

PREDICCIONES DE LAS EMISIONES DE CO₂ DEBIDAS AL MANEJO Y CAMBIO DE USO DE LOS SUELOS EN EL ESTADO DE PUEBLA, MÉXICO

PREDICTIONS OF CO₂ EMISSIONS DUE TO MANAGEMENT AND CHANGE OF USE OF LAND IN THE STATE OF PUEBLA, MEXICO

Gladys Linares-Fleites* y José Víctor Tamariz-Flores

Departamento de Investigaciones en Ciencias Agrícolas, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Apartado Postal 72570, Puebla, Pue., México.

**E-mail: gladys.linares@correo.buap.mx*

Abstract

The change in land use has been established as one of the factors involved fully in global warming. The National Emissions Inventory of Greenhouse Gas (INEGEI) 1990-2010 reports on the six greenhouse gases listed in Annex A of the Kyoto Protocol: carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs) and sulfur hexafluoride (SF₆). Emissions in this inventory are recorded for each greenhouse gas and in units of carbon dioxide equivalent (CO₂ eq.), estimated by multiplying the amount of emissions of a greenhouse gas value by value of global warming potential. Forecasting techniques single and double exponential smoothing was used to predict CO₂ emissions in the State of Puebla.

Keywords: climate change, greenhouse gases, time series.

Palabras clave: cambio climático, gases de efecto invernadero, series de tiempo.

1. Introducción

El cambio de uso de suelo se ha constituido como uno de los factores plenamente implicados en el calentamiento global, alterando el mantenimiento de los procesos ambientales como los ciclo del agua y del carbono, incrementando la erosión y la desertificación, así como, la pérdida de biodiversidad (Galicia y col., 2013).

El objetivo último de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) es lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel deberá lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

México presentó su inventario nacional de las emisiones antropógenas 1990-2010 por las fuentes y la absorción de

los sumideros de todos los GEI, elaborado con metodologías comparables, desarrolladas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC) y aprobadas por la Conferencia de las Partes de la CMNUCC.

Los cálculos de emisiones de GEI se realizaron para cinco de las seis categorías de emisión definidas por el PICC: Energía; Procesos Industriales; Agricultura; Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS), y Desechos.

El Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) 1990-2010 informa sobre los seis Gases de Efecto Invernadero (GEI) incluidos en el Anexo A del Protocolo de Kioto: bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Las emisiones en este inventario se contabilizan por cada GEI y también en unidades de bióxido de carbono equivalente (CO₂ eq.), que se estiman al multiplicar la cantidad de emisiones de un gas de efecto invernadero por su valor de potencial de calentamiento global (INEGI, 2011).

En el trabajo se analizan las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas en el sector uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS) en el estado de Puebla, México y se utilizan técnicas de pronóstico para brindar predicciones para los próximos años.

2. Importancia de la menor emisión de CO₂.

La temperatura media de la atmósfera terrestre se ha incrementado en medio grado centígrado en los últimos treinta años debido al llamado "efecto invernadero", ocasionado por el aumento en el contenido de gases como el CO₂, el metano, el óxido nitroso, clorofluorocarburos, etc, que capturan el calor que irradia la superficie terrestre. Uno de los dos gases que tienen mayor relevancia en este efecto, por estar en las concentraciones más elevadas, es el CO₂, cuyo monto está regulado por el ciclo global del carbono. Durante los últimos 160.000 años los niveles

estimados de CO₂ han fluctuado, correlacionándose con los cambios de temperatura media de la superficie terrestre.

Desde la década de 1950 son crecientes las cantidades de gases de invernadero que se emiten hacia la atmósfera, principalmente debido a la quema de combustibles fósiles, el uso de clorofluorocarbonados, la agricultura y la deforestación. Los modelos climáticos actuales proyectan que la temperatura media de la Tierra se elevará 1,5 °C a 5,5 °C durante los próximos 50 años si las emisiones de estos gases continúan incrementándose a la tasa actual.

