

## PRODUCCIÓN DE BIOETANOL EN MÉXICO: IMPLICACIONES SOCIO-ECONÓMICAS

Alberto Pérez Fernández, Universidad Autónoma del Carmen  
José Apolonio Venegas Venegas, Universidad Autónoma de Chiapas

### RESUMEN

*Las reformas energéticas en México y la búsqueda de nuevas fuentes de energía que no dañen el ambiente han generado cambios en la economía de México. La posible solución para disminuir la emisión de gases efecto invernadero es el uso del bioetanol a partir de maíz, sorgo, cebada y trigo; cultivos que se estudiaron con el objetivo de estimar las elasticidades de la demanda Marshallianas y Hicksianas mediante la aplicación del Sistema de Demanda Casi Ideal con ecuaciones aparentemente no relacionadas y el uso del Índice de Precio Stone. Los resultados muestran que el maíz es el único bien superior, su demanda aumenta a pesar que los precios incrementan. La aparente relación del uso de maíz en Estados Unidos de América para la producción de etanol ha generado especulaciones en el mercado internacional y ha afectado el precio del maíz y de la tortilla, disminuyendo la capacidad de adquisición de alimentos derivados de maíz por parte de la población de México.*

**PALABRAS CLAVE:** Demanda; Elasticidades, Índice Stone, Biocombustibles

## BIOETHANOL PRODUCTION IN MEXICO: SOCIO- ECONOMIC IMPLICATIONS

### ABSTRACT

*Energy reforms in Mexico and the search for new sources of environmentally friendly energy have generated changes in the Mexican economy. One potential solution for decreasing the emission of greenhouse gases is the use of bioethanol produced from corn, sorghum, barley or wheat. These crops were studied to estimate the elasticities of the Marshallian and Hicksian demands through the application of the Almost Ideal Demand System with seemingly unrelated regressions and the use of the Stone Index. Results indicate that corn is the only superior good. Its demand increases despite price increments. The apparent relationship with the use of corn in the United States for the production of ethanol has generated speculation in the international market and has affected the price of tortilla and corn, decreasing the capability of the Mexican population for purchasing corn derived products.*

**JEL:** COO, C13, O10, O13, Q00, Q11

**KEYWORDS:** Demand, Elasticity, Stone Index, Biofuels

### INTRODUCCIÓN

La búsqueda de nuevas fuentes de energía que satisfagan y complementen la creciente demanda de energéticos para la producción de bienes, y la idea de que el cambio climático se debe a la quema de combustibles fósiles han generado dos efectos: en primera instancia se requiere más energía para satisfacer un crecimiento económico continuo y en segunda, se exige el uso de energías que no dañen

el ambiente. Desde el año 2004, los sectores agrícola y petrolero han reflejado su importancia en esta búsqueda de energía y en el crecimiento económico de los países. México al ser un país productor y exportador de petróleo, su economía depende de las fluctuaciones del precio del crudo. Para los años 2014 y 2015, los precios de la mezcla mexicana estuvieron por debajo de los 50 dólares el barril, disminuyendo los ingresos por este concepto, que aunado al lento crecimiento económico y a las bajas perspectivas de desarrollo del país, las finanzas nacionales se afectaron con una salida cada vez mayor de divisas por las ascendentes importaciones de granos hechas por México de Estados Unidos de América (EUA).

El objetivo de la investigación fue analizar el incremento en la producción de etanol en México y EUA y su relación con el incremento en el precio del maíz y de la tortilla, sin embargo, se analizaron otros cultivos como cebada, sorgo y trigo, para medir la relación de los precios entre la producción de bioetanol y el uso como bienes alimenticios para considerar el impacto social y económico de la producción de etanol a partir de cultivos destinados directa o indirectamente al consumo humano. La investigación se presenta organizada como se describe a continuación. En la sección de revisión literaria se incorporan los principales autores que han estudiado la producción de biocombustibles y específicamente el etanol, se pretende conocer aquellas ideas que apoyan y las que están en desacuerdo con el uso de alimentos para la producción de biocombustibles. En la metodología se describe el Sistema de Demanda Casi Ideal, su forma de aplicación para determinar las relaciones existentes entre los precios de los cultivos analizados y se describen los tipos de demandas empleados para catalogar los bienes que se estudian. En la sección de resultados se describen los indicadores obtenidos y se comparan con otras investigaciones realizadas para poder definir la existencia de relaciones entre las variables. Seguidamente se presentan las conclusiones del trabajo y las observaciones que puedan contribuir a futuras investigaciones en este tema.

