

# Impacto de la producción de bioetanol en el mercado del maíz

## Un análisis desde la dinámica de sistemas

**Luis Daniel Núñez Guzmán\***  
**Dante Ariel Ayala Ortiz\*\***

\* Biólogo y economista (UMSNH), con Maestría en Integración Regional y Desarrollo Sustentable (Universidad de Roskilde, Dinamarca), y Doctor en Economía Agroindustrial (CIESTAAM, Universidad Autónoma Chapingo)

\*\* Profesor-Investigador Titular en la Facultad de Economía UMSNH, Miembro del SNI-I. Correo-e: daao@fevaq.net

### RESUMEN

El mercado de maíz blanco en México, como país tomador de precios, se encuentra condicionado por las oscilaciones en los precios del maíz amarillo de su principal socio comercial, los Estados Unidos. Dado que este último se encuentra en un proceso de industrialización del maíz para la producción de agrocombustibles a base de etanol, genera una mayor competencia en el consumo del grano lo que propicia un déficit de la oferta, incluso mundial, que conlleva al incremento de los precios normales del mismo, efecto que se transfiere a México por medio del comercio internacional y las fallas de mercado. Así, el presente trabajo tiene como propósito evaluar los potenciales efectos que tendría en el mercado mexicano del maíz, particularmente en el nivel de precios, el destinar parte de la producción nacional de maíz a la generación de

Nota: Los autores desean expresar su agradecimiento a dos dictaminadores anónimos por las valiosas observaciones y sugerencias realizadas. Los errores que aún subyacen son enteramente propios.

Fecha de recepción:  
1 de septiembre  
Fecha de aprobación:  
30 de octubre

bioetanol, así como sus consecuentes impactos en otros ámbitos de la economía doméstica. Para lograr este objetivo se diseña y presenta un modelo dinámico de sistemas con el cual se sistematiza el mercado del maíz, que permite analizar el impacto de la incorporación del nuevo sector demandante en el mercado nacional de maíz (el sector productor de etanol), así como sus efectos en los precios normales internacionales y nacionales.

**Palabras clave** (JEL): agricultura y comercio internacional, agrocombustibles, modelación dinámica de sistemas, mercado de maíz.

## 1. Introducción

De manera histórica, México se ha caracterizado por mantener una vocación productiva agropecuaria, donde una gran parte de la población se ve involucrada en los procesos de producción, transformación y consumo de diversos cultivos. Los productos más destacados dentro de la producción agrícola son los granos o cereales, donde resalta el maíz.

El mercado del maíz se encuentra determinado por un sin fin de variables que condicionan la producción y por lo tanto, el abastecimiento de su principal demanda, que en el caso de México es la dedicada al consumo humano directo. Aunado a lo anterior, se debe destacar la vulnerabilidad que genera la exposición a fenómenos meteorológicos, plagas, enfermedades, así como la rivalidad en el consumo por la incorporación de nuevos mercados procesadores de dicho grano.

Rubio (2006) comenta que, a partir de la década de los ochentas, en México dejó de ser negocio la producción de alimentos básicos, situación que condena a los productores campesinos y que a la vez los condiciona a efectuar una conversión de los usos de suelo o de la producción. Existe también la opción de continuar con el cultivo de productos como el maíz, siempre y cuando se industrialice y dote de valor agregado al producto.

Industrias, como las productoras de etanol, surgen en estos tiempos como alternativas para la modernización del campo y dotar de nuevos y más redituables usos a la producción de granos, sin embargo, en países como México, donde existe un arraigo cultural, laboral y alimenticio a productos como el maíz, resulta cuestionable su eficiencia, puesto que no sólo rivaliza con el consumo sino con la cultura milenaria que ha caracterizado a esta nación.

El presente artículo busca evaluar los efectos potenciales que la conversión de la producción del maíz para la elaboración de agrocom-

bustibles generaría en el mercado mexicano de maíz, particularmente en el nivel de precios, así como sus consecuencias en la economía doméstica. Para lograr el objetivo expuesto se diseña un modelo dinámico de sistemas con el cual se sistematiza el mercado del maíz, la incorporación de una fuente de demanda (producción de etanol), así como el efecto en los precios internacionales y nacionales.

Tras la presente introducción, el trabajo se divide en cinco secciones. En la primera, a manera de antecedentes se describen de manera sucinta tres componentes clave del estudio: el mercado de maíz en México, la industria del etanol a partir de maíz y la base de los modelos dinámicos. En la segunda, correspondiente al marco teórico, se hace mención de las principales características sobre los modelos econométricos y dinámicos implementados. Posteriormente, se describe con precisión la metodología empleada en la construcción del modelo propuesto, dando así lugar a la presentación de los resultados del estudio y en un quinto apartado se presentan las conclusiones.

## **2. Antecedentes**

### **2.1 El maíz en México**

En México, el valor total de la producción del maíz llega a representar aproximadamente el 32.4% del total de los más de 320 cultivos<sup>1</sup>, abarca la mitad de la superficie territorial destinada al total de las plantaciones y emplea a más del 40% de la fuerza de trabajo del sector agrícola (Nadal y Wise, 2005).

La producción maicera se desarrolla principalmente en 11 estados que, por orden de importancia, son: Sinaloa, Jalisco, México, Chiapas, Michoacán, Guerrero, Veracruz, Guanajuato, Puebla, Tamaulipas y Chihuahua, que son los más importantes en cuanto a volumen de producción se refiere (ver Anexo 1), que en conjunto produjeron aproximadamente el 82% de total nacional, en riego y temporal para el año de 2006<sup>2</sup>.

Si bien la producción de maíz en México tiene un carácter dual, donde se identifica al sector campesino de baja tecnificación como “tradicional” y al moderno o tecnificado como “de vocación comercial”, para efectos del presente análisis sólo se tomará en cuenta al sector comercial, partiendo del supuesto que sería éste el que estuviera en mayor posibilidad de participar eventualmente en la producción de etanol, considerando que para ser rentable y funcional al modelo de producción, el tipo de maíz cultivado se debe realizar bajo condiciones de tecnificación media o alta.