3. Métodos de pronósticos.

Dada la naturaleza incierta de las tendencias en los problemas de cambio climático y, en particular, en las emisiones de GEI, es necesario utilizar métodos de pronósticos que ayuden a tomar mejores decisiones (Hanke y Wichern, 2010).

Los métodos de pronóstico de suavización exponencial revisan continuamente un estimado a la luz de las experiencias más recientes.

En el caso de la suavización exponencial simple, el nuevo pronóstico se obtiene por la siguiente ecuación:

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha) \hat{Y}_t$$

Donde $0 < \alpha < 1$.

En algunas ocasiones, los datos observados tienen una tendencia clara y contienen información que permite anticipar movimientos futuros. En estos casos puede utilizarse el método de suavización exponencial doble o método de Holt. Las ecuaciones que se usan son:

1. La serie suavizada exponencialmente

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

2. El estimado de la tendencia

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

3. El pronóstico para los p períodos futuros.

$$\hat{Y}_{t+p} = L_t + pT_t$$

Donde

L_t : nuevo valor suavizado

α : constante de suavización

Y_t : valor observado de la serie en el periodo t

β : constante de suavización para la tendencia

T_t : tendencia estimada

p : período a pronosticar

\hat{Y}_{t+p} pronóstico para el período p en el futuro.

La exactitud de una técnica para la elaboración de un pronóstico a menudo se juzga por la comparación entre los valores observados de la serie y sus valores pronosticados. La diferencia entre esos valores se conoce como *residuo*. A continuación se resumen tres criterios (medidas de exactitud) para evaluar una técnica de pronóstico en particular:

- (1) Error porcentual absoluto medio

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{|Y_t|}$$

- (2) Desviación media absoluta

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_t - \hat{Y}_t|$$

- (3) Error cuadrático medio

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2$$

4. Resultados obtenidos

Para analizar la serie de tiempo de las emisiones de GEI según Uso de Suelo entre los años 1990 y 2010 en México, utilizamos el software Minitab (MINITAB Release 15, 2005). Se realiza, primero, una exploración para caracterizar la serie. Puede apreciarse en la figura 1 que la serie tiene un marcado patrón de tendencia descendente.

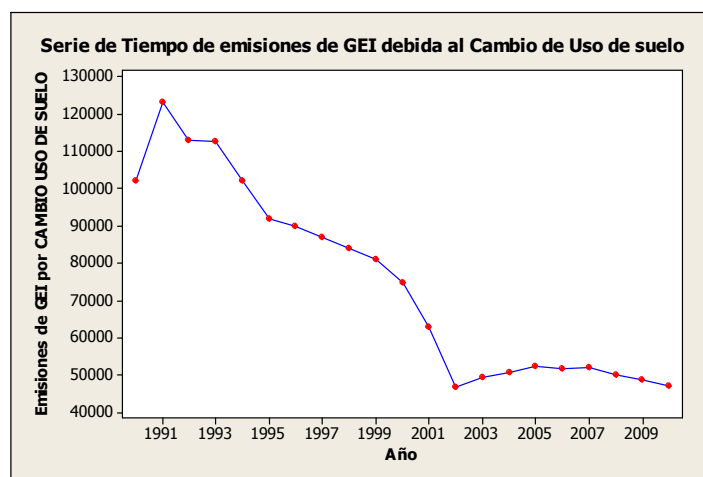


Fig. 1. Gráfico de la Serie de Tiempo de las emisiones de GEI debidas al Cambio de Uso de Suelo en el Estado de Puebla de 1990 a 2010.

A continuación se aplican las técnicas de pronósticos descritas anteriormente. Las figuras 2 y 3 muestran los

resultados de aplicar las técnicas de suavizamiento exponencial simple y doble, respectivamente.

