma de México

Ignacio Méndez Ramírez

Universidad Nacional Autónoma de México

Juan Carlos Chávez Martín del Campo

Universidad de Guanajuato

José Ramón Narro Robles

Universidad Nacional Autónoma de México

Lidia Bratanova

UNECE Statistical Division

Manuel Ordorica Mellado

El Colegio de México

María Margarita Parás Fernández

Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo"

María del Carmen Reyes Guerrero

Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo"

Óscar Adolfo Sánchez Valenzuela

Centro de Investigación en Matemáticas

Paul Cheung

United Nations Statistics Division

Rodolfo de la Torre García

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Rogelio Granguillhome Morfin

Secretaría de Relaciones Exteriores

Tonatiuh Guillén López

El Colegio de la Frontera Norte

Víctor Manuel Guerrero Guzmán

Instituto Nacional de Estadística y Geografía

Walter Radermacher

Statistical Office of the European Communities

Yoloxóchitl Bustamante Díez

Instituto Politécnico Nacional

REALIDAD, DATOS Y ESPACIO. REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, año 1 número 1, noviembre 2010, es una publicación cuatrimestral editada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Av. Héroe de Nacozari Sur 2301, Fraccionamiento Jardines del Parque, C.P. 20276, Aguascalientes Ags., México. Teléfono 55 52781069 toda correspondencia deberá dirigirse al correo: rde@inegi.org.mx

Editor responsable: Alberto Manuel Ortega y Venzor. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2010-090816081900-102, ISSN en trámite. Licitud de Título en trámite, Licitud de Contenido en trámite, ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Domicilio de la publicación, imprenta y distribución: Av. Héroe de Nacozari Sur 2301, Fraccionamiento Jardines del Parque, C.P. 20276, Aguascalientes Ags., México.

El contenido de los artículos, así como sus títulos y, en su caso, fotografías y gráficos utilizados son responsabilidad del autor, lo cual no refleja necesariamente el criterio editorial institucional. Asimismo, la Revista se reserva el derecho de modificar los títulos de los artículos, previo acuerdo con los autores. La mención de empresas o productos específicos en las páginas de la Revista, no implica el respaldo por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Se permite la reproducción total o parcial del material incluido en la Revista, sujeto a citar la fuente. Esta publicación consta de 3,262 ejemplares y se terminó de imprimir en noviembre de 2010.

Disponible en http://rde.inegi.org.mx/revista_noviembre_2010/

EDITORIAL

RREALIDAD, DATOS Y ESPACIO. REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, es una publicación cuatrimestral del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) dirigida a los generadores y usuarios de información estadística y geográfica oficial de México y el mundo, la cual tiene por objetivo servir como un puente entre la generación de información estadística oficial y la investigación académica. La revista está concebida como un medio para compartir el conocimiento y las mejores prácticas en materia estadística y geográfica entre instituciones y especialistas que tienen propósitos y responsabilidades similares.

Se trata de una revista técnica-científica, arbitrada y bilingüe, publicada en formato impreso y electrónico, que se nutre de contribuciones de expertos nacionales y extranjeros del ámbito de la información estadística y geográfica oficial, del académico y del de tomadores de decisiones en los sectores público, privado y social. Cada número concentra su contenido en el material desarrollado para los seminarios temáticos que el INEGI organiza periódicamente con instituciones académicas y asociaciones de profesionistas, y se complementa con colaboraciones que pueden o no estar vinculadas con esa temática central.

En este primer número, se dan a conocer los trabajos que subyacen a las presentaciones que formaron parte del Seminario Internacional sobre Cambio Climático y Estadística Oficial, organizado conjuntamente por el Programa Universitario del Medio Ambiente de la UNAM y el INEGI, con la finalidad de analizar el desempeño de las diferentes unidades y sistemas de información nacionales con respecto a la generación y difusión de datos y estadísticas oficiales relacionadas con el cambio climático.

En estos artículos, expertos de diversos sectores y nacionalidades comparten sus ideas sobre algunos aspectos relacionados con la calidad de los datos oficiales que se consideran como base para la generación de información en temas como la detección y medición del cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, se explora el uso, la contribución y las limitaciones de las estadísticas e indicadores oficiales para los aspectos de la política pública relacionados con el cambio climático.

Tenemos la certeza de que, con REALIDAD, DATOS Y ESPACIO. REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, proporcionaremos elementos de referencia para el análisis y discusión en torno a temas relevantes y de actualidad en materia estadística y geográfica. La versión electrónica de la revista se puede consultar en <http://rde.inegi.org.mx>, en donde además se encuentran las presentaciones y los videos de los seminarios.

CONTENIDO

Cambio climático y estadística oficial	__1
Carlos Gay García, Francisco Estrada Porrúa y Benjamín Martínez López	
Información oficial en Internet y fortalezas académicas para la elaboración de planes estatales ante el cambio climático	__7
Adalberto Tejeda-Martínez y Pablo Hernández Ávila	
Datos e indicadores para detectar y atribuir eventos al cambio climático: los registros históricos del clima y su problemática	__16
Manola Brunet India	
Gestión pública transversal ante el cambio climático y conceptos en materia de detección y atribución	__26
Benjamín Ortiz-Espejel y Jorge Luis Vázquez-Aguirre	
Estimación de emisiones de GEI en inventarios corporativos	__40
Rosa María Jiménez Ambríz	
Balance nacional de energía y su relación con el inventario nacional de emisiones	__44
Verónica Irastorza Trejo y Ximena Fernández Martínez	
Detección y atribución de cambio climático a escala regional	__59
Víctor Orlando Magaña Rueda y Luis Manuel Galván Ortiz	
Reseña del libro Tramas familiares en el México contemporáneo. Una perspectiva sociodemográfica, coordinado por Cecilia Rabell Romero	__67
Marcela Eternod Arámburu	



CAMBIO CLIMÁTICO Y ESTADÍSTICA OFICIAL

Carlos Gay García^[1], Francisco Estrada Porrúa^[2]
y Benjamín Martínez López^[3]

Este trabajo presenta un resumen sobre el cambio climático global y sus manifestaciones en México: modificaciones observadas en temperatura, precipitación y nivel del mar, así como algunas de las que se esperan durante este siglo y algunas estimaciones de sus impactos potenciales en la economía del país. Asimismo, se resalta que la escasez y falta de calidad en los registros de datos climáticos para nuestro país es un factor que limita la generación de información necesaria para orientar la toma de decisiones sobre cambio climático.

Palabras clave: cambio climático, clima.

This work presents a summary of global climate change and its impacts in Mexico: changes in temperature, precipitation and sea level, as well as some of the changes that are expected to occur during this century and some estimates of its potential impacts on Mexico's economy. This work also underlines that the scarcity and the poor quality of climate records in our country is a limiting factor for generating the information needed to assist decision-making regarding climate change.

Key words: climate change, climate.

[1] Doctor en Astrogeofísica, miembro del SNI, Investigador del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, de donde fue director. Es pionero en el desarrollo de estudios sobre cambio climático en México; Coordinador del capítulo sobre América Latina del Cuarto reporte de evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático; representante oficial del gobierno mexicano ante el Panel Intergubernamental de Cambio Climático y la Conferencia de las Partes de la Convención Marco sobre Cambio Climático (cgay@servidor.unam.mx).

[2] Maestro en Administración de Riesgos. Es técnico académico en el Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar del CCA de la UNAM. Su investigación se centra en la modelación y simulación de los impactos del cambio climático, la modelación estadística de series de tiempo climáticas y la incertidumbre (feporrúa@atmosfera.unam.mx).

[3] Doctor en Ciencias Naturales por la Universidad de Hamburgo (en Alemania) con especialización en Meteorología Aplicada, posdoctorado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts licenciado y maestro en Oceanografía Física. Es investigador en el Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar del CCA de la UNAM (benmar@atmosfera.unam.mx).

Calentamiento del planeta

De acuerdo con el *Cuarto reporte de evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático* —denominado AR4, por sus siglas en inglés— (Meehl *et al.*, 2007), el calentamiento del planeta es un fenómeno *inequívoco*; las actividades humanas han contribuido de forma notable a su generación y ya hay efectos irreversibles en los sistemas naturales. Este calentamiento se refleja en un incremento de la temperatura promedio del planeta de alrededor de 1° C respecto a los valores observados en 1850.

Los océanos del planeta son un reservorio natural de bióxido de carbono (CO₂), el cual se encuentra de manera natural en nuestra atmósfera que, junto con otros *gases de efecto invernadero* (GEI), son los responsables de que la temperatura media de la Tierra sea aproximadamente de 15° C y no los -18° C que tendría en ausencia de dichos gases.

Desde la Revolución Industrial, la quema indiscriminada de combustibles fósiles ha cambiado la composición de la atmósfera. En particular, se ha incrementado la concentración de CO₂, la cual estuvo variando en un rango aproximado de 200 a 300 partes por millón en volumen (ppmv) durante los últimos 600 mil años, pero ahora está cercana a 400 ppmv. Existe 90% de confianza de que el calentamiento global del siglo XX se debe al aumento de las concentraciones de GEI derivados de las actividades humanas (Meehl *et al.*, 2007). Existen, sin embargo, mecanismos de interacción océano-atmósfera que no fueron considerados en el AR4, los cuales podrían ocasionar un calentamiento aún mayor en el corto y mediano plazo.

Uno de ellos es la liberación natural de CO₂ en los mares del sur que rodean la Antártida debido a un cambio de los patrones de viento, lo cual podría ya haber sucedido al finalizar la última glaciación y se podría repetir de proseguir el calentamiento antropogénico. En esta área geográfica se da la

mayor transferencia de energía de la atmósfera al océano y, como no existe una barrera natural, las corrientes marinas que circundan la Antártida son muy intensas. En general, la zona de vientos máximos no está alineada con las corrientes marinas máximas, pero eso se ha ido modificando de manera paulatina en los últimos 25 años y la asimetría se ha reducido. En caso de que se llegaran a empalmar los núcleos de los vientos y las corrientes, se incrementaría la magnitud de las últimas, originando a lo largo de la costa un transporte neto de agua hacia mar abierto y, en consecuencia, un afloramiento de aguas profundas (ricas en CO₂) en las regiones costeras de la Antártida: una fuente extra de CO₂, cuyo impacto es actualmente impredecible.

¿Qué muestran las observaciones recientes?

En agosto del 2009 se publicó en los principales diarios de nuestro país que los océanos registraron temperaturas récord: "El cambio climático ocasionó un promedio mundial en julio de 17° C, la más elevada desde que empezaron a tomarse las mediciones en 1880..." (AP, *El Universal*, jueves 20 de agosto de 2009), una noticia nada buena para la comunidad científica mundial preocupada por las consecuencias de tales incrementos y, aún peor, para los llamados *escépticos*, quienes cuestionan la validez de los reportes del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).

Y una noticia todavía peor es la evidencia contundente de una pérdida acelerada de hielo en la Antártida, determinada con mediciones satelitales de gravedad, publicada en la prestigiada revista *Nature Geoscience* en noviembre del 2009. De proseguir ese derretimiento, las proyecciones de incremento de nivel medio del mar del AR4, del orden de decenas de centímetros, se verían muy rebasadas.

Si nos preguntamos: ¿se está calentando el planeta?, la respuesta es afirmativa, fuera de toda duda. Si el cuestionamiento es: ¿podemos estimar de forma correcta los efectos de este calentamiento global en nuestro país?, la respuesta se complica.

Algunos cambios observados en México

La temperatura, la precipitación y el nivel medio de mar son tres variables muy importantes que se han registrado de manera más o menos regular en nuestro país. Las series, sin embargo, distan mucho de ser las óptimas para realizar los estudios pertinentes tendientes a estimar de forma confiable lo ocurrido en México durante el siglo XX. Es lo que se tiene, pero se puede aspirar a mejorarlo y es aquí donde se requiere la participación activa del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y otras instancias federales para que, junto con la Academia, se realice un diagnóstico crítico de la situación actual y se tomen las medidas pertinentes para corregir el rumbo y empezar a tener buenas bases de datos. A continuación, mencionamos algunos ejemplos de la información con la que se cuenta.

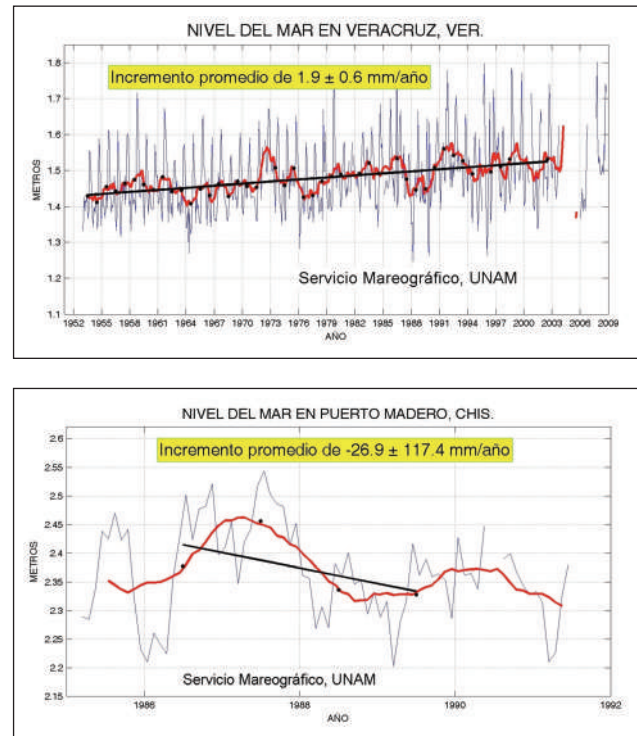
Nivel medio del mar

En la figura 1 se ilustra el problema fundamental —algunas veces frustrante— con el que nos enfrentamos cada día al tratar de determinar si algo está cambiando. En el panel superior se muestra una serie de datos de nivel del mar lo suficientemente larga como para estimar la tendencia observada de una manera confiable; por el contrario, en el panel inferior se encuentra una serie muy corta por lo cual no es posible estimar la tendencia observada de una manera confiable.

Precipitación

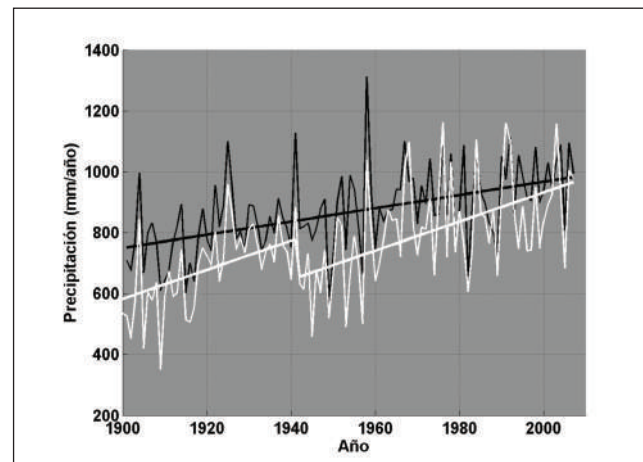
Para este tema se encuentran disponibles varias bases de datos con cobertura global; por ejemplo, la base del Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), que cubre el periodo 1901-2007 (Schneider *et al.*, 2008). En México no se cuenta con un producto semejante, ni siquiera cubriendo el territorio nacional. La carencia de información es crítica, lo cual se traduce en series incompletas (huecos y series truncas), bajísima calidad y la no disponibilidad de metadatos para homogeneizar. Una excepción es la serie del Observatorio de Tacubaya, que muestra un incremento sostenido de la precipitación anual durante el siglo XX (ver figura 2).

Figura 1
Datos disponibles del nivel del mar en el Puerto de Veracruz (panel superior) y en Puerto Madero, Chiapas (panel inferior)



Fuente: figuras cortesía del doctor Jorge Zavala Hidalgo.

Figura 2
Precipitación anual acumulada en Tacubaya (línea blanca) y el punto correspondiente de la base GPCC (P2, línea negra)



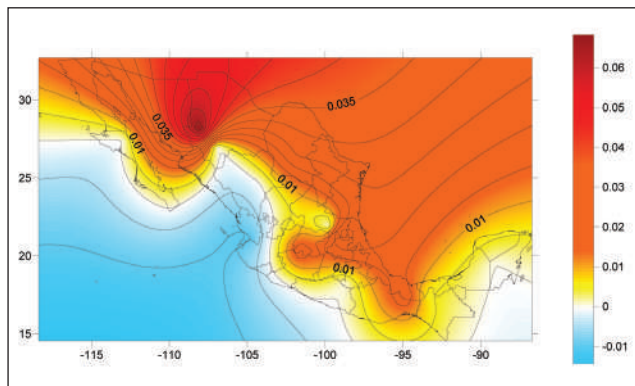
Nota: las tendencias son indicadas por las líneas gruesas. Las pendientes de las dos series y el cambio estructural ocurrido en 1942 son significativos.

Temperatura

En general, los datos disponibles muestran que una gran extensión de nuestro país se está calentando, siendo mayor en el noroeste de México (ver figura 3).

Figura 3

Tendencias de la temperatura anual en México, 1948-2004



Nota: unidades expresadas en grados centígrados por año.

Existen, sin embargo, pequeñas porciones del territorio nacional en las regiones costeras del Pacífico que se están enfriando de forma ligera y otras pocas que tienen un comportamiento neutro. El conocer con un alto grado de confiabilidad la historia del clima pasado de nuestro país es muy importante para entender lo que sucede en la actualidad y poder estimar de manera adecuada escenarios futuros del clima.

¿Cómo se estima el clima futuro?

Los modelos los empleamos, básicamente, con dos propósitos:

- Para reducir sistemas muy complejos.
- Como sustitutos de la realidad.

El primero nos sirve para entender y generar conocimiento, mientras que el segundo implica simular, con tanto realismo como podamos, a los fenómenos de interés. Los modelos acoplados de circulación general océano-atmósfera pertenecen a esta segunda categoría y constituyen la herramienta más poderosa con la que se cuenta para estimar la respuesta del sistema climático al incremento de los GEI. En nuestro país no tenemos la capacidad de desarrollar un modelo propio con tales características y todos los estudios realizados hasta la fecha se han basado en modelos simples del sistema climático o en la utilización de las salidas disponibles de los utilizados en el AR4.

Reducción de escala

Las celdas de los modelos usados para estimar el cambio climático tienen resoluciones espaciales, en el mejor de los casos, del orden de los 120 km, la cual no resuelve las características regionales de nuestro país y es necesario recurrir a los llamados métodos de reducción de escala, de los que existen estadísticos, dinámicos y mixtos.

En el caso de México, los métodos empleados para reducción de escala han sido, sobre todo, estadísticos; han mostrado ser mucho más baratos en tiempo de cómputo y tener un desempeño competitivo en relación con los dinámicos. Sin embargo, en la mayoría de los casos, su aplicación ha sido deficiente ya que se ha olvidado que el método implica proponer un modelo probabilístico y, por lo tanto, para que las estimaciones e inferencias sean válidas, es necesario que se satisfagan sus supuestos. Estrada *et al.* muestra que, dadas las características de series de tiempo de las variables climáticas, al aplicar métodos de reducción de escala utilizando herramientas automáticas se presenta el fenómeno de regresión espuria en más de 90% de los casos. En esta circunstancia, los patrones espaciales y las magnitudes que se obtengan son arbitrarias y reemplazan la física incluida en los escenarios producidos por los modelos de circulación general.

Manejo de incertidumbre

El uso eficiente de recursos económicos para enfrentar el cambio climático en términos de adaptación, mitigación e impactos (remediación y prevención) depende de la cantidad, calidad e interpretación de la información (e incertidumbre) disponible (Gay y Estrada, 2010).

Gran parte de la relevancia de la ciencia desarrollada alrededor del cambio climático está en función de su utilidad para la toma de decisiones. Como se menciona en Schneider (2003), aunque en los últimos años se han logrado avances importantes en la modelación del clima, es necesario integrar la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones y desarrollo de políticas. Sin embargo, para esto último, es necesaria la estimación de probabilidades de los distintos escenarios que se construyan. Desafortunadamente, debido a la falta de metodologías adecuadas para el manejo de incertidumbre, una parte importante de la información que se está generando no está siendo

aprovechada de forma adecuada para la estimación del riesgo ni para la toma de decisiones (Estrada *et al.*, 2008).

Por último, es importante distinguir entre dos tipos de incertidumbre: aleatoria y epistémica. La primera se refiere a los casos en los que las probabilidades se pueden establecer mediante la observación y repetición de experimentos aleatorios y la segunda, a los casos en los que el resultado de un experimento es incierto porque existe conocimiento limitado, información incompleta o falta de comprensión.

A pesar de que es claro que la incertidumbre en cambio climático es de tipo epistémica, la mayoría de los métodos actuales están basados en un enfoque *frecuentista* que no es capaz de proveer estimaciones razonables de las probabilidades y, mucho menos, permiten alcanzar el *enfoque de manejo de riesgo* que se pretende.

Como se menciona en Gay y Estrada (2010) y Estrada (2008) es importante recordar que las frecuencias y las probabilidades guardan una estrecha relación pero que, sin embargo, son conceptos distintos. Desde la perspectiva *frecuentista*, la probabilidad *objetiva* de un evento, que sea empíricamente medible mediante la observación de un experimento aleatorio, puede aproximarse por frecuencias relativas cuando el número de repeticiones tiende al infinito.

Las predicciones obtenidas al asignar una distribución de probabilidades en esta forma son, en principio, verificables y si las probabilidades fueron asignadas correctamente deben representar de manera adecuada las variaciones de la variable aleatoria de interés (ver Jaynes, 1957). Por lo tanto, la asignación de probabilidades por medio de frecuencias relativas a los distintos escenarios de cambio climático presentan los siguientes inconvenientes:

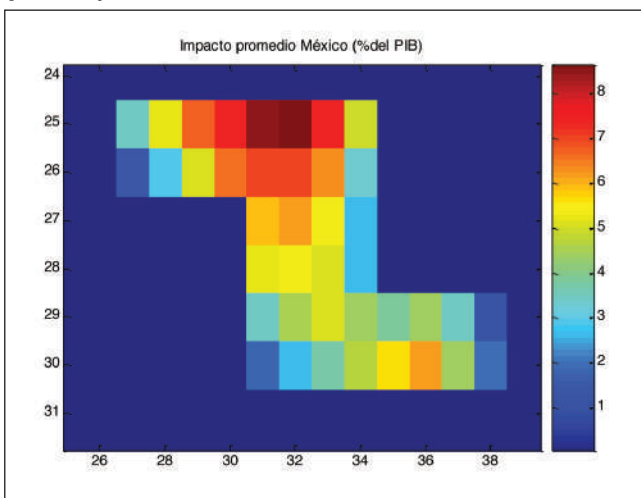
- El evento en estudio no es observable y no puede ser medido de forma empírica (ver Kinzing *et al.*, 2003).
- El conjunto de salidas de los modelos no se puede considerar como generada mediante un experimento aleatorio ya que, entre otras cosas, implicaría la realización de un cierto número de repeticiones bajo las mismas condiciones, el uso de diferentes escenarios de emisiones (y/o modelos) no lo permite.

- Sólo existe un número pequeño disponible de salidas de modelos de circulación general con el cual se pretende estimar probabilidades mediante frecuencias relativas. En este sentido, es conveniente recordar que, por ejemplo, cuando se quiere aproximar la distribución de una variable no muy sencilla mediante métodos de Monte Carlo, por lo general se requieren varios miles de realizaciones. Más aún, cuando se revisan con cuidado las gráficas de emisiones y temperaturas futuras mostradas en el *Tercer reporte de evaluación* del IPCC (2001), se puede observar que los escenarios tienden a formar *clusters* y producen *agujeros* para algunos rangos de valores. Usando el enfoque *frecuentista*, estos agujeros implican probabilidad 0 para algunos intervalos y, claramente, no existe ninguna razón física para que eso ocurra. ¿Es imposible que haya un aumento de entre, supongamos, 4.5 y 5.8° C pero sí de 4 ó 6° C? Es evidente que esto es el producto de un problema de muestreo. Este problema no es trivial y podría generar sesgos importantes en la distribución que se pretende aproximar por frecuencias relativas.
- No se puede verificar el ajuste de la distribución de probabilidades ya que no existen observaciones para, por ejemplo, el 2100.
- Los escenarios de cambio climático pueden tender a agruparse alrededor de un valor particular debido a que están basados en la misma información y a que los modelos que los produjeron comparten las mismas estrategias de modelación y no porque ese valor en particular sea más probable. De alguna manera, es similar a pensar de que el hecho de que una noticia aparezca en dos medios distintos, que comparten la misma fuente, la haga más creíble (Allen, 2003).

Impactos de cambio climático en la economía

La estimación de los impactos potenciales de cambio climático en la economía ha sido, desde hace décadas, un tema de constante investigación y debate. Una de las principales motivaciones de tales estudios es promover la toma eficiente de decisiones sobre la conveniencia de aplicar políticas de mitigación y adaptación.

Figura 4
Impacto promedio del cambio climático para México (como porcentaje del PIB) en el 2100



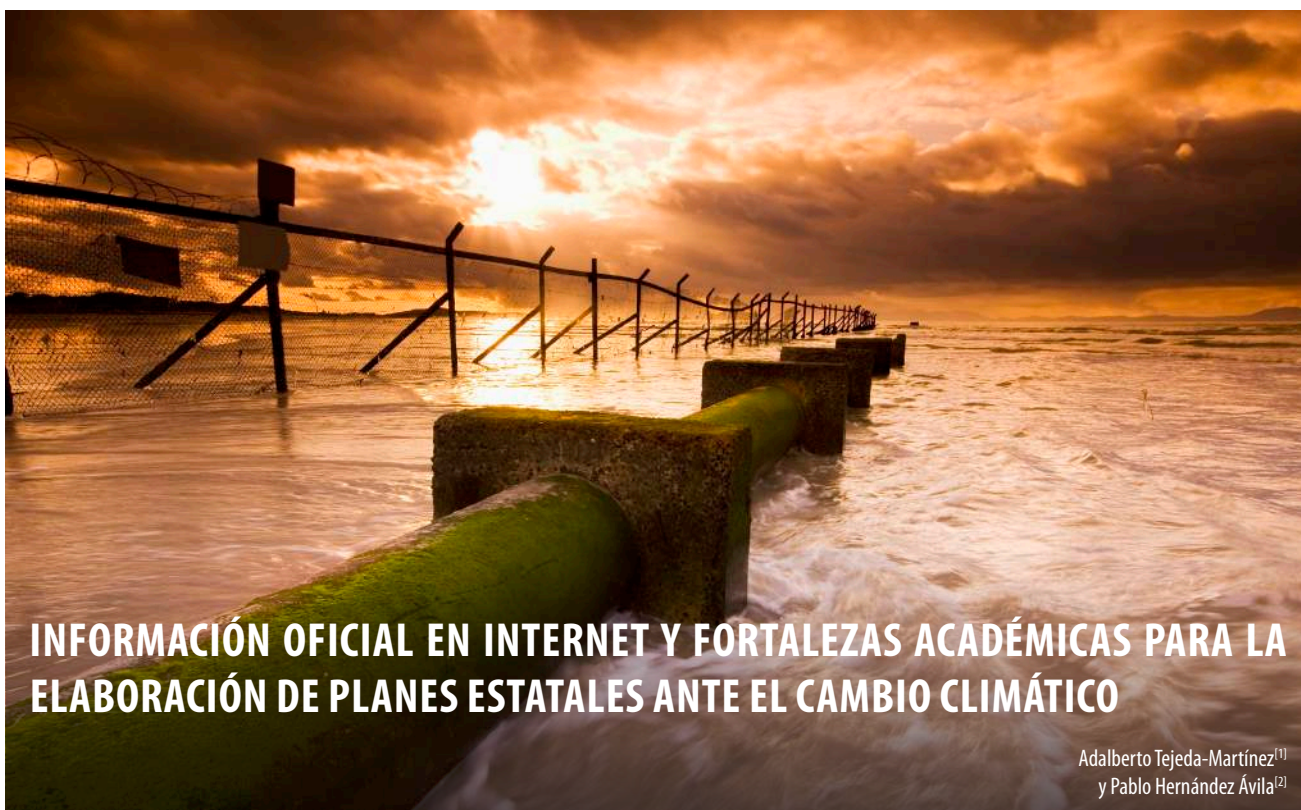
Nota: la resolución espacial del modelo es de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$.

Uno de los estudios más importantes en el tema es el *Reporte Stern*, en el cual se estima que los impactos potenciales de cambio climático representarán pérdidas en el producto interno bruto (PIB) mundial de entre 5 y 20% anual todos los años, desde ahora y para siempre.

Para el caso de México, en el documento *La economía del cambio climático en México* (SEMARNAT-SHCP, 2009) se estima que los impactos de cambio climático acumulados desde ahora hasta el 2100 representarían tan sólo alrededor de 7.68% del PIB actual del país. Las estimaciones obtenidas utilizando el modelo de evaluación integrada del Centro de Ciencias de la Atmósfera muestran que los impactos potenciales de cambio climático para México acumulados hasta el 2100 podrían ser considerablemente mayores, representando alrededor de 20 veces el PIB actual de México (ver figura 4). ■

Referencias

- Allen M. R. (2003). Possible or probable? *Nature*, 425:242.
- Estrada, F., V. M. Guerrero y C. Gay. A Cautionary Note on Statistical Downscaling Methods for Climate Change. Enviado a *Climatic Change*.
- Estrada F., C. Gay y C. Conde (2008). *Un nuevo enfoque para la construcción de escenarios probabilísticos de cambio climático*. VI Congreso de la Asociación Española de Climatología.
- Gay C. y F. Estrada (2010). Objective probabilities about future climate are a matter of opinion. *Climatic Change*, 99 (1-2) 27-46.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: Synthesis Report 2001. Contribution of Working Group I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (R. T. Watson and the Core Writing Team eds.). Cambridge, Cambridge University Press, 397 pp.
- Jaynes, E. T. (1957). Information theory and statistical mechanics. *Phys Rev.* 106(4):620-630.
- Kinzig, A., D. Starrett, K. Arrow, S. Aniyar, B. Bolin, P. Dasgupta, P. Ehrlich, C. Folke, M. Hanemann, G. Heal, M. Hoel, A. M. Jansson, B-O. Jansson, N. Kautsky, S. Levin, J. Lubchenco, K-G. Mäler, S. W. Pacala, S. H. Schneider, D. Siniscalco, B. Walker (2003). Coping with uncertainty: a call for a new science-policy forum. *Ambio*, 32: 330-335.
- Meehl, G. A., T. F. Stocker, W. D. Collins, P. Friedlingstein, A. T. Gaye, J. M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J. M. Murphy, A. Noda, S. C. B. Raper, I. G. Watterson, A. J. Weaver, Z-C. Zhao (2007). Global climate projections, in: Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller (eds.). *Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel On Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Schneider, S. H. (2003). Imaginable surprise, in: Potter T. D. y B. Colman (eds.). *Handbook of weather, climate and water: atmospheric chemistry, hydrology, and societal impacts*. New York, Wiley.
- Schneider, U., A. Fuchs, A. Meyer-Christoffer y B. Rudolf (2008). *Global Precipitation Analysis Products of the GPCC*. Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), DWD, Internet publication, 1-12. www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU4/KU42/Publikationen/GPCC_intro_products_2008,temp/ateld=raw,property=publicationFile.pdf/GPCC_intro_products_2008.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2009). *La economía del cambio climático en México*. México, DF, SEMARNAT-SHCP.



INFORMACIÓN OFICIAL EN INTERNET Y FORTALEZAS ACADÉMICAS PARA LA ELABORACIÓN DE PLANES ESTATALES ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Adalberto Tejeda-Martínez^[1]
y Pablo Hernández Ávila^[2]

Se presentan los pasos fundamentales para la elaboración de programas o planes estatales de acción ante el cambio climático. De ahí se deducen los insumos de información mínima requerida. Se realizaron búsquedas en Internet de las fuentes de información, que arrojaron más de 50 ligas de información útil. Se ejemplifican temas en los que es necesario aumentar la resolución de la información disponible en Internet, y otros que requieren de la obtención de datos mediante trabajo de campo. Paralelamente, se presenta un diagnóstico preliminar de las fortalezas académicas fundamentales por estado para comprender, difundir y prevenir las posibles consecuencias del cambio climático a escala estatal.

Palabras clave: cambio climático, información para estrategias ante el cambio climático.

Fundamental steps in order to prepare state programs or plans of action before climate change are presented. From these the minimum of required information for each topic is deduced. The sources of that information were looked for in Internet; this search produced more than fifty useful web links. This paper shows examples of topics where is necessary increase resolution on available information in Internet, or is needed fieldwork for obtain it. Moreover, it is presented a preliminary per state diagnostic of academic capacities for understand, spread ideas, and prevent the possible state scaling consequences of climate change.

Key words: climate change, strategies for climate change.

[1] Doctor en Geografía y maestro en Geofísica por la UNAM; licenciado en Ciencias Atmosféricas por la Universidad Veracruzana (UV), con especialización en saneamiento ambiental (República Federal de Alemania). Es director general de Investigaciones del Grupo de Climatología Aplicada, coordinador del Plan Estatal de Acción Climática y profesor de la Licenciatura en Ciencias Atmosféricas de la UV. Es miembro SNI (atejeda@uv.mx).

[2] Licenciado en Ciencias Atmosféricas de la UV y estudiante de Maestría en Ciencias de la Tierra por la UNAM. Fue asistente de investigador en el tema de variabilidad de la precipitación en el este de México (pavlo.havila@gmail.com).

Nota: los autores agradecen a José Abraham Torres Alavez, Eduardo Robelo González, Ana Gabriela Moguel Flores, Gabriela Díaz Félix, Maryam Nava Assad y Pablo Ortiz Brito por el rastreo de las fuentes de información en la red.