## REVISIÓN DE LITERATURA

La literatura sobre el uso de biocombustibles responde a los cambios existentes en el mundo. Las críticas sobre el daño al ambiente por la quema de energéticos fósiles han generado que países desarrollados busquen nuevas fuentes de energía para disminuir su dependencia del petróleo. El uso de los recursos naturales con fines de obtener energía se deben ver como un stock, no como un flujo (Ciganda, 2007). Por lo tanto requiere de estudios alternativos, que permitan analizar todas las posibilidades que tiene la población de obtener la energía suficiente para producir y sobrevivir. Los biocombustibles se han convertido en una potencial fuente de energía alternativa (Alejos y Calvo, 2015). Para Hall (1982) obtener combustibles a partir de la biomasa era una opción aceptable. Mc Combs (1985) suponía la existencia de una relación vital entre la agricultura y la bioenergía, mientras que Zerbe (1988) consideraba que los biocombustibles tenían gran potencial de crecimiento por las condiciones existentes en el mundo. Urías *et al.* (2014) consideran que la era de los biocombustibles modifica la gobernanza energética de países subdesarrollados y redirecciona el uso de espacios agrícolas hacia la producción de cultivos energéticos. Por lo mismo, se debe definir el papel de los biocombustibles en la matriz energética de los países productores para evitar problemas a corto plazo (De Freitas *et al.*, 2013).

Demirbas (2011), BNDES – CGEE (2008) estudian el uso de biocombustibles como una fuente de energía renovable producida con materiales naturales con contenido de azúcar o almidón que se pueda convertir en bioetanol e incluso como lo indican Zamora–Hernández *et al.* (2014) se busca generar etanol a partir de productos como la piña, la manzana y la uva. El uso de alimentos básicos como la caña de azúcar y el maíz para producir bioetanol genera controversia. La integración del concepto de sostenibilidad en el diseño de la cadena de suministro de biocombustibles apenas comienza (Tapia, *et al.*, 2015). La producción de biocombustibles registran un conflicto con la producción de alimentos (Peters y Thielmann, 2008). Algunos estudios muestran una relación entre el aumento en los precios de los alimentos y la producción de biocombustibles (Ewing y Msangi, 2009). Hay evidencia que la inestabilidad en el mercado de energía es transferida al mercado de alimentos desde el año 2000 cuando

surge la industria de los biocombustibles (Serra y Zilberman, 2013). Este aspecto lo registra Bahel *et al.* (2011) cuando establece la existencia de una relación entre la energía y los precios de los alimentos.

La poca unidad en la aceptación de los biocombustibles con origen en alimentos como el maíz, obliga a la sociedad a analizar las distintas opciones de obtener energía alternativa. Otra opción son los residuos agrícolas, los cuales son atractivos debido a sus costos bajos y abundancia (Sarkar *et al.*, 2012) sin embargo, Talebnia *et al.* (2010), Otero-Rambla *et al.* (2009) hacen la aclaración que para el aprovechamiento de la paja de algunos cultivos como la del trigo, los costos de producción basados en la tecnología actual son muy altos. Otros estudios abordan la producción de bioetanol a partir de procesos de metabolización de la materia orgánica de los residuos sólidos urbanos (Martínez y Montoya, 2013). Todas las posibilidades deben ser estudiadas debido a que las necesidades de energéticos aumentan todos los años como resultado del incremento en la población y en sus necesidades.

Estudios realizados por OECD-FAO (2007) indican que los países desarrollados como EUA, Alemania y Japón son altamente demandantes de etanol. Otro demandante de etanol es China que requirió 3.8 billones de litros para el año 2006, cantidades proyectadas que se obtendrían de maíz como principal insumo. Alvira *et al.* (2010) Señalan que México es uno de los países que basa su alimentación en maíz, por lo que debe considerar el uso de éste a la producción poco convencional de energéticos y enfocarse por los biocombustibles producidos a partir de materiales lignocelulósicos que muestran ventajas económicas, energéticas y ambientales en comparación con el bioetanol producido con base en almidones de maíz o alcohol de caña de azúcar. El uso de otras energías para el riego y asegurar la provisión de materia prima para elaborar etanol de maíz, pone entredicho y surge la incógnita del desempeño energético de los sistemas productores de maíz que incorporar el riego, basados en el consumo de energía fósil (Denoia *et al.*, 2013). Los efectos ambientales negativos ocasionados durante el proceso de cultivo y producción superan los beneficios de la reducción de emisiones contaminantes (Valdés-Rodríguez y Palacios-Wassenar, 2016). Morales *et al.* (2010) indican que la producción de bioetanol a partir de mezclas de jugos secundarios de la producción de azúcar requiere de estudios que desarrollen modelos para las etapas de preparación, molienda y clarificación para simular bajos porcentajes de error en el proceso. El mismo proceso de producción de azúcar y de etanol genera residuos. La producción de etanol a partir de la industria azucarera genera aguas residuales que pueden ser aprovechadas para generar energía que la destilería de etanol requiere, contribuyendo a mantener un ciclo eficiente (Arias-Polo, 2011). Para no poner en peligro la soberanía alimentaria en México, se han optado por impulsar los estudios en otros cultivos que no están destinados al consumo inmediato como alimentos, por ejemplo la plantación de piñón (*Jatropha curcas*) para la producción de biodiesel, sin embargo, el desarrollo de las plantaciones fue muy inferior al esperado (Valero *et al.*, 2011). Otra opción es utilizar la almendra del zapote mamey (*Pouteria sapota*) para la producción de biodiesel (Laiz *et al.*, 2009)

