

## La demanda de etanol en Estados Unidos, 1981-2009

Luis Armando Becerra Pérez\*

**Resumen:** En este artículo se define una función de demanda del etanol para la economía de Estados Unidos. Se realizó un ejercicio de cointegración, con series de tiempo para el periodo 1981-2009, utilizando la metodología de Johansen. Se encontró el vector normalizado de cointegración, y los resultados coinciden con los signos teóricos esperados. Éstos indican que la demanda de etanol es muy elástica a su precio, pero lo es aún más al de la gasolina, y también resultó ser muy inelástica a la venta final automotriz. Por lo tanto, ante un escenario internacional de precios alcistas del petróleo y, por consiguiente de la gasolina, la demanda de etanol en Estados Unidos aumentará consistentemente en el tiempo, con lo que también tenderán a hacerlo las importaciones de este biocombustible.

**Palabras clave:** demanda etanol, cointegración etanol, biocombustible, etanol.

**Abstract:** This article estimates a demand function for ethanol within the U. S. economy. A cointegration exercise for different time series between 1981-2009 was performed

\* Profesor-investigador de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS) y candidato a doctor en la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Teléfonos: (667) 753 3698 y (667) 209 0740. Correspondencia: Roma 4149-B, colonia Lomas del Sol Duplex, Culiacán, Sinaloa, México. Correo electrónico: becerra\_sinaloa@yahoo.com.mx / becerra@uas.uasnet.mx

using Johansen's methodology. We found the normalized cointegrating vector, with the results matching the expected theoretical signs. The results indicate that ethanol demand is very elastic to the price of ethanol itself, but is even more elastic to the price of gasoline, and is also very inelastic to the final sale price of automobiles. Therefore, faced with an international scenario of bullish oil—and therefore gasoline—prices, ethanol demand in the United States will increase consistently over time, as will biofuel imports.

*Key words:* ethanol demand, ethanol cointegration, biofuel, ethanol.

## Introducción

La industria del etanol es relativamente antigua, no obstante, en las últimas décadas su dinamismo ha sido inusual, sobre todo en Brasil y Estados Unidos. Ante un escenario internacional de agotamiento de las reservas petroleras y el aumento generalizado en los precios de todos sus derivados, diversos países están volteando con insistencia hacia las energías alternativas. En ese sentido, la producción de biocombustibles, sobre todo etanol, ha cobrado bastante importancia.

Desde hace alrededor de cuarenta años, Brasil inició una estrategia de producción de etanol a partir de la caña de azúcar, como una forma de disminuir su dependencia del petróleo y de asegurar la autosuficiencia energética. Esto le permitió integrar la cadena productiva del etanol, a partir de un cultivo favorecido por las condiciones naturales. Adoptó, además, la decisión de apoyar esa actividad financiando la investigación y transferencia de tecnología en todos los eslabones de la cadena, hasta llegar al consumidor final. En la actualidad, Brasil es un exportador neto de etanol, y produce 30 por ciento de este biocombustible a escala mundial.

Estados Unidos, por su parte, aunque se inició en esta industria en la década de 1980; a partir del año 2000 redobló los esfuerzos y

lanzó una estrategia de producción de etanol. En parte, debido a la presión mundial para disminuir los gases efecto invernadero (GEI) que produce el consumo de los recursos fósiles, pero además por reducir su dependencia del resto del mundo, derivada de sus bajas reservas de petróleo.

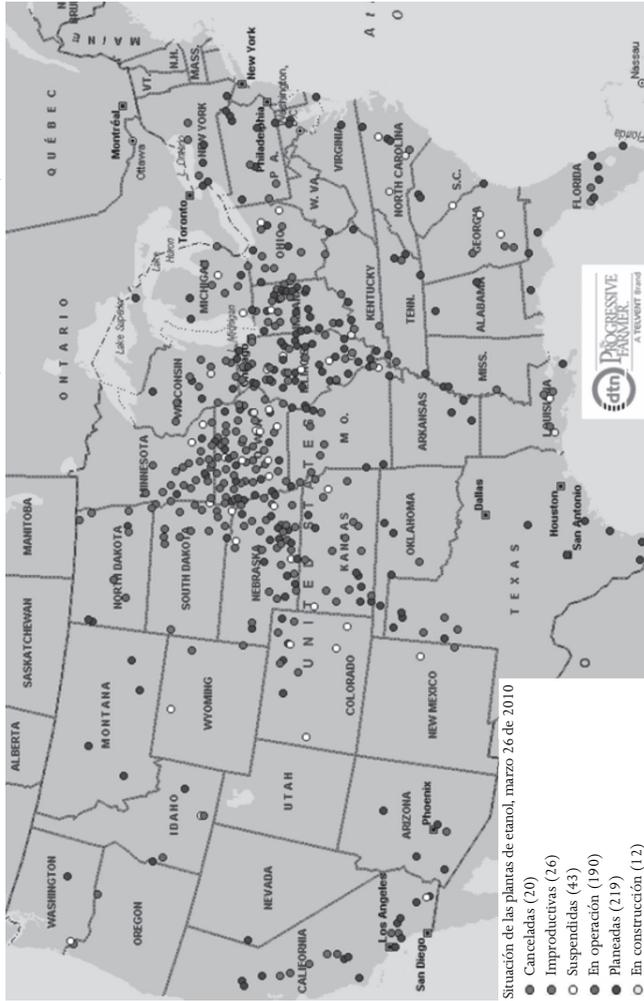
En un contexto de precios internacionales de petróleo al alza, buscar energías que dependan de sus propios esfuerzos y utilicen insumos nacionales hace a todos los países menos dependientes del exterior, por lo que explorar alternativas de este tipo es estratégico.

A diferencia de Brasil, la economía de Estados Unidos basó la obtención de etanol a partir del maíz. Con un superávit histórico en la producción de este grano, promovió la elaboración de etanol con políticas públicas que estimularon la utilización de este insumo, así como la inversión industrial y el desarrollo tecnológico. Para ello se otorgaron apoyos de dos tipos: a) para la producción de insumos, entendiéndose maíz y b) para el proceso industrial de etanol. El primero consistió en subsidios agrícolas para asegurar la materia prima; y el segundo, un subsidio de 0.5 dólares por galón para los procesadores de etanol, para hacer más competitiva esta industria. Además, puso restricciones arancelarias a las importaciones de etanol proveniente de Brasil, a la vez que promulgó una ambiciosa ley de independencia y seguridad energética, cuyo objetivo es que para 2022 se produzca un volumen de 36 billones de galones de biocombustibles. Esta cantidad representa cerca de 12 por ciento de la demanda actual de combustible para el transporte (Keyzer et al. 2008; citado por André 2009, 14).