<sup>1</sup> Información basada en FIRA.

<sup>2</sup> Información basada en SAGARPA.

Por el lado del consumo, se sabe que México ocupa el segundo lugar mundial en consumo anual per cápita de maíz (Nadal y Wise, 2005), donde destaca el consumo humano. A diferencia, en países industrializados, por su tipo de producción, se destina al consumo pecuario e industrial. Sin embargo en este rubro es imprescindible mencionar que existe una balanza comercial deficitaria que evidencia la incapacidad del país para proveer la totalidad del consumo nacional, es decir existe una insolvencia que genera condiciones de vulnerabilidad puesto que merma una necesidad de supervivencia básica: la alimentación. En el año 2006 las importaciones totales de maíz representaron aproximadamente el 35% del total del consumo de dicho producto, situación que se agrava durante los meses de invierno, registrando en diciembre del 2007 que la participación de las importaciones se aproximó al 72% del consumo de maíz en el país<sup>3</sup>.

## 2.2 La industria del etanol a base de maíz

El bioetanol y otros agrocombustibles se presentan como una alternativa energética limpia y confiable que busca sustituir el uso de las gasolinas derivadas del petróleo que tanto daño han hecho al medio ambiente. En la literatura se consigna un largo debate en torno a la viabilidad técnica, económica, ambiental, incluso moral, del uso de insumos agrícolas para la producción de energéticos (veáse Ayala y De la Tejera 2007), sin embargo no es propósito de este artículo discutir esos posicionamientos, sino destacar los elementos básicos de este tipo de generación de energéticos.

El etanol o alcohol etílico es el resultado de la destilación de productos orgánicos; Vergagni (2004) explica que éste puede ser producido a partir de cualquier compuesto orgánico que contenga niveles considerables de azúcar o materiales que puedan convertirse en azúcar simple, dentro de los que destacan el azúcar de caña, los granos como el maíz, cebada, trigo y sorgo, maderas, residuos forestales e incluso desechos de papel, basura de patio, plásticos y llantas.

A pesar de ser un producto cuya existencia antecede a la gasolina de origen fósil, en la actualidad ha adquirido gran importancia así como preocupación en varios sectores económicos, la razón de lo anterior es que al ser producido a base de productos orgánicos y de gran importancia para la ingesta alimenticia humana y pecuaria, principalmente, se le considera como un competidor directo para éste, es decir, rivaliza con el consumo humano y pecuario de maíz.

Dado lo anterior se ha criticado su importante papel en la inflación de precios de los granos y como consecuencia de los alimentos en general, así mismo Etter (2007) duda de los beneficios ambientales del producto, cuestionando que éste pueda reducir el consumo y la

<sup>3</sup> Información basada en SAGARPA.

dependencia del petróleo en el mundo, agregando que al quemarse el etanol produce más ozono que la gasolina y pone en riesgo el suministro de agua.

El premio Nobel en química Paul Crutzen (citado por Arias y Tobón, 2008) encontró que “el etanol proveniente de la canola y el maíz pueden producir respectivamente el 70% y el 50% más de gases de efecto invernadero que los combustibles fósiles tradicionales...”, esto quiere decir que las emisiones que se generan dentro del ciclo de producción del etanol con estos productos agravarían la contaminación atmosférica en lugar de evitarla, con lo que se pondría en tela de juicio la viabilidad de los agrocombustibles.

### 2.3 Los modelos dinámicos

Los modelos dinámicos de sistemas son una técnica computarizada de la econometría que sirve para recrear el comportamiento real de un mercado, el cual involucra tantas variables como sean necesarias, valiéndose del modelamiento de las relaciones y fluctuaciones que se entrelazan, interactúan y retroalimentan entre ellas y al propio sistema, a lo largo de múltiples simulaciones.

Jay W. Forrester fue el creador de la dinámica de sistemas, el cual buscó construir mecanismos de control y retroalimentación de información. En 1956, implementó dichos ciclos de retroalimentación y modelos para la simulación de sistemas sociales y manejo corporativo, siendo la *General Electric* la primera empresa que vio trabajar la dinámica de sistemas para ese propósito (Radzicki, 1997).

Se debe destacar que los análisis dinámicos son prototipos, es decir propuestas de sistemas, donde se busca describir, de manera inicial, el mercado objetivo. Es necesario puntualizar que todo modelo dinámico, en construcción, es producto de la experiencia del modelador y no de leyes científicas, ya que mediante procesos de prueba y error se busca reproducir de la mejor manera posible a la realidad, es decir, es un trabajo empírico y por lo tanto en constante ajuste.

El modelo de sistemas implementado para la presente investigación se encuentra basado en el modelo de Conrad (2004), el cual busca modelar y explorar los efectos que engendraría la propagación de una enfermedad infecciosa entre el ganado de los EE.UU. y sus respectivos mercados, así como diseñar y presentar una propuesta de política pública que atenúe los efectos de dicho suceso.

### 3. Marco teórico

Para el desarrollo del modelo dinámico del maíz en México, se evaluaron dos componentes que se consideran fundamentales en el sistema: por un lado, la econometría como técnica para seleccionar las variables y la relación que guardan entre sí, dotando al sistema de veracidad y

apego a la realidad, y por otro lado, la metodología de dinámica de sistemas para construir el esquema del mercado agrícola, comprenderlo y desarrollar los ciclos de retroalimentación de información y propagación de efectos del fenómeno estudiado.