## METODOLOGÍA

El periodo de análisis de precios de los cultivos fue 1980 a 2014, considerando un registro anual de los datos. Para el estudio se empleó información de cuatro cultivos: maíz (*Zea mays*); cebada (*Hordeum vulgare*); sorgo (*Sorghum vulgare*) y trigo (*Triticum aestivum*). Las variables registradas para cada uno de los cultivos fueron el precio medio rural (\$  $\tau^{-1}$ ) y cantidad producida a nivel nacional (t). Los precios medios rurales fueron obtenidos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2015). Las cantidades producidas fueron obtenidas de la Organización para la Agricultura y Alimentación de las Naciones Unidas -FAO (2015). Los precios de la tortilla fueron obtenidos del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados –SNIIM (2015) y el registro de salarios fueron obtenidos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). El primer análisis fue descriptivo para conocer la relación de los incrementos en los precios del maíz, la tortilla y de los salarios de la población. El análisis comparativo de las tasas de crecimiento de los precios y de los salarios se empleó la fórmula 1.

$$Tc = \left( \frac{P_t - P_0}{P_0} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde Tc= Tasa de crecimiento; P<sub>t</sub> = Precio nuevo y; P<sub>0</sub>= Precio pasado.

El segundo análisis se realizó por medio del Sistema de Demanda Casi Ideal (Almost Ideal Demand System), el cual fue propuesto por Deaton y Muellbauer (1980), descrito por la ecuación 2 o bien por la ecuación 3:

$$w_i = \alpha_i - \beta_i \log \theta + \sum_j \gamma_{ij} \log p_j + \beta_i \log \left( \frac{x}{p^*} \right) \quad (2)$$

O bien, reordenando, se tiene la siguiente forma:

$$w_i = \alpha_i + \sum_j \gamma_{ij} \log(p_j) + \beta_i \log(X/P) \quad (3)$$

Donde  $w_i$  es la participación del  $i$ -ésimo bien en el gasto del grupo;  $\alpha_i$ =son las ordenadas al origen;  $p_j$  = son los precios de los bienes en el grupo;  $\gamma_{ij}$ = son los coeficientes de los precios;  $\beta_i$ = son los coeficientes del gasto; X= es el gasto total en los bienes considerados; Log= denota logaritmo natural; P = es un índice de precios Translog, el cual se define en la ecuación 4 que se empleó en el modelo:

$$\ln P = \alpha_0 + \sum_j \alpha_j \ln(p_j) + 1/2 \sum_j \sum_l \gamma_{jl} \ln(p_j) \ln(p_l) \quad (4)$$

Siendo  $p_j, p_l$  los precios de los bienes en el grupo  $\alpha_0, \alpha_j$  y  $\gamma_{jl}$ .

Las condiciones de aditividad y homogeneidad son independientes, este modelo supone tres condiciones básicas indicadas por las ecuaciones 5, 6 y 7, las cuales se define y explican a continuación:

$$\text{Aditividad} \quad \sum_i \alpha_i = 1, \sum_i \gamma_{ij} = 0 \text{ y } \sum_i \beta_i = 0 \quad (5)$$

$$\text{Homogeneidad} \quad \sum_j \gamma_{ij} = 0 \quad \forall_i \quad (6)$$

$$\text{Simetría} \quad \gamma_{ij} = \gamma_{ji} \quad \forall_i \neq j \quad (7)$$

Se considera que el modelo empleado tiene las propiedades de ser una aproximación de primer orden a cualquier sistema de demanda derivable, con una forma funcional consistente con los datos del gasto familiar como representación flexible de cualquier sistema de demanda arbitrario (Martínez y Vargas 2004). Otro aspecto es que el agregador de precios (P), mismo que se presenta en la ecuación 8 y 9, se puede reemplazar por un índice de precios, de tal forma que es posible obtener un sistema de demanda lineal en la etapa (Ramírez *et al.* 2011) si se considera que P es factible reemplazarlo por el índice de precios Stone (Deaton y Muellbauer 1980).

$$\ln(S_p) = \sum_{i=1}^n w_{it} \ln(P_{it}) \quad (8)$$

Para la especificación del modelo, se emplearon las ecuaciones lineales siguientes:

$$w_{it} = \alpha_i + \sum_{j=1}^m \gamma_{ij} \log(P_{jt}) + \beta_i \log \left( \frac{X_t}{p_s} \right) + \mu_{it} \quad (9)$$

( $i=1,2,\dots, m-1$ ;  $t=1,2,\dots, T$ )