Introducción

A finales del 2009, aproximadamente la mitad de las entidades federativas del país se encontraban en alguna fase de la elaboración de su programa o plan estatal ante el cambio climático. Esos trabajos, en gran medida, han sido impulsados desde el INE de la SEMARNAT, que puso a disposición vía Internet una *Guía para la elaboración de programas estatales de acción ante el cambio climático*^[3], la cual contiene una lista exhaustiva, aunque incompleta, de las acciones para tales propósitos. Se reproducen aquí de manera abreviada:

Conformación de un grupo técnico responsable de la elaboración del PEACC, así como difusión del proyecto ante actores clave del gobierno y la sociedad civil.

Identificación de grupos versados en climatología, química, energía, economía, cambios de usos de suelo, agricultura, ganadería, pesca, biodiversidad, transporte, urbanismo, demografía, hidrología, costas, vivienda, legislación, aspectos sociales y culturales (incluyendo un enfoque de género).

Clasificar los grupos en tres categorías: expertos locales, habilitados locales con necesidades de asesoramiento experto y expertos externos.

Organización del grupo multidisciplinario en subgrupos de trabajo que atenderán las componentes del plan o programa: 1) escenarios de cambio climático, 2) inventario y escenarios de emisiones de GEI y 3) vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en los temas o aspectos que se consideren prioritarios para el estado.

Descripción detallada del clima estatal (un atlas climático o sistema de información climática estatal) que será el escenario base, y de la geografía (humana, económica y física), incluyendo programas y planes de desarrollo.

Identificar las fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades de los sectores económicos, sociales y medioambientales prioritarios del estado.

Establecer la línea base, es decir, la perspectiva que tienen los actores de cada sector acerca del desarrollo futuro de éste sin considerar el cambio climático. Sobre esta línea base se recomendarán medidas de mitigación de GEI o adaptación al CC.

Recopilar información sobre las fuentes de emisiones de GEI de las categorías consideradas por el IPCC, en sus guías revisadas de 1996 y 2006.

Obtener una reducción de escala de los modelos de circulación general para las décadas 2020, 2050 y 2080 y generar escenarios de temperaturas extremas y humedad con métodos estadísticos.

Para estados costeros, generar escenarios de elevación del nivel del mar para las décadas 2020, 2050 y 2080.

Detectar las tendencias históricas en temperatura y precipitación en busca de la huella del CC.

A la brevedad posible entregar a los grupos de trabajo escenarios climáticos a escala local de emisiones y de nivel del mar (incluyendo humedad y temperaturas extremas), para que generen los escenarios correspondientes a cada sector estudiado.

Los escenarios se discutirán en reuniones de los participantes en el proyecto con la visita de revisores externos. Los productos parciales constarán de un resumen y un documento extenso, con un apartado de recomendaciones de adaptación o mitigación (sin esto último el documento no es útil para el PEACC).

La evaluación del PEACC requiere la definición de indicadores que permitan su seguimiento.

Si bien los modelos climáticos pueden generar escenarios para varias décadas a futuro, las medidas que proponga el PEACC deben considerar un horizonte temporal de dos a tres periodos gubernamentales estatales completos.

Es recomendable que el PEACC tenga un enfoque de manejo integral de riesgo.^[4]

[3] Tejeda-Martínez, A. y C. Conde-Álvarez (coordinadores), 2009. Guía para la elaboración de programas estatales de acción ante el cambio climático, en: <http://www.ine.gob.mx>

[4] Aragón-Durand, 2008. / http://www.google.com.mx/search?hl=es&rlz=1T45NYO_esMX327MX327&q=Estrategias+de+protecci%C3%B3n+civil+y+gesti%C3%B3n+de+riesgo+hidrometeorol%C3%B3gico+ante+el+cambio+clim%C3%A1tico%2C+INE&meta=&aq=f&aq=

En suma, la elaboración de un PEACC comprende la organización de grupos académicos o de profesionales, realizar análisis de la situación actual y las perspectivas de las emisiones de GEI, así como de la climatología estatal para, por último, establecer diagnósticos y escenarios por tema o renglón de las actividades económicas y sociales más importantes, respondiendo, básicamente, a cuatro preguntas fundamentales: **¿dónde se está ahora? (diagnóstico), ¿a dónde se quiere ir? (misión, visión y objetivo), ¿cómo se va a llegar allí? (programa estratégico), ¿cómo se sabe cuándo ya se ha llegado?** (evaluación).

A continuación se describe la disponibilidad en Internet de información por cada uno de ellos, divididos en tres grandes grupos: clima y emisiones de GEI, información para la adaptación y fortalezas académicas.

2. Clima y emisiones de GEI

2.1 Escenarios, variabilidad y detección del CC

Es conveniente empezar por explorar la correlación entre variables meteorológicas e índices de las oscilaciones atmosféricas que más influencia tienen sobre fenómenos meteorológicos de nuestras latitudes: ENSO y la PDO.

Datos de los índices de las oscilaciones se encuentran disponibles en la página del Climate Prediction Center.^{[5],[6]} Este organismo también provee datos de precipitación estimados mediante reanálisis, con una resolución espacial de un grado de latitud por uno de longitud, cubriendo el periodo 1948 al 2005. Temperaturas máxima y mínima, así como precipitación observados están disponibles en la base de datos CLICOM (que no se encuentra en línea). Para la validación de estos datos es importante contar con metadatos, como los registros originales, y eventualmente las bitácoras de los observatorios meteorológicos. Además, es necesario tener la ubicación de los puntos de medición para detectar *inhomogeneidades* debidas al cambio del entorno a lo largo del tiempo.

[5] <http://jisao.washington.edu/pdo/>

[6] http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/Nino_3_3_4_indices.html

Para escenarios climáticos, se pueden deducir condiciones estales a futuro a partir de escenarios nacionales, como los propuestos por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.^[7]

Por otra parte, para escenarios agrícolas, consumo energético y potencial de energía solar, se requieren datos de humedad atmosférica, temperaturas extremas y estimaciones de humedad o temperaturas horarias medias mensuales, que pueden calcularse con los procedimientos propuestos por Tejeda (1991)^[8], Tejeda-Martínez y García-Cueto (2002)^[9] y Tejeda-Martínez *et al.* (2008)^[10], presentados en la tabla 1.

2.2 Inventarios y escenarios de emisiones

Energía: consumo de combustibles fósiles (transporte y de fuentes fijas), emisiones fugitivas de metano por las minas de carbón y la producción de petróleo y gas. Los datos de minería vienen por estado para el 2007^[11], los de petróleo y gas se obtienen de la página de la SENER.^[12]

Procesos industriales: emisiones resultantes por fabricación de productos (cemento, acero, químicos, alimentos, etcétera). Los datos disponibles son del 2007 y se encuentran en SEMARNAT.^[13]

Solventes: las emisiones de COVDM por la fabricación de pinturas y lacas; la información se encuentra disponible en el INE (datos de 1999).^[14]

Agricultura: las emisiones de metano y óxido nitroso provenientes de las actividades agropecuarias pueden ser calculadas a partir de los datos de SAGARPA.^[15]

Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura: emisiones y captura de CO₂ por estas actividades; se tienen datos de la SEMARNAT^[16] para 1999.

[7] http://www.atmosfera.unam.mx/gclimatico/index.php?option=com_content&view=article&id=44&Itemid=63

[8] Tejeda, A. (1991). An exponential model of the curve of mean monthly hourly air temperature. *Atmósfera*, Vol. 4: 139-144, disponible en: http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/atmosfera/acervo/vol_4_3/02.pdf

[9] Tejeda-Martínez, A. y García-Cueto, O.R. (2002). A comparative simple method for human bioclimatic conditions applied to seasonally hot/warm cities of Mexico. *Atmósfera*, Vol. 15:55-66, disponible en: http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/atmosfera/acervo/vol_15_1/04.pdf

[10] Tejeda-Martínez, A., C. Conde y L. Valencia-Trevizo (2008). Climate change scenarios of extreme temperatures and atmospheric humidity for Mexico. *Atmósfera*, Vol. 21:357-372, disponible en: http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/atmosfera/acervo/vol_21_4/04.pdf

[11] http://www.economia-dgm.gob.mx/dgpm/doctos/anuario/Anuario_2007.pdf

[12] <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/index.jsp?id=380>

[13] <http://app1.semarnat.gob.mx/retc/retc07/pre/retc07/index.php>

[14] <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/458/fuentesdeareaa.pdf>

[15] <http://www.sagarpa.gob.mx/delegaciones/inicio/Paginas/default.aspx>

[16] http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/img/cap2.pdf

Tabla 1
Resumen de ecuaciones para estimar temperaturas extremas, humedad relativa e irradiación global, ante escenarios de cambio climático.

Variable	Ecuación	Correlación lineal entre datos estimados y observados	Error estándar de estimación
Temperatura máxima extrema mensual (°C), a partir del escenario de temperatura media (Tm2).	$20.6+0.69* Tm2$	0.76	3.0° C
Temperatura mínima extrema mensual (°C).	$-20.5+1.2* Tm2$	0.84	4.1° C
Temperatura máxima media mensual (°C).	$10.7+0.8* Tm2$	0.89	2.1° C
Temperatura mínima media mensual (°C).	$-8.5+1.09* Tm2$	0.93	2.1° C
Incrementos en humedad específica (g/kg), a partir de las temperaturas, precipitaciones e irradiaciones base (Tm1, Pm1 y S1) y los escenarios futuros (Tm2, Pm2 y S2)	$Dq=0.64*(Tm2-Tm1) + 0.0007*(Pm2- P1) - 0.016*(S2- S1)$	0.86	2.2 g/kg
Temperatura horaria (Thor) media mensual, a partir de las medias mensuales de temperaturas mínima y máxima.	$Thor = Tmin + (at^{b e^{ct}})(Tmax - Tmin)$ $a = 0.096, b=2.422, c=-0.339$, e es la base de los logaritmos naturales y t es la hora del día medida a partir del amanecer	0.91	1.3° C
Humedad relativa (fhor) horaria media mensual, a partir de las humedades relativas máxima y mínima medias mensuales.	$fhor = fmin + (1-at^{b e^{ct}})(fmax - fmin)$ $a = 0.096, b=2.422, c=-0.339$, e es la base de los logaritmos naturales y t es la hora del día medida a partir del amanecer	0.91	10%
Irradiación global en w/m2, a partir de las horas diarias medias mensuales de soleamiento heliográfico y astronómico (Sh y So); o de la frecuencia media mensual de días nublados (N), medio nublados (M) y despejados (D) entre el soleamiento diario medio mensual astronómico.	$Qgh = 17 + Qe (0.257 \cos \varphi + 0.504 Sh/So)$ $Qg_{DMN} = -10.34 + Qe (0.2834 \cos \varphi + 0.556 Sr)$, con $Sr = (N+D+N)/So$	0.91	20.3 w/m2

Desechos: emisiones de metano y CO₂ por la disposición en vertederos de relleno sanitario, en aguas residuales e incineración de los desechos industriales y hospitalarios se ubican en el *link* de la SEMARNAT^[17] para el periodo 1999-2000.

Transporte: se debe considerar la demanda proyectada de viajes de pasajeros y de transporte de mercancías, cambio de la actividad económica,

precios de los combustibles, mezcla de equipos de transporte, manejo logístico y planeación. Estos datos están disponibles en el *link* de la SCT.^[18]

No obstante la aparente abundancia de información, no siempre se cuenta con el detalle (estatal y por sector) y la secuencia temporal (mensual) deseable.

[17] http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/img/cap3.pdf

[18] <http://www.sct.gob.mx/uploads/media/ANUARIO-2007.pdf>

Como en otros casos, la información no siempre tiene la resolución espacial (por estado) ni temporal (por año) requerida.

3.5 Desastres

En este tema se deberá tener una base de datos que describa el impacto social y económico de los hidrometeoros extremos, empezando por la oferta de seguros a través de empresas privadas, información que no es de libre acceso en línea. En cambio, es posible acceder a los datos de los apoyos que se han otorgado a través del FONDEN^[43] para la reconstrucción ante declaratoria de desastres. La información aparece detallada por estado y cubre del 2004 al 2009. Dentro del SINAPROC, también se encuentra el resumen anual (del 2004 al 2008) de recursos destinados para la prevención de desastres a través del FOPREDEN.^[44]

En el portal electrónico del CENAPRED^[45] hay una serie de mapas con información socioeconómica de desastres naturales (aunque, con frecuencia, el acceso se bloquea)^[46] y una base de datos de desastres debidos a heladas, sequía, tormentas de granizo, tormenta de nieve, ciclones tropicales, frentes fríos e inundaciones; sin embargo, los periodos difieren de un fenómeno a otro, pero en general cubren de 1990 al 2000. La información es presentada por zonas del país y estados, pero no todos contienen número de damnificados, decesos y costo de los daños.

La FAPRACC^[47] contiene una base de datos que reporta las contingencias climatológicas por estado y por fenómeno desde el 2003 al 2005. Cabe señalar que esta institución dejó de operar con este nombre en el 2007 y continúa a partir del 2008 como Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACC). Sin embargo, en el *link* aún se maneja como FAPRACC.

El SICGAP^[48] presenta atlas de riesgos para la mayoría de los estados de la República, en especial para los costeros.

[43] <http://www.proteccioncivil.gob.mx/Portal/PtMain.php?nidHeader=2&nidPanel=335&nidFooter=22>

[44] <http://www.proteccioncivil.gob.mx/Portal/PtMain.php?nidHeader=2&nidPanel=127&nidFooter=22>

[45] <http://www.cenapred.gob.mx/es/Investigacion/RHidrometeorologicos/Estadisticas/>

[46] <http://atl.cenapred.unam.mx/website/EstudiosEconomicosSociales/IndicadoresSocioeconomicos2003/viewer.htm>

[47] http://fapracc.sagarpa.gob.mx/info/padr_benef.asp

[48] <http://www.sedesol.gob.mx/index/index.php?sec=802274>

3.6 Salud

Fundamentalmente se requieren datos de enfermedades asociadas a la mala calidad del agua y del aire, la incidencia y área de influencia de enfermedades transmitidas por vectores, el denominado *estrés térmico* para zonas en particular calurosas (cifras de pacientes y fallecidos por causas cardiovasculares, principalmente). El SINAIS^[49] cuenta con información sobre causas de muerte y total de defunciones, aunque no contiene un apartado para el tipo de enfermedades que interesan en este tema.

Además, la DGEPI, junto con el SINAIS^[50], presenta datos mensuales de enfermedades por vector para cada estado, cubriendo el periodo de 1985 al 2007. Esta información puede ser consultada por mes, fuente de notificación o grupo de edad. No obstante, para analizar impactos de fenómenos meteorológicos extremos, se requiere una resolución semanal o diaria.

3.7 Urbanismo, vivienda y demografía

Se deberá contar con información de disponibilidad de servicios básicos para la vivienda y sus características físicas (materiales de techos, muros, recubrimiento o pisos; orientaciones preferentes y porcentaje de superficie con ventanas, etcétera). Los datos de servicios básicos se encuentran por estados para 1990, 2000 y 2005; las características físicas, sólo para el 2000. Son datos proporcionados por el INEGI.^[51]

Es necesario, además, tener una base de datos que contenga los servicios de vías de comunicación, series de tiempo desde 1980 de las viviendas que se han construido, además de la exposición y afectación que sufren por hidrometeoros.

En cuanto a los aspectos sociales, se requiere, al menos, de dos décadas de datos de consumo de energía eléctrica, mortalidad, migración, nivel de escolaridad promedio, analfabetismo e índice de calidad de vida. Están disponibles por estado para cada año y lustro en las páginas del tercer informe de gobierno y del INEGI.^[52]

Una información relevante es la topografía urbana a cada 10 metros, sobre todo para efectos de planeación del crecimiento urbano y estimación

[49] <http://www.sinais.salud.gob.mx/estadisticasportema.html>

[50] <http://www.dgepi.salud.gob.mx/anuario/index.html#>
<http://www.sinais.salud.gob.mx/indicadores/basicos.html>
<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/documentos/vectores.pdf>

[51] <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=2420&e=&i>
<http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=2419&e=&i>

[52] http://www.informe.gob.mx/anexo_estadistico/pdf/3_2.pdf
http://www.informe.gob.mx/anexo_estadistico/pdf/3_3.pdf
<http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=124>

Figura 1
Densidad relativa poblacional de miembros del SNI; es decir, la media estatal entre media nacional (1.4 SNI por cada 10 mil habitantes). A los niveles 3 del SNI se les dio un peso de 1.5; 1.2 para los niveles 2; 1 para los niveles 1, y 0.7 para los candidatos

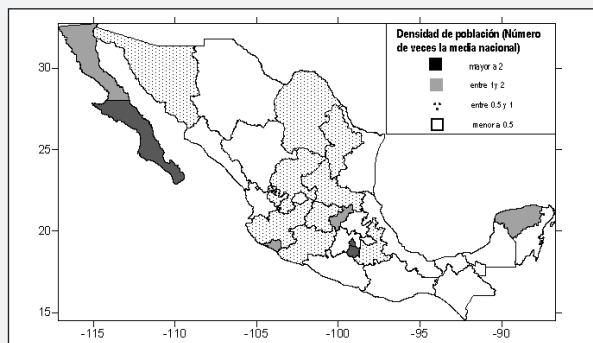


Figura 2
Densidad relativa territorial de miembros del SNI; es decir, la media estatal entre media nacional (7.5 SNI por cada mil kilómetros cuadrados). A los niveles 3 del SNI se les dio un peso de 2; 1.5 para los niveles 2; 1 para los niveles 1, y 0.7 para los candidatos (con este criterio la media nacional sería de 8.1 por km²)

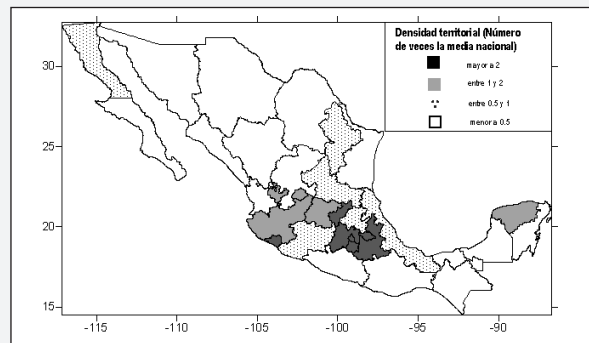


Tabla 2
Ejemplos de información disponible que requiere de acopio de archivos y puesta en bases de datos

Información	Entidad gubernamental que tiene la información	Resolución deseable
Asentamientos humanos e infraestructura en costas	Varios	Hasta 1 kilómetro tierra dentro, por estado
Series de tiempo de usos del suelo e incendios forestales	SAGARPA y CENAPRED	Anual desde 1980
Producción y siniestros agropecuarios	SAGARPA y CENAPRED	Anual desde 1980
Pérdidas humanas y económicas (incluyendo viviendas y su ubicación) por desastres debidos a hidrometeoros	CENAPRED	Anual desde 1990
Epidemiología	SSA	Semanal
Miembros del SNI, PROMEP, consultores y evaluadores del CONACYT	CONACYT y SEP	Por subdisciplina de conocimiento

Tabla 3
Ejemplos de información que requiere de acopio de datos en campo

Información	Entidad gubernamental que tiene la información	Resolución deseable
Captura de carbono	Varios	Especies marinas, capacidad de captura de suelos y especies no estudiadas
Topografía urbana	Gobiernos locales	Cada 10 a 20 metros
Inventarios estatales de flora y fauna	CONABIO, gobiernos locales	Por ecosistema

de la vulnerabilidad presente y futura ante hidrometeoros extremos. Estos datos se pueden obtener de muy diversas fuentes pero, como en muchos casos, deben ser calibrados con mediciones en campo.

3.8 Instituciones gubernamentales y sociedad civil

Las políticas ambientales, de protección civil, económicas, sociales, de fomento a la investigación y el desarrollo tecnológico, se encuentran en los sitios electrónicos del gobierno de cada estado.

También, es importante contar con información de las ONG^[53] en México, así como las cámaras industriales y empresariales^[54], para que el gobierno pueda —a través de estos organismos— activar, ejecutar y proveer actividades del PEACC.

4. Fortalezas académicas

La distribución territorial del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) permite una visión de la geografía de la investigación en México. Con casi 15 mil miembros en el 2009, entre una población de 107 millones de mexicanos, la media nacional es de casi 1.5 integrantes del SNI por cada 10 mil habitantes.

La densidad por cada 10 mil habitantes es muy alta en el Distrito Federal, Morelos y Baja California Sur (5.0, 3.2 y 2.2), seguidos por estados que rebasan la tasa de 1.0: Baja California, Colima, Querétaro y Yucatán. Un grupo intermedio lo forman aquéllos con una densidad entre 0.5 y 1.0 miembro del SNI por cada 10 mil y, por último, los que no llegan a tener 0.5 en cada 10 mil personas: Chiapas, Chihuahua, estado de México Durango, Guerrero, Nayarit, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz de Ignacio de la Llave (ver figura 1). Esta distribución es ligeramente diferente si se considera la densidad territorial (ver figura 2), cuya media nacional es de 7.5 integrantes del SNI por cada mil kilómetros cuadrados.

5. Conclusiones y recomendaciones

Como se puede ver a lo largo de este documento, en cuanto a clima y a emisiones la información disponible en Internet es prácticamente suficiente para una primera aproximación que acerque al conocimiento de estados iniciales y líneas base, así como a escenarios futuros.

En cambio, la información disponible para plantear estrategias de mitigación o de adaptación es deficiente, principalmente en cuanto a su resolución; para generar algunas bases de datos, sólo se requiere recopilar archivos e integrar las bases, como en los ejemplos de la tabla 2.

La tabla 3 presenta ejemplos que requieren de intensas campañas de obtención de datos en campo.

El INEGI, INE y otros organismos —como la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, el Consejo Consultivo de Cambio Climático (C4) y los gobiernos de los estados— pueden colaborar entre sí para la generación de un sistema nacional de información para el cambio climático que contenga datos desagregados a escala estatal.

Por otra parte, debe recordarse que, en última instancia, está la posibilidad de recurrir a la legislación federal o estatal de acceso a la información para allegarse los datos que sin restricciones legales es obligación gubernamental entregar a los interesados.^[55]

Finalmente, es notable la disparidad geográfica de fortalezas académicas. La mayoría de los estados tiene una densidad de integrantes del SNI menor a una vez la media nacional, ya sea poblacional o territorial. La población de estas entidades representa, aproximadamente, 80% de la población total del país. El fortalecimiento de las capacidades académicas de cada estado es una medida de adaptación lenta pero de largo alcance, cuyo impulso es impostergable. ■

[53] <http://www.direcologico.com/bio.swf> // <http://ong.tupatrocinio.com/mexico-p12.html>

[54] <http://www.conexionejecutiva.com/Oficinas/Lista/Spa/3/42/C/%c3%a1maras+Industriales>

[55] <http://www.ifai.org.mx/transparencia/LFTAIPG.pdf>

Siglas y acrónimos

C4	Consejo Consultivo de Cambio Climático
CC	cambio climático
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CNA	Comisión Nacional del Agua
CLICOM	<i>Climate Computing</i>
COFEPRIS	Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
COVDM	compuestos orgánicos volátiles distintos del metano
DGEPI	Dirección General de Epidemiología
GEI	gases de efecto invernadero
ENSO	<i>El Niño-South Oscillation (El Niño-Oscilación del Sur)</i>
FAPRACC	Fondo para Atender a la Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas
FONDEN	Fondo de Desastres Naturales
FOPREDEN	Fondo para la Prevención de Desastres Naturales
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Portuarias
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático)
ONG	organización no gubernamental
PACC	Programa de Atención a Contingencias Climatológicas
PDO	<i>Pacific Decadal Oscillation (Oscilación Decadal del Pacífico)</i>
PEACC	Plan Estatal de Acción Ante Cambio Climático
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SICGAP	Sistema de Consulta Geográfica de los Atlas de Peligros
SINAIS	Sistema Nacional de Información en Salud
SINAPROC	Sistema Nacional de Protección Civil
SNI	Sistema Nacional de Investigadores
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México



DATOS E INDICADORES PARA DETECTAR Y ATRIBUIR EVENTOS AL CAMBIO CLIMÁTICO: LOS REGISTROS HISTÓRICOS DEL CLIMA Y SU PROBLEMÁTICA

Manola Brunet India^[1]

En este ensayo se exploran y analizan los datos e indicadores requeridos para detectar y atribuir eventos al cambio climático, incidiendo especialmente en la disponibilidad, accesibilidad y problemática de los registros climáticos de largo recorrido, los cuales son una fuente de información básica e imprescindible en los que, en buena medida, descansan los estudios de detección y atribución de causas del cambio climático en la actualidad. Asimismo, se define el estado de la cuestión, interés y finalidades de los estudios de detección y atribución de causas del cambio climático y se discuten los datos e indicadores requeridos para la realización de dichos estudios. Se plantean los problemas de disponibilidad y calidad de la información de base que posibilita los estudios de detección y atribución.

Palabras clave: cambio climático, clima, series de tiempo de datos climáticos, indicadores climáticos.

The data and indicators required to detect events to the climatic change are explored and discussed in this essay, making especially emphasis in the availability, accessibility and problems of the long-time climatic registers, which are a fundamental and indispensable source of information for current studies of detection and attribution of causes of the climatic change. Besides, the interest, purposes and characteristics of the studies of detection and attribution of causes of the climatic change are defined, and the data and indicators required for the execution of such studies are discussed. The problems of availability and quality of the information that enable the studies of detection and attribution are also indicated.

Key words: climate change, climate, climate time series, climate indicators.

[1] Doctora en Geografía e Historia; profesora en la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona, España y co-directora del Open Programme Area Group de la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial donde conduce la Iniciativa MEDiterranean Data REscue; colabora con el Global Climate Observing System (GCOS) Atmosphere Observation Panel for Climate (AOPC) Surface Pressure Working Group (manola.brunet@urv.cat).

Estudios de detección y atribución de causas del cambio climático

En la comunidad científica existe una creciente preocupación acerca de la alta probabilidad que el clima, tanto en su comportamiento medio como extremo, esté cambiando como resultado del forzamiento antrópico asociado al incremento de gases efecto invernadero (GEI), los cuales perturban el balance de radiación y la disponibilidad de calor del sistema climático global. No obstante, la variabilidad natural del clima enmascara la huella de la influencia humana y complica la detección y atribución de causas del cambio climático; por ejemplo: la ocurrencia de extremos climáticos, como la inusual ola de calor acaecida en Europa durante el verano del 2003. Este evento individual no puede ser directa y simplemente atribuido al forzamiento antropogénico si no se demuestra que el mismo no pudiera haber ocurrido de forma natural.

Como es sabido, la detección se refiere a la identificación de cualquier cambio (i.e. una tendencia en una serie de temperaturas, un acontecimiento meteorológico extremo) presente en un registro climático, el cual es estadísticamente distinguible de cualquier otra ocurrencia previa observada en esa misma serie temporal durante periodos comparables. Además, la detección y atribución de causas involucra, también, la valoración de los cambios observados en relación con los que son esperables que ocurrieran en respuesta a cualquier forzamiento climático externo.

De tal manera que, la detección de cambios en los extremos climáticos requiere demostrar que se han verificado transformaciones estadísticamente significativas en las propiedades de los extremos climáticos o en el estado medio de cualquier variable climática durante el periodo analizado; mientras que, la atribución relaciona esos cambios detectados a las variaciones en los mecanismos de forzamiento climático, como: los GEI, la radiación solar o el forzamiento volcánico (Gutowski *et al.* 2008). Por ello, la atribución constituye un avance para identificar las causas físicas subyacentes en los cambios detectados en los extremos climáticos o en el estado medio

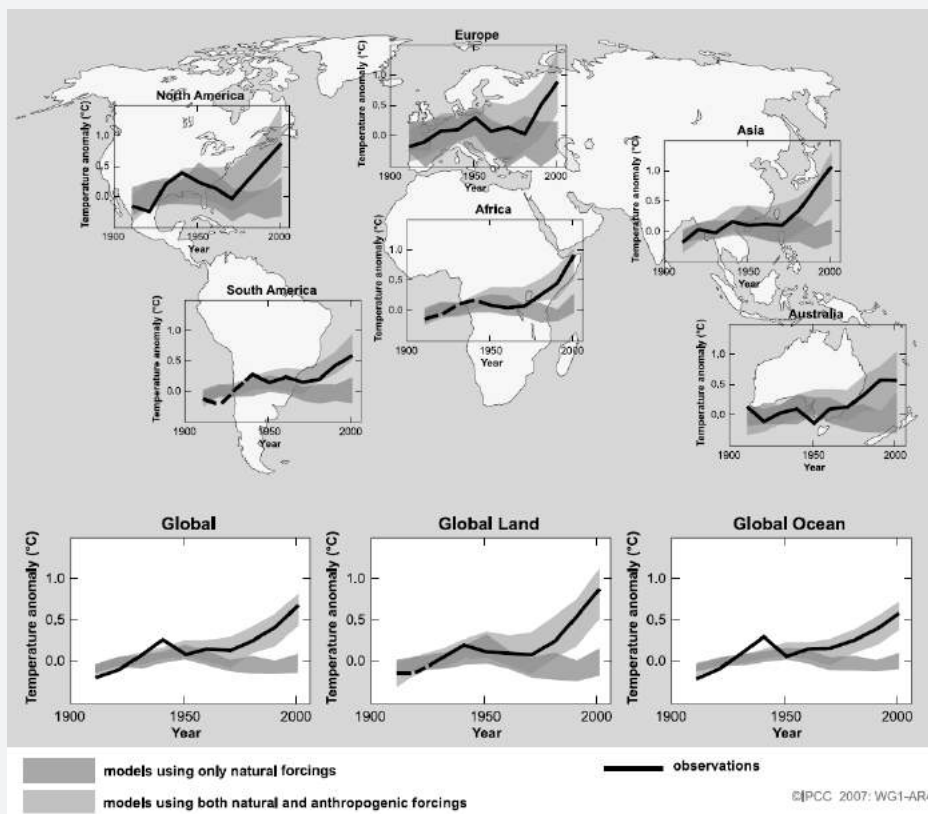
del clima. Además, la atribución de causas siempre compara cuantitativamente las simulaciones de modelos climáticos con las observaciones para contrastar los cambios esperables debidos al conocimiento físico actual integrado en los modelos con aquellos que han sido observados. Esto posibilita, también, una evaluación de las habilidades técnicas y resultados de los modelos climáticos y ayuda a constreñir las proyecciones del cambio futuro realizadas con dichos modelos. Por ello, los estudios de detección y atribución constituyen el proceso de comprobación de si un cambio observado es probable que se haya producido de forma natural (sin forzamiento antrópico) o expresado de otra forma: un cambio observado es detectado en los registros de una variable climática si su probabilidad de ocurrencia de forma natural o sin forzamiento antrópico es pequeña. En la figura 1 se compara la evolución térmica global y continental observada en los últimos ~150 años con las simuladas por los modelos climáticos forzados sólo con factores naturales y con éstos más el forzamiento de los GEI, evidenciando que el calentamiento observado a escala global desde finales de la década de los 70 no puede explicarse si no se añaden los factores de forzamiento antrópicos, según el último informe del Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (2007).

Como señala el informe del Programa de Ciencia del Cambio Climático de Estados Unidos de América (CCSP) (2008), las evaluaciones realizadas a escala global usando técnicas de detección espacio-temporales han identificado robustamente la influencia del forzamiento antrópico en el cambio observado de las temperaturas globales durante el siglo XX, en la humedad atmosférica (Willett *et al.* 2007) o en la precipitación global (Zhang *et al.* 2007). También, a escalas menores que la global (continentales) se han realizado estudios para detectar la influencia humana sobre el cambio observado de la temperatura del aire en Norteamérica, tanto para el conjunto del siglo XX (Stott, 2003) como para los últimos 50 años del pasado siglo (Zwiers and Zhang, 2003; Zhang *et al.* 2006), evidenciando que una parte substancial del calentamiento ha podido ser atribuido a la influencia humana (Hegerl *et al.* 2007).

Por otro lado, un simple razonamiento estadístico indica que cambios substanciales en la frecuencia, intensidad y/o duración de los extremos climáticos

Figura 1

Comparación entre la evolución global y continental de las temperaturas del aire observadas y simuladas por un modelo general del clima, sólo ante el forzamiento natural y añadiendo el forzamiento antrópico



Fuente: IPCC (2007).

pueden ser el resultado de una relativamente pequeña deriva en el promedio de la distribución estadística de las temperaturas, la precipitación o cualquier otra variable climática, por lo que cambios esperables, por ejemplo en las temperaturas, están en gran medida relacionadas, aunque no enteramente, a cambios en las temperaturas medias estacionales (Mearns *et al.* 1984; Katz and Brown, 1992).

Sólo en fecha reciente se han empezado a aplicar, de manera formal, estudios de atribución de causas en la ocurrencia de acontecimientos meteorológicos extremos también a la escala continental, como el observado incremento en los acontecimientos de precipitaciones de alta intensidad. Éstos han sido relacionados con el aumento en el contenido de vapor de agua en la atmósfera, el cual a su vez ha sido atribuido al calentamiento inducido antrópicamente (CCSP, 2008). Otros estudios

recientes de detección y atribución han sugerido que los cambios en los extremos térmicos deberían ser tan detectables como los cambios en el estado medio del clima térmico y que las alteraciones en los acontecimientos pluviométricos extremos serían aún más detectables que su cambio medio (Hegerl *et al.* 2004).

Una mejorada detección y atribución del cambio climático permitirá determinar hasta qué punto el forzamiento antrópico ha aumentado el riesgo en la ocurrencia de acontecimientos extremos individuales al establecer, para un mismo periodo de análisis climático y un predefinido nivel de confianza, la posibilidad de que ese acontecimiento hubiera podido producirse en ausencia del efecto humano (Allen, 2003). En este sentido, la influencia antrópica ha incrementado el riesgo de que un fenómeno extremo, como la mencionada ola de calor del

verano del 2003 en Europa, se haya aumentado por un factor de dos cuando se compara con el clima que habría existido en el caso de que sólo los factores naturales hubieran estado forzando el clima desde la década de los 90 (Stott *et al.* 2004).