En marzo de 2010, Estados Unidos ya contaba con 190 plantas en operación, 12 en construcción y 219 planeadas (véase figura 1). Con esta infraestructura, en la actualidad produce más etanol que Brasil; contribuyó con 49 por ciento a la producción total mundial en 2009, mientras que Brasil lo hizo con 30. EE UU produjo 10 758.3 millones de galones, en 2009, y se proyecta que para 2018 sean 16 680.6, esto representa un incremento acumulado de 55 por ciento en la siguiente década.

En este artículo se intenta indagar de qué depende la demanda creciente de etanol en Estados Unidos; tomando como referencia el periodo 1981-2009, se construyó una función de demanda y se

Figura 1  
Plantas de etanol en Estados Unidos (marzo de 2010)



\* Alaska tiene una planta de etanol en etapa de planeación.

\* Hawaii tiene una planta en etapa de planeación y otra suspendida.

Fuente: <http://www.dnprogressivefarmer.com/dmag/common/link.do?resource=/view/news/article.do&vendorReference=0702BAD4> (30 de mayo de 2010).

corrió una regresión de series de tiempo. El texto está dividido en cuatro apartados. En el primero se plantea el problema, en el segundo se define el modelo; en el tercero se presentan los resultados y, al final, se incluyen las conclusiones.

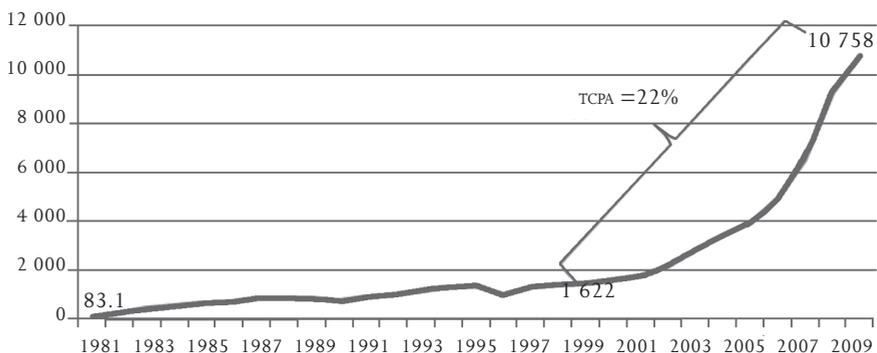
## Definición del modelo

El etanol en la economía de EE UU

El etanol es una industria cada vez más importante en la economía de Estados Unidos; su crecimiento ha tenido un auge en los últimos años. En 1981, la producción fue de 83 millones de galones, mientras que en 2009 ascendió a 10 758, un incremento de más de 12 mil por ciento en los últimos 28 años. Sin embargo, el crecimiento explosivo del etanol ocurrió en la última década, periodo en el cual el gobierno federal y los locales iniciaron una serie de cambios legislativos, y promovieron políticas de fomento hacia los biocombustibles. De 1999 a 2009 la tasa de crecimiento promedio anual (TCPA) en la producción de etanol fue de 22 por ciento, una cifra

Figura 2

Producción de etanol en EE UU, 1981-2009 (millones de galones)



Fuente: elaboración propia, con información de la Energy Information Administration: <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/index.cfm>

que refleja el dinamismo de esta industria, que supera a muchas otras actividades estadounidenses (véase figura 2).

En años recientes, el Gobierno de Estados Unidos marcó la pauta para la elaboración de etanol y biodiesel, justificándose en cuestiones de seguridad nacional. En enero de 2007, el presidente George W. Bush dio a conocer la meta *twenty in ten* (veinte en diez), que implica reducir el uso de las gasolinas en 20 por ciento en diez años, para lo cual se requerirá 36 mil millones de galones de biocombustibles al año para 2017. Se propone alcanzar el objetivo de reducir el consumo de gasolina en 20 por ciento, por medio de dos estrategias: a) sustituir 15 por ciento de gasolina por etanol, metanol, butanol e hidrógeno, entre otros, y b) reducir 5 por ciento el consumo de gasolina, por medio de mejoras a la eficiencia en los motores automotrices.

Para lograr estas metas, se han acelerado los cambios en las políticas públicas hacia la producción, comercialización y consumo de etanol. Las proyecciones de consumo estadounidense de este biocombustible muestran que las importaciones aumentarán consistentemente en el mediano plazo. De un déficit de 1 237 millones de litros en 2009, se pasará a uno de 7 754 para 2018, lo que representa una TCPA de las importaciones de 22.6 por ciento para la siguiente década. Esto como resultado de que el consumo interno aumentará a una tasa mayor (6.4 por ciento) que la producción nacional (5.4) (véase figura 3).

Figura 3

Crecimiento de la industria del etanol en EE UU, 2009-2018  
(millones de litros)

Concepto	2009	2018	TCPA (%)
Producción	39 557	63 143	5.4
Consumo	40 794	70 897	6.4
Importaciones	1 237	7 754	22.6

Fuente: elaboración propia, con información de la base de datos de la Organisation for Economic Co-operation and Development - Food and Agriculture Organization, OECD-FAO Agricultural Outlook (2009-2018).

Los cambios legislativos y las nuevas políticas de fomento a favor de los biocombustibles en EE UU están fundamentadas en dos cosas: los aumentos de los precios internacionales del petróleo y la presión global para reducir la emisión de GEI, puesto que a esta economía se le considera la mayor generadora de emisiones contaminantes a la atmósfera. En el primer caso, es evidente que se busca reducir la dependencia de un recurso estratégico como es el petróleo, así como minimizar los efectos de sus aumentos de precio en la economía doméstica. En el segundo, se pretende al menos detener el crecimiento en la emisión de GEI, que implica el desarrollo industrial y urbano del sistema de ciudades estadounidenses.