Para la estimación de los parámetros ( $\alpha_i, \gamma_{ij}$  y  $\beta_i$ ) se utilizó el estimador de mínimos cuadrados generalizados como el utilizado por Hernández y Martínez (2003). Las ecuaciones 10, 11, 12, 13 y 14 fueron empleadas para determinar las elasticidades precio propias Marshallianas, las Hicksianas y del Gasto, las cuales se estimaron considerando las siguientes formas:

$$\text{Elasticidades precio propias Marshallianas } \varepsilon_{ii} = \gamma_{ii}/W_i - \beta_i - 1 \quad (10)$$

$$\text{Elasticidades precio propias Hicksianas } \delta_{ii} = \gamma_{ii}/W_i - W_i - 1 \quad (11)$$

$$\text{Elasticidades precio cruzadas Marshallianas } \varepsilon_{ij} = \gamma_{ij}/W_i - \beta_i(W_j/w_i) \quad (12)$$

$$\text{Elasticidades precio cruzadas Hicksianas } \delta_{ij} = \gamma_{ij}/w_i - w_j \quad (13)$$

$$\text{Elasticidades del gasto } \eta_i = 1 + \beta_i/w_i \quad (14)$$

Considerando que  $\gamma_{ij}$  y  $\beta_i$  son los estimadores de los parámetros del modelo; y  $w_i$  es la proporción media del gasto del  $i$ -ésimo bien del grupo de cultivos que se analizaron (Martínez y Vargas, 2004). La obtención de las elasticidades de cada uno de los productos se realizó utilizando el paquete estadístico Statistical Analysis System, mediante el procedimiento de regresiones aparentemente no relacionadas (SUR, por sus siglas en inglés) con la imposición de las restricciones de aditividad, homogeneidad y simetría para un periodo anual desde 1980 a 2014.

## RESULTADOS

El mercado de biocombustibles en los últimos años ha aumentado su demanda debido a las continuas exigencias de organismos internacionales para que los países disminuyan sus emisiones de gases de efecto invernadero, este hecho contribuye a que países como EUA, Brasil, China, Canadá y países de la Unión Europea incrementen la producción de etanol en más de un 90% en el periodo de 2007 a 2014. Estados Unidos de América genera etanol a base de maíz forrajero y en menor proporción de maíz blanco, EUA desde el año 2004 destinó para este fin el 10 % de su producción total de maíz, en el año 2007, destinó 22 % y para el año 2014 destinó el 36.4 % de su producción (Tabla 1). Este hecho disminuye la oferta de maíz en el mercado internacional, generando cambios en los precios internacionales.

Tabla 1: Producción de Etanol en los Principales Países Productores

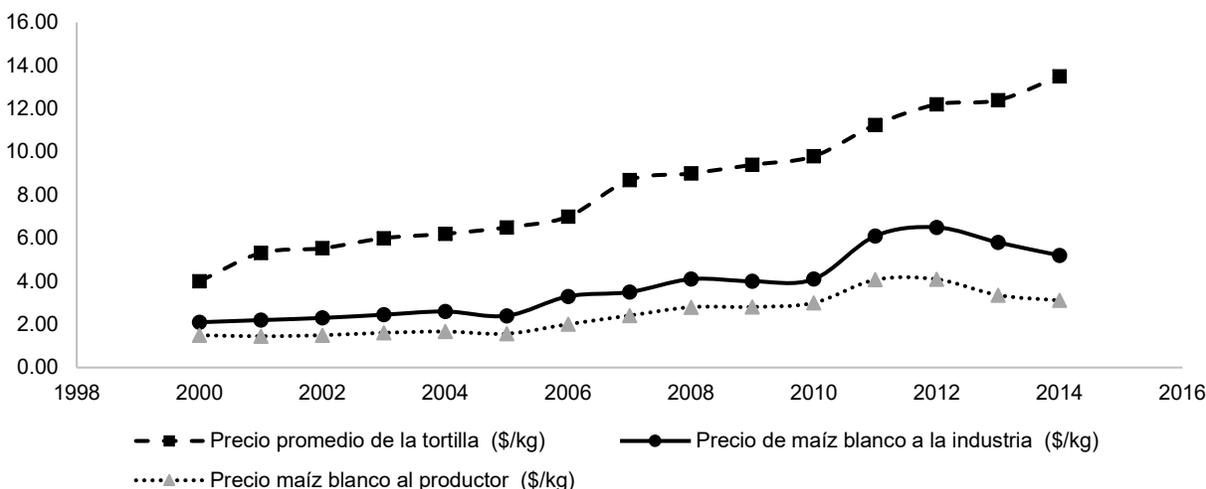
País /Año	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Estados Unidos de América	24,600	35,239	41,405	50,339	52,727	50,036	50,346	54,131
Brasil	19,000	24,519	24,900	26,201	21,097	21,111	23,723	23,431
Unión Europea	2,158	2,777	3,935	4,455	4,420	4,312	5,189	5,469
China	1,839	1,899	2,050	2,050	2,100	2,101	2,634	2,403
Canadá	799	899	1,100	1,350	1,750	1,700	1,979	1,930
México	10	25	72	90	100	120	170	175

*Esta tabla permite identificar a los principales países productores de etanol en el mundo, sin hacer la diferenciación de la materia prima empleada para su producción (maíz, caña de azúcar, remolacha, sorgo dulce, trigo o cebada). En conjunto, la oferta de los principales países generan más del 70 por ciento de la producción mundial. México tiene baja participación en la producción y la exportación de biocombustibles en el mundo debido a que la economía depende de la producción de petróleo en su totalidad. Datos en millones de galones. Fuente: RFA y USDA FSA, 2016. Para datos de México años 2007-2008: Becerra (2009) y para años 2009-2013: Sánchez (2014).*