En el primer apartado se tomó como referencia los lineamientos de la econometría referenciados en autores como García (2003) y Gujarati (2004), los cuales han desarrollado ampliamente los componentes de la técnica y sus aplicaciones. En la segunda parte, referida a la metodología de los modelos dinámicos de sistemas se remitió a las aportaciones de Andrade *et al.* (1996), así como Whelan y Msefer (1996), los cuales han basado sus análisis en los estudios del creador de la metodología Jay W. Forrester.

### 3.1. Modelo econométrico

“Literalmente, econometría significa <medición económica>. Sin embargo, si bien es cierto que la medición es una parte importante de la economía, el alcance de esta disciplina es mucho más amplio...” (Gujarati, 2004:1).

Intriligator (citado por García 2003:6), define a la econometría “como la rama de la economía que se encarga de la estimación de las relaciones económicas, es decir la econometría se encarga de medir relaciones económicas, utilizando:

- a) Teoría incorporada en un modelo econométrico,
- b) Hechos sintetizados por la información importante, y
- c) Teoría estadística refinada en técnicas econométricas para medir y probar en la práctica ciertas relaciones entre variables económicas, dándole con ello contenido práctico al razonamiento económico.”

La econometría en su modelamiento se vale de la investigación estadística para resolver problemas encontrados en su procedimiento, así como la última le remite también material referente a los hechos, con lo cual le habilita para determinar las relaciones estructurales que se establecen y las magnitudes en que se encuentran las variables estudiadas.

Por lo tanto, la econometría se vale de las ciencias estadísticas y, por ende, matemáticas para dar sustento cuantitativo a las leyes determinadas por la teoría económica, es decir aporta magnitudes numéricas a las variables y fenómenos económicos para interpretar la realidad, modelarla y estudiarla.

### 3.2. Modelamiento dinámico de sistemas

Los modelos dinámicos (SD por sus siglas en inglés), se valen del

uso de simulaciones computarizadas y técnicas de modelamiento que permiten comprender los flujos de retroalimentación del fenómeno estudiado, así como proyectar reacciones en un contexto fluctuante determinado donde se pueda visualizar el comportamiento de la economía y/o evaluar los impactos de las interrupciones en los ciclos normales de flujo y de las políticas públicas implementadas para su solución.

Los modelos SD que son clasificados como de “desarrollo” se caracterizan por la presencia de múltiples equilibrios, es decir conllevan inventarios aleatorios que siguen un camino particular. Los múltiples equilibrios pueden presentarse en modelos que representan imperfecciones en los mercados.

En los SD se busca construir un modelo basado en el análisis de los distintos elementos que intervienen en el sistema observado, es así como se pretende comprender la lógica interna del mercado en estudio y estructurarla de manera tal que pueda ser ajustada a los datos históricos de las variables implementadas. Al respecto Andrade *et al.* (1996) comentan que el ajuste de los parámetros del modelo a los datos históricos ocupa un lugar secundario, siendo el análisis de la lógica interna y de las relaciones estructurales en el modelo, los puntos fundamentales de la construcción del mismo.

Desde el punto de vista matemático, los SD son sistemas de ecuaciones diferenciales de primer orden, los cuales son formulados en variables y tiempo continuo y pueden ser solucionados a través de simulación.

Para Whelan y Msefer (1996) los modelos dinámicos son sistemas en construcción, es decir no siempre se presentan terminados, ya que representan una realidad social o algún fenómeno sumamente complejo.

## **4. Metodología**

### **4.1. La construcción del modelo**

Con el objetivo de conocer los efectos que la producción de etanol genera en los cultivos de maíz y su consecuente efecto en los niveles normales de precios, se adaptó el modelo dinámico de sistemas del mercado maicero de EE.UU., de Conrad (2004), denominado *The Dynamics of Agricultural Commodities and Their Responses to Disruptions of Considerable Magnitude* con el cual se pretende simular de una manera fidedigna el comportamiento real del rubro en EE.UU., así como después aterrizar el análisis al caso mexicano. El modelo parte de la economía estadounidense puesto que es el principal socio comercial y proveedor del maíz importado en México (Vega y Ramírez, 2004), por lo que no se debe dejar de lado el efecto que la conversión de la producción del maíz en EE.UU., produce en los

precios mexicanos de maíz blanco.

Para el desarrollo de la investigación y la construcción del modelo se llevó a cabo la selección de algunas variables representativas del mercado maicero como el precio real del maíz blanco en México, el nivel de precios del maíz amarillo en EE.UU., producción de maíz, consumo humano, pecuario, industrial, para siembra, mermas, existencias, disponibilidad para consumo, importaciones y exportaciones de maíz, así como las correspondientes estadísticas de maíz en EE.UU., las cuales son consideradas relevantes en el modelo. Las variables antes mencionadas son resultado de una investigación empírica donde se utilizaron aquéllas cuyos resultados fueron lo suficientemente satisfactorios como para desarrollarse en el estudio. Cabe mencionar que el modelamiento de un mercado como el agrícola es sumamente complejo, por lo que se consideraría al sistema como en construcción y disponible a ser complementado en la posterioridad. Las fuentes de información o bases de datos implementadas fueron obtenidas de las estadísticas del Sistema de Información Agropecuaria (SIACON) de la SAGARPA, Secretaría de Economía, USDA y Reuters.

Las variables mencionadas anteriormente son tratadas de manera estadística y econométrica por medio de un análisis de regresiones para determinar la participación que tienen en el mercado de maíz y en la determinación del nivel de precios del mercado.

Las principales relaciones a considerar son las que se refieren al precio nacional explicado en términos de los precios internacionales, con lo que se podrá determinar la influencia de la importación de maíz y sus precios; el comportamiento observado de la producción nacional en función de los movimientos en los índices de precios de sus respectivos años, así como el grado en que los precios explican el consumo de maíz, entre los diferentes sectores.