Datos e indicadores requeridos para la mejoría de los estudios de detección y atribución de causas al cambio climático antrópico

Se ha puesto de manifiesto en la sección anterior que, para poder realizar estudios robustos de detección y atribución de causas del cambio climático, un requerimiento básico es disponer de series de tiempo observadas de las variables climáticas sobre las cuales se puedan examinar el carácter estadísticamente inusual de acontecimientos meteorológicos extremos y de cambios en el estado medio de la variable a explorar. Por ello, contar con datos instrumentales de largo recorrido y alta calidad constituye una necesidad básica y previa sobre los que se puedan basar dichos estudios de detección y atribución, ya que sin éstos no se pueden llevar a cabo ni esos análisis, ni otros muchos, en especial aquellos que exploran la variabilidad y cambio climático o los impactos derivados del clima actual forzado por las actividades humanas.

La sistemática vigilancia instrumental de la atmósfera desde la superficie terrestre ha producido las medidas observadas de las distintas variables meteorológicas, datos que han configurado las series de tiempo de los diferentes puntos de observación y variables climáticas registradas.

Estos registros históricos de variables o elementos climáticos (e.g. series de temperatura del aire, precipitación, presión, humedad atmosférica, etc.) constituyen —en caso de estar disponibles, accesibles y ser de calidad garantizada— la información de base más fiable en la que se puedan fundamentar los estudios de detección y atribución. No obstante, el registro instrumental del clima sólo permitiría documentar la evolución climática de los últimos ~200 años para algunas partes del planeta en los que la vigilancia instrumental es más antigua (e.g. Europa) o de los últimos ~150 años para la mayor parte del globo. Esta relativamente breve ventana temporal, comparada con la historia climática de nuestro planeta, podría ser insuficiente para evaluar la excepcionalidad de acontecimientos climáticos, en especial de aquéllos forzados por factores que actúan a escalas de tiempo mayores de las interdecadales.

Por ello, otro tipo de información indirecta de las condiciones climáticas del pasado, como las que ofertan los testigos *aproximados* del clima (e.g. anillos de crecimiento de los árboles, testigos de hielo, documentación histórica, corales, etc.) permiten extender más atrás en el tiempo el registro climático, cubriendo una fracción temporal muy variable dependiente del tipo de *proxy* utilizado. De este modo, contar con registros instrumentales de alta calidad y, además, con series de tiempo de testigos indirectos del clima, pese a las distintas características y resolución temporal que presentan, garantizarán la realización de estudios de detección y atribución de eventos para más largas ventanas temporales, como el análisis de Lutterbacher *et al.* (2004) sobre la variabilidad y tendencias de los extremos térmicos en Europa desde 1500 al presente.

No obstante que la información instrumental es la que actualmente se requiere más para fundamentar los estudios de detección y atribución, ésta se encuentra constituida por las series temporales más largas y fiables de las distintas variables climáticas, tanto en base mensual, para inspeccionar cambios singulares en la evolución del estado medio del clima, como a escala diaria, para evaluar cambios en los extremos climáticos y explorar su carácter excepcional. Por ello, la disponibilidad y accesibilidad a datos o registros climáticos de alta calidad es vital para sustentar más robustamente los estudios de detección y atribución, ya que las series de tiempo del clima posibilitan explorar la excepcionalidad de uno u otro acontecimiento climático en el contexto de la variabilidad temporal que las series de tiempo muestran.

Además, a partir de los datos históricos del clima, pueden derivarse otros indicadores de utilidad en los estudios de detección y atribución; por ejemplo: de la utilización de datos diarios de alta calidad y homogeneidad probada, el Grupo de Expertos sobre Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI, por sus siglas en inglés) —de la World Meteorological Organization (WMO), Commission for Climatology (CCI)/World Climate Research Programme (WCRP), Project on Climate Variability and Predictability (CLIVAR)/junto al WMO-Intergovernmental Oceanographic Commission of the United National Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology (JCOMM)— ha definido y formulado

un conjunto de indicadores climáticos extremos^[2] que se han aplicado para detectar el cambio en los extremos climáticos a escalas regionales (e.g. Aguilar *et al.* 2005; Peterson *et al.* 2008) y global (e.g. Alexander *et al.* 2006).

Los indicadores formulados por el ETCCDI tienen como virtudes el ser fáciles de calcular y actualizar, de interés y validez a escala global, regional y local; son sencillos de entender y comparar, al mismo tiempo que tienen un claro significado físico; además, presentan un alto ratio señal/ruido que les hace especialmente valiosos para la detección del cambio climático.

Por otra parte, la probabilidad de detección de tendencias en acontecimientos extremos depende de sus periodos de retorno y de la longitud de las series observacionales y como la estimación de tendencias para un conjunto finito y pequeño de ocurrencias —como lo son por definición los acontecimientos extremos— suele no alcanzar la robustez estadística requerida, el ETCCDI ha definido y usado índices o indicadores climáticos basados en su ocurrencia anual.

Los 27 índices clave desarrollados por este grupo internacional de expertos^[3] pueden clasificarse en cinco categorías: los índices basados en percentiles (umbrales relativos), índices absolutos, indicadores de umbral absoluto, indicadores de duración y otros índices (Alexander *et al.* 2006).

Los basados en la distribución percentil de los datos y que expresan la ocurrencia de valores de las variables meteorológicas que exceden un determinado percentil (e.g. precipitación diaria > percentiles 90, 95 ó 99; temperaturas máximas y mínimas diarias > percentiles 90, 95 ó 98 o < percentiles 10, 5 ó 2), los cuales recogen acontecimientos extremos que tienen una baja probabilidad de ocurrencia, son los que presentan un alto grado de detectabilidad y comparabilidad entre distintas localidades y regiones del planeta, al estar basados en umbrales fijos, aunque relativos a la distribución estadística de los datos y, por lo tanto, su uso en estudios de detección es más generalizable a distintas escalas espaciales.

No obstante, los estudios de detección y atribución de causas a escalas espaciales más pequeñas que la global o continental se hallan limitados actualmente

por la disponibilidad y accesibilidad a datos climáticos de calidad y homogeneidad demostrada. Un conjunto diverso de causas, hacen que, desafortunadamente, la información instrumental disponible —en especial a escalas regionales, subregionales y locales— no presente ni la calidad requerida ni sean suficientes como para apoyar los estudios de detección y atribución.

Además, problemas de interoperabilidad entre redes, los distintos formatos de los datos digitales y algunas restricciones al libre uso de la información climática también dificultan el acceso a la información disponible, lo que constriñe nuestra capacidad para comprender mejor la variabilidad climática. Los problemas con los registros históricos del clima se evalúan en la siguiente sección.

Problemas con los datos históricos del clima: una calidad y disponibilidad aún limitada

Pese a que la atmósfera del globo terráqueo ha sido regular y concienzudamente monitoreada por las redes y observatorios meteorológicos y se ha producido una enorme cantidad de información climática a distintas escalas temporales (de la horaria/diaria a la mensual/anual), desafortunadamente sólo una pequeña fracción de los datos observados se hallan disponibles en formato utilizable (digital) para la investigación, son accesibles y presentan la calidad suficiente para poder ser empleados con confianza en los estudios de detección y atribución a escalas menores que la global.

En efecto, todavía se dispone de menos datos de los que se requieren y, además, éstos no siempre presentan la calidad necesaria para basar más robustamente en ellos cualquier estudio climático, en especial los relacionados con la del análisis de la variabilidad y cambio climático.

Pese a los esfuerzos realizados en las últimas décadas por parte de organismos internacionales (e.g. WMO, Global Climate Observing System: GCOS, Global Earth Observation System of Systems: GEOSS), instituciones de investigación y observación (e.g. universidades y centros de investigación, servicios meteorológicos nacionales) o proyectos internacionales (e.g. the WMO MEditerranean DAta REscue Initiative – MEDARE^[4], the Atmospheric Reconstructions over the Earth – ACRE^[5], International Environmental Data

[2] <http://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php>

[3] http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/list_27_indices.html

[4] <http://www.omm.urv.cat/MEDARE/index.html>

[5] <http://www.met-acre.org/>

Rescue Organisation – IEDRO^[6]) en el campo del rescate y desarrollo de bases de datos climáticos de alta calidad, todavía se halla demasiado restringida la disponibilidad y accesibilidad a los mismos.

Una gran fracción de las observaciones meteorológicas se hallan sólo disponibles en formatos frágiles y perecederos (e.g. papel, microfichas, imágenes, soportes magnéticos obsoletos) y su localización está dispersa en diferentes tipos de fuentes y organismos (archivos, bibliotecas, centros de documentación, entre otros, tanto nacionales como internacionales). Pero, además, no sólo la información disponible y accesible es mucho menor que la que se requiere, sino que también una importante fracción de la existente carece de la calidad necesaria para su utilización en cualquier estudio o aplicación climática.

Por ello, todavía es vital fomentar las actividades de localización, recuperación y digitalización de las observaciones originales; en definitiva, el proceso de rescate de datos, el cual conlleva un conjunto diverso de técnicas y procedimientos a seguir para su eficiente volcado al formato digital.^[7]

También, las observaciones meteorológicas originales digitalizadas están sujetas a un diverso número de errores que han podido introducirse a lo largo del proceso de observación, transcripción a los cuadernos meteorológicos y transferencia a los archivos centrales de la red. Ello puede reducir, marcadamente, la calidad del dato observado/medido cuando éste es guardado en los archivos de una red meteorológica, por lo que los servicios centrales validan los datos recibidos desde los observatorios previo a su almacenamiento. No obstante, algunos errores pueden ser introducidos y amplificados a través de toda la cadena de transmisión de datos y de transferencia de los mismos a los usuarios finales. Debido a esto, aún se requiere comprobar que los valores individuales que forman una serie temporal de cualquier variable climática están libres, en lo posible, de cualquier tipo de error más allá de los controles establecidos por los servicios meteorológicos centrales.

Se ha desarrollado un conjunto amplio de pruebas para controlar la calidad de los registros individuales, sean éstos datos diarios, horarios o mensuales; entre otras, se encuentran las sugeridas en documentos y notas técnicas que, regularmente, la WMO publica como recomendaciones que se deben seguir por los

servicios meteorológicos de sus estados miembros o por cualquier científico trabajando en el campo del desarrollo de bases de datos de alta calidad (e.g. Aguilar *et al.* 2003).

Las pruebas diseñadas para controlar la calidad de los datos —es decir, para identificar aquellos valores potencialmente erróneos existentes en una serie temporal— tienen la finalidad de identificar y etiquetar como sospechosos los datos que no superan las pruebas de calidad a las que son sometidos, los cuales quedan etiquetados como valores dudosos y serán comparados, posteriormente, con la fuente original y el juicio experto para ser validados como valores creíbles o rechazados, quedando fuera del conjunto de datos.

Entre otros tipos de control de calidad^[8] a las que son sometidos los valores individuales que forman una serie temporal han sido aconsejados los siguientes:

- Verificación de grandes errores: valores aberrantes (e.g. precipitación negativa, temperaturas imposibles, etc.), consistencia con las fechas del calendario, derivas en comas y cadenas de datos consecutivos idénticos, entre otros.
- Pruebas de tolerancia: identificación de valores considerados *outliers* o valores extremos que quedan fuera del rango de variabilidad esperable para cada tipo de clima y que exceden unos límites climáticos inferiores y superiores previamente establecidos.
- Pruebas de consistencia interna: inspección de la coherencia entre los valores que adquiere el dato examinado y los valores que tienen otras variables relacionadas (e.g. temperatura máxima \leq temperatura mínima, día de lluvia sin nubosidad, temperatura del termómetro de bulbo seco \leq temperatura del termómetro de bulbo húmedo).
- Pruebas de coherencia temporal: examen de la consistencia entre valores consecutivos observados en cualquier intervalo que superen la cantidad de cambio esperable entre una observación y la siguiente (e.g. temperaturas diarias entre una observación y la siguiente superando 15° C).
- Pruebas de coherencia espacial: comparación de los valores observados de cualquier variable en una estación con los registrados en un grupo de estaciones vecinas y climáticamente relacionadas para establecer si dichos valores son consistentes espacialmente.

[6] <http://www.iedro.com/>

[7] Ver la guía de la WMO sobre rescate de datos climáticos (Tan *et al.* 2004).

[8] Ver las notas técnicas de la WMO (Aguilar *et al.* 2003 y Brunet *et al.* 2008).

En la figura 2 se muestra un ejemplo de la aplicación exitosa del software para el control de calidad de datos desarrollado por el ETCCDI^[9] a una serie de precipitación centroamericana en la que erróneamente se habían volcado valores de la humedad atmosférica en vez de los de precipitación y, a partir de la cual, se identificó una inesperada alta densidad de datos en las categorías de lluvias entre los 70-80 mm; los valores de humedad fueron identificados y substituidos por los correspondientes datos de precipitación (tomada de Aguilar *et al.* 2005).

Además de la aplicación de los controles de calidad a las series de datos, es necesario comprobar, también, que las variaciones y tendencias que la serie de tiempo inspeccionada responden, exclusivamente, al forzamiento de la variabilidad meteorológica y climática y que, por lo tanto, no están asociadas a otros factores artificiales y espurios, como: los inducidos

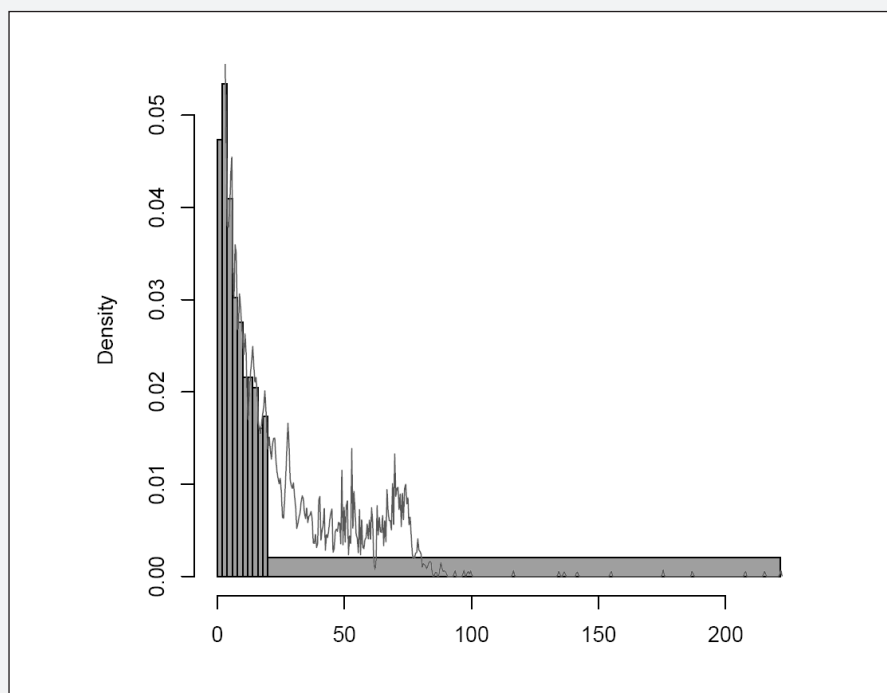
por cambios en el tiempo en la instrumentación, en las prácticas observacionales o en el entorno de los puntos de observación (e.g. Peterson *et al.* 1998).

Un amplio conjunto de factores artificiales pueden introducir rupturas puntuales o graduales en la homogeneidad de cualquier serie de tiempo que pueden ser de magnitud similar e incluso mayor que la verdadera señal climática. Entre los más destacados están los relacionados con los cambios a lo largo del tiempo en la instrumentación, exposición y protección de los instrumentos (e.g. substitución de equipos, cambios en los tipos de protectores de los termómetros), las relocalizaciones de los observatorios, las modificaciones en las prácticas observacionales (e.g. forma de estimar los promedios de una variable, cambios en las horas de observación de una variable) y los relacionados con las modificaciones del entorno de los observatorios (e.g. cambios en los usos y cubiertas del suelo: transformaciones agrícolas, deforestación, urbanización).

[9] <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/software.shtml>

Figura 2

Histograma (barras) y filtro de densidad de Kernel (línea) en el que se muestra la distribución de la precipitación acumulada para distintos intervalos de precipitación y se observa una inesperada alta densidad entorno a las clases 70-80 mm de lluvia diaria. Aplicación exitosa del software RclimDex del ETCCDI (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/software.shtml>) a una serie de precipitación centroamericana (Aguilar *et al.* 2005) en la que se habían introducido erróneamente datos de la humedad atmosférica en vez de valores de precipitación



Todos estos factores suelen introducir un sesgo de carácter puntual o abrupto (e.g. una relocalización del observatorio, la substitución de un viejo instrumento por otro nuevo) o gradual (e.g. tendencias forzadas localmente por la substitución de cubiertas del suelo o por la influencia de la isla de calor urbana), el cual deberá ser ajustado para poder asegurar que las variaciones contenidas en la serie de tiempo examinada sólo responden a derivas forzadas por el tiempo y el clima.

Es evidente que las estaciones y redes meteorológicas más antiguas se han visto afectadas a lo largo de su historia observacional por un abundante número de estos cambios, lo cual ha provocado, a su vez, que las series de las variables observadas presenten discontinuidades o rupturas de su homogeneidad más abundantes que las series cortas. La homogeneización de las series de tiempo afectadas por cualquier tipo de sesgo se convierte, así, en otra necesidad previa e imprescindible anterior a la utilización de los datos en cualquier estudio climático, especialmente en los estudios de detección y atribución de causas.

Un variado número de métodos se han desarrollado para testar la homogeneidad de las series y homogeneizarlas o ajustarlas, las cuales se hallan disponibles en la actualidad para su uso en el desarrollo de bases de datos de alta calidad y ajustadas a distintas escalas temporales. Las técnicas de homogeneización diseñadas para el ajuste de datos a la escala mensual son mucho más numerosas que las que recientemente se están definiendo y probando en el marco, por ejemplo, de la Acción Europea COST HOME, (*Advances in homogenisation methods of climate series: an integrated approach*)^[10], para homogeneizar datos en base diaria, escala en la que la estimación de ajustes presenta un mayor grado de complejidad.

Un claro ejemplo de la mejora que supone la homogeneización de series temporales del clima lo ofrece el estudio de Caussinus y Mestre (2004), en el que los autores desarrollan una propuesta y la aplican a la red de registros termométricos franceses. En la figura 3 se muestra la distribución espacial de las tendencias de la temperatura del aire en Francia, calculadas antes de haber homogeneizado los datos (figura 3a) y después de haberlos ajustado (figura 3b); como es patente cuando se comparan ambas, los datos inhomogéneos proporcionan una

incoherente distribución espacial de las tendencias, en la cual se evidencia el efecto *ojo de buey* en múltiples ocasiones, mientras que los datos ajustados presentan la esperable coherencia espacial de las tendencias térmicas estimadas.

El control de calidad y la homogeneización de las series temporales del clima es un proceso previo, ineludible y clave al uso de los datos, el cual nos asegurará que los resultados alcanzados por los diversos estudios climáticos, en especial los de detección y atribución de causas, en lo particular, y en lo general, los de cualquier análisis de la variabilidad climática son suficientemente robustos como para poder confiar en los mismos.

Conclusiones

Como se ha evidenciado en este ensayo, los estudios de detección y atribución de causas del cambio climático descansan, en gran medida, en la disponibilidad de datos y registros de alta calidad, los cuales deben estar libres de errores puntuales y, en particular, que sea posible probar que la serie temporal es homogénea.

Desafortunadamente, en la actualidad se cuenta con un menor número de registros de alta calidad de los que se requieren para basar con confianza los estudios y las aplicaciones climáticas, pese a que la atmósfera se ha estado vigilando de manera regular desde mediados del siglo XIX para la mayor parte del globo y con anterioridad en determinadas regiones del planeta (e.g. Europa).

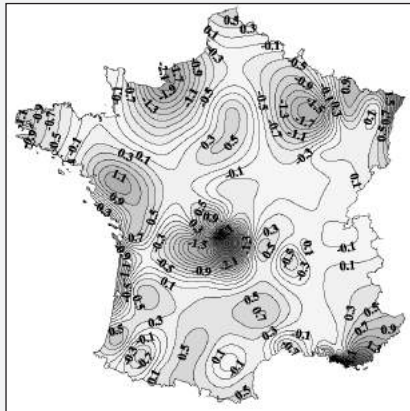
Hoy en día se dispone de menos registros que los que serían necesarios para llevar a cabo análisis fiables de la variabilidad y cambio climático a escalas menores que la global y continental y, muchas veces, los datos de los que disponemos presentan una dudosa calidad que hace al menos cuestionable su utilización en cualquier estudio climático, si previamente no han sido sometidos a procesos de control de calidad y verificación de su homogeneidad u homogeneización, en el caso de que se haya probado que el registro temporal examinado no es homogéneo.

También, la accesibilidad a los datos disponibles, la cual varía en cada país, es otro obstáculo por resolver: los distintos formatos que presentan los datos digitales requieren mucho tiempo para la transferencia al formato requerido para llevar a cabo los análisis. La incompatibilidad que a veces

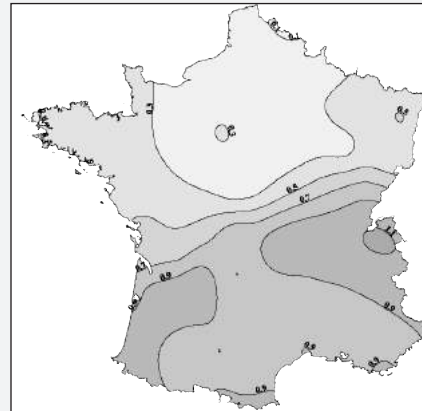
[10] <http://www.homogenisation.org/index.php>

Figura 3

Tendencias espaciales de la temperatura del aire en Francia antes (figura 3a) y después (figura 3b) de haber sometido a las series individuales a un proceso de homogeneización siguiendo la aproximación diseñada por Caussinus y Mestre (2004)



3a



3b

presentan las distintas bases de datos digitales y la escasa interoperabilidad actual entre redes meteorológicas nacionales, junto a la imposición de restricciones al libre acceso a la información con propósitos científicos constituyen la obstructiva problemática que tiene la comunidad científica y a la que se debe responder y resolver adecuadamente esto, si se pretenden mejorar los estudios de detección y atribución de causas del cambio climático e incrementar el conocimiento del reto ambiental más grave al que se enfrenta nuestro planeta. ■

Referencias

- Aguilar, E, I. Auer, Brunet M., T. C. Peterson y J. Wieringa (2003). Guidelines on climate metadata and homogenization. WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186. Geneve, World Meteorological Organization.
- Aguilar, E., T. C. Peterson, P. R. Obando, R. Frutos, J. A. Retana, M. Solera, J. Soley, I. G. Garcia, R. M. Araujo, A. R. Santos, V. E. Valle, M. Brunet, L. Aguilar, L. Alvarez, M. Bautista, C. Castanon, L. Herrera, E. Ruano, J. J. Sinay, E. Sanchez, G. I. H. Oviedo, F. Obed, J. E. Salgado, J. L. Vazquez, M. Baca, M. Gutierrez, C. Centella, J. Espinosa, D. Martinez, B. Olmedo, C. E. O. Espinoza, R. Nunez, M. Haylock, H. Benavides, R. Mayorga (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, Vol 10, No. D23, Washington (USA).
- Alexander, L. V., X. Zhang, T. C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A. M. G. K Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. R. Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D. B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci, J. L. Vazquez-Aguirre (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
- Allen, M. (2003). Liability for climate change: will it ever be possible to sue anyone for damaging the climate? *Nature*, 421(6926), 891-892.
- Brunet M., O. Saladié, P. Jones, J. Sigró, E. Aguilar, A. Moberg, D. Lister, A. Walther and C. Almarza. (2008). A case-study/guidance on the development of long-term daily adjusted temperature datasets. World Meteorological Organization, WMO-TD-1425/WCDMP-66, Geneva, 43 pp.
- Caussinus, H. and O. Mestre, (2004). Detection and correction of artificial shifts in climate series. *Applied Statistics*, 53, 405-425.
- CCSP, (2008). Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. [Thomas R. Karl, Gerald A. Meehl, Christopher D. Miller, Susan J. Hassol, Anne M. Waple and William L. Murray (eds.)]. Department

- of Commerce, NOAA's National Climatic Data Center, Washington, D.C., USA, disponible en <http://www.climate-science.gov/Library/sap/sap3-3/final-report/sap3-3-final-all.pdf>
- Gutowski, W. J., G. C. Hegerl, G. J. Holland, T. R. Knutson, L. O. Mearns, R. J. Stouffer, P. J. Webster, M. F. Wehner, F. W. Zwiers, (2008). Causes of Observed Changes in Extremes and Projections of Future Changes. Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands. T. R. Karl, G. A. Meehl, C. D. Miller, S. J. Hassol, A. M. Waple, and W. L. Murray (eds.). A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, DC.
- Hegerl, G. C., F. W. Zwiers, V. V. Kharin, and P. A. Stott (2004). Detectability of anthropogenic changes in temperature and precipitation extremes. *Journal of Climate*, 17(19), 3683-3700.
- Hegerl, G. C., F. W. Zwiers, P. Braconnot, N. P. Gillett, Y. Luo, J. Marengo Orsini, N. Nicholls, J. E. Penner, and P. A. Stott, (2007) [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller (eds.)]. Understanding and attributing climate change. *Climate Change 2007: The Physical Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK, and New York, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 663-745.
- IPCC, 2007: *Climate Change (2007)* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. The Physical Science Basis. Contribution of working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom and New York, NY, USA Cambridge University Press, Cambridge.
- Katz, R. W. and B. G. Brown (1992). Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. *Climatic Change*, 21(3), 289-302.
- Luterbacher, J., D. Dietrich, E. Xoplaki, M. Grosjean, H. Wanner (2004). European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes Since 1500. *Science*, 303: 1499-1503.
- Mearns, L. O., R. W. Katz, and S. H. Schneider (1984). Extreme high temperature events: changes in their probabilities with changes in mean temperature. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23(12), 1601-1613.
- Peterson Thomas C., Xuebin Zhang, Manola Brunet India, Jorge Luis Vázquez Aguirre (2008). Changes in North American extremes derived from daily weather data. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 113, D07113, doi:10.1029/2007JD009453
- Peterson, T. C., D. R. Easterling, T. R. Karl, P. Groisman, N. Nicholls, N. Plummer, S. Torok, I. Auer, R. Böhm, D. Gullett, L. Vincent, R. Heino, H. Tuomenvirta, O. Mestre, T. Szentimrey, J. Salinger, E. J. Førland, I. Hanssen-Bauer, H. Alexandersson, P. Jones, and D. Parker (1998). Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. *Int. J. Climatol.*, 18, 1493-1517.
- Stott, P. A. (2003). Attribution of regional-scale temperature changes to anthropogenic and natural causes. *Geophysical Research Letters*, 30(14), 1724, doi:10.1029/2003GL017324.
- Stott, P. A., D. A. Stone, and M. R. Allen (2004). Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*, 432(7017), 610-614.
- Tan L. S., S. Burton, R. Crouthamel, A. van Engelen, R. Hutchinson, L. Nicodemus, T. C. Peterson, F. Rahimzadeh (2004). Guidelines on Climate Data Rescue. WMO/TD, No. 1210, Geneva.
- Willett, K. M., N. P. Gillett, P. D. Jones, and P. W. Thorne (2007): Attribution of observed surface humidity changes to human influence. *Nature*, 449(7163), 710-712. doi:10.1038/nature06207
- Zhang, X., F. W. Zwiers, and P. A. Stott (2006). Multi-model multisignal climate change detection at regional scale. *Journal of Climate*, 19(17), 4294-4307.
- Zhang, X., F. W. Zwiers, G. C. Hegerl, N. Gillett, H. Lambert, and S. Solomon (2007). Detection of human influence on twentieth century precipitation trends. *Nature*, 448(7152), 461-465.
- Zwiers, F. W. and X. Zhang, 2003: Toward regional scale climate change detection. *Journal of Climate*, 16(5), 793-797.



GESTIÓN PÚBLICA TRANSVERSAL ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y CONCEPTOS EN MATERIA DE DETECCIÓN Y ATRIBUCIÓN

Benjamín Ortiz-Espejel^[1]
y Jorge Luis Vázquez-Aguirre^[2]

Se ofrece una reflexión crítica sobre la necesidad de desarrollar investigaciones de tipo sistémicas para enfrentar el cambio climático. El estudio de sistemas complejos es una propuesta metodológica que puede dar origen a la plataforma de conocimiento que demanda la actual situación del conocimiento y gestión del cambio climático en México. Desde una perspectiva sistémica, es posible construir políticas de transversalidad que se conviertan en los fundamentos empíricos orientados por un enfoque de sistemas complejos. En el modelo de gestión de las políticas de transversalidad para el cambio climático, la práctica científica interdisciplinaria nutre a la práctica política integradora con evidencias respaldadas por marcos teóricos sólidos que fundamenten la toma de decisiones. Esta tesis se ve complementada con los conceptos de detección y atribución del cambio climático y se ejemplifica el proceso de generación de información instrumental del clima para informar la toma de decisiones.

Palabras clave: gestión pública transversal, cambio climático, detección y atribución, sistemas complejos.

A critical analysis on the necessity to develop a systemic research in order to cope with climate change is presented. The study of complex systems is the proposed approach for the creation of a knowledge platform able to meet the needs in climate change management in Mexico. From a systemic perspective, it is possible to build transversal policies that become the empirical bases oriented by a complex system approach. In the model of management of the PTCC (políticas de transversalidad para el cambio climático) the interdisciplinary scientific practice provides inputs to the integrated political practice based on observed information, which in turn is feasible of being used in decision-making. The aforementioned is put into context with the concepts of climate change, detection and attribution are described to finally give an example about the type of instrumental climate information available for such processes.

Keywords: transversal public management, climate change, detection and attribution, complex systems.

[1] Doctor en Ciencias, miembro del SNI, con especialidad en manejo de recursos naturales; asociado del programa LEAD y de la Fundación Rockefeller. Consultor de las fundaciones Ford, Hilton y Kellogg, y Banco Mundial. Coordinador del Programa Interdisciplinario en Medio Ambiente de la UIA Puebla y coordina proyectos en México con el Reino Unido, el Instituto Nacional de Ecología y la UIA León (benjamin.ortiz@iberopuebla.edu.mx).

[2] Maestro en Ciencias de la Atmósfera por la Universidad Autónoma de México (UNAM). Es investigador doctorante en variabilidad y cambio climático en la Universidad de East Anglia del Reino Unido. Participa con el Instituto Nacional de Ecología y la UIA Puebla en el fortalecimiento de capacidades para la detección instrumental del cambio climático en México (j.vazquez-aguirre@uea.ac.uk).

Nota: se agradece la invitación INEGI-UNAM al Seminario de Cambio Climático y Estadística Oficial al CONACYT, la SEP, la Embajada Británica en México, el Instituto Nacional de Ecología, la Universidad Iberoamericana Puebla, la Universidad Veracruzana, el Servicio Meteorológico Nacional, miembros y colaboradores del grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático y al profesor Phil Jones de la Climatic Research Unit, UEA.

Parte I. Gestión pública transversal ante el cambio climático

1. Introducción

A pesar de la importancia reconocida desde hace más de 40 años sobre desarrollar aplicaciones metodológicas de tipo interdisciplinario a los problemas emergentes del ambiente, en los hechos existe mayor retórica que resultados concretos. De ello se deriva, en parte, que este tipo de enfoques no han logrado avances sustanciales al omitir la aplicación empírica de la práctica científica en experiencias que, finalmente, son de corte multidisciplinarias. Sus argumentos, por lo general, sólo hacen uso de una lógica binaria cuando lo que demanda el estudio de la práctica interdisciplinaria es un análisis *procesual* de, cuando menos, tres elementos (Castañares, 2009): a) la construcción del objeto de estudio *complejo*; b) el modelo de procesos interdependientes del sistema complejo y c) la reflexión de la práctica científica de un colectivo cognoscente.

Figura 1
Elementos del análisis triádico de la práctica interdisciplinaria



La propuesta sugerida para realizar una investigación de un sistema complejo es, por lo tanto, establecer la construcción conceptual de la relación entre estos tres elementos. El sujeto cognoscente no es un individuo; por *investigador* se hace referencia a una persona participando en un proceso colectivo y

multidisciplinario donde cada uno de sus integrantes domina una disciplina o especialidad pero, además, han aprendido a entender que no es un impedimento para trabajar con individuos formados en otras áreas del conocimiento si se cuenta con una metodología para ello. El objeto de estudio complejo es un *recorte de la realidad* orientado por el marco epistémico, es decir, por el conjunto de valores compartidos por el sujeto cognoscente. Por último, el modelo de sistemas complejos funciona como una hipótesis de trabajo del funcionamiento del sistema y que es puesta a prueba en la intervención empírica del equipo de investigación, o bien, de las políticas públicas.

Postulamos que este tipo de trabajo de investigación abre la posibilidad de contribuir a resolver problemas críticos, como los que hoy enfrentamos en cuestiones del cambio climático.

Asistimos, de esta manera, a una época donde el pleno potencial de los estudios multidisciplinarios no se ha alcanzado debido, en parte, a la profusión confusa de discursos inter- o transdisciplinarios. Asimismo, debe reconocerse que, en el grueso de los programas de formación profesional y de posgrado, domina una formación eminentemente disciplinar y fragmentario sin su complemento indispensable en un enfoque sistémico (Ortiz y Duval, 2008).

2. De la construcción del conocimiento a la política pública transversal

La producción del conocimiento científico occidental se ordena por unidades de análisis que vienen dadas por las comunidades académicas estructuradas en disciplinas y especialidades. Estas formas de organización del trabajo en la Academia repercuten en otros ámbitos de organización del trabajo de nuestra sociedad. "De esta forma [a través de enfoques *holísticos* y *sistémicos*] se ha abierto un proceso que cuestiona las formas de institucionalización y legitimación de un saber fraccionado (...) aplicado en las funciones sectorializadas de la planificación y de la administración pública..." (Leff Enrique, 1986).