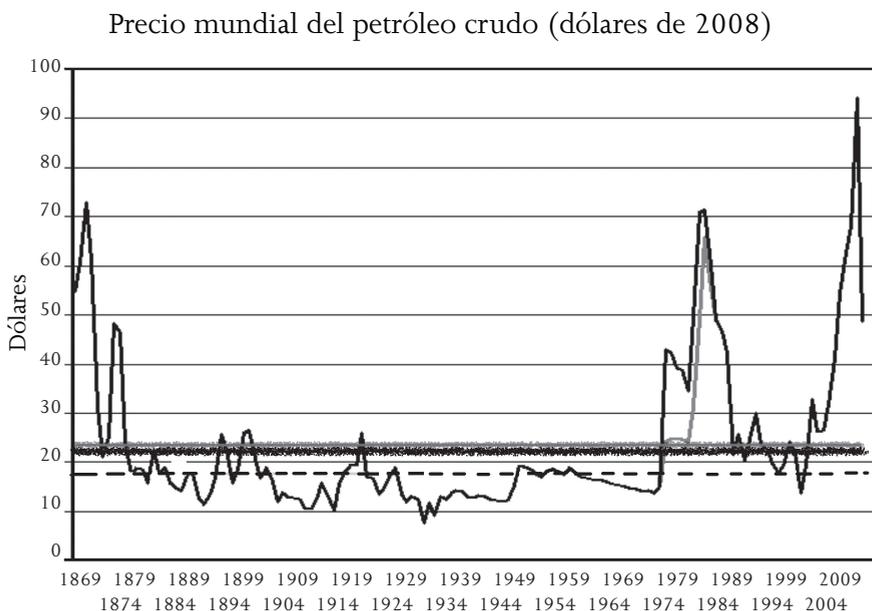
El agotamiento de las reservas petroleras en el mundo es cada vez más cierto y finito. Los plazos para que se acabe este recurso no renovable se reducen, los costos de extracción se elevan, los efectos del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y metano (CH<sub>4</sub>), que se expiden a la atmósfera, son cada vez mayores, cuyas consecuencias se reflejan en un calentamiento de la Tierra, a tal grado que ya se observa un incremento en los desastres naturales, tales como inundaciones, incendios, sequías, tornados, deshielo del polo norte, etcétera.

Por lo tanto, es innegable la importancia estratégica del petróleo en el mundo, las naciones que poseen reservas de este recurso no renovable cuentan con una ventaja de autosuficiencia, que cada día es más determinante en el planeta. Y es muy probable que en un futuro cercano sea causa de disputas internacionales y guerras.

Al analizar el comportamiento del precio del petróleo en el largo plazo, se observará que el actual es el más alto de la historia, incluso si se consideran las primeras extracciones del siglo XIX, que resultaban muy caras por el grado de avance de la tecnología de entonces. Los precios repuntaron a partir de 1999 y se estima que no bajarán de manera consistente, por lo que las épocas de barriles de 25 dólares ya no volverán (véase figura 4).

Al examinar los precios de compra del petróleo crudo por parte de EE UU y la producción de etanol, se observa una asociación entre ambas variables (véase figura 5). En específico, se nota cómo a partir de 1999 ambas series crecen conjuntamente. El aumento de la oferta de etanol puede deberse a los apoyos y subsidios que es-

Figura 4



Notas: línea negra = precio mundial; línea gris = precio de primera compra (a pie de pozo); línea gris horizontal = precio promedio mundial (\$23.42); línea negra horizontal = precio promedio de EE UU (\$22.52); línea negra punteada = media de EE UU y mundial (\$17.65).

La única serie de precios a muy largo plazo que existe es a pie de pozo promedio en EE UU o el precio de la primera compra. Esto constituye un problema, ya que EE UU impuso controles de precios sobre la producción nacional desde finales de 1973 a enero de 1981. A fin de presentar una serie coherente y que refleje la diferencia entre los precios internacionales y los de EE UU, se ha creado una serie de precios mundiales ajustando el precio de pie de pozo, sumándole la diferencia entre el precio de adquisición de las refinerías del crudo importado y el precio medio de adquisición de crudo nacional de los refinadores.

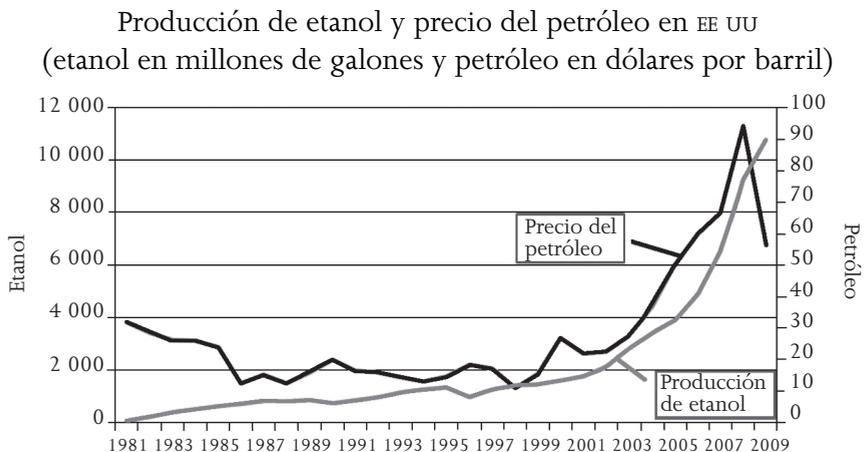
Los datos de 2009 son al mes de agosto.

Fuente: WTRG Economics. [www.wtrg.com](http://www.wtrg.com) (14 de mayo de 2010).

tableció el gobierno federal y los estatales de EE UU, con el objetivo de fomentar la generación de este tipo de energía renovable, ante el encarecimiento de la energía fósil.

Además, uno de los principales combustibles fósiles consumidos es la gasolina, que para su oxigenación y una mejor combustión requiere compuestos químicos como el metil terbutil éter (MTBE), altamente contaminante del medio ambiente y que se filtra hasta los

Figura 5



Fuente: elaboración propia, con información de la Energy Information Administration: <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/index.cfm>

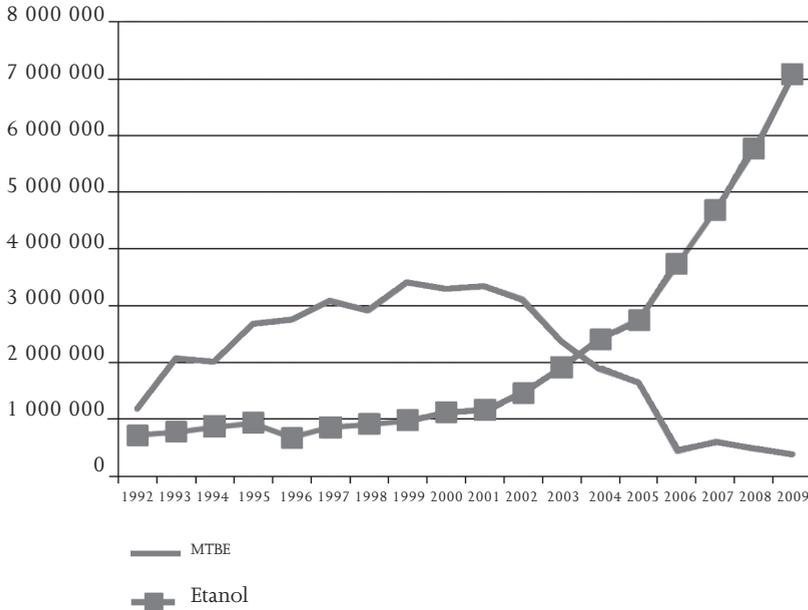
mantos freáticos del subsuelo, y contamina el agua. Por este motivo, a escala mundial se está promoviendo dejar de usarlos, y en su lugar oxigenar las gasolinas con combustibles renovables como el etanol.<sup>1</sup>