Las regresiones econométricas propuestas son las siguientes:

1.  $P_{\text{nacional}} = C1 + C2 * P_{\text{EE.UU.}}$
2.  $C_{\text{industrial}} = C1 + C2 * P_{\text{nacional}}$
3.  $C_{\text{no industrial}} = C1 + C2 * P_{\text{nacional}}$
4.  $\text{Siembra} = C1 + C2 * P_{\text{nacional}}$
5.  $P_{\text{modelo}} = C1 + C2 * P_{\text{EE.UU.}}$
6.  $P_{\text{EE.UU.}} = C1 + C2 * D_{\text{maíz para etanol}}$

Donde:

$P_{\text{nacional}}$  = Precio del maíz blanco en México.

$P_{\text{EE.UU.}}$  = Precio del maíz amarillo en EE.UU.

$P_{\text{modelo}}$  = Precio del maíz amarillo desarrollado por el modelo dinámico.

$C_{\text{industrial}}$  = Consumo industrial de maíz blanco en México.

$C_{\text{no industrial}}$  = Consumo no industrial de maíz blanco en



México.

Siembra = Superficie sembrada de maíz blanco en México.

D\_maíz para etanol = Demanda de maíz para elaboración de etanol en EE.UU.

Las regresiones mencionadas se trabajaron en el paquete computacional econométrico denominado E-Views (V5.0), el cual es el más recomendado para análisis de este tipo.

#### 4.2 Identificación del modelo

El periodo a analizar comprende registros mensuales del año 2002 al 2007, constituyendo un total de 72 observaciones. Gujarati (2004) comenta que en la implementación de datos continuos (diarios, semanales o mensuales) resulta natural la presencia de inercia en la serie, es decir que existirá interdependencia entre las observaciones o autocorrelación, los estimadores continuarán siendo lineales e insesgados al igual que consistentes y están distribuidos en forma normal y asintótica, pero dejan de ser eficientes.

La serie de datos u observaciones es dividida en dos subperiodos: de enero del 2002 a junio de 2006, como la temporalidad previa al impacto más fuerte que recibieron los precios del maíz en EE.UU. y México, y de julio de 2006 a diciembre del 2007, donde se resienten y visualizan de manera más notoria los efectos del incremento en dichos precios.

Para la introducción del incremento en la demanda de maíz para producción de etanol se parte de los estudios de Dettmer (2007), el cual analiza los incrementos en el consumo maicero y de etanol en EE.UU., así como el efecto que el último está generando actualmente.

Con la obtención de las proyecciones norteamericanas en el nivel de precios del maíz se procede a transferir el efecto de los próximos cuatro años al mercado mexicano, donde por medio de los coeficientes obtenidos en la regresión econométrica de los precios nacionales y de EE.UU., se estiman los valores esperados para el maíz en México.

### 5. Resultados

#### 5.1 Las variables

Primeramente se comprueba la relación internacional que se establece entre los mercados de maíz en México y EE.UU.<sup>4</sup>, donde se observa

<sup>4</sup> En México se cultiva maíz blanco que es el más óptimo para el consumo humano, mientras que en EE.UU., se cultiva principalmente el amarillo que por sus propiedades es mejor para el consumo pecuario e industrial. Aunque son variedades diferentes se comparan puesto que ambas condicionan el PIB agropecuario, en sus respectivos países.

que el segundo o país dominante tiene una influencia positiva en la determinación de los precios del primero con un periodo de rezago igual a dos meses. El rezago se ve explicado por la presencia de las reservas nacionales puesto que permiten amortiguar las variaciones de sus precios.

Las variables antes mencionadas resultan consistentes e insesgadas (véase anexo 2) puesto que observan coeficientes de correlación y determinación superiores al 90% y un error estándar de 0.05 con una confiabilidad del 99%, dando como resultado la siguiente ecuación para el precio nacional:

$$P_{\text{nacional}} = 3.209 + 0.23 * P_{\text{EE.UU.}} + U.$$

Por su parte en los movimientos de los niveles de consumo industrial y no industrial (consumo humano, pecuario, etc.), no se observa alguna relación que compruebe o demuestre la influencia que sobre estos pueda ejercer la variación en el nivel de precios nacionales, por lo que al tener resultados poco consistentes no existe evidencia para aceptar la relación propuesta, es decir se asume que los precios no son la principal variable condicionante del consumo nacional.

Con resultados similares al consumo, se tiene que la producción o las decisiones de siembra tampoco se ven determinadas por los precios nacionales del maíz, por lo que se asume que los productores se guían por otras variables para el cultivo del grano, es decir que existen condiciones más importantes donde podríamos destacar la cultura, las tradiciones y la ingesta doméstica de los agricultores.

## 5.2 El modelo de maíz en EE.UU.

Puesto que México es un país tomador o seguidor de precios, de acuerdo a lo demostrado en el apartado anterior, resulta necesario explicar las fluctuaciones nacionales en función de las de EE.UU., además de que el segundo país cuenta con una experiencia mayor en el desarrollo de agrocombustibles y por ende cuenta con mayor información para el estudio.

El modelo desarrollado consta de dos etapas, la primera abarca el periodo 2002 hasta junio de 2006, en este punto se inserta un incremento en la demanda de maíz por efecto del aumento en las operaciones de la industria productora de etanol, fecha que se corresponde con el incremento de los precios registrados en el mercado real. La segunda etapa corresponde de julio de 2006 hasta el año 2012, donde se pretende evaluar los efectos que se producen en las fluctuaciones de los precios del maíz, así como su pronóstico y estabilización a corto y mediano plazo.