La producción de etanol para el caso de México es muy baja y sin efectos en la oferta global, sin embargo, el aumento de la participación de EUA en la producción de etanol a base de maíz, principal socio comercial para México y el mayor productor de maíz a nivel mundial ha generado un efecto negativo en los precios a nivel internacional, lo cual genera especulaciones sobre el precio del producto. A diferencia de Brasil y los países de la Unión Europea que han incrementado la producción de etanol, la materia prima para el caso de Brasil es caña de azúcar y para la Unión Europea es remolacha o en menor proporción trigo y cebada. Estas diferencias en el uso de materias primas generaron un efecto directo e indirecto en el precio del maíz en el mercado internacional. México, fue uno de los países importadores

de maíz que más se afectó por las especulaciones de los precios de este cultivo. Las especulaciones de la disminución de la oferta de maíz modificaron los precios registrados a nivel nacional que han mantenido con una ligera alza, sin embargo, no se pudo establecer una relación directa entre el precio nacional del maíz y el incremento de la tortilla. Mientras que el precio del maíz a nivel nacional crece con una tasa del 2.03 % y 4.56 %, los precios del bien final, aumenta en una proporción mayor. La Figura 1 muestra el mayor incremento del precio de la tortilla se registró en los años 2007 y 2008, coincidiendo con la crisis alimentaria de esos años.

Figura 1: Comportamiento de Precios de Maíz y Tortilla en México



La relación lineal entre precios promedio registrados para productores, precio de maíz al industrial y de tortilla al consumidor, muestran relación hasta el año 2010, en los años siguientes, la explicación de la alza de precios parece obedecer a variables externas al manejo y producción del cultivo en México. El diferencial de los precios del bien final y la materia prima obedece aparentemente a los precios de los bienes necesarios para la producción de la tortilla como es el caso del gas. Fuente: SNIIM (2015) y SIAP (2015).

La producción de biocombustibles ha sido un incentivo para cambios en los precios de los bienes agrícolas y modificar su oferta y demanda. Los parámetros estimados en el modelo con las restricciones de aditividad, homogeneidad y simetría impuestas, al igual que los valores de las elasticidades Marshallianas indican que la demanda de los cuatro productos presenta signo negativo, por lo tanto se comportan como inelásticos. En relación con la elasticidad del gasto, los datos mostrados en la Tabla 2 indican que solo el maíz se cataloga como un bien superior, lo cual implica que el aumento de una unidad en el gasto, genera un aumento de más de una unidad en la demanda. La cebada, trigo y sorgo se comportan como bienes normales. Con respecto a las elasticidades cruzadas, la mayoría muestran una simetría en los signos, excepto por dos combinaciones (sorgo y maíz) que registran signos contrarios, por lo tanto se consideran bienes sustitutos para la producción de etanol.

Tabla 2: Elasticidades Marshallianas y del Gasto

Cultivo	Maíz	Sorgo	Cebada	Trigo	Elasticidad del Gasto
Maíz	-0.799	-0.127	-0.019	-0.147	1.392
Sorgo	0.079	-0.630	0.024	-0.076	0.461
Cebada	-0.357	0.129	-0.473	-0.093	0.983
Trigo	-0.290	-0.140	-0.009	-0.166	0.698

La tabla muestra el resultado del análisis de precios de un total de 32 datos comprendidos entre 1980 y 2014. El coeficiente de elasticidad estimado para el maíz indica que ante un incremento del 10 por ciento en sus precios, la demanda se reducirá en 7.9 por ciento. Sin embargo, la elasticidad del gasto como la variable más importante en la modificación de la capacidad de compra de la población mexicana, refleja mayor destino de ingreso a la compra del maíz, eso implica la necesidad de estudiar la proporción del ingreso destinado a la compra del bien en estudio. Fuente: Elaboración propia con base en cálculos, 2015.

De los cuatro productos, el maíz es uno de los alimentos que su demanda se afecta por un incremento en el gasto, sin embargo, al ser un bien necesario para la alimentación de la población mexicana, el gobierno debe implementar subsidios para mantener la seguridad alimentaria. Si para el 2015, aumenta la demanda en un billón de galones de bioetanol puede generar incremento en el precio entre 3 y 4 % solo en el maíz (Condon, 2015), esto afecta a la economía de México, porque una tercera parte del maíz se importa de Estados Unidos de América, el cual incrementó los costos de importación en 1 500 millones de dólares en el periodo de 2006 a 2011 debido a incrementos en la demanda de etanol (Wise, 2012).