Al examinar el consumo de estos oxigenantes sustitutos en Estados Unidos, se encontró que el punto de inflexión tanto en el MTBE (a la baja) y el etanol (a la alza), está en el año 2000, cuando coincide con el inicio de los aumentos de precios del petróleo; con el incremento en la producción de etanol; el cambio en la normatividad y reglamentación federal y estatales y el otorgamiento de apoyos y subsidios a la producción. A partir de dicho año, se empezó a reducir la cantidad de MTBE utilizado para oxigenar las gasolinas, y está aumentando el uso de etanol. Para 2003, ambas cantidades se igualaron, y para 2009 el etanol ya era abrumadoramente mayor que la de MTBE (véase figura 6).

<sup>1</sup> El MTBE y TAME (teramil metil éter) son éteres que sirven para oxigenar las gasolinas y requieren de 34 y 30 por ciento de metanol, respectivamente; son altamente contaminantes del agua y del suelo. El ETBE (etil taerbutil éter) y TAEE (teramil etil éter) son éteres que también sirven para oxigenar las gasolinas, el primero requiere 46 por ciento de etanol, y el segundo 41, y no contaminan.

Figura 6

Demanda de oxigenantes de gasolinas en EE UU  
(galones de gasolina equivalente)



Fuente: elaboración propia, con información de la Energy Information Administration: <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/index.cfm>  
Los datos para 2008 y 2009 son estimados.

### La función de demanda del etanol en Estados Unidos, 1981-2009

El crecimiento en la producción de etanol en la última década en la economía estadounidense ha dado lugar a diversas investigaciones, que abordan la temática desde ópticas diferentes. Por ejemplo, los estudios específicos de perfil químico y biotecnológico, los de carácter ambiental, económico y social. En el caso de los primeros, Cardona (2009); Cardona et al. (2005) y Montoya et al. (2005) avanzaron en el análisis con distintos tipos de insumos por medio

de simulación de proceso, que arrojan datos específicos de rendimientos, costos y rentabilidad. Asimismo, Aburto et al. (2008) han trabajado la producción de etanol a partir de residuos lignocelulósicos. Instituciones como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, el Banco Interamericano de Desarrollo, la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ, por sus siglas en alemán) y la Food and Agricultural Policy Research Institute (FAPRI), entre otras, han realizado un gran número de investigaciones aplicando diferentes metodologías y desde visiones distintas. Por ejemplo, la FAO elaboró el proyecto Bioenergía y Seguridad Alimentaria (BEFS, por sus siglas en inglés), (2010), para Camboya, Tanzania, Tailandia y Perú, donde aplicó una serie de herramientas para diagnosticar el potencial micro y macroeconómico de esas naciones en la elaboración de biocombustibles. Estimó la repercusión de esta actividad en el crecimiento económico y social, por medio de un modelo de equilibrio general computable (CGE, por sus siglas en inglés), utilizando la matriz de contabilidad social (SAM, por sus siglas en inglés), y bajando el análisis a nivel de impacto de la seguridad alimentaria en el hogar.

André (2009) revisó la literatura, y expuso de forma sintética el estado del arte de los biocombustibles. Además, Rajagopal y Zilberman (2007) examinaron los aspectos ambientales, económicos y políticos de éstos. No obstante, hay poca literatura que indague el crecimiento de los biocombustibles desde el lado de la demanda; la mayoría de los estudios considerados toman la demanda de éstos como variable exógena, y a los costos de producción independientes de los precios del petróleo (Razo et al. 2007, 31). Aquí se tomará la demanda de etanol como variable endógena y a los precios del petróleo como exógena. Por ello, las preguntas de investigación por responder son: ¿qué variables determinan la demanda de etanol en Estados Unidos?, y ¿en qué proporción lo hacen?

Para ello, se parte de una función de demanda clásica, donde la cantidad demandada de un bien la determina el precio del mismo

bien, el precio de los bienes sustitutos y el ingreso personal. Por lo tanto:

$$D_{it} = f (P_{it}, P_{jt}, Y_t) \quad (1)$$

donde  $D_{it}$  es la demanda del bien  $i$ , en el periodo  $t$ ;  $P_{it}$  es el precio del bien  $i$ , en el periodo  $t$ ;  $P_{jt}$  es el precio del bien  $j$  (sustituto), en el periodo  $t$  e  $Y_t$  es el ingreso personal o una medida de riqueza, en el periodo  $t$ .

Según esta teoría, la función de demanda de etanol en Estados Unidos se definió como sigue:

$$DE_t = f (PE_t, PG_t, VFA_t) \quad (2)$$

donde  $DE_t$  es la demanda de etanol, en el año  $t$ ;  $PE_t$  es el precio del etanol, en el año  $t$ ;  $PG_t$  es el precio de la gasolina (bien sustituto), en el año  $t$  y  $VFA_t$  es el valor final automotriz, en el año  $t$  (producto interno bruto, PIB, automotriz).

En primer lugar, la demanda de etanol está determinada por su precio, y tiene una relación negativa. En segundo, la evidencia empírica establece una relación positiva entre el precio del petróleo y la rentabilidad del etanol. Cuanto más caro sea el petróleo, más competitivo resultará el etanol (André 2009, 18). Esta reducción del precio relativo del etanol hará que aumente su demanda. La gasolina es el derivado que mejor refleja los movimientos internacionales del precio del petróleo. En tercer lugar, la función de demanda construida incluye el PIB automotriz de Estados Unidos, en lugar del ingreso per cápita, pues se consideró que representa mejor el cambio en el volumen demandado de etanol; ya que un aumento en el ingreso no necesariamente representaría un incremento en la demanda de etanol; en tanto que un alza en las ventas de automóviles sí demanda mayor combustible y, por lo tanto, potencialmente más etanol.