El modelo comienza con algunos datos registrados desde el sistema de Conrad (2004), así como la incorporación de observaciones del

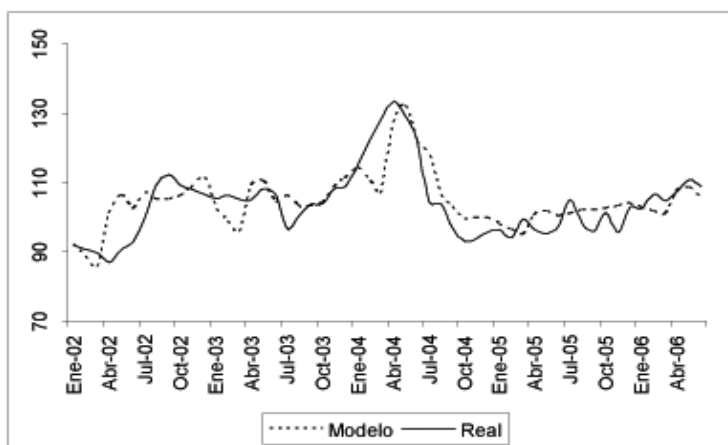
USDA, donde se partió de un precio inicial, a enero del 2002, de 91.89 dólares por tonelada de maíz.

Se encontró una elasticidad negativa de la cobertura de la producción (o inventarios) sobre el precio, misma que no resultó constante, por lo que varía desde -4.5, reduciéndose en julio del 2003, e incrementándose posteriormente en octubre del 2004, lo anterior con el afán de replicar lo más fielmente el mercado observado de maíz en EE.UU., y la curva de los precios observada entre diciembre del 2003 y agosto del 2004, véase Figura 1.

El resultado del modelo se obtiene del desarrollo de las oscilaciones históricas registradas, puesto que el mercado del maíz se ve afectado por fenómenos no cíclicos, esto conlleva a que constantemente se interrumpa al mismo, con la simulación del problema en determinados años, lo que consecuentemente deriva en un efecto de recuperación como el descrito por la Figura 1. El proceder mencionado es necesario puesto que el modelo más que simular, debe replicar el periodo previo para que la proyección parta de condiciones similares a las reales y por ende se dote al modelo de mayor veracidad.

En la Figura 1, el eje “Y” representa el índice en dólares por tonelada de las tendencias registradas, con lo que se puede observar las oscilaciones en el nivel de precios históricos de EE.UU., y los del modelo dinámico.

**Figura 1: Comportamiento del precio de maíz en EE.UU., y el del modelo dinámico de sistemas (enero 2002 – junio 2006)**



**Fuente:** Elaboración propia con base en USDA y los resultados del modelo dinámico del maíz.

Además de la elasticidad, antes mencionada, fue necesario incluir las oscilaciones en la producción, producto de fenómenos meteorológicos y mermas en la producción, lo anterior con el afán de apegarse en lo posible al comportamiento registrado en los precios observados entre enero y marzo de 2002, mismos que incrementan hasta junio de 2003 y se reducen posteriormente como reflejo del consecuente incremento en los precios de julio de 2003 a abril de 2004. Después de octubre de 2004, el precio oscila dentro de niveles relativamente estables con una tendencia creciente en el corto plazo.

Para validar la representatividad de la realidad a través del modelo se obtuvieron, mediante una regresión econométrica, coeficientes de determinación y correlación superiores al 80%, siendo consistentes e insesgados a un nivel de confianza del 99%, véase anexo 3.

En la Figura 1, correspondiente a la primera etapa, se observa el comportamiento hasta mediados del año 2006, donde se interviene en el modelo con el incremento de la demanda antes mencionado, dicha demanda se ve justificada en los estudios de Dettmer (2007) quien observa un incremento en el consumo de maíz de aproximadamente 51.1% en dicho año.

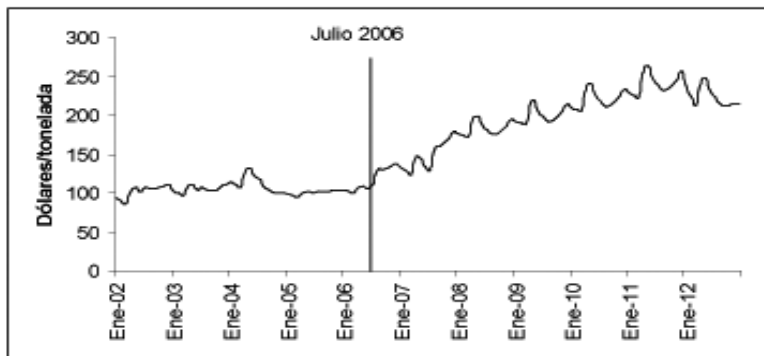
Además se encuentra una pendiente de 0.03 de la demanda de maíz para producir etanol sobre los precios de dicho grano en EE.UU., lo que comprueba la existencia de una relación positiva y condicionante entre ambas variables. Dicha relación establece que el 90.9% de las variaciones en los precios del maíz pueden ser explicadas por la demanda que genera la industria etanolera, teniendo además un coeficiente de correlación de 88.6% entre las variables. Los estimadores resultan consistentes e insesgados puesto que el error estándar resulta ser lo suficientemente pequeño como para perturbar la relación establecida, comprobándose la relación a un 99% de confianza, véase anexo 4.

Finalmente se obtiene, en la segunda etapa del modelo, un escenario que desarrolla una pendiente creciente no muy pronunciada pero constante a lo largo del periodo de análisis (véase Figura 2). Numerosos investigadores concuerdan en que la tendencia alcista del nivel de precios de los productos alimenticios, en especial la del maíz, seguirá a lo largo de un periodo considerable ya que tanto la creciente industria etanolera y los elevados precios estimulan a los productores a incrementar su producción, así como sus rendimientos por hectárea, con el afán de solventar la creciente demanda y perpetuar el efecto alcista.

Sin embargo, en tales condiciones se esperaría que a partir de enero de 2011 se registre una reducción del crecimiento de la curva descrita por dicha proyección, misma que es asociada a los problemas estructurales y sociales que originará la conversión del destino de la producción del maíz y sus elevados precios, estos conflictos ya se presentan en la actualidad bajo la forma de protestas y campañas de conciencia social que pretenden frenar o, cuando menos, contener la

velocidad con que crecen los precios internacionales del maíz, mismos que tarde o temprano desplazarían al consumidor humano y pecuario, por parte del industrial. La industria etanolera también se verá afectada por el incremento en los precios de sus insumos y la escasez de los mismos, siendo probable la contracción de sus operaciones.