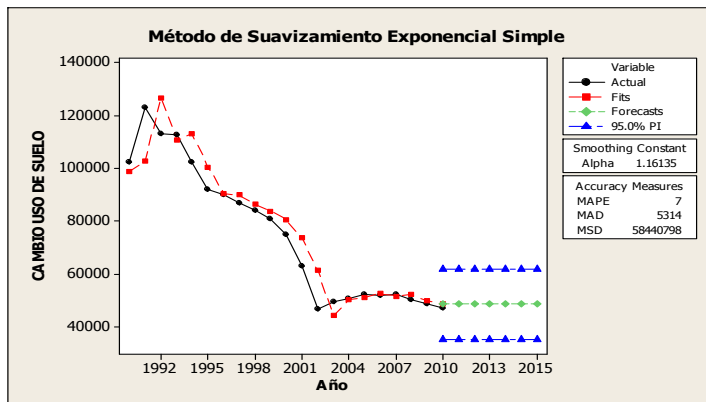


Fig. 2. Gráfico de los pronósticos obtenidos por el método de Suavizamiento Exponencial Simple de la Serie de Tiempo de las emisiones de GEI debidas al Cambio de Uso de Suelo en el Estado de Puebla de 1990 a 2010.

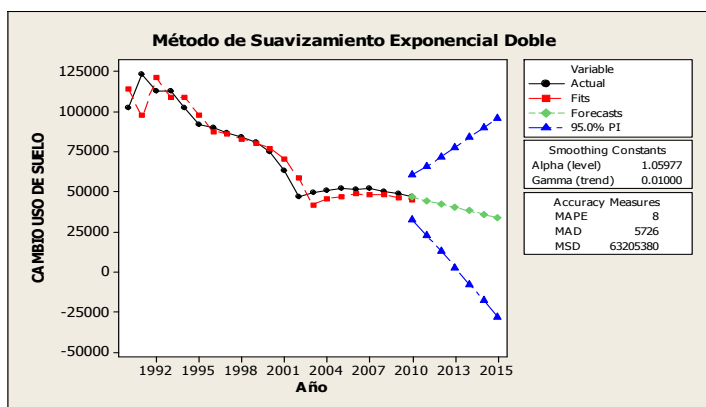


Fig. 3. Gráfico de los pronósticos obtenidos por el método de Suavizamiento Exponencial Doble de la Serie de Tiempo de las emisiones de GEI debidas al Cambio de Uso de Suelo en el Estado de Puebla de 1990 a 2010.

La tabla 1 muestra las medidas de exactitud de los pronósticos de cada una de las técnicas de suavizamiento exponencial por los criterios explicados antes (MAPE, MAD y MSD). El método de suavizamiento exponencial simple presenta valores más pequeños en las tres medidas de exactitud, por lo que pudiera ser considerado el mejor método.

Tabla 1. Medidas de exactitud según las técnicas de pronóstico de suavizamiento exponencial.

Medidas de exactitud	Suavizamiento exponencial simple	Suavizamiento exponencial doble
MAPE	7	8
MAD	5314	5726
MSD	58440798	63205380

El Pronóstico de emisiones de GEI debida al Cambio de Uso de Suelo hasta el 2015, obtenido por la técnica de Suavizamiento Exponencial Simple, es de 48 439.8 gigagramos de bióxido de carbono equivalente (CO₂ eq.). El intervalo de confianza al 95% es (34959.0, 61920.5).

5. Discusión y conclusiones

Analizando los datos globales en todas las categorías (INEGI, 2011) las emisiones de GEI en 2010 estimadas en unidades de bióxido de carbono equivalente (CO₂ eq.) totalizaron 748 millones de toneladas, para el estado de Puebla, lo que indica un incremento de 33.4% con respecto al año base 1990, con una tasa de crecimiento media anual (TCMA) de 1.5%.

Sin embargo, la contribución de las emisiones de GEI en 2010 por la categoría de Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS), en términos de CO₂ eq., es de 6.3%. Los cambios de biomasa en bosques y otros reservorios presentan una disminución de 64% en sus emisiones, al pasar de 16,159 Gg de CO₂ en 1990 a 5,861 Gg de CO₂ en 2010.

El método exponencial simple predice un 6.20% de emisión, debida a la categoría de Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS) para los próximos años. Esta disminución en las emisiones de GEI en esta categoría puede estar explicada por los esfuerzos que se viene realizando en el estado de Puebla en aspectos relacionados con el cambio climático.