Las series de tiempo se construyeron para el periodo 1981 a 2009. Son datos anuales, y no se obtuvieron series de mayor plazo debido a la restricción de la información sobre el consumo de etanol y su precio. Puesto que la mezcla de gasolina y etanol la realizan los mezcladores (*blenders*), porque el etanol no se consume en estado puro por el público final, se tomaron los precios promedio al mayorero que pagan estos mezcladores. Además, hay que considerar que es una actividad relativamente nueva en la economía estadounidense.

Las series de tiempo contienen 29 observaciones y se corrieron en EViews. La función de demanda del etanol quedó establecida mediante la ecuación:

$$\log(DEt) = \beta_0 - \beta_1 \log(PEt) + \beta_2 \log(PGt) + \beta_3 \log(VEAt) + Et \quad (3)$$

donde la variable dependiente es la demanda de etanol ( $DE_t$ ); las independientes son el precio del etanol ( $PE_t$ ), el precio de la gasolina ( $PG_t$ ) y el valor final automotriz ( $VEA_t$ ). Se considera que la demanda de etanol es un bien normal, por lo que su curva de demanda es de pendiente negativa.

En teoría, los signos esperados para los coeficientes son: negativo para  $\beta_1$ , ya que la relación de la demanda de un bien normal con su mismo precio es de naturaleza negativa; positivo para  $\beta_2$ , ya que la relación de la demanda de un bien normal con el precio de un bien sustituto es positiva y positivo para  $\beta_3$ , ya que es una medida de riqueza, que al aumentar provoca el incremento de la demanda de la variable dependiente.

En este modelo, se supone que las políticas de apoyos y subsidios de Estados Unidos a favor del etanol son constantes o por lo menos no disminuyen; que continúa existiendo superávit en la producción de maíz, por lo que los movimientos del precio de este grano no provocan aumentos sustanciales en el del etanol; que los aranceles a la importación no cambian y que el gobierno promueve el cumplimiento de las metas en la generación de biocombustibles, establecidas en la ley de independencia y seguridad energética (Energy Independence and Security Act).

## Los resultados

### Análisis gráfico

Una serie de datos es estacionaria cuando su valor medio es estable en el tiempo. Por el contrario, se denomina no estacionaria cuando sistemáticamente crece o disminuye en el tiempo. Por lo tanto, las estimaciones con variables no estacionarias son espurias, salvo que estén cointegradas (Montero 2007, 1). Si existen dos procesos  $I(1)$ , entonces  $y_t - \beta x_t$  es un proceso  $I(1)$ . Sin embargo, es posible que para alguna  $\beta \neq 0$ ,  $y_t - \beta x_t$  sea un proceso  $I(0)$ , es decir, tiene media y varianza constante y las autocorrelaciones dependen sólo del periodo transcurrido y no está correlacionada asintóticamente (Wooldridge 2009, 638).

En ese sentido, el primer objetivo es determinar si las series son estacionarias, para lo cual se aplicará el método de Engle y Granger (1987). Se realizará el análisis gráfico y luego las pruebas de raíz unitaria a cada una de ellas.

Como se observa en la figura 7, existe una tendencia ascendente en el tiempo entre la demanda de etanol, su precio, el de la gasolina y el valor final automotriz en Estados Unidos para el periodo 1981-2009. Este hecho da un primer indicio de que existe un patrón de comportamiento monótono, lo que implica series no estacionarias. Además, al visualizar el correlograma<sup>2</sup> de cada una, se observa cómo van descendiendo, característica típica de las variables no estacionarias (véase figura 8).

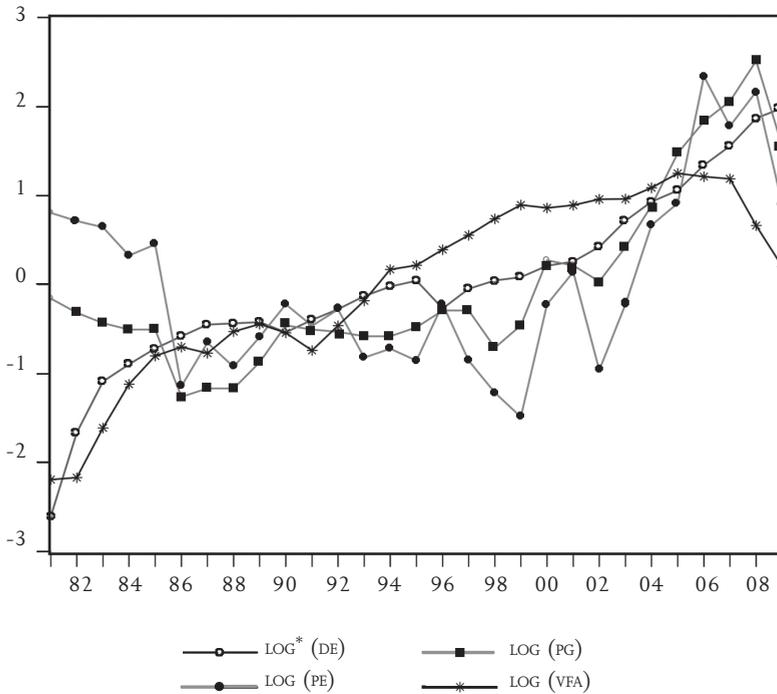
### Pruebas de raíz unitaria

Para considerar una prueba estadística formal sobre la no estacionariedad de las series, se aplicó la metodología de Dickey y Fuller aumentada (1979) y de Said y Dickey (1984). La hipótesis nula ( $H_0$ ) de esta prueba es que la serie tiene raíz unitaria, por lo que al no poder rechazarla, se reconoce como no estacionaria o integrada de

<sup>2</sup> Un correlograma es una gráfica que representa la función de autocorrelación:  $\rho_k = \{\text{cov}(x_t, x_{t+k}) / (\sqrt{\text{var}(x_t) \text{var}(x_{t+k})})\}$ ; donde  $k = 1, \dots, m$ .

Figura 7

Etanol en Estados Unidos, 1981-2009



\* Rezago.