Tabla 3: Elasticidades Hicksianas

	Maíz	Sorgo	Cebada	Trigo
Maíz	-0.030	0.097	0.006	0.021
Sorgo	0.334	-0.555	0.032	-0.021
Cebada	0.188	0.288	-0.455	0.026
Trigo	0.415	-0.027	0.004	-0.082

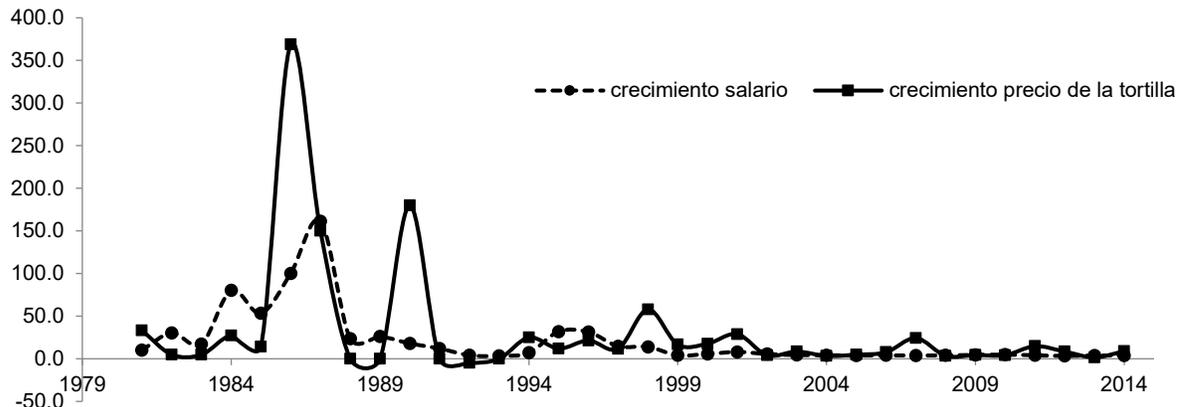
*En relación a las elasticidades Hicksianas, todos los bienes presentan una demanda inelástica. Los valores analizados para un total de 32 datos reflejan que la mayoría de las elasticidades Hicksianas son menores a las Marshallianas. Todas las elasticidades cruzadas son simétricas en sus signos. Lo cual indica consistencia con la teoría microeconómica de relación de precios. Fuente: Elaboración propia con base en cálculos, 2015.*

Las elasticidades consideran un posible comportamiento con respecto al ingreso que poseen los consumidores, sin embargo, la alimentación de la población mexicana se basa en el consumo de tortilla de maíz, el sorgo como alimento para el ganado y el trigo como una fuente de materia prima para la panificación, lo cual implica un estudio más a fondo en los próximos años considerando el precio del petróleo como otra variable detonante en el precio de los alimentos y de los combustibles alternativos. Las implicaciones económicas y sociales a nivel mundial, consideran que los cambios en los precios de maíz provocan desequilibrio en la capacidad adquisitiva de los 900 millones de trabajadores pobres que incluyen este producto como alimento principal, de los cuales, 456 millones viven en situación de pobreza extrema (OIT, 2012), y la producción de bioetanol contribuye a nivel global con el 30 % del incremento en el precio del maíz (Hochman *et al.*, 2014).

Estas implicaciones se reflejan también en México, debido a que el consumo anual per cápita de tortilla es de 85 kilogramos, aproximadamente 236.5 gramos diarios (López, 2013) considerando familias de cuatro integrantes y los precios promedios en tortillerías y en autoservicios, normalmente se deben destinar entre 4,440.00 y 5,440.00 pesos anuales a la compra de este alimento. La Figura 2 muestra las fluctuaciones y diferencias en el crecimiento del salario mínimo vigente para un trabajador en México y el precio de la tortilla promedio en supermercados y locales o tortillerías.

Los altos precios de la tortilla consideran no solo los cambios en el consumo de la población sino también el ingreso reportado por la Encuesta Nacional de ingresos 2014 del INEGI. El ingreso corriente total decreció 3.2 % (INEGI, 2015), la pérdida del poder de adquisición en las familias se afecta considerando la gran cantidad de personas en pobreza que reportan instituciones oficiales, esto conlleva una pérdida del bienestar económico y un aumento de 5.7 % en el número de familias urbanas por debajo de la línea de pobreza (Wood *et al.*, 2011). Por lo tanto, los precios de los alimentos básicos generan un nuevo aumento en el número de personas en pobreza alimentaria y aunque los precios por el transporte disminuyen, los precios por la oferta de alimentos se incrementan, y al enviar productos alimenticios para la producción de etanol se generan contradicciones y problemas en la sociedad (Demirbas, 2009). Además que es realmente cuestionable la eficiencia energética (González y Castañeda, 2008), por ejemplo, a partir de una tonelada de maíz se obtienen 442 litros de etanol (Cardona *et al.*, 2005). Si México proyectara sustituir 880 millones de litros de oxigenantes de gasolina por etanol, necesitaría la bioconversión de 2.2 millones de toneladas de maíz, es decir el 10 y 33 % de la producción nacional para un fin no alimentario (Chuck-Hernández *et al.*, 2011).

Figura 2: Tasas de Crecimiento del Salario vs Crecimiento del Precio de la Tortilla



Esta figura muestra el comportamiento de las tasas de crecimiento entre los salarios y el precio de la tortilla en México, mientras que el salario ha tenido pequeños cambios en solo un 2% en promedio anualmente como parte de lo que dicta la Comisión Nacional de los Salarios Mínimos, a partir del año 2007, el precio de la tortilla como bien final de consumo tiene aumentos superiores al 5%, disminuyendo la capacidad de compra de este bien para la alimentación de la población. Fuente: Elaboración propia con datos de SNIIM (2015).