**Figura 2: Proyección del nivel de precios estadounidenses de maíz amarillo**



**Fuente:** Elaboración propia con base en los resultados del modelo dinámico del maíz.

La proyección de la segunda etapa del estudio de EE.UU., cuenta con un significativo nivel de confianza puesto que obtiene coeficientes de correlación y determinación del 77.9%, con estimadores también consistentes e insesgados, véase anexo 5.

### 5.3 Estabilización de precios en México

Una vez analizado y dimensionado el sistema de EE.UU., se cuenta con las condiciones para adaptar el modelo a nivel nacional. Se debe recordar que el análisis de México se basa en la siguiente regresión:

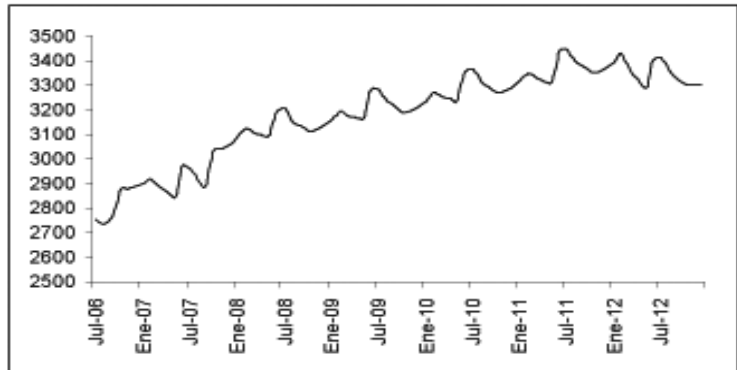
$$P_{\text{nacional}} = 3.209 + 0.23 * P_{\text{EE.UU.}} + U$$

Para la estimación del estudio de los precios mexicanos se parte de la trayectoria descrita por EE.UU., y se transmite un efecto positivo con un rezago igual a dos meses en la proyección nacional. Lo antes mencionado se debe a que existe mayor información correspondiente a la industria del etanol en el primero, por su parte el efecto y rezago son producto del análisis anterior sobre la dependencia comercial de México hacia el mismo.

En la Figura 3 se observan tres estimaciones o trayectorias de tendencia alcista en los precios nacionales del maíz blanco. Las tendencias mostradas son producto de la transferencia de los precios estadounidenses vía importación de maíz hacia México como resul-

tado del comercio internacional, las fallas de mercado (Nadal y Wise, 2005) y el *dumping* en los precios (Ayala, 2002 y Keilbach, 2006). En la Figura 3 el eje vertical o “Y” señala los valores del precio de maíz blanco por tonelada en pesos mexicanos que presentan las trayectorias descritas en la figura.

**Figura3: Proyecciones del nivel de precios nacionales de maíz**



**Fuente:** Elaboración propia con base en los resultados del modelo dinámico del maíz.

En la figura anterior se aprecia la existencia de brinco a mitad de cada año, las cuales se registran entre los meses de junio y julio como producto de la presencia y agotamiento de los inventarios; es decir, es el efecto en los precios por el debilitamiento de las reservas por efecto del cambio de estación productiva de primavera-verano a otoño-invierno, situación que pone al país en espera de la próxima cosecha.

La proyección descrita desarrolla un crecimiento acelerado hasta mediados del año 2009, después del cual conserva la tendencia pero con crecimientos menos pronunciados. Esta estimación refleja de una manera más acertada los registros del mercado ya que no se espera que el incremento en el precio del maíz se contenga a corto plazo, sino que conserve la tendencia y se estabilice entre el segundo semestre del 2009 y antes del primero del 2011 donde puede llegar a su nivel máximo histórico.

Otra característica de las trayectorias descritas, nacional y de EE.UU., es que ninguna encuentra un equilibrio relativo en el corto plazo y tampoco retornan a los niveles de precios que se registraban de manera histórica, es decir que en la medida que se transite y logre un equilibrio a futuro éste será con valores por encima de los registrados actualmente.

Cabe mencionar que la industria del etanol no resulta la única involucrada en el proceso de desestabilización de los precios, ya que también intervienen los productores comerciales de granos, los cuales

ven una oportunidad única en el comportamiento alcista de los precios, por lo que buscarán incrementar su producción y sus rendimientos, con lo que contribuirán a la determinación y prolongación del fenómeno hasta llegar a los límites permisibles por la producción y la sociedad. Por su parte entrarían en escena los intermediarios y acaparadores que también contribuirían a la determinación y perpetuación del alza en los precios del maíz en México.

En síntesis a lo largo del estudio se ha observado que la presencia de un nuevo consumidor, en un mercado relativamente constante, altera y desestabiliza el nivel de precios por medio de un déficit en la oferta y de manera agravada ante la presencia de sectores desprotegidos y vulnerables, además de que dicha dinámica promueve la rivalización en el consumo y la conversión del destino de la producción hacia industrias más redituables.

## 6. Conclusiones

Con base en el análisis de los resultados arrojados por el modelo de dinámica de sistemas desarrollado en el presente estudio se corrobora que los índices de precios históricos del maíz en México se encuentran influenciados por el homólogo de su principal socio comercial, EE.UU., con el cual entabla relaciones de compra-venta de productos agropecuarios, mismos que son adquiridos junto con sus efectos inflacionarios con un rezago de dos meses, producto de las reservas inventariadas en el país.

La producción y el consumo de maíz en México tienen una baja sensibilidad a las oscilaciones en el nivel de precios nacionales, dado que aun en el rubro comercial responden a un mercado activo donde la dieta básica del mexicano lo conduce al consumo de productos derivados del maíz, por lo que buscará ser provisto de los mismos con una regular periodicidad, así como los productores no dejarán de abastecer a este mercado tan importante.