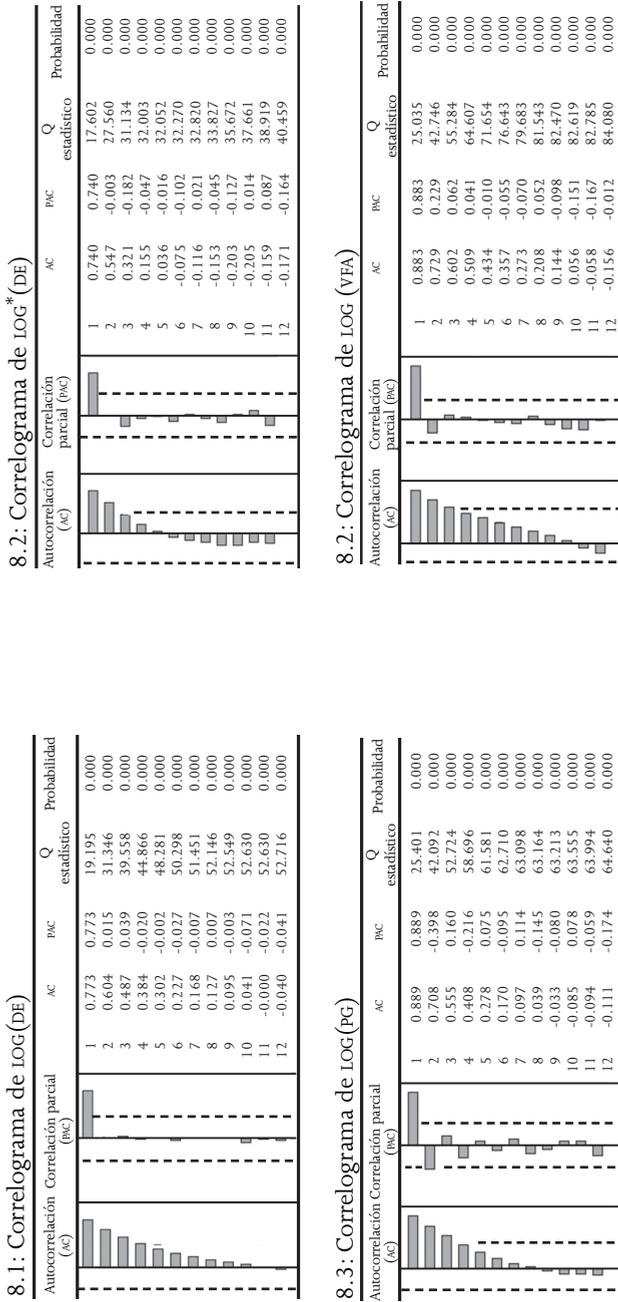
orden 1,  $I(1)$ . La hipótesis alternativa ( $H_1$ ) es que la serie no tiene raíz unitaria, por lo que al rechazar  $H_0$ , automáticamente se reconoce que es estacionaria o integrada de orden 0,  $I(0)$ .<sup>3</sup>

Para determinar el número de rezagos ( $p$ ), se utilizó el criterio de información de Akaike, que arrojó el mayor valor absoluto (7.638407) en tres rezagos. Los resultados de las pruebas de raíz unitaria se muestran en la figura 9.

<sup>3</sup> El estadístico de comparación no es la “t” tradicional, sino que Dickey y Fuller (1979) y Mackinnon (1994) construyeron, mediante simulaciones de Montecarlo, tablas especiales donde los valores de “t” son mayores.

Figura 8

Correlograma de las variables de la función de demanda de etanol



\* LOG: rezago

La conclusión del análisis gráfico es que son variables no estacionarias en niveles, con autocorrelación evidente.

Figura 9

## Pruebas de raíz unitaria

Variable	Estado de prueba		Valor crítico a 5%	Orden de integración
	Niveles	Primeras diferencias		
LOG*(DE <sub>t</sub> )	-2.12	-5.25	-2.97	I(1)
LOG(PE <sub>t</sub> )	-2.26	-6.21	-3.58	I(1)
LOG(PG <sub>t</sub> )	-2.18	-3.74	-3.58	I(1)
LOG(VFA <sub>t</sub> )	0.33	-2.08	-1.95	I(1)

\*LOG: rezago

Los resultados de estas pruebas demuestran que las cuatro variables de nuestra función de demanda del etanol, a un nivel de confianza de 95 por ciento, tienen raíz unitaria en niveles y son estacionarias en primeras diferencias. Esta misma conclusión se observa en las gráficas 10 a 13, donde se comparan las series en niveles y primeras diferencias.

En conclusión, los resultados del análisis gráfico y las pruebas de raíz unitaria muestran con claridad que la fuente de espuriedad de este modelo se debe a la no estacionariedad de la serie; por lo tanto, se realizará un ejercicio de cointegración que permita encontrar una combinación lineal de las variables integradas de orden uno, que sea estacionaria.

## Modelo de cointegración: metodología de Johansen

El ejercicio de cointegración sigue la metodología de Johansen (1988) y los criterios de Akaike, para determinar el número óptimo de rezagos.<sup>4</sup> Puesto que la prueba de cointegración de Johansen se hace en primeras diferencias, el número de rezagos es igual a  $P-1$ , en este caso 3-1, por lo que se utilizaron dos rezagos. Los resultados de la prueba de Trace se muestran en la figura 14.

<sup>4</sup> El cálculo óptimo de rezagos por AIC fue de 3.