En el trabajo titulado “Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México (MLED): Políticas estatales en materia de cambio climático”, que se planteó como objetivo principal analizar el grado de avance de las capacidades institucionales y el desarrollo de instrumentos de política en materia de cambio climático dentro de las 32 Entidades Federativas de los Estados Unidos Mexicanos, se hace la siguiente caracterización del Estado de Puebla.

Se considera que se han realizado “esfuerzos avanzados”. Esta categoría está avalada por las siguientes acciones:

- Inventario GEI terminado.
- Programa de cambio climático terminado.
- Ha desarrollado instrumentos legales para la atención del tema de cambio climático
- Posee oficinas dedicadas a temas de cambio climático.
- Se han implementado pasos subsecuentes tras la publicación de su programa.

En 2010 el Gobierno del Estado publicó el documento Estrategia de Mitigación y Adaptación del Estado de Puebla ante el Cambio Climático. Dicha estrategia constituye el Programa Estatal de Cambio Climático de Puebla. Fue el cuarto Estado en tener un Programa de Cambio Climático.

Durante 2012, se llevó a cabo la constitución del Subcomité de Calidad del Aire y Cambio Climático en el seno del COPLADEP.

Con recursos del Presupuesto de Egresos de la Federación 2011 se ha elaborado el “Programa de Contingencias, Riesgos e Información Asociado a los Efectos del Cambio Climático en el Estado de Puebla”. Este programa trata de ser una continuación de los esfuerzos comenzados con la Estrategia de mitigación y adaptación del Estado.

Dentro de la Secretaría de Sustentabilidad Ambiental y Ordenamiento Territorial se tiene un área dedicada a temas de cambio climático y monitoreo atmosférico. Personal de esta área fueron los encargados de realizar el programa de cambio climático y recientemente el programa de contingencias. También cuentan con un centro de educación climática global.

A la vez, la Agencia Alemana de Cooperación al Desarrollo, GIZ, lleva a cabo en el Estado dos proyectos en coordinación con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas CONANP, estos son: “Conservación de la Biodiversidad” y “Cambio Climático y Áreas Naturales Protegidas”. La figura 4 muestra una fotografía de los Bosques Mesófilos de Montaña, que aún se conservan.

Refiriéndonos en particular al Inventario de Emisiones, éste fue realizado para el año base 2008, cuenta con una resolución espacial a nivel municipal y cubre los 217 municipios del Estado de Puebla.

Con respecto a los Gases de Efecto Invernadero, en el inventario se contabiliza el Bióxido de carbono (CO_2), Metano (CH_4) y Óxido Nitroso (N_2O), cuyas emisiones son presentadas en unidades de CO_2 equivalente.

Aunque ya se cuenta con el Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Puebla, esfuerzo en que participaron investigadores, consultores y funcionarios estatales como enlaces entre los expertos y la fuente de información, aún es necesario organizar la información numérica para permitir estudios de pronósticos, como actualmente pueden llevarse a cabo con el Inventario Nacional.

Agradecimientos

Agradecemos a la Vicerrectoría de Investigaciones (VIEP) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) por el apoyo brindado al proyecto del Año 2014.



Fig. 4. Paisaje de Bosque Mesófilo de Montaña

Bibliografía.

Centro de Colaboración Cívica, A.C. *Programa para el desarrollo bajo en emisiones de México (MLED): políticas estatales en materia de cambio climático*. TETRA TECH ES INC. (2012). Recuperado en www.mledprogram.org

Galicia, A., J. H. Salazar, J.A B. Ordoñez y C. Mallén. “Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el cambio de uso de suelo y la silvicultura en el Estado de México”. XI Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. (2013).

Gobierno del Estado. *Síntesis de la estrategia de mitigación y adaptación del Estado de Puebla ante el cambio climático*. Puebla. (2010).

Hanke, J. E. y D.W. Wichern. *Pronósticos en los negocios*. Prentice Hall. México. (2010).

INEGI. *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*. (2011).

MINITAB Release 15. *Statistical Software Minitab Inc.*, (2005).