Postulamos que las disciplinas y especializaciones provenientes de la ciencia *normal*, es decir de tipo reduccionista, se reproducen en los estilos de políticas sectorizadas y programas de gobierno especializados de la administración pública. Las propuestas interdisciplinarias en la Academia tienen su correlativo en las integrales —en la actualidad con nuevos atuendos, se les dice transversales— de la administración ambiental, ambas cargadas más de

retórica que de fundamentos que ayuden a hacerlas viables. Las implicaciones de esta observación para la administración ya habían sido advertidas desde sus orígenes.

En una investigación pionera se pone de manifiesto que: "...las funciones que corresponden a una unidad administrativa encargada de la administración ambiental global no pueden ser consideradas como un sector más dentro de la APF (Administración Pública Federal), en paridad de condiciones con las secretarías responsables, por ejemplo, de sectores productivos. El medio ambiente no es un *sector* sino una dimensión que permea todos los sectores. Su administración corta transversalmente las funciones de los sectores de la APF..." (Laurelli Elsa, P. Pirez y E. Castañares, 1990, p. 753).

En fechas recientes, las políticas públicas se han dirigido más a cómo incorporar en el sentido de sumar, antes que encauzar a las políticas de los otros sectores por criterios de respuesta a problemas de alta complejidad. Así, no hay una coordinación entre programas gubernamentales, mientras que desde el sector ambiental se promueven acciones de conservación de la biodiversidad en otros sectores (como el agropecuario) se impulsan actividades destructivas.

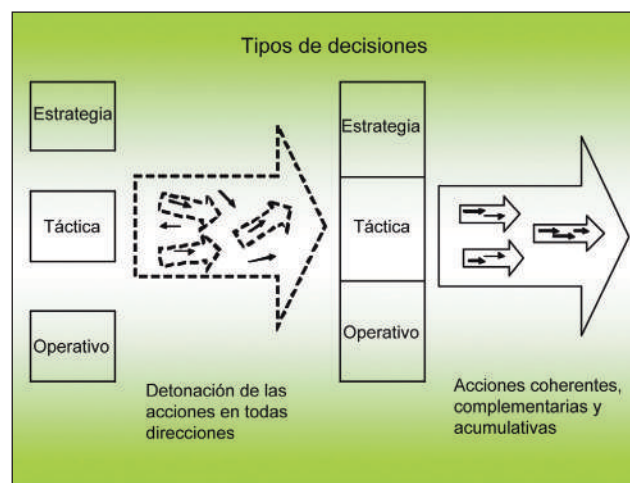
En la actualidad, esta contradicción ha llegado al punto en que la agenda ambiental pierde viabilidad por quedar subordinada —sino es que ignorada— por programas gubernamentales e inversiones privadas que se contraponen a la sustentabilidad del desarrollo. Lo que tenemos entonces son políticas y programas públicos desarticulados cuando no en franca contradicción (Castañares, 2009).

Los problemas no resueltos de intersectorialidad se dan en todos los niveles, no sólo entre secretarías sino al interior de ellas por lo cual no es equivocado decir que el gobierno mexicano es un *gobierno por programas* más que uno *por políticas*, lo cual significa, en la práctica, que muchos programas de un sector no logren ser coherentes, complementarios y acumulativos.

3. Toma de decisiones y niveles de organización

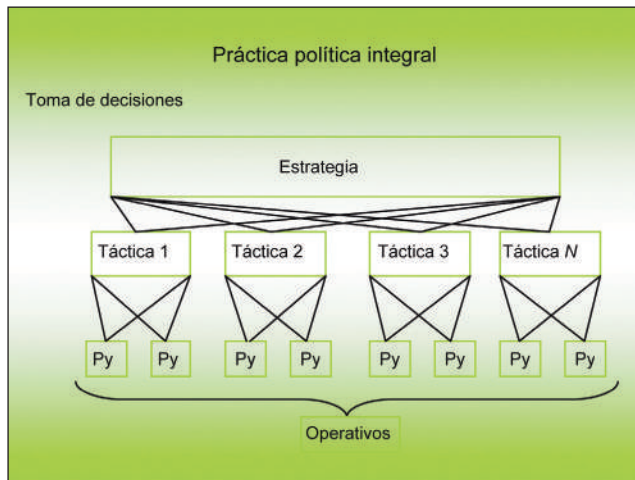
Lo que predomina es que las tomas de decisiones se den de forma aislada, unas sin tener en cuenta a las otras a pesar de los asfixiantes controles administrativos, de manera que el resultado sea una detonación de acciones operativas que no van en una misma dirección (Castañares, 2009). Por el contrario, cuando la toma de decisiones tiene mecanismos de *alineamiento* entre los niveles de decisión, es posible que éstas se acoplen para dar origen a acciones integrables, esto es, que sean coherentes, complementarias y acumulativas.

Figura 2
Dos situaciones extremas de la interacción de toma de decisiones



La práctica de una política integradora requiere, al igual que la científica, fundamentarse en una visión sistémica de procesos: un cabildeo multinivel que se redefine de acuerdo con el intercambio de información entre los diferentes niveles de toma de decisiones, por ejemplo, el táctico, que funciona como un mecanismo bisagra, una mesa de negociaciones entre los otros dos niveles. En éste es donde puede madurar el círculo virtuoso en una espiral de aprendizaje para los actores. Es el mecanismo por el cual los tomadores de decisiones estratégicas y operativas pueden construir de manera colectiva —sociedad y gobierno— una cada vez mejor capacidad de elegir soluciones adecuadas y contribuir, así, a la gobernabilidad (Castañares, 2008).

Figura 3
Práctica política integradora de cabildeo multinivel



Además, la perspectiva territorial de la toma de decisiones tácticas faculta a la gestión ambiental para que las acciones de los diferentes agentes del desarrollo sean integrables porque permiten articular los proyectos que, de otra forma, sólo promueven desde sus propios intereses. Esta articulación tiene el firme propósito de que los programas propongan e implementen proyectos que, desde la perspectiva ambiental del desarrollo, sean coherentes, complementarios y acumulativos entre sí (Castañares, 2009).

En pocas palabras, se debe buscar la integración de acciones y no sólo su sumatoria. No se trata de agregar más acciones sino de reformular la práctica política con capacidades para que sea integrable por la gestión ambiental.

4. Transversalización de la política ante el cambio climático

El concepto de cambio climático se origina y desarrolla a partir de la documentación de modificaciones significativas en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. Ello fue posible por la integración de los aportes conceptuales y metodológicos de la Climatología, Química Atmosférica, Modelación Matemática de Gases y Líquidos, así como la Termodinámica de Sistemas Alejados del Equilibrio. No obstante que manejan escalas espaciales y temporales diferentes, se facilita la integración de los aportes de estas ciencias en virtud de que son disciplinas vecinas con mucho en común en sus dominios teóricos y materiales. Entre éstas se llegan

a establecer de forma muy clara que los esfuerzos para comprender el proceso de cambio climático, aun cuando exitosos, serán insuficientes. Éste es el problema que motiva la idea de buscar conectividad entre dichas áreas del conocimiento; el resultado de este proceso de diferenciación e integración es la unidad de análisis que conocemos como políticas de transversalidad para el cambio climático (PTCC).

Sugerimos que una PTCC requiere, entonces, el trabajo coordinado entre los actores sociales de los tres niveles de voluntades. Se asume el objetivo de promover la institucionalización de una serie de acciones que pretenden, de manera planeada, hacer adecuaciones a la actividad humana para enfrentar los retos que nos plantea el cambio climático.

De esta forma, se trata de integrar las iniciativas de orden internacional en favor de mitigar los efectos del calentamiento global, así como de las prácticas de adaptación a una serie de medidas nacionales y locales que deberán ser adoptadas por las instancias gubernamentales para hacer efectiva esa PTCC, se trata de que todas las dependencias e instituciones del gobierno del estado, en particular, trabajen de manera coordinada ya que todas tienen incidencia en el fenómeno y, a su vez, todas son afectadas por el mismo.

Por ello, se debe tener una idea compartida sobre lo que se entiende por transversalización; para ello, acudimos al Grupo de Especialistas en Transversalidad del Consejo de Europa: "...la (re) organización, la mejora, el desarrollo y la evaluación de los procesos políticos [de tal manera que las acciones de adecuación y mitigación para el cambio climático] (...) se incorpore en todas las políticas, a todos los niveles y en todas las etapas, por los actores normalmente involucrados en la adopción de medidas políticas..."^[3]

Se debe tomar en cuenta que hoy en día es necesario institucionalizar los programas y acciones que emprenden los gobiernos, cualquiera que sea su orden (federal, estatal o municipal), pues de otra suerte, cuando se requiere forzosamente hacer el cambio (como lo exigen las condiciones de la democracia) corren el peligro de no ser considerados ni ser sujetos de continuidad para la siguiente

[3] La definición entre comillas pertenece al Grupo de Especialistas en Transversalización (*mainstreaming*) del Consejo de Europa (1998), lo que se encuentra entre corchetes es del primer autor de este artículo.

administración. Por ello, se propone que las PTCC se realicen con toda la institucionalización que el caso exige.

Hacer esto implica que se tomen en cuenta las diferentes percepciones entre las generaciones, actores sociales y los gobiernos (nación, estado, municipio) para considerar en cada organización, sociedad y circunstancia, las causas y los mecanismos institucionales y culturales que estructuran la degradación del medio ambiente y generan contaminantes, gases y basura que lo afecta y aceleran el cambio climático.

En este sentido, la institucionalización de las acciones implica el reconocimiento de nuestra realidad social pero, además, supone la necesidad de admitir de manera explícita que se deben diferenciar las necesidades sociales, económicas y políticas de la población en el diseño de acciones de gobierno, ya que éste resulta ser un requisito de la democracia y el desarrollo humano, mismo que afecta la generación de contaminantes y, a su vez, influye en los cambios del clima y de la cultura en la sociedad (Ortiz-Espejel, 2009).

Por ello, institucionalizar acciones de adecuación y mitigación del cambio climático requiere que se modifiquen las leyes actuales o se creen nuevas para propiciar los cuidados necesarios del aire, la tierra y el agua del planeta.

Además, requiere la transformación de los tradicionales enfoques de análisis sectorizado de los problemas sociales, la transformación de la estructura orgánica y de los procedimientos operativos de las organizaciones públicas y el cambio en los criterios y mecanismos para evaluar el impacto de las políticas en la población.

Uno de los aspectos centrales en la estrategia para *transversalizar* los contenidos de las políticas es la preparación y capacitación de los servidores públicos. De esta forma se considera prioritario fortalecer sus capacidades mediante la ampliación de su visión acerca del desarrollo humano, los derechos humanos y de los efectos del cambio climático como herramientas imprescindibles para la planificación y ejecución de políticas públicas (Ortiz-Espejel, 2009).

La propuesta consiste en que la estrategia comience con un programa de sensibilización y capacitación en materia de cambio climático, proporcionada por

los equipos de científicos especializados en el tema, misma que se vincule a los temas específicos de cada institución para que este proceso llegue a ser sistémico y posibilite la actualización y problematización de conocimientos y el fortalecimiento de capacidades para que cada ciudadano tenga el espacio de participación personal de adecuación y mitigación, como estrategia que logre, realmente, impactar en la corriente principal del quehacer institucional para prevenir los efectos del cambio climático.

5. Principios de las PTCC (Ortiz-Espejel, 2009)

Acción solidaria

Que los gobiernos federal, estatales y municipales manejen sus procesos sustentados en un nuevo diálogo social y político de irrestricto respeto a la cultura y biodiversidad de cada región, municipio y localidad, con criterios actuales, de manera solidaria y con una nueva voluntad global para transformar el conocimiento y las tecnologías en patrimonio común de todos los pueblos y de todas las personas, lo mismo que promover en éstas el compromiso común para cuidar la sustentabilidad del medio ambiente que sustenta la vida en el planeta.

Voluntad política

De la jerarquía de las instituciones públicas, extensiva a toda la administración pública, se deben plantear las prioridades para que la gestión de los tres niveles de gobierno establezca las acciones de adaptación y mitigación para el cambio climático en un lugar preferente en la agenda de los temas gubernamentales. Pero, se estima que esta apuesta podría quedar trunca si no logra comprometer total y permanentemente a los funcionarios del más alto nivel (titulares de las secretarías y procuradurías), por ello, se propone llevar a cabo acciones específicas de sensibilización y capacitación dirigidas a servidores públicos de alto y medio nivel en la entidad.

Corresponsabilidad

Esto establece que la ejecución del programa de cambio climático es una responsabilidad compartida por todas las dependencias e instituciones públicas y de la sociedad civil. Compete a éste la tarea de coordinar, orientar y vigilar que se lleven a cabo las acciones que a cada institución le corresponden para, en un esfuerzo conjunto, lograr la mitigación

de los efectos del cambio climático y la adaptación de las acciones humanas para hacer frente a los impactos del mismo.

La corresponsabilidad tiene como propósito involucrar a todos los actores sociales, políticos y gubernamentales, impregnar todas las acciones, acelerar los cambios estructurales y, sobre todo, tener un alcance totalizador y con rumbo. La intención explícita de este programa es que en cada una de las instituciones de gobierno se incorporen conocimientos, acciones y decisiones relacionadas con el cambio climático como una variable fundamental en todas las etapas de diseño, aplicación y evaluación de las políticas.

En esta medida se deben asignar las responsabilidades y corresponsabilidades institucionales para cada una de las líneas de acción propuestas, no en el ánimo de sobrecargar el quehacer institucional, sino de promover la incorporación del componente cambio climático en cada una de las atribuciones y rutinas de trabajo de todas las organizaciones en la entidad.

La meta es lograr que se le incorpore de manera transversal como uno de los criterios organizadores de los contenidos y procedimientos de todo el ciclo de las políticas públicas estatales —incluyendo planeación, presupuestación, ejecución, monitoreo y evaluación de dichas políticas—, es decir, la corresponsabilidad institucional aparece como factor imprescindible para la ejecución, evaluación e implementación de medidas correctivas que deba adoptar este programa de cambio climático.

Interinstitucionalidad

De manera adicional al anterior, este concepto implica la suma de esfuerzos entre dependencias e instituciones del sector público para poner en marcha las acciones establecidas en este programa, así como otras derivadas de la promoción y el impulso a las acciones de adaptación y mitigación para el cambio climático. En esta línea se pueden sugerir diversos mecanismos que se pueden adoptar, como: a) instalación de oficinas con poder de decisión y posibilidades reales para la institucionalización de las acciones de adaptación y mitigación para el cambio climático, en las diferentes dependencias y entidades públicas, inclusive hasta el nivel de municipio y b) designación de enlaces interinstitucionales, que requieren no sólo del aval de los titulares de los organismos públicos sino, sobre

todo, de los mandatos para incorporar las acciones respectivas en las de la estructura institucional, en sus programas y proyectos.

Intersectorialidad

Resulta vinculado de forma intrínseca con la corresponsabilidad y la coordinación que alude a la necesidad de ejecutar y dar seguimiento a acciones conjuntas que implican la participación de varios sectores y no sólo de varias instituciones. No es de sorprender que, por ejemplo, el combate a la pobreza requiera del trabajo organizado entre los sectores salud, educación, desarrollo social y finanzas, por citar sólo algunos. En el caso de las acciones de adaptación y mitigación para el cambio climático, se aplica a todos los sectores de los gobiernos, sin importar si el orden del mismo está en la Federación, el estado o el municipio.

6. Estrategias de las PTCC

Además de estos principios, la estrategia de transversalización del programa de cambio climático requiere que se ejecuten medidas concretas, algunas de las cuales se mencionan enseguida.

Revisión del marco legal

En materia de cambio climático es necesario hacerlo de manera exhaustiva en cada una de las entidades federativas. Sin embargo, el esfuerzo no puede quedar sólo en ese nivel, sino bajar a los reglamentos de las instituciones públicas y las reglas de operación de los programas y proyectos, de manera que el trabajo de alinear y perfeccionar las acciones del programa encuentren en los mecanismos operativos de las instituciones incentivos y facilidades para tener rápidos avances, pues el fenómeno ya no espera, sus resultados están a la vista de manera cotidiana.

Desarrollar herramientas, instrumentos e insumos científicos y técnicos

Para facilitar la ejecución de las acciones propuestas por las PTCC y la consecución de resultados, por ejemplo:

- a) Bases de datos climatológicos que aporten evidencias del cambio climático.
- b) Indicadores de monitoreo y evaluación de emisiones de gases de efecto invernadero.
- c) Desarrollo de herramientas del análisis socioeconómico y monitoreo ambiental.

- d) Impulso a la investigación con fines de diagnóstico, así como para diseño de modelos específicos y procesos de evaluación.
- e) Análisis de *buenas prácticas* llevadas a cabo por otras instancias a nivel local, nacional o mundial.

Incorporar a la sociedad civil

Crear mecanismos y procedimientos educativos para que cada institución promueva la participación de la sociedad civil en la ejecución de las acciones. Fortalecer los vínculos entre ambas implica la posibilidad de generar políticas públicas acordes con la situación que se vive en relación con el cambio climático.

7. Pregunta conductora

El estudio de sistemas complejos es una propuesta metodológica que puede dar origen a la plataforma de conocimiento que demanda la actual situación del conocimiento y gestión del cambio climático en México. Desde una perspectiva sistémica, es posible construir políticas de transversalidad que se conviertan en los fundamentos empíricos orientados por un enfoque de sistema complejo. En el modelo de gestión de las PTCC, la práctica científica interdisciplinaria nutre a la política integradora con evidencias respaldadas por marcos teóricos sólidos que sustenten la toma de decisiones.

Estamos conscientes de que el reto es enorme y proponemos que una pregunta de investigación que impulse el establecimiento de PTCC podría ser: ¿cuáles son los valores e iniciativas ciudadanas que permiten encauzar y complementar esfuerzos ante el cambio climático?, en lugar de empezar por agendas aisladas y objetivos desde cero.

Parte II. Conceptos en materia de detección y atribución

1. Cambio climático, naturaleza y sociedad

El clima cambia de manera constante y su impacto se refleja en forma positiva o negativa en la naturaleza, los sectores que integran la sociedad y en las diversas culturas. Los cambios en el clima propician un grado de exposición determinado ante un amplio rango de niveles de riesgo.

El manejo adecuado de los riesgos involucra a múltiples actores y es, por lo tanto, interdisciplinario. En años recientes se ha iniciado un diálogo continuo entre científicos y líderes de diversas disciplinas, involucrados en la gestión de riesgos relacionados con el clima, dando origen a enfoques transversales entre ciencias naturales y sociales (Vázquez *et al.*, 2007) gestando, así, un marco de referencia complementario entre ciencia y política, como ha sido planteado en la primera parte de este documento.

Científicos y diseñadores de políticas enfrentan retos complejos al interactuar con el fin de gestionar de forma efectiva los riesgos bajo enfoques múltiples, transversales y flexibles. Incluir las aportaciones provenientes de diversas disciplinas, sectores y capacidades es un proceso de aprendizaje que no es inmediato. Algunos ejemplos de estos retos en instituciones de México y de las interacciones asociadas a procesos multidisciplinarios o transversales pueden encontrarse en las estrategias propuestas para la adaptación al cambio climático (INE, 2008a) o en los instrumentos de transferencia de riesgo ante eventos climáticos adversos, por ejemplo, en el caso de los seguros basados en índices climáticos (Hellmut *et al.*, 2009); un caso de particular interés en nuestro país ha sido el desarrollo de planes estatales de acción ante el cambio climático (INE, 2009).

La gestión de riesgos de origen natural y de construcción social requieren de enfoques holísticos y transversales con el fin de lograr el manejo sostenible de los recursos naturales, la prevención y la construcción de *resiliencia* económica y social. Esto incluye los ámbitos tanto del tiempo como del clima.

2. Tiempo y clima

El estado del tiempo (tiempo meteorológico, temperie o simplemente *tiempo*) se refiere a una situación instantánea de la atmósfera, o bien, al estado atmosférico y los procesos relacionados, en un intervalo relativamente corto, desde algunos minutos hasta varios días (para una explicación concisa sobre el uso del término *tiempo* en Meteorología, ver Garduño, 1994).

Por otra parte, el clima se refiere a las condiciones observadas en periodos lo suficientemente largos para determinar el comportamiento estadístico del estado del tiempo (incluyendo desde meses hasta milenios).

Así, puede hablarse en términos del tiempo (meteorológico) de un día caluroso o de una noche fría y en cuestión del clima de un mes o de una estación con temperatura mayor que el promedio histórico, o de un mes o una estación lluviosa o seca respecto a lo normal. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) sugiere utilizar lapsos de 30 años en la determinación de periodos de referencia del clima. Así, las denominadas normales climatológicas se basan en el clima promedio observado durante 30 años. En particular, el periodo entre 1961 y 1990 ha sido utilizado de forma amplia como referencia del clima reciente.

Las ramas de las ciencias atmosféricas encargadas del estudio del tiempo y del clima, respectivamente, son la Meteorología y la Climatología. Un ejemplo muy diseminado para clarificar estos conceptos es la analogía entre el tiempo y el clima con el comportamiento humano: el tiempo sería el análogo del estado de ánimo en un momento en particular, mientras que el clima sería el símil de la personalidad.

Habiendo hecho las precisiones anteriores, es claro que la información del clima tiene implícita, pero con menor detalle, la información del estado del tiempo y, por ende, el cambio del clima o cambio climático implica, también, modificaciones en el estado del tiempo. Sin embargo, hasta ahora sólo es posible predecir el estado del tiempo con gran detalle y alta confiabilidad en plazos de unos cuantos días.

En plazos mayores, es posible elaborar predicciones de las condiciones medias esperadas, como en el caso de los pronósticos del clima que ofrecen información sobre las condiciones probables en plazos de meses o estaciones; en el de periodos todavía más largos (como sucede con las proyecciones del cambio climático), por el momento sólo se pueden generar escenarios de cómo sería el clima dadas ciertas condiciones en el futuro lejano, incluyendo el estado futuro de la concentración de gases de efecto invernadero y otros factores (IPCC, 2000; INE, 2008a).

Lo anterior, en cuanto al conocimiento de los estados probables del clima en el futuro. En referencia al clima del pasado y presente, las observaciones hechas con instrumentos de medición y sometidas a riguroso procesamiento científico (Brohan *et al.*, 2006), así como los registros paleoclimatológicos obtenidos de los anillos de los árboles, los núcleos de hielo y los corales, han permitido a la ciencia reconstruir la historia del clima en el último milenio (ver Jones *et al.*, 2001). Al hablar de clima pasado, presente y futuro resulta conveniente considerar ciertas precisiones sobre el cambio climático.

3. Definiciones de cambio climático

Existen básicamente dos (IPCC, 2007), por un lado, la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) lo define como "...un cambio en el clima que es atribuible directa o indirectamente a las actividades humanas, que altera la composición de la atmósfera planetaria y que se observa en periodos de tiempo (*sic*) comparables, en forma adicional a la variabilidad climática natural...".

Por otra parte, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) lo define como "...cualquier cambio climático producido durante el transcurso del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o a la actividad humana...".

En términos de la investigación sobre detección y atribución del cambio climático, la definición utilizada concuerda con la propuesta por la CMNUCC (Zwiers, 2009).

4. Cambio climático: detección vs. atribución

El sistema climático cambia a través del tiempo en función de su dinámica interna y de la presencia de forzamientos externos. La primera está determinada por la interacción de sus componentes (atmósfera, hidrósfera, criósfera, etc.), mientras que

los forzamientos externos pueden ser de origen natural (cambios en la actividad solar o volcánica) o humano (aumento de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, cambios en el uso del suelo, por ejemplo).

En ausencia de forzamientos externos, los cambios del sistema climático están controlados sólo por la dinámica interna del sistema. Algunos cambios del clima están modulados o se deben a la presencia periódica de sistemas de interacción océano-atmósfera, como *El Niño-Oscilación del Sur* (ENSO), o bien, a la ocurrencia de oscilaciones en escalas de décadas, como la *Decadal del Pacífico* (PDO) y la *Multi-decadal del Atlántico* (AMO). Las variaciones del clima causadas por estos tres sistemas son parte de la variabilidad natural del clima (ver Vázquez-Aguirre, 2007).

La *detección* del cambio climático consiste en demostrar que el clima ha cambiado, con algún nivel de significancia estadística, en un intervalo específico (Brunet *et al.*, 2001; IDAG, 2005; IPCC, 2007). En la detección del cambio climático sólo se demuestra que existe evidencia de cambios en el clima, pero no se da explicación alguna sobre su origen. La *atribución* del cambio climático, por otra parte, consiste en establecer, con un nivel de confianza dado, las causas más probables que originan un cambio detectado en el clima (IDAG, 2005). El cambio climático reciente en el planeta se ha detectado en el aumento de la temperatura global.

En su cuarto reporte de evaluación, el IPCC (2007) concluyó que "...el calentamiento del sistema climático es inequívoco...", refiriéndose al aumento de temperatura observado en la segunda mitad del último siglo (Trenberth *et al.*, 2007). Los estudios de atribución (Hegerl *et al.*, 2007) han demostrado que existe una clara influencia humana en el fenómeno y que el aumento de temperatura observado en el planeta es debido, en gran medida, al incremento en la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero por las emisiones antropogénicas. Para llegar a esta conclusión, la comunidad científica utilizó complejos modelos del sistema climático, los cuales reproducen el clima considerando sólo los forzamientos naturales, o bien, éstos más los de origen humano. Entonces, al comparar el clima modelado con las observaciones se encuentra evidencia de que el cambio del clima observado recientemente sólo puede explicarse al incluir los forzamientos antropogénicos.

La evidencia del calentamiento global —y del cambio climático asociado— se observa en atmósfera, océanos, continentes, la cubierta de hielo y nieve y en indicadores biológicos (IPCC, 2007). No obstante, la mayor evidencia se ha documentado a partir de los datos instrumentales del clima.

5. Datos instrumentales del clima

El clima cambia en un amplio rango de escalas en espacio y tiempo; el calentamiento global se refiere al aumento de temperatura en la escala planetaria. Por lo tanto, para analizar la temperatura global, se requiere contar con datos de temperatura representativos de todo el planeta, de manera que resultaría imposible detectar cambios en el clima global si sólo se tuvieran observaciones en un punto de la Tierra (como la ciudad de México) o en regiones aisladas (por ejemplo sólo en algunos países de Europa).

De manera adicional, la detección del calentamiento global sólo es posible de efectuarse en áreas geográficas muy extensas (hemisféricas o continentales), de modo que los efectos locales del clima no interfieran en la señal de gran escala. La construcción de series climáticas hemisféricas o globales representa una tarea científica compleja, así como el manejo adecuado de las incertidumbres asociadas a la creación de series regionales (Jones y Briffa, 1992; Jones *et al.*, 1997; Jones y Moberg, 2003).

De forma similar, el desarrollo de datos observacionales en arreglos regulares mediante el uso de interpolaciones requiere de un minucioso proceso de control de calidad y de una estricta evaluación antes de que dichas estimaciones puedan ser utilizadas en aplicaciones particulares (New *et al.*, 2000; Haylock *et al.*, 2008).

En el caso de la República Mexicana, varias bases de datos de mediciones instrumentales del clima están disponibles, aunque con la desventaja de que en la mayoría de ellas no se ha aplicado un proceso de control de calidad y evaluación de homogeneidad espacio-temporal. La de carácter oficial en México está bajo el resguardo del Servicio Meteorológico Nacional en el sistema Clima Computarizado (CLICOM), el cual contiene la información registrada en la red de estaciones climatológicas convencionales y es la fuente de datos climáticos con mayor periodo de registro y cobertura geográfica que se tiene en el país para estudios del clima regional.

Es importante mencionar que en México existen otras redes de observación de variables atmosféricas e hidrológicas con sus correspondientes bases de datos, como es el caso de los observatorios sinópticos, radiosondeo, satélite y radar, entre otras.

Sin embargo, la mayoría de estas observaciones se realizan con fines meteorológicos o para la toma de decisiones en el corto plazo y tienen un periodo de registro relativamente corto, o bien, su cobertura geográfica es de baja resolución, por lo que no son del todo adecuadas para el estudio detallado del clima.

El desarrollo de bases de datos climáticas de calidad en México es un requerimiento urgente que implica, entre otros aspectos, la aplicación de procedimientos de control de calidad y análisis de homogeneidad por especialistas del clima, así como el uso o implementación de metadatos (Vázquez-Aguirre, 2006).

Control de calidad

En una serie de observaciones del clima pueden faltar datos, es decir, es posible que existan fechas en las que, por alguna razón, las observaciones no fueron realizadas. Un dato que falta es información perdida y aunque con frecuencia se hacen estimaciones para reemplazar los faltantes, es importante tener en cuenta que un dato estimado es uno que nunca sucedió.

Además de las mediciones faltantes, los datos pueden contener valores sospechosos que no cumplan con el comportamiento habitual de la variable observada. En ocasiones, es posible que los valores sospechosos se deban a errores inherentes tanto al proceso de medición o a la digitación de los datos como a los sistemáticos por problemas eventuales con los instrumentos de medición (por ejemplo, recalibración, reemplazo de los instrumentos o cambio de localización geográfica de la estación de medición). Sin embargo, no todos son errores necesariamente, algunos de ellos pueden ser registros verídicos de la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos. Así, el proceso de control de calidad lleva a las siguientes preguntas: ¿los datos sospechosos son registros de eventos que sucedieron en realidad, como los descensos de temperatura muy fuertes o de valores altísimos de precipitación?, ¿los datos sospechosos pueden ser eliminados, reemplazados o deben dejarse tal como están?, ¿qué impacto tiene en los análisis utilizar la

base de datos tal cual sin realizar el proceso de control de calidad?, ¿es la precisión requerida en el control de calidad dependiente del uso que se vaya a dar a los datos? Todas estas consideraciones se vuelven delicadas, en especial cuando las investigaciones en las que se utilizarán los datos tienen por objetivo detectar tendencias o cambio climático.

En el control de calidad de información climatológica se ha documentado de manera amplia el uso de algunos criterios estadísticos, así como la necesidad de incorporar el conocimiento de expertos del clima local o regional para definir si un valor sospechoso es factible de haber ocurrido o no. Otras consideraciones recomendables para el control de calidad son:

- Verificar los errores lógicos (que la temperatura máxima no sea menor que la mínima, que no existan valores de lluvia menores a cero).
- Comprobar la base de datos vs. los registros originales en papel o en el registro del instrumento.
- Marcar los valores que exceden un límite predeterminado como valores sospechosos y verificarlos (es común la práctica de utilizar el límite de ± 4 desviaciones estándar para el caso de la temperatura).
- Realizar una cuidadosa inspección visual de las gráficas de la serie de tiempo.
- Recurrir, en el caso de valores extremos, a fuentes de información alternas para ver si existe evidencia física que justifique los datos (paso de frentes, impacto de ciclones tropicales o situaciones meteorológicas sinópticas específicas).
- Cotejar los valores sospechosos de una fecha en particular con las observaciones de la misma estación de medición en fechas adyacentes.
- Comparar las observaciones de una estación en particular con las de otras estaciones cercanas en la misma fecha.
- Consultar información contextual sobre aspectos conocidos de la variabilidad climática regional, como anomalías e impactos de *El Niño*.

Análisis de homogeneidad

La homogeneidad de los datos climáticos de cada serie de tiempo incide de forma directa en la posibilidad o no de calcular tendencias. Este aspecto es de especial relevancia al realizar estudios de detección de cambios en el clima (Alexanderson and Moberg, 1997). Varias pruebas han sido desarrolladas hasta la fecha y la OMM ha publicado guías para realizar estudios de homogeneidad de los datos climáticos (Aguilar *et al.*, 2003; Brunet *et al.*, 2008).

Hasta ahora, la mayoría de los análisis de homogeneidad se realizan en la escala mensual (Peterson *et al.*, 1998) y sólo algunos estudios han sido desarrollados en la escala diaria (Vincent *et al.*, 2002).

Las pruebas de homogeneidad que hay para los datos climáticos y su facilidad de implementación son más de una, aunque una utilizada de manera extensiva en la comunidad es la del modelo de regresión en dos fases (Wang, 2003), la cual se encuentra disponible mediante el *software* RHTest.

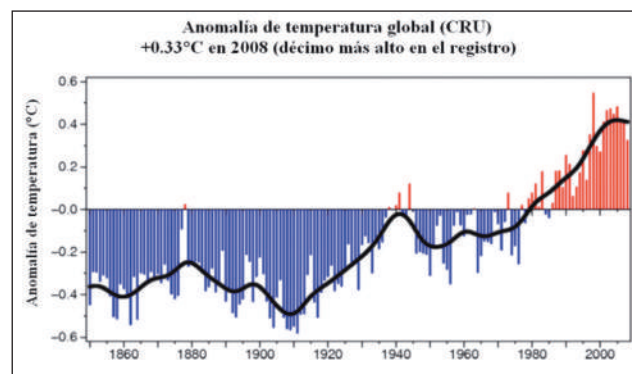
Las pruebas para demostrar que una serie de tiempo de una variable climática es razonablemente homogénea tienen por objetivo garantizar que las variaciones del clima contenidas en las observaciones correspondan sólo a los procesos climáticos y no a otros factores; por ejemplo, algunos de los que pueden provocar que una serie climática no sea homogénea son los cambios en la ubicación geográfica de la estación de medición, la renovación o cambio de instrumentos, el reemplazo de una estación antigua por una nueva o automática, cambios en el ambiente o la altitud donde se realizan las mediciones, etcétera. La homogeneización de los datos climáticos es una tarea especializada y es recomendable que sean los expertos en homogeneidad quienes la realicen, en todo caso, asistidos por expertos climatólogos de la región a analizar.

Metadatos

Éstos proveen *información sobre la información* o *datos sobre los datos*. En ellos se describen, entre otros, el tipo de instrumentos, las condiciones de medición y cualquier cambio que ocurra en el entorno, la ubicación u otros aspectos relacionados con los datos observados ya sean de origen humano o instrumental (Aguilar *et al.*, 2003). Los metadatos son muy importantes al evaluar si una serie de datos climáticos es adecuada (Peterson y Owen, 2005).