La industria productora de etanol ha dinamizado el mercado de granos a nivel mundial, posicionándose como uno de los principales demandantes de maíz en el mundo, aun por encima del consumo humano y pecuario. El reposicionamiento industrial y las empresas emergentes producen un desequilibrio en los mercados normales de productos agrícolas donde, ante las condiciones y rendimientos actuales de producción nacional, producen un exceso de demanda, o de la misma manera una insuficiencia de oferta, consumen de manera más acelerada los inventarios de granos y afectan los niveles regulares de precios de maíz, conduciéndolos hacia el alza.

El incremento en el nivel de precios proyectados para la industria maicera no necesariamente beneficia al campesinado y en ocasiones tampoco a los productores comerciales ya que en la mayoría de los casos los grandes beneficios son apropiados por las empresas ali-

menticias internacionales, los intermediarios o algún bróker, como es ampliamente conocido.

La inflación prolongada en el maíz, así como otros productos de consumo básico, agravarán la existencia de los ciudadanos que viven por debajo de la línea de pobreza y pobreza extrema que ya viven en condiciones precarias.

Por último los modelos dinámicos ayudan a sistematizar y comprender los mercados agropecuarios, traducir las realidades complejas en sistemas computarizados que permiten analizar y proyectar escenarios diversos que responden a diferentes perturbaciones. La sistematización de la realidad permite evaluar los distintos cursos de acción de las variables del mercado y reaccionar antes de que se susciten y afecten a la sociedad.

Con la información recabada y los análisis provistos, las instituciones gubernamentales deben evaluar los efectos derivados de los fenómenos que los biocombustibles producen en países de vocación agropecuaria, como México, donde la mayoría de su población rige su dieta en productos agropecuarios y no pueden competir con los grandes industriales y acaparadores de maíz, más aún cuando el panorama de los precios, por efecto del incremento de la demanda, resulta alcista.

## Bibliografía

- Andrade, Hugo, Acevedo, Celso, Parra, Jorge y Pineda, Elicier. 1996. "La dinámica de sistemas como metodología alternativa en modelado económico: un caso de aplicación en producción regional". Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. 20 pp. (Paper)
- Arias D., Humberto y Tobón, Humberto. 2008. "¿Apocalipsis ambiental?, futuro incierto para la humanidad". Corporación Autónoma Regional de Risaralda. Biblioteca Ambiental. Colombia. 61 pp. (paper)
- Ayala Ortiz, Dante Ariel y Beatriz De la Tejera. 2007. "De la redención al calvario: contrasentidos de la política campesina en México". Revista Economía y Sociedad No. 20 (edición especial). Año 12. Julio-diciembre 2007. Fac. de Economía UMSNH. Pp: 201-222.
- Ayala O., Dante. 2002. "Comercio, desarrollo e impacto ambiental: estudio de caso de la liberalización comercial del maíz". Economía y Sociedad. No. 11. México. pp: 119-137. (artículo)
- Conrad, Stephen H. 2004. "The dynamics of agricultural commodities and their responses to disruptions of considerable magnitude". EE.UU. 14 pp. (Paper)
- Dettmer, Sergio F. 2007. "presentación ejecutiva de perspectivas de mercado". Risk Management Consultant. EE.UU. 105pp. (Paper)
- Etter, Lauren. 2007. "Un año después de la euforia, el etanol sufre por el exceso de oferta y el alto precio del maíz". The Wall Street Journal. EEUU. 3 pp. (artículo)
- FIRA del Banco de México, Dirección de Análisis Económico y Sectorial. 2008. "Análisis del producto interno bruto del sector agropecuario". 28 pp. Documento Interno.



- García M., Gabriel. 2003. "Software para la solución de modelos econométricos mediante un enfoque matricial". Tesis de Licenciatura en Economía. Facultad de Economía Vasco de Quiroga. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. pp: 6-33.
- Gujaratin, Damodar. 2004. "Econometría". Cuarta edición. Edit. Mc Graw-Hill Interamericana. EEUU. 972 pp.
- Keilbach B., Nicola Ma. 2006. "¿Debemos repensar el maíz? datos para un análisis de la producción campesina de maíz de frente al TLCAN. En Asociación Latina de Sociología Rural. Quito, Ecuador. 23pp.
- Nadal Alejandro y Wise, Timothy. 2005. "Los costos ambientales de la liberalización agrícola: el comercio de maíz entre México y EE.UU. en el marco del NAFTA". Globalización y Medio Ambiente: Lecciones desde las Américas. Santiago de Chile: RIDES-GDAE. pp: 49-92.
- Radzicki, J. 1997. "Introductions to system dynamics". U.S. Department of Energy's. Versión 1.0. Libro en línea. EEUU. Disponible en: <http://www.systemdynamics.org>
- Rubio V., Blanca. 2006. "Voces de la desesperanza: la desestructuración alimentaria en México (1994-2004)". Instituto de Investigaciones Sociales. UNAM. México. 25pp. (paper)
- Vega V., D.D., y Ramírez M., Pablo. 2004. "Situación y perspectivas del maíz en México". Universidad Autónoma de Chapingo. México. 56pp. (paper)
- Vergagni, Gustavo A. 2004. "La industria del etanol a partir del maíz, ¿es factible su desarrollo en la Argentina?". MAIZAR y V&A Desarrollo Empresarios. Argentina. 91pp. (paper)
- Whelan, Joseph y K Msefer. 1996. "Economic supply & demand". MIT System Dynamics in Education Project. EE.UU. 35 pp. (paper). Departamento de agricultura de EE.UU.: <http://www.fas.usda.gov> SAGARPA: <http://www.siap.gob.mx>
- Reuters.