Figura 10

Demanda de etanol en niveles y primeras diferencias

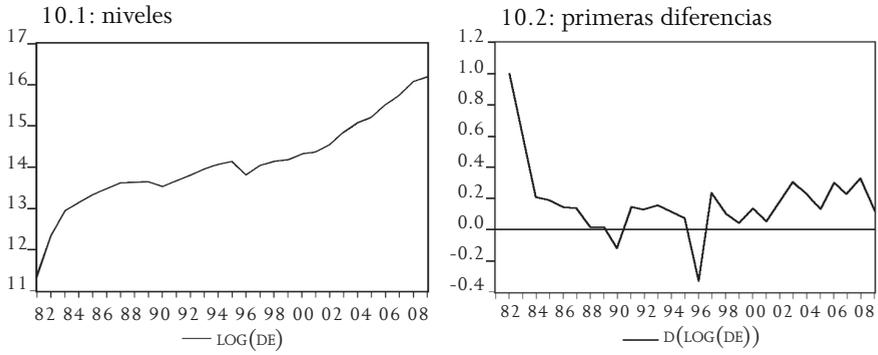


Figura 11

Precio del etanol en niveles y primeras diferencias

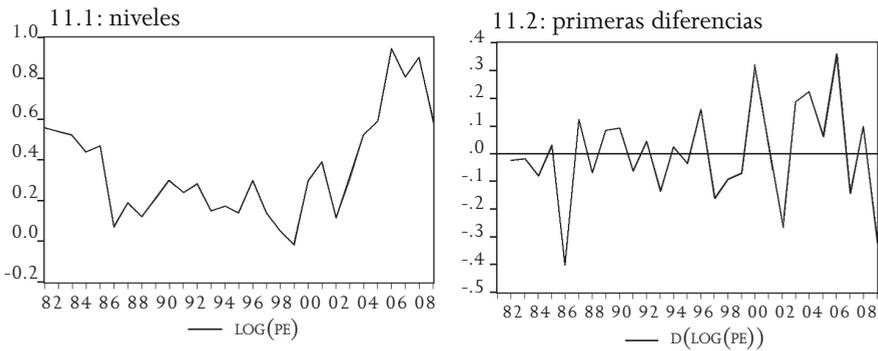


Figura 12

Precio de la gasolina en niveles y primeras diferencias

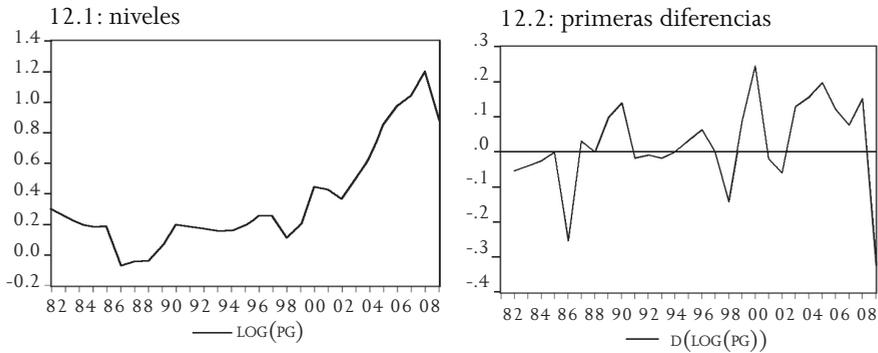


Figura 13

Valor final automotriz en niveles y primeras diferencias

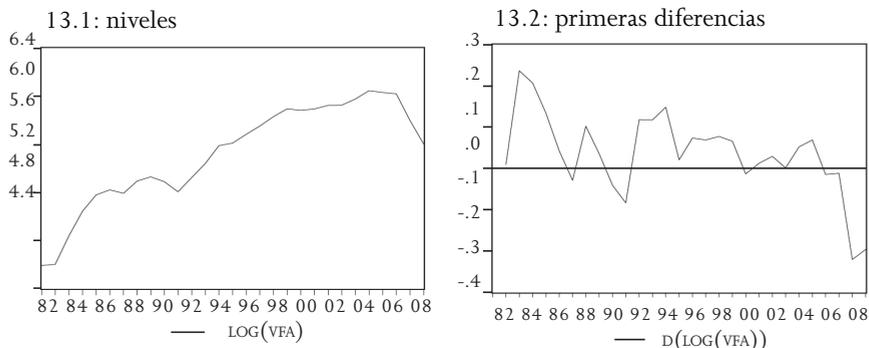


Figura 14

Prueba de cointegración de Johansen

Series: LOG(DE<sub>t</sub>), LOG(PE<sub>t</sub>), LOG(PG<sub>t</sub>) y LOG(VFA<sub>t</sub>)  
 Intervalo de rezagos (en primeras diferencias): 1 a 2  
 Prueba de rango de cointegración (Trace)

Ecuaciones de cointegración	Eigenvalue	Estadístico Trace	Valor crítico 0.05	Prob.**
Ninguna*	0.703463	67.17942	47.85613	0.0003
Al menos 1*	0.666618	35.57425	29.79707	0.0097
Al menos 2	0.179811	7.014108	15.49471	0.5760
Al menos 3	0.069052	1.860361	3.841466	0.1726

La prueba de Trace indica 2 ecuaciones de cointegración al nivel del 0.05.

\* Significa rechazo de la hipótesis al nivel del 0.05.

\*\* MacKinnon et al. (1999) p-values.

Los rangos estadísticos de Trace y max-eigenvalue de la prueba de cointegración de Johansen muestra que existen dos vectores de cointegración de las variables analizadas. Al realizar los cálculos respectivos de la matriz de coeficientes de cointegración (normalizados para  $b'S11*b=1$ ), se obtuvo el vector normalizado de cointegración, que aparece en la figura 15.

Figura 15

## Vector normalizado de cointegración

Coeficientes normalizados de cointegración*			
LOG(DE <sub>t</sub> )	LOG(PE <sub>t</sub> )	LOG(PG <sub>t</sub> )	LOG(VFA <sub>t</sub> ),
1	4.37 (2.42593)	-5.47 (2.61633)	-0.09 (1.12039)

\* Error estándar en paréntesis.

Los coeficientes normalizados de cointegración obtenidos con la metodología de Johansen se expresan:

$$\text{LOG}(\text{DE}_t) + 4.37 \text{LOG}(\text{PE}_t) - 5.47 \text{LOG}(\text{PG}_t) - 0.09 \text{LOG}(\text{VFA}_t) = 0 \quad (4)$$

por lo tanto,

$$\text{LOG}(\text{DE}_t) = -4.37 \text{LOG}(\text{PE}_t) + 5.47 \text{LOG}(\text{PG}_t) + 0.09 \text{LOG}(\text{VFA}_t) \quad (5)$$

Los resultados del  $\text{PE}_t$  y  $\text{PG}_t$  son estadísticamente significativos y consistentes con la teoría. Excepto el resultado del  $\text{VFA}_t$ , que sale no significativo, aunque con el signo esperado. En general, signos esperados en la ecuación 3 se satisfacen. En el siguiente apartado se abundará sobre lo explicativo del modelo y las implicaciones de la función de demanda del etanol en Estados Unidos.

## Las interpretaciones de los resultados

De acuerdo con los resultados estimados, los coeficientes del precio del etanol y el de la gasolina son altos, mientras que el coeficiente del valor total automotriz es bajo. Esto implica que por ser la gasolina y etanol casi sustitutos perfectos, el precio de ambos determina fuertemente la demanda de etanol.

Por cada punto porcentual que aumente el precio del etanol, su demanda baja en 4.37; la demanda de etanol es muy elástica a su

precio. Por su parte, por cada punto porcentual que suba el precio de la gasolina, la demanda de etanol aumenta 5.47 por ciento, es decir, la demanda de etanol también es muy elástica al precio de la gasolina, ya que se trata de un sustituto casi perfecto.

La demanda de etanol es inelástica al valor final automotriz (alrededor de 1 por ciento), a pesar de que el etanol se usa para consumo de combustible, la demanda reacciona poco al aumento de las ventas automotrices en Estados Unidos. Esto se puede deber a que en la actualidad el mayor volumen demandado de etanol es para oxigenar las gasolinas, y muy poco para el consumo directo en los vehículos, aunque se estima que esta composición tenderá a cambiar con el tiempo.