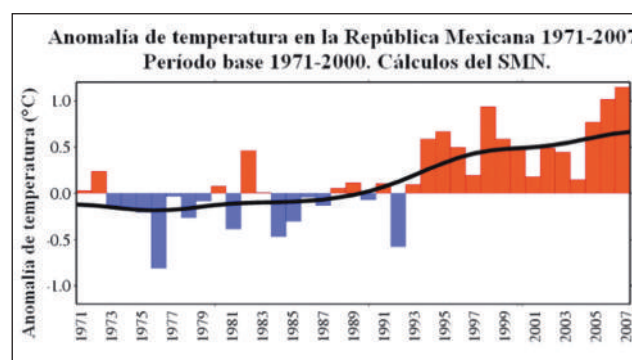
Las figuras 4 y 5 muestran la evolución temporal del registro de temperatura global (1850-2008) y de los datos instrumentales de temperatura en la República Mexicana (1970-2007). A pesar de que han sido obtenidos con diferentes métodos, en ambos es posible observar un claro aumento en años recientes, consistente con el calentamiento del sistema climático.

Figura 4
Anomalia de temperatura global (1850-2008) respecto a la media 1961-1990



Fuente: Climatic Research Unit, Universidad de East Anglia.

Figura 5
Anomalia de temperatura en la República Mexicana (1971-2007) respecto a la media 1971-2000



Fuente: Elaboración propia basada en cálculos del SMN.

6. Cambio climático y eventos extremos

La OMM anunció en años recientes que, como consecuencia del cambio climático, la frecuencia de eventos meteorológicos extremos se encuentra en aumento (WMO, 2003). Lo anterior ha sido demostrado para la región de Norteamérica (Peterson *et al.*, 2008), para el planeta en su conjunto (Trenberth *et al.*, 2007) y para algunas regiones de México (Vázquez *et al.*, 2008).

Los cambios en los eventos extremos son, quizá, uno de los mayores impactos en el clima asociados al calentamiento global, el cual afectará en diversas formas a regiones y localidad específicas. Si bien en la actualidad se tienen escenarios sobre los impactos probables del cambio climático, debe considerarse que el calentamiento global no implica calentamiento siempre ni en absolutamente todos los rincones del globo sino, más bien, alteraciones en la dinámica del sistema climático, las que ocurrirán en la forma de cambios en el ciclo hidrológico y en los mecanismos para mantener el balance energético del planeta, como en el caso del cambio en los eventos extremos.

No obstante lo anterior, en materia de atribución, hasta ahora es virtualmente imposible determinar si una tormenta dada en una región específica ocurrió debido al aumento de los gases de invernadero. La atribución del calentamiento global es clara en la escala planetaria, pero permanece como un tema de frontera en la regional. Lo anterior obedece a dos razones: a) los extremos son ocasionados por una extensa combinación de factores y b) una amplia gama de extremos ocurre de forma normal, inclusive en un clima invariable.

La detección de los cambios en los extremos y el monitoreo de éstos, sin embargo, es un área bien desarrollada. Detectar cambios en los extremos climáticos requiere la utilización de datos diarios. El Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI, por sus siglas en inglés)—formado por la OMM, el Proyecto de Variabilidad Climática (CLIVAR, por sus siglas en inglés) y la Comisión Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marítima (JCOMM, por sus siglas en inglés)— ha propuesto un conjunto de índices de cambio climático para la detección y el monitoreo de los cambios en los extremos (Peterson, 2005). Bajo este enfoque, los índices son calculados para cada punto de observación y después son agregados en series regionales.

Los índices del ETCCDI proveen una base teórica común en la escala global; así, pueden ser calculados de forma consistente en todos los países, siguiendo el modelo de los talleres de detección e índices de cambio climático del ETCCDI (Peterson y Manton, 2008).

En el caso de la República Mexicana, en fechas recientes la Embajada Británica en el país ha financiado la construcción de capacidades en detección e índices de cambio climático a través de un proyecto propuesto por el INE e implementado por la UIAP.

Mediante la ejecución de dos talleres de cambio climático, el INE y la UIAP han sembrado en múltiples instituciones de México una semilla para el desarrollo y consolidación de nuevos grupos transversales entre técnicos, intermediarios y usuarios de información del cambio climático con el fin de utilizar el monitoreo de los cambios en los eventos extremos para informar la toma de decisiones y el diseño de políticas orientados a una economía sustentable de bajo carbono.

7. Epílogo

En la actualidad, el género humano enfrenta el reto de evitar llegar a niveles peligrosos de cambio climático y de construir la capacidad adaptativa necesaria ante los cambios inevitables, o bien, de acuerdo con el planteamiento de Lenton *et al.* (2008), nos encontramos ante la necesidad urgente de mejorar nuestro entendimiento de las implicaciones del cambio climático en forma tal que podamos evitar lo inmanejable y manejar lo inevitable. ■

Referencias

- Castañares, E. J. (2009). *Sistemas complejos y gestión ambiental: el caso del corredor mesoamericano México*. Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Corredor Biológico Mesoamericano México. Serie Conocimientos Núm. 6. México, DF.
- Castañares, E. J. (2008). *Análisis de los corredores biológicos como sistemas complejos para establecer su integración táctica y operativa*. Informe interno Corredor Biológico Mesoamericano México. México, DF.
- Laurelli, E., P. Pirez y E. J. Castañares (1990). Incorporación de la dimensión ambiental en una administración sectorializada, en: E. Leff y J. Carabias (Coords.) *Medio ambiente y desarrollo en México*, Vol. II. México, DF, Ed. CIICH-UNAM/ Miguel Ángel Porrúa.
- Leff, E. (1986). *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo*. México DF, Ed. Siglo XXI.
- Ortiz-Espejel, B. A. Olvera, R. Montes Barreto, R. Vázquez, M. A. Espinoza, G. Vargas, E. Juárez y G. López. *Transversalidad y definición de capacidades y competencias institucionales para la prevención del cambio climático en Puebla*. Puebla, Pue., Secretaría de Medio Ambiente-Gobierno del Estado de Puebla.
- Ortiz-Espejel, B y G. Duval (2008). *Sistemas complejos, medio ambiente y desarrollo*. Puebla, Pue., Universidad Iberoamericana Puebla, Colegio de Posgraduados, Puebla y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Puebla.
- Aguilar, E., I. Auer, M. Brunet, T. C. Peterson, and J. Wieringa (2003). *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization*. WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186, 55 pp. Geneva, World Meteorological Organization.
- Alexanderson, H. and A. Moberg (1997). Homogenization of Swedish Temperature data: Part 1: Homogeneity test for linear trends, *Int. Journal of Clim.* 17, 25-34.
- Brohan, P., J. J. Kennedy, I. Harris, S. F. B. Tett y P. D. Jones (2006). Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *J. Geophysical Research*, 111, D12106, doi:10.1029/2005JD006548.
- Brunet-India, M. and D. López Bonillo (Eds.) (2001). *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Berlin-Heidelberg-New York, Springer, 650 pp.
- Brunet, M., O. Saladié, P. Jones, J. Sigró, E. Aguilar, A. Moberg, D. Lister, A. Walther and C. Almarza (2008). *A case study/guidance on the development of long-term daily adjusted temperature datasets*. World Climate Data and Monitoring Programme (WCDMP) Series No. 66. Geneva, World Meteorological Organization.
- Garduño, R. (1994). *El veleidoso clima*. Colección La ciencia para todos. México, DF, Fondo de Cultura Económica. Enero del 2010, <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/>
- ciencia/ Haylock, M. R., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones, M. New (2008). A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *J. Geophys. Res* (Atmospheres), 113, D20119, doi:10.1029/2008JD10201
- Hellmuth M. E., D. E. Osgood, U. Hess, A. Moorhead y H. Bhojwani (Eds.) (2009). Seguros en base a índices climáticos y riesgo climático: perspectivas para el desarrollo y la gestión de desastres. *Clima y Sociedad*. Núm. 2. Nueva York, Instituto Internacional de Investigación para el Clima y la Sociedad (IRI), The Earth Institute at Columbia University.
- Hegerl, G. C., F. W. Zwiers, P. Braconnot, N. P. Gillett, Y. Luo, J. A. Marengo Orsini, N. Nicholls, J. E. Penner and P. A. Stott (2007). Understanding and Attributing Climate Change. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon y colaboradores (Eds.)]. Cambridge and New York, Cambridge University Press.
- The International Ad Hoc Detection and Attribution Group (IDAG) (2005). Detecting and attributing external influences on the climate system. A review of recent advances. *J. Climate*. 18, 1 291-1 314.
- INE (2008a). *Generación de escenarios de cambio climático a escala regional, al 2030 y 2050; evaluación de la vulnerabilidad y opciones de adaptación de los asentamientos humanos, la biodiversidad y los sectores ganadero, forestal y pesquero, ante los impactos de la variabilidad y el cambio climáticos; y fomento de capacidades y asistencia técnica a especialistas estatales que elaborarán programas estatales de cambio climático*. Estudio coordinado por C. Gay y C. Conde, el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM para el INE.
- INE (2009). *Guía para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC)*. México, 91 p.
- IPCC (2000). *Special Report on Emissions Scenarios (SRES)*. Nakicenovic, N. and R. Swart (Eds.). UK, Cambridge University Press, pp. 570.
- (2007). Summary for Policymakers. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Zenhen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (Eds.)]. Cambridge, and New York, Cambridge University Press.
- Jones, P. D., and K. R. Briffa (1992). Global surface air temperature variations during the twentieth century: Part 1, spatial, temporal and seasonal details. *The Holocene*, 2:165-79.
- Jones, P. D., T. J. Osborn and K. R. Briffa (1997). Estimating sampling errors in large-scale temperature averages. *J. Climate*, 10:2 548-2 568.

- Jones, P. D., T. J. Osborn and K. R. Briffa (2001). The evolution of climate over the last millenium. *Science*, 27, Vol. 292, No. 5 517, pp 662-667.
- Jones, P. D. and A. Moberg (2003). Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *J. Climate*, 16, 206-223.
- Lenton, T. H., H. Held, E. Kriegler, J. W. Hall, W. Lucht, S. Rahmstor and J. Schellhuber (2008). Tipping elements in the Earth's climate system. *PNAS*, 105(6): 1 786-1 793.
- New, M. G., M. Hulme and P. D. Jones (2000). Representing twentieth-century spacetime climate variability. Part II: development of 1901-96 monthly grids of terrestrial surface climate. *J. Climate*, 13, 2 217-2 238.
- Peterson, T. C. and T. W. Owen (2005). Urban heat island assessment: metadata are important. *Journal of Climate*, 18, 2 637-2 646.
- Peterson, T. C., D. R. Easterling, T. R. Karl, P. Groisman, N. Nicholls, N. Plummer, S. Torok, I. Auer, R. Bohm, D. Gullett, L. Vincent, R. Heino, H. Tuomenvirta, O. Mestre, T. Szentimrey, J. Salinger, E. J. Folland, I. Hanssen-Bauer, H. Alexandersson, P. Jones and D. Parker (1998). Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. *Int. J. Climatology*, 18, 1 493-1 517.
- Peterson, T. C. (2005). Climate change indices. *WMO Bulletin*, 54 (2), 83-86.
- Peterson, T. C., X. Zhang, M. Brunet-India and J. L. Vazquez-Aguirre (2008). Changes in North American extremes derived from daily weather data. *Journal of Geophysical Research*, doi:10.1029/2007JD009453.
- Peterson, T. C. and M. J. Manton (2008). Monitoring changes in climate extremes: a tale of international collaboration. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 89, 1 266-1 271.
- Trenberth, K. E., P. D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J. A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden and P. Zhai (2007). Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of WG I to the Fourth Assessment Report of the IPCC [Solomon y colaboradores (Eds.)]. Cambridge and New York, Cambridge University Press.
- Vázquez-Aguirre, J. L. (2006). *Datos climáticos de la República Mexicana: panorama actual y requerimientos inmediatos*. Memorias del primer Foro del Medio Ambiente Atmosférico en el estado de Veracruz, 14 p.
- Vázquez-Aguirre, J. L. (2007). *Variabilidad de la precipitación en la República Mexicana*. Tesis de Maestría en Física de la Atmósfera. México, UNAM.
- Vázquez, J. L., M. F. Cabré, M. Hurtado, A. Brenes and A. Bonilla (2007). CRN student's views of the challenges and opportunities of IAI Science. *IAI Newsletter*, 1-2007, p. 20.
- Vázquez-Aguirre, J. L., M. Brunet y P. D. Jones (2008). Variabilidad natural y detección instrumental del cambio climático. *Estudios para un programa veracruzano ante el cambio climático*. Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología y Embajada Británica en México. Cap. 3. Modelación climática y evidencias estadísticas.
- Vincent, L. A., X. Zhang, B. R. Bonsal and W. D. Hogg (2002). Homogenization of daily temperatures over Canada. *J. Climate*, 15, 1 322-1 334.
- Wang, X. L. (2003). Comments on Detection of undocumented changepoints: A revision of the two-phase regression model. *J. Climate*, 16, 3 383-3 385.
- World Meteorological Organization (WMO) (2003). *World Meteorological Organization Press Release No. 695*. July 2. Geneva, CH.
- Zwiers, F. (2009). Climate Change Detection and Attribution Methods. *6th GKSS School on Environmental Research*, oct. 6-16, Lecce, Italy.



ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE GEI EN INVENTARIOS CORPORATIVOS

Rosa María Jiménez Ambríz^[1]

México es uno de los pocos países No-Anexo I donde un número importante de empresas y organizaciones han adoptado el protocolo internacional de contabilidad y reporte de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), desarrollado por el World Resources Institute (WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Uno de los objetivos del Programa GEI México es el de desarrollar capacidades técnicas en el sector industrial mexicano, entre otras cosas, para: (a) generar inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel corporativo y (b) promover la participación en mercados internacionales de carbono. Los sectores industriales que participan en el programa contabilizan y reportan sus emisiones de cada uno de los seis GEI (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC y SF₆), en toneladas métricas y en toneladas equivalentes de CO₂ y de acuerdo con los requerimientos del estándar. En un futuro, el Programa promoverá la verificación voluntaria de las emisiones de GEI, lo cual dará mayor confianza y transparencia a la información generada para la provisión de una base fuerte para futuras estrategias y políticas sobre cambio climático.

Palabras clave: cambio climático, gases de efecto invernadero, inventario de emisiones de gases de efecto invernadero.

Mexico is one of the non Annex I countries where an important number of companies and organizations have adopted the greenhouse gas protocol (GHG protocol) developed by the World Resources Institute (WRI) and the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). One of the main objectives of the Programa GEI Mexico is developing the technical capacities in the Mexican industrial sector, among other things, for: (a) to generate greenhouse gases emissions inventories (GEI) by corporations; and, (b) to promote participation in the global carbon marketplace. The principal industrial sectors participating in the program account and report data on CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC y SF₆ emissions generated in metric tons and in CO₂ equivalent tons, according to the requirements of the GHG protocol. In order to increase trust and transparency in the future, the program will promote voluntary verification to provide of a strong base for future strategies and climate change policies.

Key words: climate change, greenhouse gases, greenhouse gas inventory.

[1] Ingeniera química y maestra en Ciencias sobre Calidad, Seguridad y Medio Ambiente. Es subdirectora de la Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable y coordinadora del Área de Energía y Clima. Es consultora para la Agencia de los Estados Unidos de América para el Desarrollo Industrial, donde coordinó proyectos de producción más limpia y sistemas de administración ambiental para el Centro Mexicano para la Producción más Limpia (rjimenez@cce.org.mx).

Antecedentes

El Programa GEI México surgió como una iniciativa del sector privado para implementar un esquema nacional voluntario de contabilidad y reporte de gases efecto invernadero (GEI) ante una respuesta para realizar acciones tempranas sobre cambio climático.

El Programa inició en agosto del 2004 mediante un convenio de colaboración entre la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD, por sus siglas en inglés) y el Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés).

En el 2006, quedó establecido un marco de acciones permanente bajo la coordinación de la Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental de la SEMARNAT en alianza con el Consejo Coordinador Empresarial, a través de su Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable.

México es el primer país *No-Anexo 1* donde importantes empresas han adoptado el *GHG Protocol a Corporate Accounting and Reporting Standard* (protocolo de contabilidad y reporte de emisiones), propuesto por el WRI y el WBCSD, gracias al cual han desarrollado capacidades técnicas para estimar sus emisiones y elaborar los inventarios corporativos de emisiones de GEI.

El Programa suministra lineamientos y herramientas de cálculo^[2] para la cuantificación de emisiones de GEI, ofrece talleres de capacitación y asistencia técnica a empresas en la preparación de inventarios y promueve la elaboración de estrategias corporativas para participar en los mercados voluntarios de carbono —como el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL)— mediante la evaluación de oportunidades de reducción de emisiones de GEI, principalmente de eficiencia energética e incorporación de energía de recursos renovables.

Los beneficios que obtienen las empresas al participar son los siguientes:

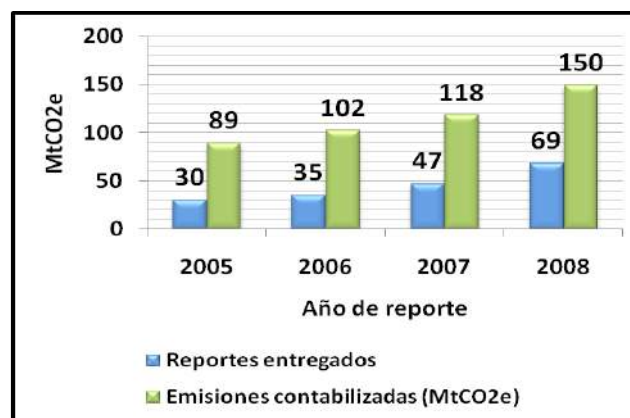
- Evaluar de su desempeño ambiental-climático y mejora de la gestión corporativa de GEI.
- Desarrollar elementos para el diseño de escenarios técnicos y económicos asociados a los GEI.
- Identificar oportunidades de reducción de GEI en el marco de sus actividades y procesos.
- Generar reportes públicos y la participación en programas voluntarios.
- Desarrollar capacidades para participar en programas de reporte obligatorio.
- Acceder a mercados de carbono.
- Contar con el reconocimiento a acciones voluntarias tempranas de reducción de emisiones.

Avances

El éxito del Programa GEI México ha sido posible gracias a los esfuerzos de las empresas participantes y de organizaciones públicas nacionales e internacionales.

A diciembre del 2009 se han inscrito 98 empresas privadas y públicas asentadas en México (entre ellas PEMEX), la totalidad del sector cementero y cervecero, así como parte de los sectores minero, siderúrgico, químico, de bebidas y aguas embotelladas. También, el Programa cuenta con la participación de organismos gubernamentales, empresas de servicios y entretenimiento, además del sector transporte. De las 98 organizaciones inscritas, 69 participan activamente entregando cada año su inventario corporativo de emisiones de GEI.^[3]

Figura 1
Evolución del Programa GEI México



[2] Las herramientas de cálculo han sido desarrolladas con base en el GHG Protocol, las cuales han sido revisadas y probadas por expertos y líderes industriales. Éstas se manejan en Microsoft Excel. Adaptan y actualizan metodologías y protocolos de estimación de emisiones GEI y representan las mejores prácticas para las estimaciones (disponibles en la página web www.ghgprotocol.org).

[3] Cada uno de los seis GEI: CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆.

Las emisiones directas e indirectas reportadas en el periodo 2008 representan 149.6 millones de toneladas de CO₂e. Éste es un resultado muy importante, ya que equivale, aproximadamente, a 23% de las emisiones totales de México y 33% de las del sector industrial.

El avance que ha tenido el Programa a lo largo de los últimos tres años ha sido significativo, se ha incrementado en 90% la entrega de inventarios en relación con el 2006, y ha habido un aumento de las emisiones reportadas de 42% respecto al mismo año.

Figura 2
Emisiones reportadas de acuerdo con sectores participantes



El Programa GEI México ha mostrado ser una herramienta de gestión de emisiones de GEI; por ello, fue adoptado por la Estrategia Nacional de Cambio Climático y el Programa Especial de Cambio Climático (PECC) como parte del esfuerzo del gobierno mexicano sobre el tema de cambio climático. Sus metas en el PECC son las siguientes:

- Reporte de 80% de las emisiones nacionales de GEI por generación y uso de energía y procesos industriales.
- Incorporación de cuatro nuevos sectores de la economía.
- Implementación de un sistema de validación/certificación de inventarios de emisiones.
- Identificación de 100 proyectos para la participación en los mercados de carbono.
- Establecimiento de un sistema de registro electrónico de emisiones y de reducción que permita el reconocimiento de acciones a ejecutar.
- Elaboración de cinco estudios sobre identificación de mejores prácticas, tecnologías y lineamientos por sector en actividades económicas seleccionadas.

Datos del Programa

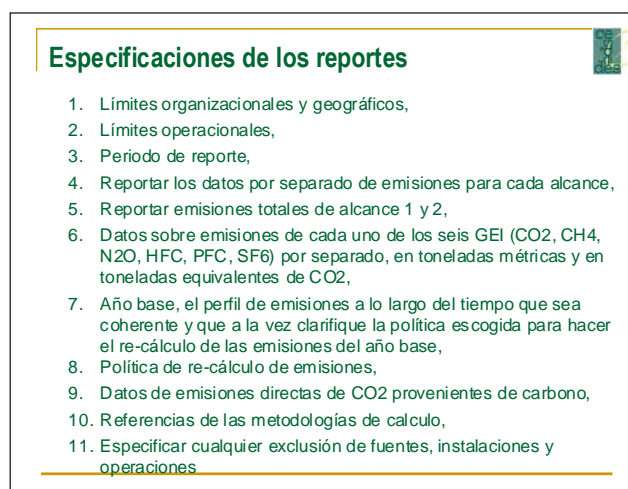
Sus inventarios corporativos son desarrollados de acuerdo con las especificaciones del *GHG Protocol*. El estándar cuenta con un reconocimiento internacional y es utilizado por un gran número de iniciativas y programas listados en la figura 3.

Figura 3
Programas que utilizan el GHG Protocol



El reporte del inventario de emisiones de GEI cumple con 11 especificaciones (ver figura 4), información que se encuentra disponible en cada reporte de inventario y que es pública en la página del Programa (www.geimexico.org).

Figura 4
Especificaciones de los reportes



El Programa GEI México cuenta con herramientas de cálculo para estandarizar los métodos de estimación de emisiones, lo cual permite que los inventarios de México tengan las mismas características de inventarios de empresas y programas internacionales.

De esta forma, organismos nacionales pueden participar en programas internacionales que tienen como base el *GHG Protocol* del WRI/ WBCSD. Las herramientas que han sido estandarizadas para el Programa son:

- Herramientas de cálculo del *GHG Protocol* para todos los sectores industriales.
- Factores de emisión para combustibles de acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).
- Determinación anual del factor de emisión de la red del Sistema Eléctrico Nacional:
 - Con base en la información del *Balance nacional de energía* de la Secretaría de Energía.
 - Estimación con base en la metodología desarrollada por el ATPAE (Association of Technicians and Professionals in Energy Application), compatible con la metodología del MDL.

Conclusiones

- El Programa GEI México es una herramienta que ha mostrado beneficios para la gestión del cambio climático. Ha permitido al sector industrial fortalecer la información relacionada con la gestión de las emisiones de GEI a través de los inventarios corporativos, lo cual implica que las empresas han sistematizado su información en caso de que deseen emprender un segundo paso hacia la verificación de la información.
- La información generada en los inventarios permite desarrollar el análisis necesario para que los sectores industriales cuenten con las bases para desarrollar estrategias sectoriales y evaluar oportunidades de mitigación.
- Es un programa de buena voluntad; hasta ahora, los inventarios generados no han sido verificados por una tercera parte. Una de sus metas a corto plazo es la incorporación de un esquema de verificación/validación de

emisiones y reducciones de GEI. Este nuevo esquema ofrecerá un reconocimiento de tres niveles y cuyo objetivo es promover la consolidación de estrategias dentro de las empresas hasta llegar a la certificación de reducciones de las emisiones de GEI.

- Dicho esquema aportará mayor transparencia, confianza y precisión en la información generada en el marco del PECC, ya que otro de los objetivos del Programa es evolucionar hacia el Registro Nacional de Emisiones.
- Por otro lado, y con el fin de contar con datos precisos relativos a las emisiones de GEI, es necesario que en México se logren estandarizar los factores de emisión de los combustibles; además, debe generar y hacer oficial la información de los factores de emisión de combustibles nacionales y del factor de emisión de la red del Sistema Eléctrico Nacional.
- En un futuro, las especificaciones de los reportes deberán solicitar mayor desagregación de la información de los inventarios para servir a los propios sectores industriales en el desarrollo de estudios sectoriales.
- En la medida que se incremente la participación y la cobertura de los diferentes sectores económicos, éstos servirán para robustecer el análisis desarrollado en el *Inventario nacional de emisiones*, dado que es una metodología con un enfoque de abajo hacia arriba. ■

Referencias

- WRI and WBCSD (2004). *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard* (Geneva: WBCSD, rev. edn).
- Sullivan, R. (2008). *Corporate Response to Climate Change: achieving emissions reductions through regulation, self-regulation and economic incentives*. Greenleaf publishing.



BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA Y SU RELACIÓN CON EL INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES

Verónica Irastorza Trejo^[1]
y Ximena Fernández Martínez^[2]

El sector energético es responsable de más de la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo.^[3] En México, la industria generadora de energía, las emisiones fugitivas de combustibles y el uso de combustibles fósiles en la industria, el transporte y otros sectores aportaron 60.4% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el 2006 al sumar 430 millones de toneladas de CO₂ eq. Este documento presenta cifras al respecto del Inventario nacional de emisiones (2006) y del Balance nacional de energía (2008).

Palabras clave: cambio climático, energía, emisiones, inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero, balance de energía.

[3] AIE. *World Energy Outlook 2009*, p. 168.

The energy sector is responsible for more than half of the greenhouse gas (GHG) emissions in the world. About 60.4% of the total 2006 GHG emissions in Mexico were related to energy generation, fugitive emissions of fuels and use of fossil fuels in the industry, transport and other sectors.

The National Greenhouse Gas Inventory takes the information from the National Energy Balance to calculate the emissions of the energy sector. The last edition of the Inventory is from 2006, while the latest Energy Balance is for 2008. For that reason, both data sets are presented on this essay.

Keywords: climate change, energy, emissions, greenhouse gas inventory, energy balance.

[1] Maestra en Políticas Públicas y licenciada en Economía. Directora general de Planeación Energética en la Secretaría de Energía. Fue consultora en temas de energía con la empresa de consultoría económica NERA en Estados Unidos de América y sobre asuntos de política pública y regulación en el sector energético y de agua en varios países, como: Canadá, España, Honduras, Irlanda, Japón y México. Ha publicado en *Energía a Debate* y en el *Electricity Journal* (virastorza@energia.gob.mx).

[2] Maestra en Estadística y Econometría por la Universidad de Essex del Reino Unido y actúa por el ITAM. Directora de Formulación de Balances y Anuarios de la SENER y es responsable de la elaboración del *Balance nacional de energía*, de las estadísticas energéticas y de la coordinación del proyecto Indicadores de Eficiencia Energética. Fue subdirectora de Metodologías de Ajuste Estacional en INEGI.

Introducción

El desarrollo del sector energético está íntimamente ligado con el crecimiento económico y social en nuestro país, ya que la energía es insumo en todos los sectores de la economía, por ejemplo: para el transporte de personas y mercancías, la producción de manufacturas y el funcionamiento de establecimientos comerciales, de servicios, fábricas y hogares. La importancia que tiene en las finanzas públicas y en el comercio exterior también lo convierte en una instancia estratégica.

Asimismo, este sector juega un papel fundamental en la problemática de cambio climático. En el 2006, la categoría *energía* aportó aproximadamente un 61%^[4] de las emisiones totales de GEI en México, dentro de la cual, la industria generadora de la energía emitió 21% de los GEI (ver figura 1).

Es por ello que hoy estamos ante el reto de continuar con el crecimiento económico, al mismo tiempo que reducimos nuestras emisiones. En el sector energético, esto se puede lograr haciendo más eficiente la producción y el uso de la energía. Otro camino es fomentar el aprovechamiento de fuentes menos contaminantes o energías limpias.

[4] INE-SEMARNAT (2006). Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.

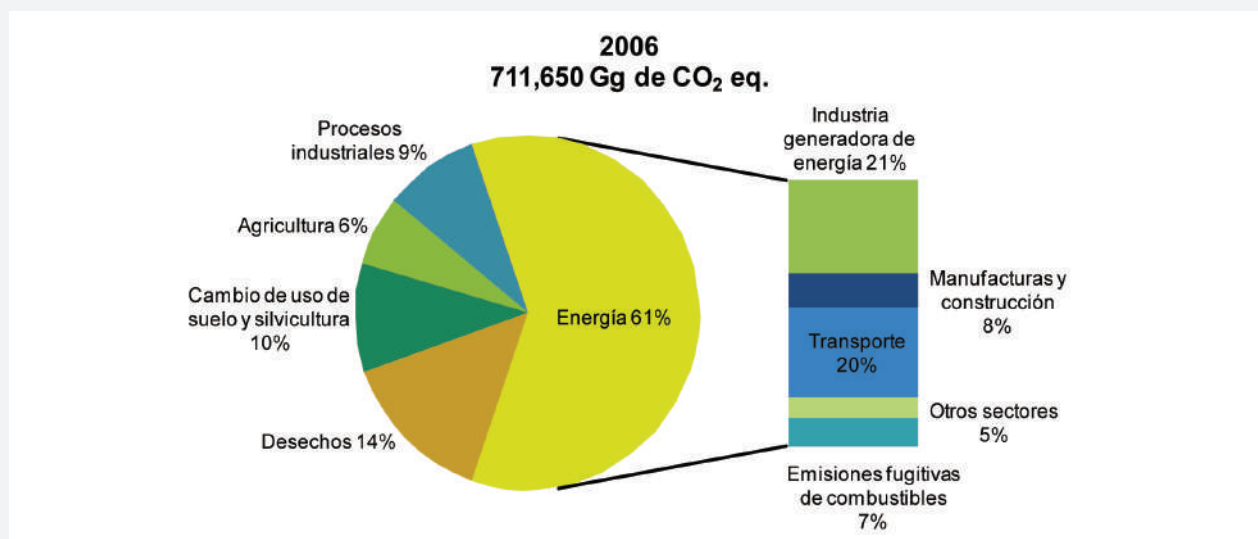
Este trabajo presenta las principales estadísticas energéticas de oferta y demanda, las cuales son el principal insumo para el cálculo de emisiones del sector energético. En la primera sección se muestran los objetivos del *Balance nacional de energía* (BNE) y se describen a detalle las fuentes y flujos considerados en él; en el segundo apartado se exponen tanto los retos como las estrategias que existen en la recopilación e integración de las estadísticas energéticas, así como las principales fuentes de información del *Balance*; en la sección número tres se presenta brevemente cómo es que a partir de las estadísticas del BNE se estiman las emisiones de este sector; el desempeño de los principales flujos de la oferta y demanda de energía durante el periodo 1990 a 2008, junto con sus emisiones, se analiza en la cuarta sección; por último, se dan las conclusiones y recomendaciones.

1. Balance nacional de energía

Es un documento que presenta las estadísticas energéticas a nivel nacional sobre el origen y destino de las fuentes primarias y secundarias de energía para un periodo determinado.

Uno de sus principales objetivos es ofrecer información útil y comparable a nivel nacional e internacional para el análisis del desempeño

Figura 1
Total de emisiones de GEI en México^a 2006



^a Un gigagramo (Gg) equivale a mil toneladas.

Fuente: INE-SEMARNAT. *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.*

del sector energético y el diseño, formulación e implantación de políticas públicas en la materia. Además, proporciona herramientas que permiten tanto medir los impactos ambientales asociados a la generación y consumo de energía como monitorear el mejor aprovechamiento de la misma para garantizar la competitividad del sector y el desarrollo sustentable, sobre todo, considerando que el sector energético es el mayor contribuyente de GEI de nuestro país.

a. Fuentes de energía

El BNE considera fuentes de energía primaria y secundaria. La primera comprende aquellos productos energéticos que se obtienen directamente de la naturaleza o con un procesos de extracción, como: carbón mineral, petróleo crudo, condensados, gas natural, nucleenergía, hidroenergía, geoenergía, energía eólica, bagazo de caña y leña; la segunda se obtiene mediante la transformación de las fuentes primarias, con características específicas para consumo final: estos derivados son el coque de carbón y de petróleo, el gas licuado de petróleo, las gasolinas y naftas, los querosenos, el diésel, el combustóleo, los productos no energéticos, el gas seco y la electricidad.