La modificación en las políticas para la producción de etanol en otros países puede afectar el mercado interno de maíz principalmente (Romero *et al.*, 2015). Estas condiciones generarán redistribución en cantidades producidas y consumidas (González y Brugués, 2010). Si se considera que para producir etanol a partir de maíz, el 65 % de los costos son para la materia prima, y se busca sustituir el 10.5 % en el consumo de gasolina, se requiere una inversión de 2 300 millones de pesos y una superficie sembrada con maíz de 1.2 millones de hectáreas con un rendimiento de 6 t ha<sup>-1</sup> (Arvizú, 2011). Sin embargo, la mayoría de los pequeños y medianos productores de maíz, tienen un déficit de rendimiento con una productividad global del 57 % (Romero *et al.*, 2015). Esto indica que con el tiempo se puede favorecer la producción de bioetanol pero se debe adecuar en función al cambio de precios y la tecnología existente.

## CONCLUSIONES

El objetivo de la investigación fue analizar el incremento en la producción de etanol en México y EUA y su relación con el incremento en el precio del maíz y de la tortilla, sin embargo, se analizaron otros cultivos como cebada, sorgo y trigo, para considerar el impacto social y económico de la producción de etanol a partir de cultivos destinados directa o indirectamente al consumo humano. México basa su alimentación en productos derivados del maíz, producto que se comporta como un bien superior, por ello se deben mantener los precios estables para no afectar la capacidad de compra de los habitantes. La producción de etanol a base de maíz ha sido una respuesta a la exigencia de emplear nuevas fuentes de energía y por lo tanto una variable que explica el incremento de los precios del maíz en el mercado internacional y nacional. El uso distinto a la alimentación de este producto ha generado una especulación en su precio, ocasionando cambios en la capacidad de compra de los habitantes de México que incluyen el maíz y sus derivados como parte de su dieta. Las implicaciones económicas y sociales de un incremento de los precios del maíz y de la tortilla, son muchas y preocupantes, entre ellas, se pone en peligro la soberanía alimentaria del país, se disminuye la capacidad de compra e implica modificaciones en la dieta de los habitantes, en respuesta a ello, se requiere la implementación de políticas que fomenten la producción de este cultivo para hacer frente a la demanda nacional.

### Limitaciones

Dentro de las limitaciones del estudio es que no fue posible establecer todas las relaciones de la cadena de producción de biocombustibles, es preciso para próximas investigaciones integrar transmisión de precios para fortalecer los resultados obtenidos en la investigación.

### **BIBLIOGRAFÍA**

Alejos C. & Calvo E. (2015). Biocombustibles de primera generación. Revista peruana de química e ingeniería química. Vol. 18 (2): 19-30.

Alvira P., Tomás-Pejó E., Ballesteros M. & Negro M. J. (2010) Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process base on enzymatic hydrolysis: a review. *Bioresource Technology* 101: 4851-4861.

Arias-Polo G. N. (2011). Propuesta energética sostenible para destilerías de etanol. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Cuba Septiembre-Diciembre, 7-14.

Arvizú F. J. L. (2011) Biocombustibles derivados del maíz. En: El cultivo del maíz, temas selectos. Mundi-Prensa 1ª edición, México. Pp: 31- 37.

Bahel E., Marrouchb W. & Gaudet G. (2011). The economics of oil, biofuel and food commodities. *Resource and Energy Economics* 35(1): 599–617.

Becerra P. L. A. (2009) La industria del etanol en México. *Economía UNAM*. México, Vol.6 (16): 82-98.

BNDES-CGEE (2008) Bioetanol de caña de azúcar: Energía para el desarrollo sostenible. Cuaderno técnico 1. FAO, CEPAL, CGEE y BNDES. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Francia. 320 p.

Cardona C.A., Sánchez O.J., Montoya M.I. & Quintero J.A. (2005) Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz. *Scientia Et Technica* XI (28): 187-192.

Chuck- Hernández C., Pérez-Carrillo E. & Heredia-Olea E., Serna-Saldívar S.O. (2011) Sorgo como cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: Tecnologías, avances y áreas de oportunidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10(3): 529-549.

Ciganda, A. (2007) Análisis comparado de innovación y cambio tecnológico en Uruguay y América Latina. *Cuaderno de Economía*. 2 (1): 123-143.

Condon N., Klemick H. & Wolverton A. (2015) Impacts of ethanol policy on corn prices: A review and meta-analysis of recent evidence. *Food Policy* 51(2015): 63-73

Deaton A. & Muellbauer J. (1980). An Almost Ideal Demand System. *The American Economic Review* 70 (3): 312-326.

De Freitas V. C. E., De Moraes G. I. & Schneider B. M. B. (2013). Políticas para relaciones contractuales en las cadenas de biocombustibles: construyendo puentes entre instituciones. *Semestre Económico*. Vol. 16 (33): 15-44.

Demirbas A. (2009) Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. *Applied Energy* 86 (2009): 108–117.

Demirbas A. (2011) Competitive liquid biofuels from biomass. *Applied Energy* 88(2011): 17–28.