## Conclusiones

Para volver a las preguntas planteadas al inicio de la investigación, los resultados permiten afirmar que el factor determinante de la demanda del etanol en Estados Unidos es su precio, como el de la gasolina, el sustituto casi perfecto. Se encontró que la demanda de etanol es muy elástica a su precio y al de la gasolina. La relación entre demanda de etanol y su precio es negativa, mientras que la relación entre demanda de etanol y precio de la gasolina es positiva. Por otra parte, la demanda de etanol es muy inelástica a la venta final de automóviles.

Por lo anterior, si el gobierno federal y los estatales de Estados Unidos desean que aumente el consumo de etanol, tendrán que implementar políticas públicas que bajen su precio y aumenten el de la gasolina. Del modelo también se deduce que el gobierno conseguiría pocos efectos positivos en la demanda de este biocombustible, con políticas relativas a la venta final de automóviles.

Otra conclusión, a partir de los resultados del modelo, es que con las proyecciones del precio de la gasolina y el del etanol se podría estimar el comportamiento futuro de la demanda de este último. Aunque hay otros factores que determinan el crecimiento de su producción (oferta) en Estados Unidos, esta visión, desde la demanda,

confirma la importancia del precio del etanol y, sobre todo, la influencia del precio de la gasolina (5.47) en el comportamiento del consumo futuro de etanol.

En un escenario alcista de precios internacionales del petróleo y de la gasolina, su principal derivado, se esperaría un aumento en la demanda de etanol en una proporción de por lo menos cinco a uno. Por lo tanto, Estados Unidos tendrá que revisar sus políticas de subsidio y apoyo a la producción de etanol, para aumentar su oferta nacional, si no quiere depender aún más de las importaciones crecientes de este biocombustible, que para la siguiente década se espera crezcan a una tasa de 22 por ciento anual.<sup>5</sup> Pero, si el precio de la gasolina aumenta más de lo estimado, se incrementará la importación de etanol en forma acelerada, gracias a la alta elasticidad cruzada de su demanda. Esto abrirá una ventana de oportunidad para la producción y exportación de etanol desde México y otros países de América Latina.

Este escenario de mayores importaciones por parte de Estados Unidos estará fuertemente influido por su política arancelaria con respecto al etanol. En la actualidad los aranceles son altos, y limitan las importaciones de etanol proveniente de Brasil, situación que pudiera ampliar a otros países o restringir las importaciones por tipo de insumo, con el objetivo de proteger su industria nacional.

Recibido en septiembre de 2010

Aceptado en febrero de 2011

## Bibliografía

Aburto, J., T. Martínez y F. Murrieta. 2008. Evaluación técnico-económica de la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos. *Tecnología, Ciencia, Educación (IMIQ)* 23 (1): 23-30.

<sup>5</sup> En 2009, Estados Unidos importó 1 237 millones de litros de etanol, y para 2018 se estima que serán 7 754 (OECD-FAO Agricultural Outlook 2009-18).

- André, Francisco J. 2009. Los biocombustibles, el estado de la cuestión. Documento de trabajo 11/09. Instituto Complutense de Estudios Internacionales (ICEI), Universidad Complutense de Madrid.
- Cardona Alzate, Carlos Ariel. 2009. Perspectivas de la producción de biocombustibles en Colombia: contexto latinoamericano y mundial. *Revista de Ingeniería* 29: 109-120.
- \_\_\_\_\_, O. J. Sánchez, M. I. Montoya y J. A. Quintero. 2005. Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz. *Scientia et Technica* XI (28): 187-192.
- Departamento de Agricultura de Estados Unidos. 2010. Estadísticas de biocombustibles. <http://www.ers.usda.gov/Data/Feed-Grains/Yearbook/FGYearbook Table16-Full.htm> (26 de abril de 2010).
- Departamento de Energía de Estados Unidos. 2010. Programa de biocombustibles. <http://www.eia.doe.gov/fuelrenewable.htm> (30 de abril de 2010).
- Dickey, D. A., y W. A. Fuller. 1979. Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association* 74: 427-431.
- Engle, R., y C. Granger. 1987. Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing. *Econometrica* 55: 251-276.
- FAO. 2010. Proyecto BEFS. El análisis de BEFS para el Perú, editado por Erika Félix y Cadmo Rosell. Documento de trabajo manejo del ambiente y los recursos naturales no. 39, volumen I y II.
- Gobierno del Estado de Nebraska, Estados Unidos. 2010. Programa de estadísticas. <http://www.neo.ne.gov/statshtml/66.html> (2 de mayo de 2010).

- Granger, C., y P. Newbold. 1974. Spurious Regression in Econometrics. *Journal of Econometrics* 2: 111-120.
- Johansen, S. 1988. Statistical Analysis of Cointegrating Vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control* 12: 231-254.
- Keyzer, M. A., M. D. Merbis y R. L. Voortman. 2008. The Biofuel Controversy. *De Economist* 156: 507-527.
- MacKinnon, J. G. 1994. Approximate Asymptotic Distribution Functions for Unit Root and Cointegration Tests. *Journal of Business & Economic Statistics* 12: 167-176.
- , A. A. Haug y L. Michelis. 1999. Numerical Distribution Functions of Likelihood Ratio Tests for Cointegration. Forthcoming in the *Journal of Applied Econometrics*.
- Montero, G. R. 2007. Variables no estacionarias y cointegración. <http://www.ugr.es/~montero/matematicas/cointegracion.pdf> (14 de mayo de 2010).
- Montoya, M. I., J. A. Quintero, O. J. Sánchez y C. A. Cardona. 2005. Evaluación económica del proceso de obtención de alcohol carburante a partir de caña de azúcar y maíz. *Revista Universidad EAFIT* 41 (139): 76-87.
- OECD-FAO Agricultural Outlook 2009-2018. Statistical Tables, 10; Biofuels Projections: Ethanol.
- Razo, C., S. Astete-Miller, A. Saucedo y C. Ludeña. 2007. Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina. Santiago de Chile: CEPAL Serie Desarrollo Productivo no. 178.
- Rajagopal, D., y D. Zilberman. 2007. Review of Environmental, Economic and Policy Aspects of Biofuels. The World Bank. Policy Research Working paper 4341.

Said, E., y D. Dickey. 1984. Testing for Unit Roots in Autoregressive Moving Average Models of Unknown Order. *Biometrika* 71: 599-607.

Wooldridge, J. M. 2009. *Introducción a la econometría, un enfoque moderno*. México: CENGAGE Learning.