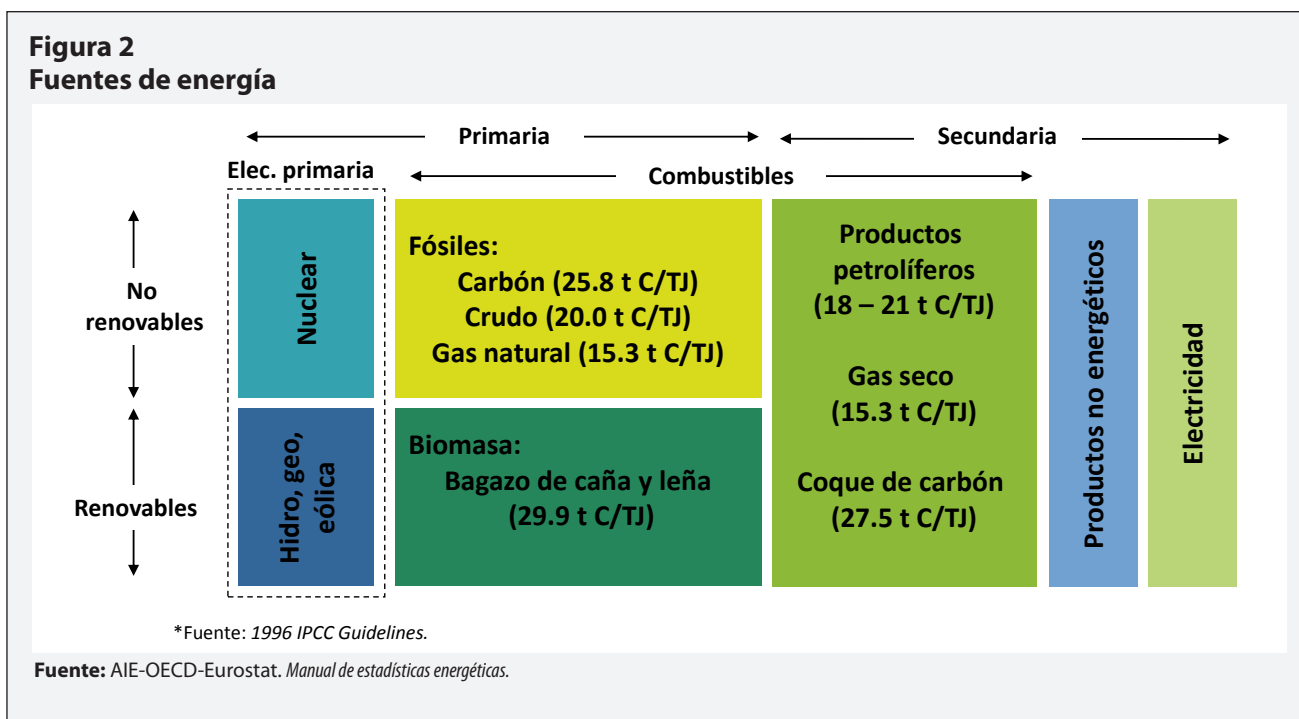
A su vez, las fuentes primarias y secundarias se pueden clasificar en renovables y no renovables (ver figura 2): las primeras se definen como la energía disponible a partir de procesos permanentes y naturales, con posibilidades técnicas de ser

explotadas económicamente; las principales fuentes que se consideran en el BNE son la hidroenergía, la geoenergía, la energía eólica y la solar (éstas se aprovechan, principalmente, en la generación de energía eléctrica y en otras aplicaciones como bombeo, iluminación y calentamiento de agua). Las no renovables son aquellas que se extraen de los depósitos geológicos que se formaron a partir de biomasa y también considera los combustibles secundarios producidos con base en un combustible fósil.

b. Unidades de medida

El primer paso para la elaboración del BNE es realizar una recopilación exhaustiva de las estadísticas por fuentes de energía en sus unidades originales, por ejemplo: de masa para combustibles sólidos (toneladas, kilogramos), de volumen para líquidos y gases (barriles, pies cúbicos, litros) y de energía (kilowatt hora, calorías). No obstante, las distintas unidades en que se miden dichas fuentes de energía impiden su comparación directa, de ahí la necesidad de utilizar una homogénea que permita la integración de flujos totales de la energía para su análisis.

Siguiendo con lo establecido en el Sistema General de Unidades de Medida, el BNE utiliza el joule (J) como unidad común para medir la cantidad de



energía necesaria para mover un kilogramo a lo largo de una distancia de 1 metro, aplicando una aceleración de 1 metro por segundo al cuadrado.

La conversión de una cantidad de combustible expresada en sus unidades originales a joules requiere de un poder calorífico que exprese la cantidad de calor que se libera en un proceso de combustión. El BNE presenta las estadísticas en términos del poder calorífico neto (PCN), el cual excluye el calor requerido para evaporar el agua presente en el combustible o producida durante su combustión y equivale al calor del proceso de combustión que se aprovecha en la práctica. Es importante mencionar que los poderes caloríficos se obtienen mediante medición en laboratorio y varían de acuerdo con la calidad de los combustibles y a las condiciones climáticas y de almacenamiento.

Cuando la unidad original es expresada en unidades de energía, como es el caso de la electricidad, sólo se aplica el factor de conversión apropiado.

En la figura 3 se muestran los coeficientes de conversión o equivalencias utilizadas en el BNE.

Figura 3
Factores de conversión

Equivalencias de masa	
1,000 kilogramos = 1 tonelada métrica	
Equivalencias de volumen	
1 galón = 3.7854 litros	1 metro cúbico = 6.2898
42 galones = 1 barril	1 metro cúbico = 35.31467
1 barril = 158.9873 litros	
Equivalencias de energía	
1 caloría = 4.1868 joules	
1 megawatt por hora = 3,600 megajoules	
Prefijos métricos	
E Exa = 10^{18}	G Giga = 10^9
P Peta = 10^{15}	M Mega = 10^6
T Tera = 10^{12}	k kilo = 10^3

Fuente: SENER. BNE 2008.

c. Flujos de la energía

Son las etapas, actividades y eventos por los que una fuente energética debe pasar desde su origen hasta su aprovechamiento. Los principales flujos considerados en las estadísticas energéticas se presentan en la figura 4. Cabe mencionar que la contabilización de los flujos de los productos energéticos requiere de una convención práctica y una metodología que se apegue a estándares internacionales.

La *oferta interna bruta de energía* es la cantidad de energía primaria y secundaria disponible en el territorio nacional para satisfacer las necesidades energéticas en los procesos de transformación, distribución y consumo; es la suma de la producción, de otras fuentes, importación, variación de inventarios y operaciones de maquila (intercambio neto), menos la exportación y la energía no aprovechada.

La *producción* es el total de la energía extraída o capturada del subsuelo, explotada o recolectada dentro del territorio nacional. La cantidad producida de fuentes primarias de energía suele medirse cerca del punto de extracción de las reservas y excluye cualquier cantidad que no se conserva para su uso o venta; por ejemplo: en el caso del gas natural se descuenta el bióxido de carbono, el gas reinyectado y el empleado para encogimiento en compresión y transporte; para la electricidad primaria, se cuantifica el contenido calorífico del vapor que ingresa en la turbina, sin embargo, por lo general, esta cantidad no se conoce y debe estimarse (la estimación se realiza mediante un cálculo regresivo a partir de la generación bruta, con base en la eficiencia térmica de la central); medir la producción de leña tampoco es sencillo debido a que la gran mayoría proviene del auto abasto en las zonas rurales y su consumo o comercio se da de manera informal.

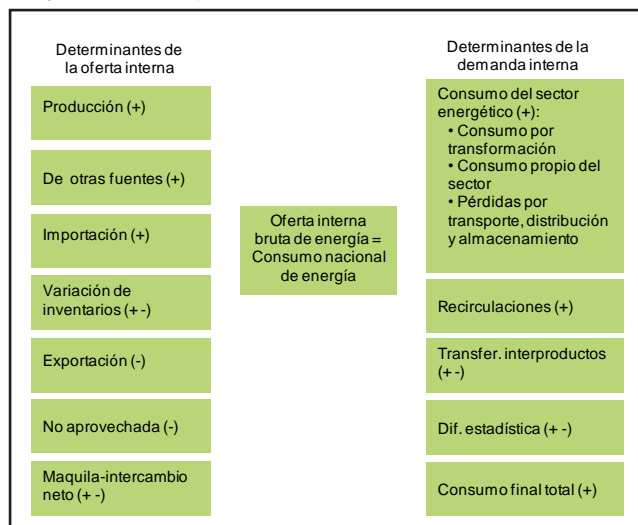
Para fines estadísticos, se asume que toda la producción es consumida y el consumo nacional se obtiene a partir de coeficientes de consumo per cápita a nivel urbano y rural, los cuales se multiplican por las poblaciones respectivas, inter y extrapoladas de los censos de población y vivienda.

El flujo de *otras fuentes* se refiere, principalmente, al gas residual utilizado para bombeo neumático^[5] y sellos en los campos productores de petróleo crudo y gas natural. También, incluye al gas de formación empleado, el cual está compuesto por el gas recirculado de formación y el de pozos de alta presión.

El *comercio exterior* considera las transacciones de combustibles que tiene México con otros países, excluyendo el comercio en tránsito. La *importación* contabiliza la cantidad de energía primaria y secundaria localizada fuera de las fronteras que ingresa al país, y la *exportación* registra la energía que se destina para su uso fuera del territorio nacional.

[5] El bombeo neumático es un sistema artificial de producción que se emplea para elevar el fluido de un pozo de petróleo mediante la inyección de gas a través de la tubería de producción.

Figura 4
Flujos de energía



Fuente: SENER. BNE 2008.

Es importante mencionar que se debe identificar la nación de origen o destino de forma precisa, ya que no siempre corresponde al país por donde ingresa o sale el combustible.

El tema *maquila-intercambio neto* registra las negociaciones especiales de México con empresas extranjeras. Mediante estas negociaciones se entrega petróleo crudo a cambio de productos petrolíferos.

Los *inventarios* permiten preservar el funcionamiento de la economía cuando la oferta difiere de la demanda, ya que cubren fluctuaciones en la producción, importaciones y/o pérdidas. Una *variación de inventarios* positiva muestra la desacumulación real en los almacenes, buques o terminales, e implica un aumento en la oferta total de energía; análogamente, un valor negativo genera una disminución en la oferta total de energía y, por lo tanto, es equivalente a una acumulación en los mismos.

La energía *no aprovechada* se refiere a aquella que, por la disponibilidad técnica y/o económica de su explotación, no es utilizada. Los derrames accidentales de petróleo, el gas natural enviado a la atmósfera y el bagazo de caña quemado en patios de almacenamiento se contabilizan dentro de este flujo.

El BNE muestra el equilibrio entre la oferta y la demanda de energía; es por ello que, la *oferta interna bruta de energía* debe ser igual al consumo nacional de energía.

La *demanda de energía* es la suma del consumo del sector energético, las recirculaciones, la diferencia estadística y el consumo final total, y es igual a la *oferta interna bruta*.

El *consumo del sector energético* incluye aquél por transformación, propio y las pérdidas. El *consumo por transformación* se refiere a la energía primaria que es convertida, por medios físicos y/o químicos, en un producto energético secundario; por ejemplo, la fabricación de coque de carbón a partir de carbón mineral en las coquizadoras. Es importante mencionar que los combustibles utilizados para generar electricidad se incluyen en este tema. El *consumo propio* del sector es la energía utilizada por el sector mismo para el funcionamiento de sus instalaciones.

En el caso del sector eléctrico, se incluyen los autoconsumos en generación, transmisión y distribución. Las *pérdidas* por transporte, distribución y almacenamiento son las mermas de energía que ocurren durante la serie de actividades que se dan desde la producción hasta el consumo final de la energía.

Las *recirculaciones* se refieren al gas seco utilizado en bombeo neumático.

Las *transferencias interproductos* son los movimientos entre fuentes de energía debidos, principalmente, a reclasificaciones o cambios de nombre; por ejemplo: el gas natural directo de campos se reclasifica en gas seco.

La *diferencia estadística* es una variable de ajuste que compensa las diferencias entre la oferta y la demanda de energía resultado de la conversión de unidades, la diferencia de mediciones en las instalaciones del sector y la información relativa a otras cuentas no detalladas anteriormente.

El *consumo final total* incluye la energía y la materia prima que se destinan a los distintos sectores de la economía para su consumo. El *Balance* considera dos tipos de consumo final:

- No energético: registra el consumo de energía primaria y secundaria como materia prima.
- Energético: se refiere a los combustibles primarios y secundarios utilizados para satisfacer las necesidades de energía de los sectores transporte, industrial, residencial,

comercial, público y agropecuario. A su vez, el sector transporte se divide en los siguientes modos de transporte: autotransporte, aéreo, marítimo, ferroviario y eléctrico. El consumo del sector industrial comprende el consumo de energía de los procesos productivos en las ramas más intensivas en uso de energía y únicamente se contabiliza el consumo de productos energéticos para su uso final sin transformación a otros productos y no se incluye el consumo para transporte (ya que éste se contabiliza en el sector transporte) ni el consumo para generación de electricidad. El sector público incluye el consumo de energía para alumbrado público, bombeo de agua potable y aguas negras y consumo eléctrico en sus instalaciones.

2. Estrategias de recopilación y fuentes de información del BNE

La integración de las estadísticas energéticas es compleja debido a las diferencias que existen en los distintos flujos de la cadena de producción y consumo, así como las especificidades inherentes a cada fuente de energía.

Aunado a esto, la liberalización de los mercados ha hecho que el número de participantes e intermediarios en la cadena productiva se incremente, lo que dificulta la integración de las estadísticas. Como resultado de lo anterior, hoy nos enfrentamos a nuevos retos al buscar mayor cobertura, exactitud, robustez y oportunidad de los datos recabados. Temas como la confidencialidad y la reserva de la información se suman al desafío.

Es por ello que, para contar con datos de calidad, deben existir canales e instrumentos adecuados que aseguren la consistencia y congruencia de los mismos. También, es importante utilizar una clasificación adecuada y definir de forma precisa cada concepto y/o flujo, siguiendo estándares internacionales.

En México, la producción de estadísticas tiene sustento legal en la *Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica*, cuyo objetivo es "...suministrar a la sociedad y al Estado información de calidad, pertinente, veraz y oportuna, a efecto de coadyuvar al desarrollo nacional..."^[6]

[6] *Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica*. Título segundo, capítulo 1, artículo 3.

El Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG) coordina la participación de las distintas entidades gubernamentales en materia de recolección, producción, integración y diseminación de la información. En esta ley también se establecen los derechos y obligaciones de los informantes del Sistema, lo cual facilita y da fundamento legal a la recopilación de las estadísticas para fines del BNE. Aunado a esto, la cooperación de las distintas entidades que integran el sector es sumamente importante en la recopilación de información.

El primer paso para la integración de las estadísticas del *Balance* es identificar de forma esquemática los flujos de producción, oferta y consumo para cada producto energético. Esto permite tener una idea más clara de los procesos e identificar a los agentes involucrados.

El siguiente paso es identificar las distintas fuentes de información, las cuales se pueden agrupar en tres categorías: industria generadora de la energía, cogeneradores y autogeneradores, y consumidores de energía. Por el lado de la oferta, se tiene a la industria generadora de la energía (incluyendo a productores, distribuidores, importadores y exportadores), cogeneradores y autogeneradores y, por el lado de la demanda, están los consumidores de energía.

La oferta de energía se tiene bien caracterizada gracias a que la producción, comercio exterior y distribución de las principales fuentes de energía (hidrocarburos y electricidad) están a cargo, en su mayoría, de empresas públicas.

De forma anual, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) proporciona información relativa al balance de electricidad del Sistema Eléctrico Nacional por fuente de energía primaria y secundaria. Al cierre del año, Petróleos Mexicanos (PEMEX) entrega a la Secretaría de Energía información sobre producción, comercio exterior, variación de inventarios, energía no aprovechada, energía a transformación, consumo propio, pérdidas por transporte, distribución y almacenamiento y ventas internas de hidrocarburos. El Instituto Mexicano del Petróleo da información más detallada sobre el consumo de petrolíferos en los distintos sectores e información acerca de las actividades de oferta que realizan particulares.

Para el carbón mineral, la CFE entrega el consumo de carbón térmico por central carboeléctrica, el poder calorífico bruto del carbón adquirido por central, la variación de inventarios por central e importaciones por país de origen y central. Por su parte, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) proporciona a la SENER información de la estadística mensual de la industria minerometalúrgica alusiva al volumen de la producción, inventarios y ventas de carbón, así como las importaciones y exportaciones del mismo.

La principal fuente de información para estimar la producción y consumo de leña es un estudio realizado por la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal en noviembre de 1988, donde se establecen los coeficientes de consumo per cápita a nivel urbano y rural. Éstos se multiplican por las poblaciones respectivas, inter y extrapoladas de los censos y conteos de población y vivienda del INEGI. Para actualizar el método de cálculo y contar con información confiable sobre la evolución del consumo de leña en México, la SENER encargó la elaboración del *Estudio sobre la evolución nacional del consumo de leña y carbón vegetal en México 1990-2024*, cuyos resultados serán incorporados en la siguiente edición del *Balance*.

Con base en información del *Anuario de la Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica* se obtiene la producción, energía no aprovechada y consumo final no energético de bagazo de caña en los ingenios azucareros.

Por otro lado, aun cuando el número de compañías privadas que generan o producen energía es reducido, su crecimiento ha sido importante, lo cual enfatiza la necesidad de contar con información confiable y periódica por parte de ellos; por ejemplo: con el fin de obtener información relativa a la generación bruta y consumo de combustibles para generación de electricidad por central eléctrica de los productores independientes de energía con permiso de producción independiente y/o exportación, se les envía un cuestionario que se debe llenar de forma trimestral.

En lo que respecta a la generación privada de energía, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) proporciona información sobre a la capacidad instalada, autogeneración y consumo de combustibles.

Sin embargo, en cuanto al consumo final de energía, aún es necesario tener más información y estadísticas detalladas para lograr un mejor entendimiento del

uso de la energía. No obstante, la heterogeneidad de los sectores incrementa el grado de complejidad en la recopilación de información. Por ello, es preciso diseñar mecanismos y estrategias específicas para cada sector, dadas sus particularidades.

Para conocer con más detalle el consumo de energía de los distintos sistemas de transporte colectivo de pasajeros y transporte ferroviario (pasajeros y carga), se elabora un cuestionario donde, además de preguntar acerca de la cantidad de combustibles consumidos, se pregunta sobre el número de pasajeros o toneladas de carga transportada, los kilómetros recorridos por la unidades y la antigüedad de los equipos, entre otras variables.

Con el propósito de obtener el consumo final de energía en el sector industrial desagregado por rama, la SENER elabora de forma anual la Encuesta sobre el Consumo de Energía en el Sector Industrial, donde se solicita información de producción, consumo de energía, inventario de energéticos, autogeneración de electricidad, programas de ahorro y sustitución de energía. Esta encuesta se distribuye entre las ramas más intensivas en uso de energía para su llenado, y los datos son contrastados con la información agregada que proporciona tanto PEMEX como CFE, y anteriormente Luz y Fuerza del Centro (LyFC). Sin embargo, aún falta mejorar la confiabilidad, robustez y exactitud de la información, así como ampliar la muestra y representatividad de dicha encuesta.

Una vez que se cuenta con la información sobre la oferta y demanda de combustibles, se utilizan criterios de validación para asegurarse que los datos cumplan con los requisitos de robustez, integridad y congruencia aritmética.

3. Del BNE al cálculo de emisiones del sector energético

Como ya se mencionó, la generación y uso de la energía contribuyen de manera significativa a la emisión de GEI, de ahí la importancia de las estadísticas generadas en el BNE para el cálculo de emisiones.

El primer paso en el cálculo de las emisiones del sector energético es elaborar balances por producto en sus unidades originales. Tomando un factor de conversión o el poder calorífico de cada combustible, se convierte cada unidad a petajoules (PJ). Una vez que se tiene esta información estandarizada, se envía al Instituto Nacional de Ecología (INE) para su revisión detallada sobre la oferta interna bruta total y el consumo nacional de combustibles

del país, y mediante la metodología del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) se calculan las emisiones del sector.

Esta metodología puede ser de dos tipos:

- Referencial: utiliza los datos de oferta total de combustible del país.
- Sectorial: se enfoca en las cifras de uso de combustible por sector, considerando específicamente los sectores que consumen más combustible.

Ambos buscan asignar un factor de emisión a cada tipo de combustible y, de esta forma, estandarizar el uso de combustibles a emisiones de CO₂ equivalentes. La metodología proporciona los factores de conversión y permite a cada país calcular sus emisiones estimadas de una manera estándar.

4. El sector energético y sus emisiones

a. Energía primaria

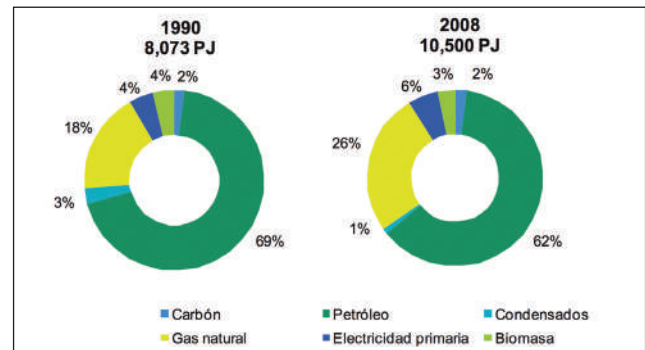
Durante el periodo 1990-2000, la producción de energía primaria creció a una tasa promedio anual de 1.5 por ciento. Como se puede ver en la figura 5, la estructura porcentual de la producción de energía primaria corresponde mayoritariamente, a los hidrocarburos. En 1990, su participación fue 90%, muy similar a la alcanzada en el 2008 (89%) y se espera que ésta siga siendo destacada en nuestro país.

Analizando la composición de manera individual, destaca la disminución de siete puntos porcentuales en la participación del crudo. La menor producción del Activo Integral Cantarell desde el 2005 no fue compensada por el aumento en la producción de otros activos, como Ku-Maloob-Zaap.

El gas natural fue el energético primario con el mayor crecimiento: de 1990 al 2008, registró una tasa de crecimiento media anual de 3.5%, lo que resultó en un aumento en su participación de ocho puntos porcentuales. Lo anterior fue motivado por la mayor producción de los dos principales activos: Burgos y Cantarell.

La generación de electricidad primaria creció a una tasa promedio anual de 2.9% en el periodo de observación y aumentó su participación dos puntos porcentuales.

Figura 5
Composición por fuentes de la producción de energía primaria

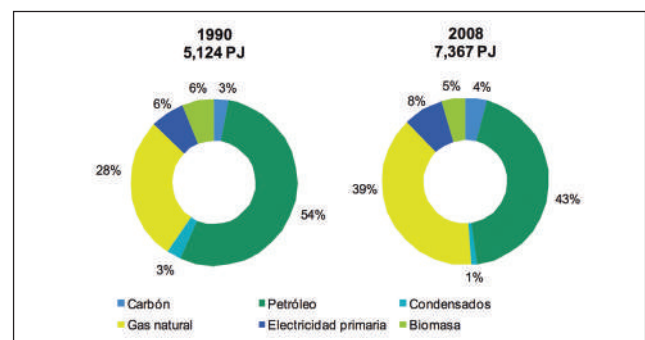


Fuente: SENER. BNE 2008.

El crecimiento se debió, principalmente, al aumento en la generación en las hidroeléctricas por la entrada en operación de la central El Cajón, en Nayarit, y al incremento de 7.1% anual en la generación de la central nucleoelectrica. En el 2008, 68% fue generado en las hidroeléctricas; 19%, en la central nucleoelectrica y 12%, en las centrales geotérmicas; mientras que la participación de las centrales eólicas fue marginal.

La tasa media de crecimiento promedio anual de la oferta interna bruta de energía durante el periodo de 1990 al 2008 fue de 2 por ciento. Esto fue resultado del menor crecimiento en el envío de crudo al exterior, en parte por la caída en la producción de petróleo observada desde el 2005 y al aumento de las importaciones de carbón mineral, las cuales han sido impulsadas por la creciente demanda interna de carbón tanto térmico como siderúrgico, que se utilizan para la generación de electricidad en las plantas termoeléctricas y la fabricación de acero, respectivamente.

Figura 6
Composición por fuente de la oferta interna bruta de energía primaria

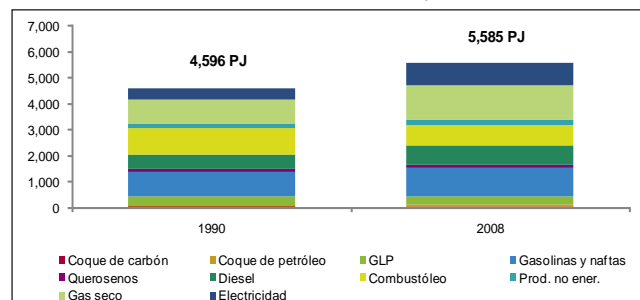


Fuente: SENER. BNE 2008.

b. Energía secundaria

En la figura 7 se puede observar que, en el 2008, la producción bruta de energía secundaria fue 5 585 PJ, 989 PJ más que en 1990; en ese año, la mayor parte de la producción en los centros de transformación correspondió a combustóleo (22%), mientras que en el 2008, esa misma participación fue de 14 por ciento. Si tomamos en cuenta que el factor de emisión de este combustible es 21.1 t C/TJ, esto implicó una menor disponibilidad del mismo y, por ende, menores emisiones. Respecto al gas seco, el cual es un combustible más limpio (15.3 t C/TJ), su participación aumentó tres puntos porcentuales, al pasar de 21% en 1990 a 24% en el 2008. La producción de gasolinas y naftas tuvo una participación de 20% en 1990 contra 19% en el 2008.

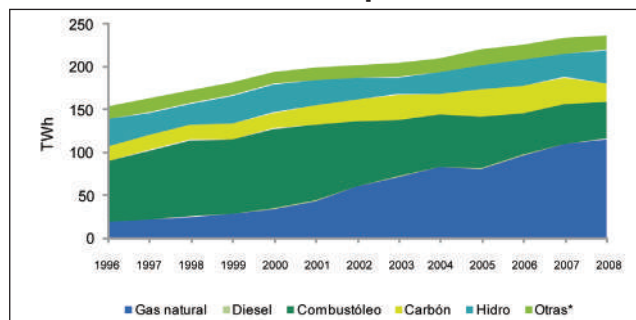
Figura 7
Producción bruta de energía secundaria en centros de transformación (petajoules)



Fuente: SENER. BNE 2008.

Durante el periodo de 1996 al 2008, la generación de electricidad mostró un crecimiento promedio anual de 3.7%, y destaca el cambio en la composición de la generación hacia fuentes con una menor emisión. En 1996, la cartera de generación se componía de la siguiente manera: 46% combustóleo, 21% hidro, 12% gas natural, 12% carbón y el restante 9% correspondía a nucleoenergía, geoenergía y energía eólica.

Figura 8
Generación de electricidad por fuente (TWh)



^{a/} Incluye nucleoenergía, geoenergía y energía eólica.

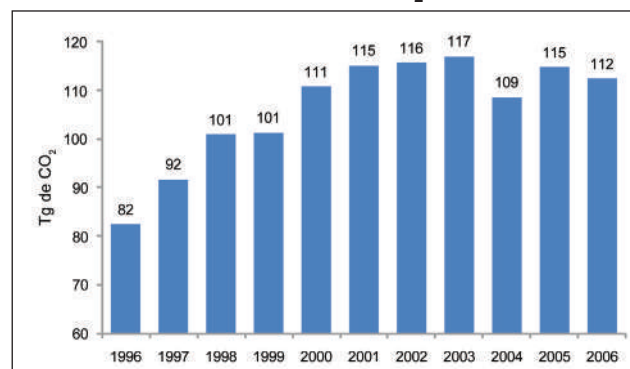
Fuente: SENER. Prospectiva del sector eléctrico 2008-2017.

Como lo muestra la figura 8, en el 2008 hubo un aumento significativo en la generación a partir de gas natural, con una participación de 49 por ciento. En contraste, el uso de combustóleo disminuyó y su aportación se redujo a 18 por ciento. La participación de la generación hidro, de carbón y otros fue de 16, 9 y 7%, respectivamente.

En los últimos años, la generación a partir de fuentes renovables (hidroeléctricas, geotérmicas y centrales eólicas) ha aumentado, y en el 2008 representaron 24% de la capacidad instalada para generar energía eléctrica.

Las emisiones de GEI para generación de electricidad aumentaron 3.1% en promedio anual de 1996 al 2006, mientras que la propia generación creció a una tasa de 4% durante el mismo periodo.

Figura 9
Emisiones de GEI de la generación de electricidad en unidades de CO₂ eq.



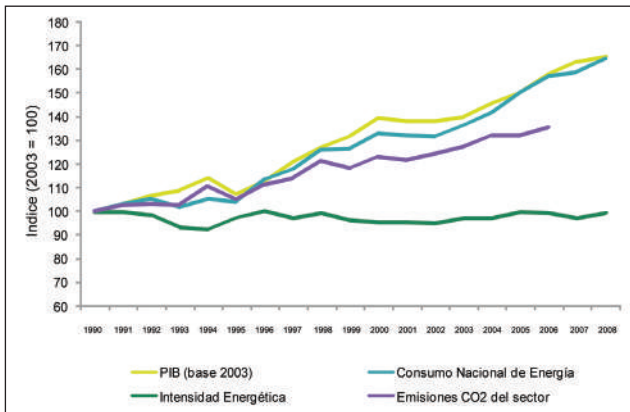
Fuente: INE-SEMARNAT. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.

Como lo muestra la figura 9, en el 2003 hubo un aumento en las emisiones resultado de una mayor generación a partir de carbón, cuyo factor de emisión es de los más elevados (25.8 t C/TJ). En el 2004, las emisiones cayeron como consecuencia de un aumento en la generación a partir de gas natural y en centrales hidroeléctricas y una disminución en la generación en carboeléctricas.

c. Demanda total

Ya se ha hablado de la relación estrecha que existe entre el crecimiento económico de un país, el sector energético y la emisión de GEI. Es por ello que para lograr un crecimiento económico sostenible, teniendo muy presente la mitigación efectiva de las emisiones, se requiere un uso eficiente de la energía, tanto por el lado de la producción como en el consumo.

Figura 10
Evolución del PIB, consumo de energía, intensidad energética y emisiones de CO₂ eq.

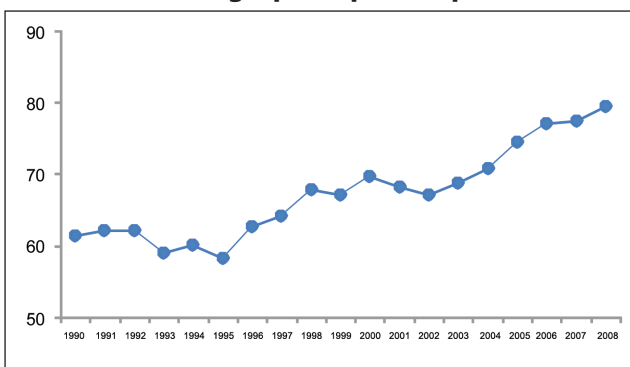


Fuentes: SENER. BNE 2008. // INE-SEMARNAT. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.

En la figura 10 se aprecia cómo el crecimiento de la actividad económica —medida en función del producto interno bruto (PIB)— ha ido acompañado de un crecimiento en el consumo nacional de energía. Durante el periodo 1990-2006 la tasa de crecimiento promedio anual del PIB y del consumo de energía fue de 2.9% en ambos casos. Las emisiones de CO₂ eq. del sector energético también han crecido, aunque a una tasa menor (1.9%). La intensidad energética, la cual expresa la cantidad de energía que se requiere para producir un peso de PIB, ha mostrado una pequeña disminución durante el periodo de análisis, lo que se traduce en un mejor aprovechamiento de la energía.

El consumo de energía per cápita anual ha crecido a una tasa promedio de 1.4% durante el periodo 1990-2008. Se espera que en los próximos 10 años, la población crezca a una tasa de 0.7% anual y mejore el nivel de vida, resultando en crecimiento en la demanda de energía.

Figura 11
Consumo de energía per cápita (GJ por habitante)



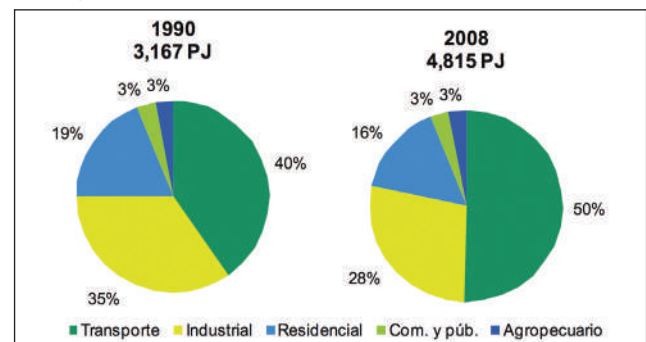
Fuente: SENER. BNE 2008, con información del CONAPO.

Con base en información de la Agencia Internacional de Energía, en el 2008 Estados Unidos de América tuvo un consumo por habitante aproximadamente 4.3 veces mayor que el de México. En el 2007, el consumo per cápita de Argentina y Chile fue 1.1 veces superior al de nuestro país y el de Venezuela, 1.3. En ese mismo año, México tuvo un consumo por habitante 1.4 veces mayor al de Brasil.

d. Consumo final por sector y por fuente

Durante el periodo de 1990 al 2008, el consumo final energético creció a una tasa promedio de 2.4% anual, ligado al crecimiento económico del país. Este crecimiento ha sido impulsado, en gran medida, por el consumo de los sectores transporte e industrial. En el 2008, el transporte fue el principal consumidor de energía y aumentó su participación 10 puntos porcentuales respecto a 1990. Por su parte, el sector industrial la disminuyó en el consumo final energético siete puntos porcentuales y el residencial, tres puntos.

Figura 12
Participación por sector en el consumo final energético



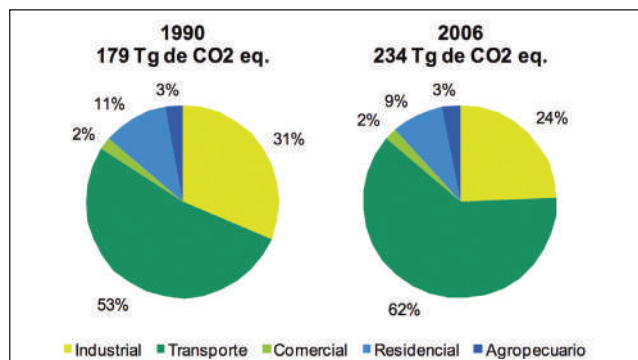
Fuente: SENER. BNE 2008.

En cuanto a las emisiones por sector, éstas aumentaron a una tasa promedio anual de 1.7% durante el periodo de 1990 al 2006, mientras que el crecimiento del consumo por sectores durante el mismo lapso fue de 1.9% anual. El sector transporte contribuyó con la mayor parte de las emisiones, incrementando su participación nueve puntos porcentuales en el 2006 respecto a 1990. El sector industrial redujo sus emisiones por consumo de energía siete puntos porcentuales y el residencial, dos.