## ANEXOS

### Anexo 1. Volumen de la producción de maíz por estado. 2006

#### Volumen Producción por estado (Ton.) 2006

Lugar nacional	Estado	Producción	Porcentaje del total	Avance nacional
1	Sinaloa	4,398,420.47	20%	20%
2	Jalisco	3,030,253.97	14%	34%
3	México	1,801,330.91	8%	42%
4	Chiapas	1,592,173.64	7%	49%
5	Michoacán	1,405,551.12	6%	56%
6	Guerrero	1,215,411.17	6%	61%
7	Veracruz	1,097,404.69	5%	66%
8	Guanajuato	1,068,066.98	5%	71%
9	Puebla	1,016,584.95	5%	76%
10	Tamaulipas	682,922.60	3%	79%
11	Chihuahua	678,609.08	3%	82%
12	Hidalgo	649,211.23	3%	85%
13	Oaxaca	627,865.55	3%	88%
14	Zacatecas	403,365.13	2%	90%
15	Durango	342,148.83	2%	91%
16	Campeche	314,082.20	1%	93%
17	Tlaxcala	267,133.98	1%	94%
18	Querétaro	189,430.12	1%	95%
19	Sonora	186,655.55	1%	96%
20	Nayarit	176,857.97	1%	97%
21	San Luis Potosí	162,991.05	1%	97%
22	Yucatán	146,319.42	1%	98%
23	Tabasco	126,382	1%	99%
24	Morelos	91,499.33	0%	99%
25	Aguascalientes	51,318	0%	99%
26	Quintana Roo	48,504.10	0%	99%
27	Nuevo León	35,191.85	0%	100%
28	Colima	31,193.35	0%	100%
29	Baja California Sur	26,238.20	0%	100%
30	Coahuila	21,909.87	0%	100%
31	Distrito Federal	8,096.14	0%	100%
32	Baja California	85.8	0%	100%
<b>Total</b>		<b>21893209.3</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia con base en SIACON, SAGARPA.

### Anexo 2. Regresión econométrica: TC de los precios nacionales = f(TC de los precios de EE.UU., <-2>

Dependent Variable: P_nacional					
Method: Least Squares					
Date: 04/09/08 Time: 12:27					
Sample (adjusted): 2002M02 2007M12					
Included observations: 71 after adjustments					
Convergence achieved after 10 iterations					
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	
C	3.20972		5.015782	0.636624	0.5244
P_eeuu (-2)	0.228757		0.053027	4.313979	0.0001
AR(1)	0.910222		0.050382	18.06648	0
R-squared	0.915891	Mean dependent var			5.311648
Adjusted R-squared	0.913417	S.D. dependent var			12.68209
S.E. of regression	3.731707	Akaike info criterion			5.512944
Sum squared resid	946.9434	Schwarz criterion			5.60855
Log likelihood	-192.7095	F-statistic			370.2357
Durbin-Watson stat	2.09771	Prob(F-statistic)			0
Inverted AR Roots	0.91				

Fuente: Elaboración propia con base en Secretaría de Economía y Reuters.

### Anexo 3. Regresión econométrica: Precios del modelo = f(Precios reales de EE.UU.)

Dependent Variable: MODELO					
Method: Least Squares					
Date: 08/22/08 Time: 17:58					
Sample: 2002M01 2007M12					
Included observations: 72					
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	
C	31.5543		5.041774	6.258571	0
REAL	0.721397		0.042325	17.04412	0
R-squared	0.805826	Mean dependent var			115.5079
Adjusted R-squared	0.803063	S.D. dependent var			20.56929
S.E. of regression	9.126396	Akaike info criterion			7.288042
Sum squared resid	5832.936	Schwarz criterion			7.351283
Log likelihood	-260.3665	F-statistic			290.5022
Durbin-Watson stat	0.973382	Prob(F-statistic)			0

Fuente: Elaboración propia con base en USDA y los resultados del modelo dinámico del maíz.

#### Anexo 4. Regresión econométrica: Precios de EE.UU. = f(demanda de maíz para producción de etanol)

Dependent Variable: P_EE.UU.				
Method: Least Squares				
Date: 07/25/08 Time: 12:18				
Sample (adjusted): 1987 2007				
Included observations: 11 after adjustments				
Convergence achieved after 5 iterations				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.652571	0.232414	7.110468	0.0001
Demanda	0.030521	0.004684	6.51602	0.0002
AR(1)	0.441828	0.103817	4.25585	0.0028
R-squared	0.909345	Mean dependent var		2.736364
Adjusted R-squared	0.886682	S.D. dependent var		0.555775
S.E. of regression	0.187089	Akaike info criterion		-0.287462
Sum squared resid	0.280019	Schwarz criterion		-0.178945
Log likelihood	4.581043	F-statistic		40.12354
Durbin-Watson stat	2.445898	Prob(F-statistic)		0.000069
Inverted AR Roots	0.44			

Fuente: Elaboración propia con base en Dettmer (2007) y Reuters.

#### Anexo 5. Regresión econométrica: Precios de la proyección = f(Precios reales de EE.UU.)

Dependent Variable: B. optimista con baja producción				
Method: Least Squares				
Date: 06/13/08 Time: 12:24				
Sample: 2002M01 2007M12				
Included observations: 72				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	35.35687	5.110818	6.917967	0
EE.UU.	0.67416	0.042905	15.71289	0
R-squared	0.779107	Mean dependent var		113.8129
Adjusted R-squared	0.775951	S.D. dependent var		19.54925
S.E. of regression	9.253407	Akaike info criterion		7.315245
Sum squared resid	5993.788	Schwarz criterion		7.378486
Log likelihood	-261.3498	F-statistic		246.8948
Durbin-Watson stat	0.837945	Prob(F-statistic)		0

Fuente: Elaboración propia con base en USDA y los resultados del modelo dinámico del maíz.