Al analizar el consumo final energético por combustible, podemos ver un aumento en la participación de las gasolinas y naftas como resultado del aumento de la demanda del transporte. Durante el periodo de 1990 al 2008,

éstas tuvieron una tasa media de crecimiento anual de 3.7%; el diésel también mostró un incremento en su consumo y en su participación al registrar un crecimiento promedio anual de 3.6% e incrementar su participación tres puntos porcentuales. Esto se debió al mayor consumo en los sectores transporte, industrial y comercial.

Figura 13
Participación por sector en las emisiones de CO₂ eq.



Fuente: INE-SEMARNAT. *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.*

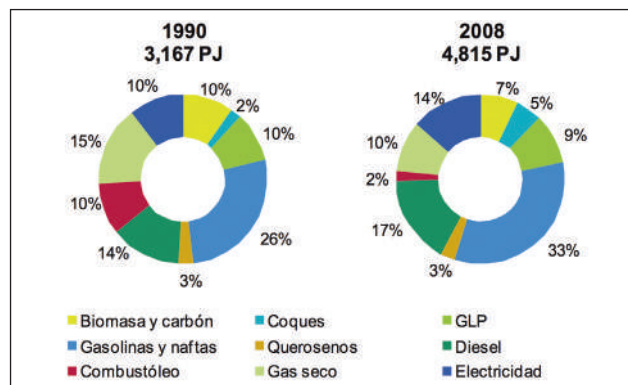
Por su parte, el consumo de gas seco mostró una ligera disminución en el sector industrial, lo que se tradujo en una pérdida de cinco puntos porcentuales en su aportación en el consumo final energético.

Destaca la disminución de ocho puntos porcentuales en la participación del combustóleo, ya que su demanda en el sector industrial ha bajado de forma importante.

La contribución del consumo de leña, bagazo de caña y carbón disminuyó tres puntos porcentuales, lo cual presenta una mejoría en cuanto a emisiones, ya que éstos tienen altos factores de emisión.

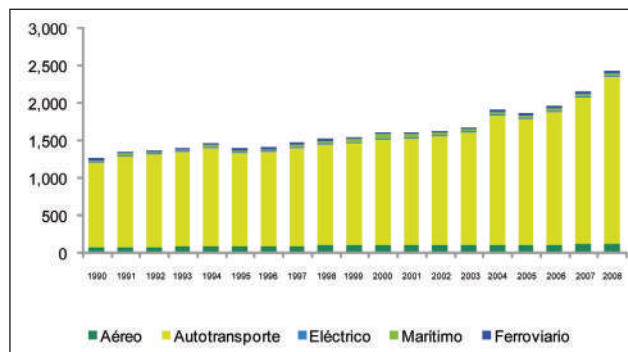
Si analizamos de forma detallada cada sector, podemos ver que el transporte no es sólo el mayor consumidor de energía en nuestro país, si no que fue el de mayor crecimiento durante el periodo de 1990 al 2008. Durante ese lapso, su consumo de energía aumentó a una tasa promedio de 3.6% anual. Este crecimiento ha sido impulsado, en su mayoría, por el consumo de combustibles en el autotransporte, el cual mostró una tasa promedio anual de 3.8% y en el 2008 tuvo una participación de 92% dentro del consumo del transporte.

Figura 14
Participación por fuentes de energía en el consumo final energético



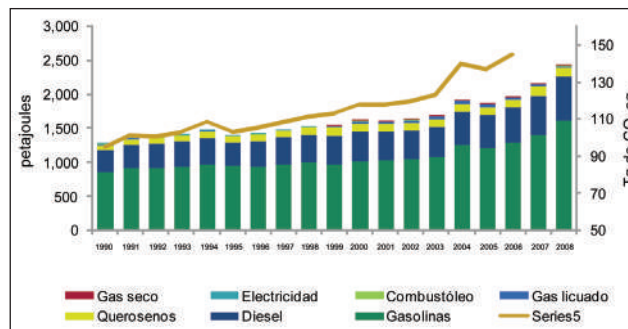
Fuente: SENER. *BNE 2008.*

Figura 15
Consumo final de energía en el sector transporte por modalidad (petajoules)



Fuente: SENER. *BNE 2008.*

Figura 16
Consumo final de energía por combustible en el sector transporte y sus emisiones



Fuentes: SENER. *BNE 2008.* // INE-SEMARNAT. *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.*

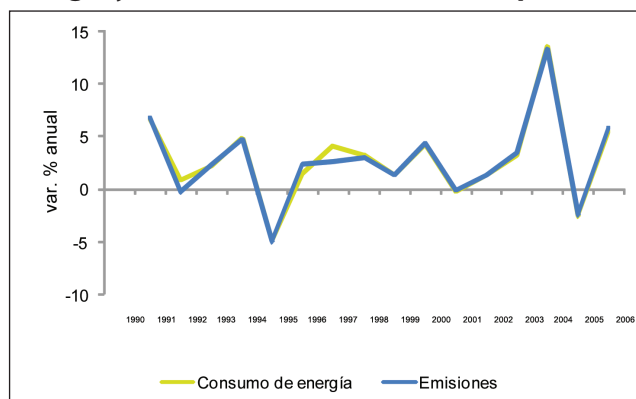
Si analizamos el consumo del sector transporte por tipo de combustible, podemos ver que la mayor parte corresponde a gasolinas y naftas, las cuales tienen un factor de emisión de 18.9 t C/TJ. En el 2008,

éstas tuvieron una participación de 66%, seguida por la del diésel (26%), cuyo factor de emisión es mayor al de las gasolinas (20.2 t C/TJ).

En el 2006, el transporte aportó 20% de las emisiones totales de GEI en México. En el periodo 1990-2006, tanto las emisiones del sector transporte como su consumo de combustibles tuvieron un crecimiento promedio anual de 2.7 por ciento. En el 2004, las emisiones crecieron a una tasa mayor como resultado de un alto consumo de combustibles.

Como se aprecia en la figura 17, el consumo de energía y las emisiones de este sector tienen un comportamiento muy similar, lo cual sugiere que una disminución en el consumo de este sector se traduciría en menores emisiones.

Figura 17
Variación porcentual anual del consumo de energía y las emisiones del sector transporte



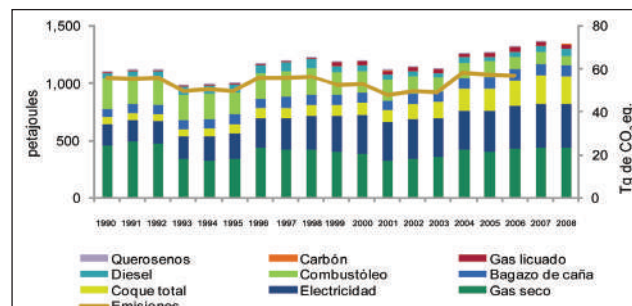
Fuentes: SENER. BNE 2008. // INE-SEMARNAT. *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.*

Durante el periodo de 1990 al 2008, el consumo de combustibles del sector industrial mostró la menor tasa de crecimiento promedio anual (1.1%). No obstante, su alto consumo de energía lo hace el segundo sector en importancia en la emisión de gases medidos en unidades de CO₂ eq.

Los combustibles sólidos (carbón, bagazo de caña y coques) crecieron 5.2% anual. Este crecimiento es importante ya que el bagazo de caña, el coque y el carbón mineral son los combustibles que más emiten; sus factores de emisión son 29.9, 27.5 y 25.8 t C/TJ, respectivamente. Por su parte, el uso de petrolíferos (diésel, combustóleo y gas licuado de petróleo) cayó 3.1% como resultado del menor consumo de combustóleo (-6.2%). La industria

disminuyó el de gas seco 0.3% en promedio anual, mientras que el de electricidad tuvo un crecimiento promedio anual de 4.1 por ciento.

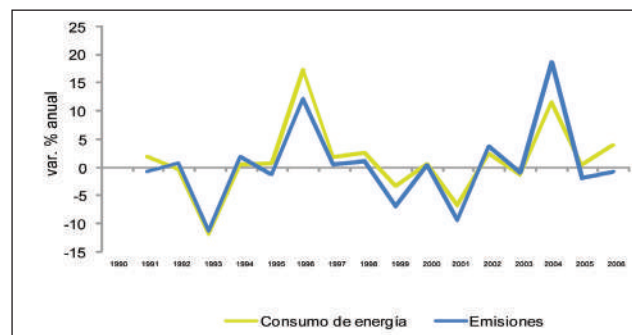
Figura 18
Consumo final de energía por combustible en el sector industrial y sus emisiones



Fuentes: SENER. BNE 2008. // INE-SEMARNAT. *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.*

Aunque las emisiones de la industria crecieron a una tasa promedio anual de 0.1% de 1990 al 2006, el crecimiento en el consumo de combustibles durante el mismo lapso fue mayor (1.1%).

Figura 19
Variación porcentual anual del consumo de energía y las emisiones del sector industrial



Fuentes: SENER. BNE 2008. // INE-SEMARNAT. *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.*

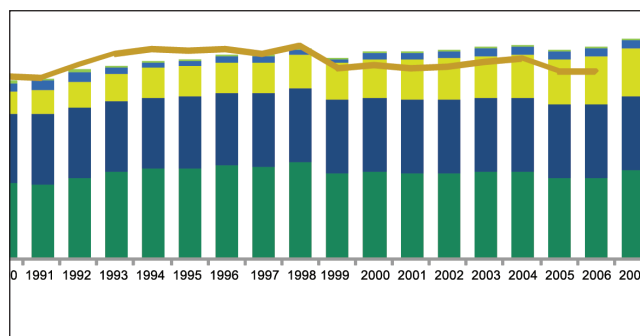
En la figura 19, podemos ver un comportamiento similar en la variación porcentual anual de consumo de combustibles y las emisiones del sector industrial. Hasta 1994 se observó un comportamiento muy similar; de 1995 al 2001 la variación de las emisiones fue menos pronunciada que la del consumo de energía, principalmente por el incremento en el uso de gas seco. En el 2001, la industria comenzó a utilizar carbón como insumo energético en sus procesos, lo que derivó en variaciones más acentuadas de las emisiones a partir del 2002.

El consumo de energía en el sector residencial aumentó a una tasa promedio de 1.3% anual de 1990 al 2008, ligado al crecimiento de la población. La electricidad registró una tasa de crecimiento promedio anual de 4.8%, resultado de una mayor disponibilidad de energía eléctrica en los hogares mexicanos. De acuerdo con información de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos en los Hogares (ENIGH) 2008 y el Censo de Población y Vivienda 1990, en el 2008, alrededor de 97% de las viviendas contaban con energía eléctrica, mientras que en 1990, ese mismo porcentaje fue 88 por ciento. El consumo de gas licuado de petróleo creció a una tasa de 1% anual; el de leña, 0.3% y el de gas seco, 0.2 por ciento. Por su parte, el uso de querosenos mostró una disminución de 12.7% en promedio anual.

El gas licuado y la leña fueron los combustibles más utilizados en este sector. En el 2008 sus participaciones fueron 40 y 33%, respectivamente.

Del 2000 al 2006, las emisiones del sector residencial disminuyeron a una tasa de 0.6% anual, mientras que el consumo tuvo un ligero incremento (0.4% anual).

Figura 20
Consumo final de energía por combustible en el sector residencial y sus emisiones

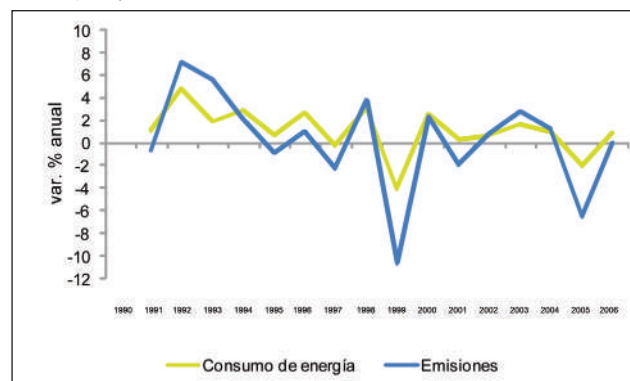


Fuentes: SENER. BNE 2008. // INE-SEMARNAT. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.

La variación porcentual de las emisiones del sector residencial fue más acentuada que la del consumo de combustibles. Esto se puede explicar por la elevada participación que tiene el uso de leña en los hogares mexicanos, cuyo factor de emisión es el más elevado (29.9 t C/TJ).

De 1990 al 2008 el consumo de energía en los sectores comercial y público aumentó a una tasa promedio de 2.4% anual. En 1990, 47% de la energía utilizada en estos sectores provino de la electricidad; 31%, del combustóleo; 21%, del gas licuado y el restante 1%, del diésel.

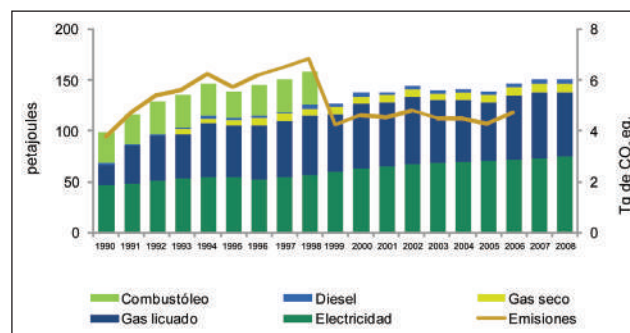
Figura 21
Variación porcentual anual del consumo de energía y las emisiones del sector residencial



Fuentes: SENER. BNE 2008. // INE-SEMARNAT. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.

En el 2008, la participación de la electricidad se mantuvo muy similar, al aumentar dos puntos porcentuales. No obstante, en 1999 se dejó de utilizar combustóleo y en 1993 se comenzó a usar gas seco, cambiando la composición de las fuentes de energía en el consumo de estos sectores. En el 2008, la aportación del gas licuado fue de 42%; del gas seco, 6% y el restante 3%, del diésel.

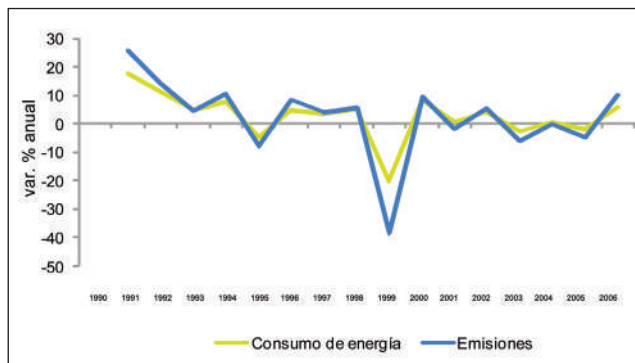
Figura 22
Consumo final de energía por combustible en los sectores comercial y público y sus emisiones



Fuentes: SENER. BNE 2008. // INE-SEMARNAT. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.

Las emisiones de estos sectores tuvieron un crecimiento promedio anual de 1.4% de 1990 al 2006. Por su parte, la tasa promedio de crecimiento del consumo de combustibles fue mayor, 2.5% anual. El comportamiento de estas dos variables fue muy similar durante el periodo de análisis. No obstante, en 1999 se observó una reducción más pronunciada en las emisiones que en el consumo, debido a que en dicho año se dejó de usar combustóleo en el sector comercial.

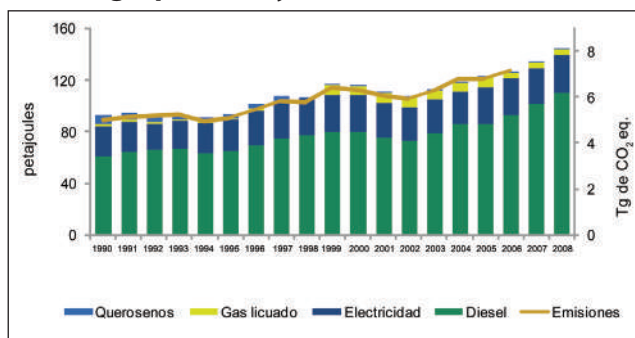
Figura 23
Variación porcentual anual del consumo de energía y las emisiones de los sectores comercial y público



Fuentes: SENER. BNE 2008. // INE-SEMARNAT. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.

El consumo de energía en el sector agropecuario aumentó a una tasa promedio anual de 2.5% durante el periodo 1990-2008. El diésel —combustible más utilizado en este sector— tuvo un crecimiento de 3.4 por ciento. El consumo de electricidad y gas licuado de petróleo registró una tasa de crecimiento promedio anual de 1.1 y 7.3%, respectivamente. La demanda de querosenos en este sector cayó a una tasa promedio anual de 24.6 por ciento.

Figura 24
Consumo final de energía por combustible en el sector agropecuario y sus emisiones

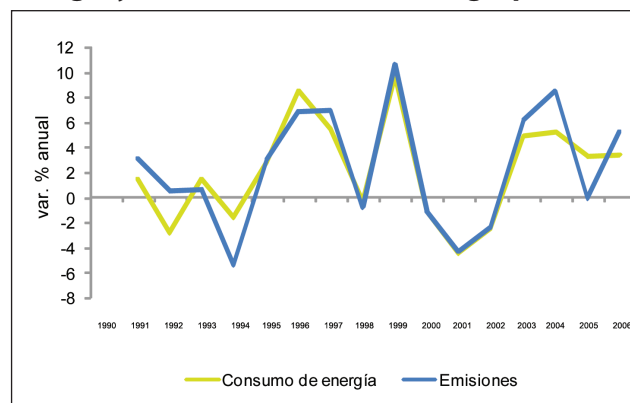


Fuentes: SENER. BNE 2008. // INE-SEMARNAT. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.

El sector agropecuario registró un incremento en sus emisiones de GEI de 2.3% anual de 1990 al 2006, mientras que su consumo aumentó 2% anual.

Las emisiones de este sector mostraron una tendencia a la baja de 1991 a 1994 por la marcada reducción en el consumo de querosenos. Del 2004 al 2006, la variación de las emisiones fue más pronunciada, lo que estuvo directamente ligado con el consumo de diésel.

Figura 25
Variación porcentual anual del consumo de energía y las emisiones del sector agropecuario



Fuentes: SENER. BNE 2008. // INE-SEMARNAT. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.

5. Conclusiones y recomendaciones

En México, la producción y uso de energía es la principal fuente de emisiones de CO₂, y su tendencia es ascendente.

Por ello, una mitigación efectiva de emisiones requiere el uso sustentable de la energía. Esto implica emitir menos, mejorando la eficiencia energética en todos los sectores. Por ejemplo: en el industrial existe un gran potencial de ahorro de energía mediante la adecuación de los procesos industriales y la sustitución de equipos ineficientes; en el transporte se debe buscar el incremento del rendimiento del parque vehicular nacional y mejorar las prácticas de uso.^[7]

Otra área de oportunidad que se establece en el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012 es la reducción del consumo de electricidad para iluminación a través de la promoción del uso de focos de mayor eficiencia.

Como sociedad, tenemos el reto de cambiar la forma en que consumimos la energía en nuestros hogares, al transportarnos, en nuestros lugares de trabajo, etcétera. También, se debe buscar la sustitución de combustibles más contaminantes por aquellos que emiten menos.

No obstante, si queremos cambiar el futuro energético de nuestro país hacia uno más sostenible, es de suma importancia tener indicadores y

[7] Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE) 2009-2012, segunda sección, p. 5.

estadísticas de calidad que nos permitan tener un panorama de la situación actual y analizar las alternativas que tenemos para los próximos años.

Las estadísticas generadas en el BNE permiten estimar las emisiones de GEI de la categoría energía. Por lo anterior, para mejorar la calidad y ampliar el nivel de detalle del cálculo de emisiones y monitorear el progreso alcanzado en la mitigación de las mismas, se tiene que poner especial énfasis en mejorar la oportunidad, veracidad, confiabilidad, sistematización y grado de detalle de la información del sector energético.

Dada la estructura de éste en México, se tiene una buena cobertura y nivel de precisión de los flujos de oferta para la mayoría de las fuentes de energía, aproximadamente 90% de dichos flujos y combustibles. Lo anterior no ocurre para la demanda, pues el número de consumidores es muy elevado y de ahí la dificultad de recopilar información. El nivel de detalle que se tiene no es el óptimo y, en muchos casos, se tiene que derivar la información a partir de fuentes indirectas.

Como ya se mencionó, el uso de la energía está asociado a diversos sectores de la economía: por ello, debe haber una cooperación estrecha entre las distintas entidades gubernamentales para aprovechar los mecanismos existentes o crear nuevos y, así, cubrir los huecos de información o precisar aquella que ya se tiene.

El desafío no es pequeño; sin embargo, si logramos trabajar todos juntos, podremos mejorar la situación actual y diseñar las políticas necesarias para lograr un futuro más competitivo y limpio. ■

Referencias

- AIE. *CO₂ emissions from fuel combustion*. Ed. 2008
Energy Balances of OECD Countries. Ed. 2009.
World Energy Outlook 2009.
- AIE-OECD-Eurostat. *Manual de estadísticas energéticas*.
- CFE. *Informe anual 2006*.
- INEGI. *Censo de Población y Vivienda 1990*.
Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2008.
Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica.
Sistema de Cuentas Nacionales de México.
Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012.
- INE-SEMARNAT. *México, Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*.
- SENER. *Balance nacional de energía 2006*.
Balance nacional de energía 2008.
Sistema de Información Energética.



DETECCIÓN Y ATRIBUCIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO A ESCALA REGIONAL

Víctor Orlando Magaña Rueda^[1]
y Luis Manuel Galván Ortiz^[2]

De acuerdo con diversos estudios científicos, la tendencia de la temperatura global del último siglo y medio sólo puede ser explicada si se considera la influencia de las actividades humanas —como la creciente emisión de gases de efecto invernadero (GEI) desde mediados del siglo XIX y los cambios de uso de suelo—, sin embargo, llegar a tal conclusión requirió que el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) realizara no sólo análisis de detección de la tendencia del clima usando registros instrumentales y estimaciones indirectas de la temperatura, sino también ejercicios de atribución que explicaran dichos cambios como resultado de la influencia humana.

Mostrar que un evento meteorológico o climático particular es producto del cambio climático no es sencillo y requiere, con frecuencia, de conocimiento de dinámica del clima y manejo de modelos avanzados.

Palabras clave: cambio climático, clima.

The tendency of the global temperature of the last century can be only explained whether the influence of human activities is considered, such as: the growing emission of greenhouse gases (GHG) since the middle of the nineteenth-century and the changes on the land use, according to diverse scientific studies. Nevertheless, to infer such conclusion, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) carried out not only analysis on detection of the climate tendency, by the use of instrumental registers and indirect estimations of the temperature, but also did exercises on attribution that could explain such changes as a consequence of the human influence.

To affirm that a particular weather or climatic event is consequence of climate change is not simple, and it often requires the use of advanced models and knowledge on climate dynamics.

Key words: climate change, climate.

[1] Doctor en Ciencias Atmosféricas, investigador del Centro de Ciencias de la Atmósfera y profesor de la UNAM. Miembro del SNI. Apoyó el desarrollo del Sistema de Alerta Temprana frente a Huracanes; miembro del comité del Centro Nacional de Prevención de Desastres y parte del Climate Variability Program; Editor asociado de la Revista Atmósfera, de la Revista Brasileira de Meteorología y del Journal of Geophysical Research; jefe del Programa Transversal de Cambio Climático y es parte del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (victormr@servidor.unam.mx).

[2] Licenciado en Geografía y Profesor de Climatología de la UNAM, ha participado en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota del Instituto de Geografía y en el Grupo de Meteorología Tropical del Centro de Ciencias de la Atmósfera. Trabaja en la detección y atribución de cambio climático, variabilidad climática, impactos de fenómenos naturales, análisis de imágenes satelitales y cartografía en general (cohuatl09@yahoo.com.mx).

Tiempo y clima

Constantemente se cae en la equivocación de confundir tiempo meteorológico con clima y, por ello, se habla de manera imprecisa de lo que es cambio climático. Basta leer declaraciones sobre el clima o desastres (mal llamados *naturales*) en los diarios para darse cuenta del error conceptual. Cuando algunos climatólogos se ven forzados a diferenciar entre tiempo y clima, es frecuente que digan que tiempo es *corto plazo* mientras que clima se refiere a una duración más larga o al promedio de muchos estados del tiempo.

Edward Lorenz (1917-2008) dijo: "...tiempo es lo que usted tiene; mientras que clima es lo que usted espera..."; implícita en esta observación de Lorenz está la aserción de que mientras el tiempo es determinista, el clima es probabilista.

En Matemáticas, un sistema determinista es uno en el cual el azar no está involucrado en los futuros estados del sistema, es decir, si se conoce el estado actual del mismo, las variables del ambiente y el comportamiento del sistema ante los cambios en los forzantes (las leyes de la Física que lo controlan), entonces el estado futuro de éste se puede predecir sin ningún riesgo de error. Muchas de las predicciones astronómicas son deterministas, siguiendo principios básicos de la Física y, por ello, sabemos con precisión cuándo ocurrirá un eclipse, por ejemplo.

Por otro lado, un algoritmo probabilista (o probabilístico) es el que basa su resultado en la toma de algunas decisiones al azar, de tal forma que, en promedio, obtiene una buena solución al problema planteado para cualquier distribución de los datos de entrada. Contrario a lo que se espera de un algoritmo determinista, en el probabilista una mínima variación en las condiciones iniciales puede llevar a distintas condiciones futuras del clima. ¿Por qué?, porque el clima es un sistema caótico. El trabajo de Edward Lorenz sobre caos determinístico es un estudio seminal para entender cómo se trabaja con el clima hoy en día.

Para explicar su naturaleza caótica, se puede discernir entre la *predecibilidad* del tiempo contra la del clima. Considérese una ecuación para la predicción del tiempo donde se representen los cambios de una variable en el espacio y el tiempo. Las modificaciones a lo largo del tiempo se pueden dividir con dos componentes: una previsible (más

estable) y otra no fácilmente explicable (inestable). Conforme se avanza en la integración, la dinámica de la inestable domina en la ecuación y hace que el error crezca tan rápido (en un plazo de tres a siete días) que no es posible obtener pronósticos útiles en forma determinista más allá de ese plazo. Debido a este límite, cualquier esperanza de hacer una predicción del tiempo a largo plazo (más de dos semanas) será siempre un sueño. Sin embargo, la ecuación de pronóstico también contiene una componente estable, la cual corresponde al clima y con ella se puede hacer un mejor trabajo de predicción. Después de todo, se conocen muy bien los factores que establecen el estado base del clima, como: la energía del Sol, la velocidad de rotación y la masa del planeta, la composición química de la atmósfera y la distribución de los océanos y los continentes. Por ello, la predicción del clima es factible y, dada la mejora significativa en la calidad de los modelos para éste, desde la década pasada se ha vuelto un asunto muy importante. Seguirá siendo muy difícil asegurar si lloverá al mediodía del día siguiente, pero será posible hacer afirmaciones sobre el estado medio de la atmósfera esperado para los próximos meses e, incluso, años.

Una representación del clima va más allá de la simple expresión de un valor medio. Se requiere, también, describir la variabilidad y los rangos de los eventos meteorológicos extremos. Es por ello que, generalmente, se describe al clima en términos de una función de densidad de probabilidades, donde queda representada la probabilidad de que un parámetro se encuentre en un cierto rango.

Detectar o proyectar cambios requiere trabajar con este tipo de funciones y no sólo con los valores medios. El clima puede estar variando si de manera sistemática la variabilidad o la actividad de los eventos extremos presentan una tendencia en una cierta dirección. Por ejemplo, en muchas partes del mundo se han detectado cambios sistemáticos en la actividad de ondas de calor o en la de lluvias intensas (Aguilar *et al.*, 2005; Paterson *et al.*, 2008) como forma de modificaciones en el clima. Los estudios reportados en fechas recientes por el IPCC indican que las influencias humanas en éste no se circunscriben al promedio de las temperaturas sino que abarcan, también, otros aspectos del clima. Observaciones efectuadas en todos los continentes y en la mayoría de los océanos evidencian que numerosos sistemas naturales están siendo afectados por cambios del clima regional, en particular por un aumento de la temperatura.

Cambio climático

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, así lo evidencian los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, así como el incremento del promedio mundial del nivel del mar. Para el IPCC, el término *cambio climático* denota una modificación en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un periodo prolongado, por lo general cifrado en decenios o en lapsos más largos. Dicha concepción del tema denota toda modificación del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana. Este significado difiere del utilizado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que lo describe como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en periodos comparables.

El trabajo de grupos como el IPCC incluye, hoy en día, dos líneas de análisis que intentan poner en claro, primero: que el clima está cambiando respecto a lo conocido en el pasado reciente, y segundo: que las causas de tales cambios tienen un origen asociado con la actividad humana y, por lo tanto, no se trata de un proceso natural. En el primer caso hablamos de lo que se conoce como detección de señales de cambio climático; en el segundo, de atribución.

Así, la detección de cambio climático es el proceso de demostrar que una modificación observada es significativamente importante (desde el punto de vista estadístico) respecto a que se considera parte de la variabilidad natural del clima. Por otro lado, la atribución es el proceso de establecer las relaciones de causa y efecto con cierto grado definido de confianza, incluida la evaluación de hipótesis concurrentes.

La respuesta a los cambios de origen antropógeno se producen en un entorno de variabilidad climática natural sometida a forzamientos internos y externos. Por ello, cualquier análisis de detección o atribución de cambio climático requiere un adecuado conocimiento de la variabilidad climática interna (la no forzada por agentes externos) en todas las escalas temporales, desde semanas hasta siglos e, incluso, milenios.

Las variaciones climáticas forzadas de manera externa pueden deberse a modificaciones en la radiación solar, los aerosoles de origen volcánico o a cambios en los agentes de forzamiento antropógenos, como un aumento de las concentraciones de GEI o aerosoles. La presencia de la variabilidad natural del clima significa que la detección y la atribución de los cambios climáticos de origen antrópico es un problema de distinguir la *señal del ruido*. Los estudios de detección permiten establecer si un cambio observado es o no muy raro desde el punto de vista estadístico, pero ello no significa, necesariamente, que esta aproximación nos permita comprender sus causas. La atribución del cambio climático a factores antropógenos requiere un análisis estadístico-dinámico y la evaluación cuidadosa de diversas pruebas para demostrar, dentro de un margen de error predeterminado, que:

- Es improbable que los cambios observados sean causados de manera íntegra por la variabilidad interna.
- Los cambios son congruentes con las respuestas estimadas a una determinada combinación de forzamientos antrópicos y naturales.
- Los cambios no concuerdan con otras explicaciones físicamente factibles del cambio climático reciente que excluyen elementos importantes de la combinación de forzamientos externos en cuestión.

El ejercicio de atribución más importante se ha realizado para mostrar que la mayor parte del aumento observado del promedio global de temperatura desde mediados del siglo XIX se debe, probablemente, al incremento de las concentraciones de GEI de origen antrópico (IPCC-AR4, 2007). Para atribuir las causas del cambio climático se evalúa si las variaciones observadas son coherentes, en términos cuantitativos, con la respuesta esperada a los forzamientos externos (por ejemplo, los cambios de la radiación solar o de los GEI de origen antrópico) e incoherentes con otras posibles explicaciones físicamente plausibles.

Las conclusiones de diversos estudios de atribución al calentamiento global del planeta nos llevan a resolver que es improbable que este fenómeno en el siglo XX se pueda explicar por causas naturales. Las reconstrucciones paleoclimáticas demuestran que la segunda mitad del siglo pasado fue, quizá, el periodo más caliente del hemisferio norte en los últimos 1 300 años.

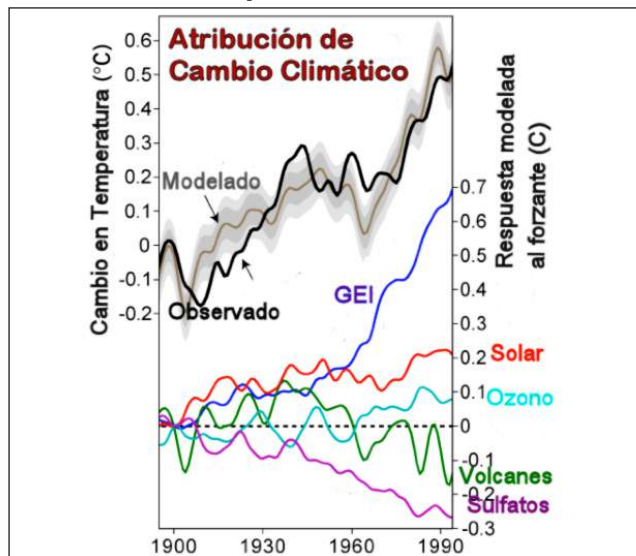
El proceso de calentamiento observado es consistente con la comprensión científica de cómo el clima debe responder a un aumento rápido en GEI, como el que ha ocurrido durante el último siglo.

La forma en que se ha calentado el planeta en ese mismo periodo es contraria con la comprensión científica de cómo el clima debe responder a los factores externos naturales, como: variabilidad en radiación solar o la actividad volcánica.

Gracias a los modelos del clima se pueden analizar las variaciones observadas en el clima de la Tierra. Cuando los efectos de aumentar concentraciones de GEI se incluyen en los modelos, así como factores externos naturales, se generan buenas simulaciones del calentamiento ocurrido durante el último siglo (ver figura 1).

Los modelos no pueden reproducir el calentamiento observado cuando consideran sólo factores naturales (por ejemplo lo solar, lo volcánico, el ozono). Sin embargo, cuando los de carácter humano son incluidos (como los GEI), los modelos simulan un patrón del cambio de temperatura alrededor del globo similar al que ha ocurrido en las últimas décadas. Incluso, el patrón espacial simulado por los modelos del clima tiene ciertas características, como mayor calentamiento en las latitudes altas del hemisferio norte, que se diferencia de los patrones de la variabilidad natural del clima que se asocian a procesos internos, como *El Niño*.

Figura 1
Capacidad de un modelo global del clima para reconstruir el registro histórico de la temperatura y grado al que los cambios de temperatura observados corresponden a un forzante externo



Fuente: IPCC-AR4.

Detección de cambio climático

Uno de los requerimientos para trabajar detección de cambio climático a escala regional o local es tener datos de calidad. El Grupo de Expertos en Detección de Cambio Climático e Índices (ETCCDI, por sus siglas en inglés), del Programa de Variabilidad y Predecibilidad del Clima (CLIVAR) de la Organización Meteorológica Mundial tiene el mandato de solventar las necesidades en la medición y caracterización objetivas del clima mediante apoyo para la coordinación internacional, fomentando la comparación entre datos modelados y observaciones. Lo anterior, incluye los aspectos prácticos del desarrollo de materiales y guías para los servicios meteorológicos nacionales con el fin de guiar el cálculo y uso de los índices de detección de cambio climático y la homogeneización de datos climáticos, el mejoramiento de la cobertura global y la evaluación de los índices.

El uso sistemático de índices climáticos ha permitido mejorar el diagnóstico global de los cambios en extremos de temperatura y precipitación, contribuyendo al reporte de evaluación del IPCC. En la región de Norteamérica (Canadá, EE.UU. y norte de México) se ha encontrado evidencia de cambios consistentes con el aumento de la temperatura del planeta: incremento en la lluvia intensa, aumento en los eventos de temperaturas altas y disminución de eventos de temperaturas bajas (Peterson *et al.*, 2008).

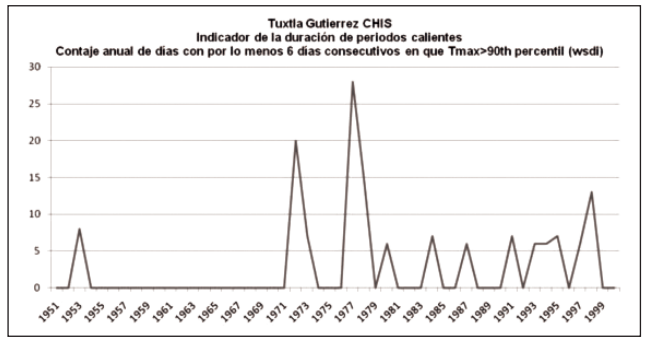
Los datos climáticos de México para detectar señales de este tipo incluyen:

- Estaciones no influenciadas por efectos de cambios de uso de suelo.
- Estaciones con efecto de cambio de uso de suelo (como la urbanización).
- Estimaciones de cambios en parámetros climáticos (reanálisis).
- *Proxi* de cambios en el clima en plazos más largos (por ejemplo, anillos de los árboles).

Existen numerosos casos que muestran las modificaciones en el clima de México, coherentes con las variaciones de baja frecuencia en el clima global. El calentamiento tiene, en nuestro país, una señal definida, sobre todo hacia la región noroeste. Usando datos de algunas estaciones (cuya calidad ha sido considerada adecuada para el análisis de las tendencias de los extremos) se han identificado

cambios en la actividad de ondas de calor, de tormentas intensas o de periodos secos en diversas partes, como Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, donde se encuentra que los episodios de ondas cálidas son cada vez más frecuentes (ver figura 2a), mientras que los sucesos fríos han disminuido en un lapso de alrededor de 50 años (ver figura 2b).

Figura 2a
Número de días/año en que la temperatura máxima rebasó el percentil 90% en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas



En algunas regiones de México, el ciclo hidrológico muestra algunos cambios significativos. Quizá una de las zonas en las que preocupa más es en el sur. Las inundaciones en Tabasco en años recientes son, en cierta forma, reflejo de la intensificación del ciclo hidrológico regional (ver figura 2c) aunque, en mayor medida, de un incremento en la vulnerabilidad regional producto del mal manejo de la cuenca (Landa *et al.*, 2008).

Figura 2b
Número de días/año en que la temperatura mínima fue inferior al percentil 10% en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

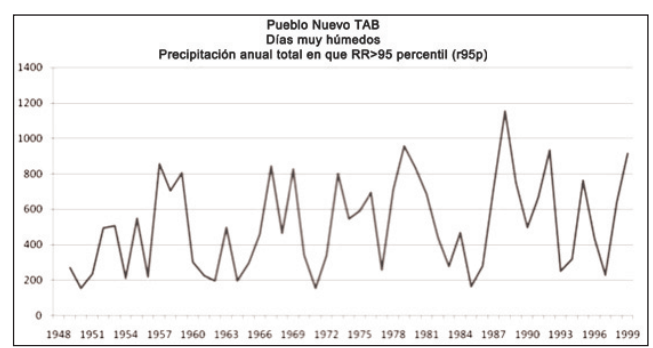


Atribución de cambio climático en México

La distinción entre los efectos de influencias externas y la variabilidad interna del clima requiere la comparación cuidadosa entre los

cambios observados y los que se esperan con un forzante externo. Estas expectativas se basan en la comprensión física del sistema de clima y ésta, a su vez, en principios físicos. La comprensión de cómo funciona el clima puede tomar la forma de modelos conceptuales o ser cuantificada con modelos numéricos que responden a forzantes diversos (anomalías de temperatura de superficie del mar, GEI, entre otros). Un amplio espectro de modelos climáticos se utiliza para proyectar el clima, extendiéndose desde los simples del balance de energía, pasando por otros de complejidad intermedia y llegando a los acoplados atmósfera-oceano-biósfera.

Figura 2c
Precipitación anual total en que la precipitación diaria rebasó el percentil 95% en Pueblo Nuevo, Tabasco



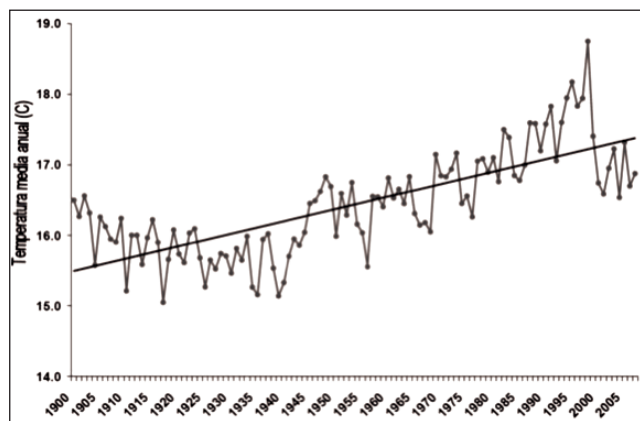
El nivel al cual un modelo puede reproducir las características dominantes del sistema climático y sus variaciones, como el ciclo estacional, incrementa su credibilidad para simular cambios en el clima, sin embargo, la comparación entre los cambios observados y los esperados se realiza de diversas maneras y no sólo comparando el ciclo anual en algún país.

Las pruebas estadísticas objetivas intentan identificar en observaciones las respuestas a uno o varios forzantes, considerando la época y/o el patrón espacial de las respuestas previstas. La respuesta forzada no se desarrolla necesariamente como tendencia lineal, pues requiere analizar cambios simulados y observados en el contexto del forzante externo considerado; por ejemplo, anomalías tipo *El Niño* responden en la parte convectiva, siguiendo la física dada por la ecuación de Clausius Clapeyron y la dispersión de ondas tipo Rossby en la esfera (Magaña y Ambrizzi, 2005).

En el caso de los análisis de cambio climático, los modelos globales del clima serán más creíbles si reproducen de forma aproximada la respuesta de baja frecuencia cuando incluyen GEI, la cual es de tipo exponencial, esto es, la velocidad del calentamiento se ha ido incrementando en décadas recientes (IPCC-AR4, 2007). Establecer las tendencias del clima regional de manera adecuada requiere contar con observaciones de calidad.

En la actualidad se trabaja en explicar las señales de cambios en el clima a escala de cuencas, pues el reto de la adaptación al cambio climático requiere de acciones a este nivel. Sin embargo, hay diversas causales que pueden alterar el clima en escalas de decenas de kilómetros; por ejemplo, el crecimiento urbano y el efecto de *isla de calor* son factores que alteran el clima a escala regional. Uno de los casos más claros de esto es la ciudad de México (Jáuregui, 1997); el rápido crecimiento urbano llevó a un aumento de la temperatura de alrededor de 3° C en casi 100 años (ver figura 3); es evidente que el cambio de clima en la ciudad de México no es sólo el reflejo del calentamiento global, sino que es algo local, pero, ¿cuánto del calentamiento es por urbanización y cuánto, por el efecto global?

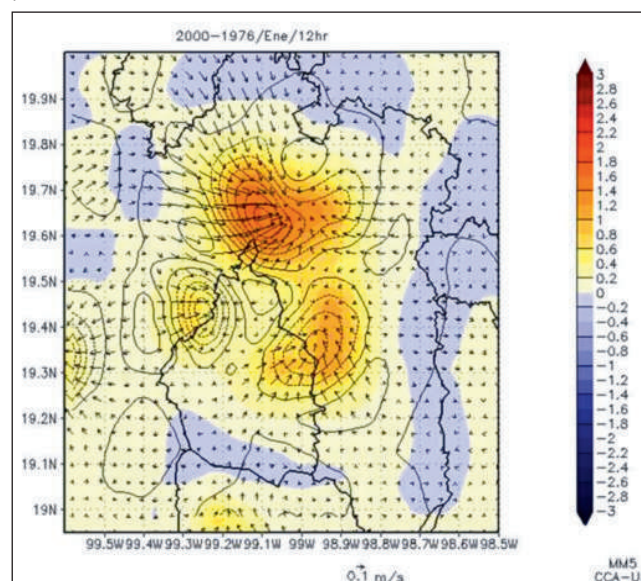
Figura 3
Temperatura media anual en Tacubaya, Distrito Federal



Diferenciar señales requiere del uso de modelos para iniciar el ejercicio de atribución. Usando uno de mesoescala tipo MM5 y forzando el clima de invierno con cambios en el uso de suelo que corresponden al crecimiento urbano observado entre 1970 y el 2000 es posible tener una idea de los cambios en el clima local por crecimiento de la ciudad. El cambio de diversos tipos de vegetación por asfalto y concreto tiene como consecuencia un calentamiento local;

así, 2.5° C de los 3° C de incremento en temperatura media en el periodo se pueden explicar por efecto de la urbanización (ver figura 4); por lo tanto, un poco menos de 1° C de calentamiento tiene que ver con efectos de variabilidad natural y con cambios en la temperatura promedio global del planeta.

Figura 4
Diferencia entre la temperatura media y vientos modelados para enero con uso de suelo de 1976 y uso de suelo del 2000



Eventos extremos en el clima y cambio climático

En años recientes se ha abusado del paradigma naturalista para explicar los desastres en el mundo. Al igual que en la década de los 90 se culpaba a *El Niño* de los males que ocurrían en diferentes partes del mundo, hoy en día se recurre al cambio climático como el factor que genera desastres. Tales explicaciones son, por lo general, equivocadas, pues en la mayoría de los casos los desastres son la materialización del riesgo, y éste se forma por la amenaza (como la condición extrema del clima) y por la vulnerabilidad, construida socialmente. Por lo general, el incremento de la vulnerabilidad es el factor más importante en la elevación del riesgo y, por ello, en la mayor frecuencia e intensidad de los desastres.

Queda, sin embargo, la pregunta: ¿se pueden explicar los acontecimientos extremos individuales del clima (sequía severa en alguna región, por ejemplo) o el tiempo (tormenta u onda de frío en algún lugar) en

términos del cambio climático global? En la mayoría de los casos se trata de variaciones en tiempo o clima que, tal vez, corresponden a la variabilidad natural.

Si bien es cierto que los cambios en extremos del clima se esperan conforme éste se calienta en respuesta a mayores concentraciones de GEI de actividades humanas, la determinación de si un acontecimiento extremo específico sólo es debido a una causa específica (como el calentamiento global) es difícil, si no imposible, por dos razones: 1) los acontecimientos del extremo son causados, en general, por una combinación de factores y 2) una amplia gama de acontecimientos extremos es una ocurrencia normal, incluso en un clima constante. No obstante, el análisis del calentamiento observado durante el último siglo sugiere que la probabilidad de algunos acontecimientos extremos (como las ondas de calor) ha aumentado debido al efecto invernadero incrementado y que la probabilidad de otros extremos meteorológicos (heladas o noches extremadamente frías) ha disminuido. Algunos estudios recientes estiman que las influencias humanas en el clima han acrecentado el riesgo de veranos europeos muy calientes, como el experimentado en el 2003.

La gente afectada por acontecimientos extremos del tiempo pregunta, a menudo, hasta qué punto el calentamiento global es responsable, ¿podría una influencia humana (como la relacionada con las concentraciones crecientes de GEI en la atmósfera) haber causado algún desastre reciente de origen hidrometeorológico? Como ya se mencionó, resultan de una combinación de factores, por ejemplo, los del verano europeo caliente en extremo del 2003 incluyeron un sistema de alta presión persistente que fue asociado a los cielos muy claros y al suelo seco que resultaron en más energía solar disponible para calentar la Tierra porque menos energía fue consumida para evaporar la humedad del suelo.

Algunos elementos climáticos pueden ser afectados por actividades humanas, como: el calentamiento global del planeta y, en particular, la elevación de la temperatura superficial del mar. No obstante, hay casos difíciles de explicar en ese mismo contexto; por ejemplo, no es simple detectar una influencia humana en un acontecimiento extremo solo, específico, como un huracán o una helada, pero puede ser posible utilizar modelos para determinar si las influencias humanas han cambiado la probabilidad de ciertos tipos de acontecimientos extremos, como la ola de calor del 2003 en Europa,

para lo cual se usó un modelo del clima, incluyendo sólo cambios históricos en los factores naturales que lo afectan, tal como actividad volcánica y cambios en la radiación solar para ver si por forzantes naturales se podía llegar a una condición de un verano en extremo caluroso. Mediante un experimento con un clima más cálido por causa de los GEI se mostró que sólo combinando factores humanos y naturales se obtiene una simulación de la evolución del clima europeo más cercana a lo ocurrido en ese año.

Un trabajo de modelado más detallado será requerido para estimar el cambio en el riesgo bajo acontecimientos climáticos o meteorológicos de alto impacto en zonas específicas, como la ocurrencia de una serie de noches muy calientes en una zona urbana. Los modelos del clima usados deben representar de manera adecuada la variabilidad del clima natural para distinguir una señal de origen antrópico. De esta manera, los ejercicios de atribución con modelos y un entendimiento de la física del clima llevarán a planear de mejor forma los procesos de desarrollo regional y global.

Conclusiones

En años recientes se han desarrollado numerosos estudios que muestran que el clima de nuestro planeta (representado no sólo por valores medios sino incluyendo variabilidad y extremos) ha cambiado de manera significativa. Se han desarrollado herramientas estadísticas para garantizar la calidad de los datos usados y, prácticamente, se han documentado cambios del clima en todo el mundo. Sin embargo, los retos para desarrollar trabajos que demuestren en qué medida los cambios detectados son consecuencia del proceso de calentamiento global son mayores.

Poco a poco surgen en el mundo grupos de científicos interesados en explicar muchos de los cambios que el clima viene experimentando de forma regional e, incluso, local. Dichos grupos sustentan gran parte de su trabajo en el entendimiento de los procesos y en la modelación climática. Sin duda, poco a poco los modelos del clima tendrán más influencia no sólo para la planeación de actividades de un año a otro, sino que serán utilizados para definir estrategias de desarrollo de largo plazo que aminoren los impactos esperados del cambio climático. ■

Referencias

- Aguilar, E. et al. (2005): Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *J. Geophys. Res.*, 110, D23107, doi: 10.1029/2005JD006119.
- Lorenz, E. N. (1963). Deterministic Nonperiodic Flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20, 130-141. doi:10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF.2.0.CO.
- IPCC-AR4 (2007). Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, Cambridge University Press.
- Jáuregui, E. (1997). Heat Island development in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 31(22), 3 821-3 831.
- Landa, R., V. Magaña, y C. Neri (2008). *Clima y agua: elementos para la adaptación al cambio climático*. Ed. SEMARNAT.
- Magaña, V. y T. Ambrizzi (2005). Dynamics of subtropical vertical motions over the Americas during El Niño boreal winters. *Atmósfera*, 18, 211-234.
- Peterson, T. C., X. Zhang, M. Brunet-India and J. L. Vázquez-Aguirre (2008). Changes in North American extremes derived from daily weather data. *J. Geophys. Res.*, 113, D07113, doi:10.1029/2007JD009453.



TRAMAS FAMILIARES EN EL MÉXICO CONTEMPORÁNEO. UNA PERSPECTIVA SOCIODEMOGRÁFICA

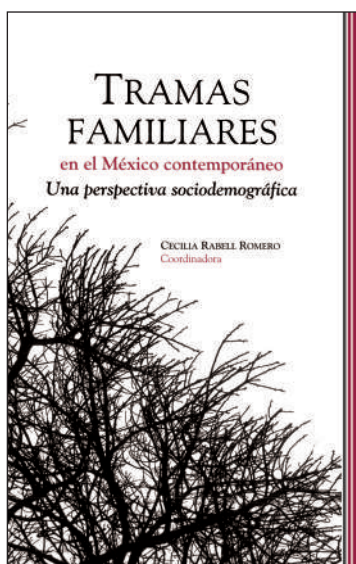
Reseña de Marcela Eternod Arámburu^[1]

En fecha reciente, el Instituto de Investigaciones Sociales de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIS-UNAM) y El Colegio de México publicaron un conjunto de nueve artículos que, bajo el título *Tramas familiares en el México contemporáneo. Una perspectiva sociodemográfica*, dan cuenta de los cambios más relevantes que se están dando en la formación e integración de las familias mexicanas.

La tradicional e idealizada familia nuclear se enfrenta con cada vez más diferentes y numerosos tipos de familia y de organización doméstica, producto de los efectos directos que provocan fenómenos como: la migración, la disolución del vínculo conyugal por separación o divorcio, la formación de familias de segundas y terceras uniones, la formación voluntaria de familias monoparentales o los hogares unipersonales de distinta naturaleza, desde los formados por personas solteras en busca de independencia hasta los de personas ancianas que carecen de redes y son vulnerables en extremo.

El libro invita a reflexionar sobre la gran cantidad de cambios que han sufrido las familias mexicanas en el periodo comprendido entre mediados del siglo XX y principios del XXI; llaman la atención las funciones que ya no se llevan a cabo en el seno familiar y los diferentes y cambiantes roles que están adoptando sus miembros, lo cual incide y trastoca las clásicas posiciones de poder y autoridad, una revolución silenciosa pero contundente. El alargamiento de la vida propicia la convivencia más prolongada de varias generaciones, lo cual, sin duda, enriquece las redes familiares y sociales, pero también las complica.

Los nueve trabajos de esta publicación se basan, fundamentalmente, en la información que proporciona la Encuesta Nacional sobre la Dinámica de las Familias (ENDIFAM) 2005 que realizaron en conjunto el IIS-UNAM y el Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia (DIF). La amplia temática captada por esta encuesta permite conocer aspectos novedosos



[1] Investigadora en la Dirección General de Vinculación Estratégica del INEGI. Correo electrónico: marcela.eternod@inegi.org.mx

en relación con muchos temas, como: los apoyos que reciben o brindan las familias, las relaciones sentimentales de las personas que no viven en pareja, las relaciones complejas de las parejas de migrantes donde median importantes distancias, las relaciones afectivas y familiares entre los diferentes miembros del hogar, la calidad de la vida familiar y los valores imperantes, por mencionar sólo algunos.

Estos aspectos novedosos y poco explorados en otras fuentes de información (como las encuestas nacionales de la dinámica demográfica, de ingresos y gastos de los hogares, sobre la dinámica de las relaciones de los hogares, etc.) explican gran parte de los hallazgos y análisis innovadores que se hicieron.

Llama la atención en un libro de investigación académica la importancia que se le brinda a las cuestiones técnicas y metodológicas, desde la introducción hasta el amplio anexo donde se abordan cuestiones tan básicas como el diseño estadístico de la muestra de la ENDIFAM 2005, el análisis de la calidad de la Encuesta contrastando sus datos con el de otras fuentes (como la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo, el Censo General de Población y Vivienda 2000 o el Censo de Población y Vivienda 2005) y la generación de un índice socioeconómico robusto construido con las variables de la ENDIFAM. Sin duda alguna, los lectores agradecerán, como yo, que los aspectos metodológicos se presenten en forma tan detallada en el libro.

Uno de los elementos más destacables de esta publicación es la diversidad de perspectivas y la riqueza analítica que los autores le dan a los datos de la Encuesta. El conjuntar la estadística (análisis bivariados, multivariados, factoriales, descriptivos, etc.), con los análisis demográfico, social, económico, antropológico y de género, entre otros, permite ver las potencialidades de la información y el énfasis que cada disciplina aporta en un esfuerzo de análisis multidimensional e interdisciplinario.

Tramas familiares en el México contemporáneo. Una perspectiva sociodemográfica se estructura en seis secciones:

Intercambios y vínculos familiares

- ¿Aislados o solidarios? Ayudas y redes familiares en el México contemporáneo. Cecilia Rabell Romero y María Eugenia D'Aubeterre.
- Los vínculos familiares fuera de la coresidencia: geografía de residencia, intensidad de los contactos y lazos efectivos en la parentela. Marie-Laure Coubès.

Estructura familiar

- Estructura y composición de los hogares en la ENDIFAM. Carlos Javier Echarri Cánovas.

Las uniones

- Los nuevos senderos de la nupcialidad: cambios en los patrones de formación y disolución de las primeras uniones en México. Patricio Solís e Ismael Puga.
- El proceso de formación de las parejas en México. Marta Mier y Terán.

Valores, afectos y conflictos

- Desigualdades sociales y relaciones intrafamiliares en el México del siglo XXI. Marina Ariza y Orlandina de Oliveira.
- El respeto y la confianza: prácticas y percepciones. Cecilia Rabell Romero y Sandra Murillo López.

Los migrantes

- Contigo en la distancia... Dimensiones de la conyugalidad en migrantes mexicanos internos e internacionales. Marina Ariza y María Eugenia D'Aubeterre.

Trabajo y estratificación social

- La movilidad ocupacional en México: rasgos generales, matices regionales y diferencias por sexo. Patricio Solís y Fernando Cortés.

La introducción, a cargo de Cecilia Rabell, no tiene desperdicio, es clara, directa, concreta y bien estructurada. Una magnífica entrada a un libro complejo y por demás interesante, donde los aspectos técnicos de la ENDIFAM 2005 no son relegados a una nota al pie de página, sino que se comentan con claridad, lo que sensibiliza al lector y ayuda al investigador. Es una introducción que da cuenta de las discusiones realizadas entre los autores, que contextualiza cada uno de los trabajos y presenta sus puntos de contacto, los hallazgos compartidos y las hipótesis que se aproximan desde distintos ángulos para mostrar los cambios de las familias de mediados del siglo XX al inicio del XXI.

Los nueve trabajos y temas que en cada uno de ellos se tratan contribuyen a que el lector tenga un completo y mucho más fresco panorama de las familias vistas desde su interior, en su interacción y los cambios observables con base en la evidencia empírica de la ENDIFAM 2005.

El trabajo de Rabell y D'Aubeterre da cuenta del funcionamiento de las redes familiares en cuanto a

los apoyos, las ayudas que se brindan y reciben, su intensidad y frecuencia, las obligaciones solidarias ya sean regulares o como respuesta a situaciones de crisis, materiales o emocionales, en fin, la fuerza de los vínculos familiares; no encuentran diferencias en los intercambios por tamaño de la localidad (rural o urbano), ni tampoco en relación con el parentesco jerárquico; además, sorprendentemente, el parentesco ritual con fuerte presencia en México aparece desdibujado. La comprobación que se da de que las redes funcionan, en gran parte, gracias a la acción de las mujeres y las evidencias de solidaridad familiar contrastan con las elevadas probabilidades de no recibir ayuda cuando se carece de personas afectivamente cercanas en los quintiles más bajos.

Marie-Laure Coubés entrelaza tres dimensiones familiares fuera de la unidad doméstica de residencia, es decir, frente a la familia completa; estudia los lazos afectivos que las cohesionan o aíslan considerando parentescos ascendentes, descendentes y colaterales; analiza los vínculos afectivos entre los distintos hogares que forman *la gran familia*, la geografía de la residencia y la intensidad de los contactos. Encuentra que hay mayor cercanía con los padres del hombre que con los de la mujer y que la frecuencia de los contactos familiares desciende conforme aumenta la edad, lo que se puede explicar por la mayor probabilidad de muerte de los padres conforme avanza la edad de los hijos. Descubre hallazgos interesantes en relación con los vínculos entre padres e hijos adultos, dependiendo de la cercanía de la residencia, la cual a su vez influye en la intensidad de los contactos familiares.

En la sección sobre estructura familiar, Carlos Echarri considera que la ENDIFAM es una fuente importante para el estudio de la familia y contribuye a enriquecer la serie de proyectos estadísticos que dan cuenta de la composición y estructura de las familias en México. En este artículo, el lector agradece el poder ver la continuidad con las líneas tradicionales de investigación sobre familia en cuanto a la composición y estructura de los hogares; los datos sobre hogares nucleares y hogares extensos no presentan sorpresas y las tendencias son claras. El análisis que se hace sobre el ascenso de la jefatura femenina que constata la ENDIFAM va en el mismo sentido, y lo mismo ocurre con la nupcialidad temprana y el aumento de los hogares unipersonales. En suma, Echarri presenta un sólido análisis sobre el tamaño, la estructura y

la composición de los hogares donde se confirman las tendencias observadas en otros estudios, sin descuidar la evolución que éstos han sufrido.

El libro ilustra sobre un cambio *discreto*, pero contundente, que con el paso del tiempo muestra una tendencia clara: hay cambios en la formación y en la disolución de las uniones en México. En el capítulo de Patricio Solís y de Ismael Puga se observa que no hay cambios dramáticos, pero sus efectos son indudables y directos. Para estos autores hay una subestimación en la literatura de la magnitud de los cambios debido a que no se analizan trayectorias de vida sino bloques de eventos separados: matrimonios, divorcios, etc.; que no permiten ver la gran variabilidad en las trayectorias. Concluyen que "...estos cambios son lo suficientemente amplios como para afirmar que el régimen de formación y disolución de primeras uniones en México se ha transformado de manera radical respecto a lo que era a mediados de la segunda mitad del siglo pasado." De un matrimonio temprano y duradero se ha pasado a una primera unión más tardía y a una gran diversidad de situaciones maritales en los años subsecuentes: periodos de soltería, acompañados de distintos tipos de unión, lapsos de separación y divorcio, seguidos de nuevas uniones.

Marta Mier y Terán complementa esta sección analizando las etapas, transiciones y trayectorias que se dan en el proceso de formación de pareja utilizando para ello la edad, el género y la clase socioeconómica; identifica algunos patrones en el proceso de formación de pareja que muestran diferencias por sexo, nivel de escolaridad, lugar donde se conocen y edad; explica si los noviazgos son cortos o prolongados, si se dan entre pares etarios o con diferencias de edad muy marcadas, si las parejas se forman entre vecinos, amigos del barrio o compañeros de trabajo o de escuela; en suma, muestra un complejo mosaico de características según se dé el proceso de formación de la pareja conyugal.

No podía faltar, conociendo a Orlandina de Oliveira y a Marina Ariza, un novedoso análisis que vincula tres dimensiones con igual número de ejes de diferenciación social; se trata de analizar la convivencia familiar, la afectividad y la conflictividad por estrato socioeconómico, género y edad, con un énfasis particular en el componente asimétrico de las relaciones familiares dado por las relaciones de poder y autoridad. Las autoras destacan que la convivencia

presenta diferenciales por estrato; así, se habla de convivencia dentro o fuera del hogar; la afectividad se percibe como llena de tensiones desencuentros y contradicciones los cuales, si bien no son negativos por sí mismos, pueden desembocar en conflictos que, a su vez, provocan conductas que van desde la violencia en distinto grado y modo, hasta su correcta resolución, incluyendo la intermediación. A este trabajo le sigue otro sobre respeto y confianza que enfrentan dos modelos de familia, el clásico patriarcal (autoritario, rígido y jerárquico) frente al relacional (más igualitario, democrático y flexible). Rabell y Murillo hablan de una profunda transformación en las relaciones que se establecen entre los miembros de la familia de residencia, se pasa de un esquema basado en el respeto a otro que tiene como eje la confianza. Encuentran que hay patrones en el proceso de formación de la pareja que llevarán o a un modelo de familia jerárquica o a uno relacional; afirman que cada vez con mayor frecuencia se acepta "...el carácter temporal de la unión, el intercambio de roles de género, el ejercicio igualitario del poder dentro de la familia y la libertad sexual premarital tanto para hombres como para mujeres."

El estudio de la conyugalidad a distancia presenta las características de una relación marital en dos contextos de la migración: interna e internacional. Ariza y D' Aubeterre dan cuenta de las relaciones conyugales de las parejas de los migrantes mostrando las diferencias que se observan si se trata de migración interna o de la internacional; comunicación, apoyo —ya sea emocional o económico—, frecuencia de los contactos, situaciones de autoridad, nivel de sujeción, niveles de consulta, entre otros aspectos, interactúan de manera diferente. Las autoras llaman la atención sobre el hecho de que hay una gran insatisfacción por parte de las mujeres de los migrantes respecto a su situación marital.

Por último, los análisis de la movilidad ocupacional y de la intergeneracional con datos de la ENDIFAM 2005 que hacen Patricio Solís y Fernando Cortés se inscriben en los clásicos estudios sobre movilidad social y desigualdad que se han realizado en México y de los cuales Fernando Cortés es uno de los más constantes contribuyentes. "Los resultados han permitido refrendar a escala nacional dos (...) resultados (...) se valida el carácter jerárquico que aún poseen en México las diferencias ocupacionales con respecto al acceso a un amplio conjunto de bienes y activos, incluyendo el ingreso, la escolaridad y los

bienes materiales (...) se generalizan al conjunto nacional dos tendencias (...) la permanencia de las altas tasas de movilidad absoluta y el claro predominio de la movilidad ascendente sobre la movilidad descendente."

Para finalizar, es interesante revisar con cuidado el anexo metodológico integrado por una explicación amplia del diseño de la muestra (Yvon Angulo), la calidad de la ENDIFAM 2005 (Ricardo Aparicio y Dulce Cano), la propuesta metodológica para la generación de un índice socioeconómico (Ricardo Aparicio) y el cuestionario de la Encuesta, ya que en él se comentan aspectos técnicos de indudable valor para la contextualización del análisis.

En suma, *Tramas familiares en el México contemporáneo. Una perspectiva sociodemográfica* es un libro obligado para todos los lectores que quieren saber más sobre los cambios y los arreglos familiares que enmarcan la inserción actual de las personas tanto en su unidad doméstica de residencia como en su interacción con otros sujetos sociales en el marco de la gran familia. ■

Tramas familiares en el México contemporáneo. Una perspectiva sociodemográfica

Coordinadora: Cecilia Andrea Rabell Romero

Autores: Cecilia Rabell Romero; María Eugenia D'aubeterre; Marie-Laure Coubès; Carlos Javier Echarri Cánovas; Patricio Solís; Ismael Puga; Marta Mier y Terán; Marina Ariza; Orlandina de Oliveira; Sandra Murillo López; Fernando Cortés; Yvon Angulo; Ricardo Aparicio; Dulce Cano.

Primera edición. UNAM, Instituto de Investigaciones Sociales; El Colegio de México. México 2009

NORMAS PARA PUBLICAR EN
REALIDAD, DATOS Y ESPACIO.
REVISTA INTERNACIONAL DE
ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

Los trabajos presentados a REALIDAD, DATOS Y ESPACIO. REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, deberán tratar temas de interés relativos al estado del arte de la información estadística y geográfica.

Sólo se reciben para su posible publicación trabajos inéditos, en español e inglés, y que no estén sometidos simultáneamente para su publicación en otros medios. Por ello, es necesario anexar una carta dirigida al Editor de REALIDAD, DATOS Y ESPACIO. REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, en la que se proponga el artículo para su publicación y se declare que es inédito y que no se presentará en otro medio. En esta carta deben incluirse los datos completos del autor o autores, institución, domicilio completo, correo electrónico y teléfono. El envío de los artículos debe dirigirse a la atención de la M. en C. Virginia Abrín Batule virginia.abrin@inegi.org.mx (tel. 5278 10 00 Ext. 1161).

Los trabajos deberán presentarse en versión electrónica (formato Word o compatible), en la cual se incluyan las imágenes, gráficas y cuadros (en el formato de los programas con que fueron generados y en archivos independientes, tales como Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, TIF, EPS, PNG o JPG, con una resolución de 300 dpi y en un tamaño de 13x8 cm). Se sugiere una extensión de 15 cuartillas, tipo de letra Helvética, Arial o Times de 12 puntos e interlineado de 1.5 líneas.

Los artículos deben incluir: título del trabajo (no mayor a 5 palabras), nombre completo del autor o autores, institución donde trabaja y cargo que ocupa, teléfonos, correo electrónico, breve semblanza del autor o autores (que no exceda de 1 párrafo de 5 renglones), resúmenes del trabajo, en español e inglés (que no excedan de 1 párrafo de 10 renglones), palabras clave, en español e inglés (mínimo 3, máximo 5) y bibliografía.

Las referencias bibliográficas deberán presentarse de la siguiente manera: Nombre del autor comenzando por el o los apellidos; Título del artículo (entrecomillado); Título de la revista o libro donde apareció publicado (en cursivas); Editor o editorial; Lugar y año de edición. En el caso de las fuentes electrónicas (páginas Web) se seguirá el mismo orden que en las bibliográficas, pero al final entre paréntesis se pondrá DE (dirección electrónica), la fecha de consulta y la liga completa.

Todos los artículos recibidos serán sometidos a evaluación, y el proceso de dictaminación será de acuerdo con la metodología de doble ciego (autores y dictaminadores anónimos).



INSTITUTO NACIONAL
DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

Teléfono: +52 55 5278 10 00 Exts. 1161 y 1069

Correo electrónico: rde@inegi.org.mx

<http://rde.inegi.org.mx>