Denoia J., Di Leo N., Montico S., Bonel B. (2013). Análisis energético del empleo de riego complementario en la producción de maíz para etanol en la Cuenca del Arroyo Ludeña, Santa Fe. *Ciencias Agronómicas XXI* (13): 33-38.

Ewing M, & Msangi S. (2009). Biofuels production in developing countries: assessing tradeoffs in welfare and food security. *Environmental Science and Policy* vol 12 (4): 520-528.

FAO (2015) Sección estadísticas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Fecha de consulta 20 de octubre de 2015. <http://www.faostat3.fao.org>

González A.S. & Brugués R.A. (2010) Producción de Biocombustibles con maíz: un análisis de bienestar en México. *Ra Ximhai*, 6(1): 73-85.

González M.A. & Castañeda Z.Y. (2008) Biocombustibles, biotecnología y alimentos. Impactos sociales para México. *Argumentos*, 21(1): 55-83.

Hall D. O. (1982) Solar energy through biology: fuels from biomass. In *New Trends in Research and Utilization of Solar Energy through Biological Systems*. Springer Basel AG, USA. 9-12 pp.

Hernández O.J. & Martínez D. M.A. (2003) Estimación de un sistema AIDS y elasticidades para cinco hortalizas en México. *Comunicaciones en Socioeconomía, Estadística e Informática* 7(2):13-24.

Hochman G., Rajagopal D., Timilsina G. & Zilberman D. (2014) Quantifying the causes of global food commodity prices crisis. *Biomass and Bioenergy* 68 (1): 106-114.

INEGI (2015) Boletín de prensa. Resultados de la encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares para 2014. Fecha de consulta: 20 de enero de 2016. [http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015\\_07\\_3.pdf](http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015_07_3.pdf)

Laiz S. J. C., Tovar M. R., Durán de Bazúa, M. C. & Solís F. J.A., (2009) Aprovechamiento de residuos agroindustriales: producción de biodiesel por transesterificación alcalina de aceite crudo de almendras de zapote mamey (*Pouteria sapota*). *Tecnología, Ciencia, Educación*. Vol 24 (1): 48-56.

López D. (2013) El consumo de productos y subproductos de maíz en México. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). *Revista Enlace Año V* (17): 21-24.

Martínez D.M.A. & Vargas O.J.A. (2004) Un sistema de demanda casi ideal (AIDS) aplicado a once frutas en México (1960-1998). *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(004): 367-375.

Martínez S.J.A. & Montoya G.N.J. (2013). Análisis preliminar de la viabilidad de obtención de bioetanol a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. *Producción + Limpia*. Vol. 8 (2): 72-84.

McCombs J.M. (1985). Liquid biofuels as a development tool in Latin American agriculture. Technical report, U.S. Department Energy. USA. 25 pp.

Morales Y.L., Kafarov V., Ruíz F. & Castillo E.F. (2010) Modelamiento de los procesos de producción de bioetanol de primera y segunda generación a partir de caña de azúcar, etapas: preparación, molienda y clarificación. *Umbral científico* 16(2): 47-59.

OECD-FAO (2007) *Agricultural Outlook 2007-2016*. Organization for Economic Co-operation and Development - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1<sup>th</sup> edition, France, 229 pp.

OIT (2012) *Tendencias mundiales del empleo 2012. Prevenir una crisis mayor del empleo*. Organización Internacional del Trabajo. 1<sup>a</sup> edición, Ginebra, Suiza. 128 pp.

Otero-Rambla M.A, García R, Pérez M.C., Martínez J.A., Vasallo M.C., Saura G. & Bello D, (2009) Producción de bioetanol a partir de mezclas de jugos-melazas de caña de azúcar. *ICIDCA. Sobre derivados de la Caña de azúcar*, XLIII (1): 17- 22.

Peters J. & Thielmann S. (2008). Promoting biofuels: Implications for developing countries. *Energy Policy* 36(6): 1538-1544.

Ramírez T. J, Martínez D.M. A, García M. R, Hernández G.A. & Mora F.J.S., (2011) Aplicación de un sistema de demanda casi ideal (AIDS) a cortes de carnes de bovino, porcino, pollo, huevo y tortilla en el periodo de 1995-2008. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 2(1): 39-51.

Romero P.A., Hernández J.M., León M. A. & Sangermán-Jarquín D.M., (2015) Impacto en el mercado mexicano de maíz en ausencia de políticas de producción de biocombustibles en Estados Unidos de América. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(5):1023-1033.

Sánchez J. (2014) México lanza licitación para incorporar etanol a gasolinas. *Notas de Economía: Cartera*. Septiembre 2014. México. Pp 24.

Sarkar N., Kumar Ghosh S., Bannerjee S. & Aikat K. (2012) Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. *Renewable Energy* 37(1): 19-27.

Serra T. & Zilberman D. (2013). Biofuel related price transmission literature: A review. *Energy economics* 37(2013): 141-151.

SIAP (2015) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Fecha de consulta 11 de noviembre de 2015. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>

SNIIM (2015) Estadísticas de precios para México. Sistema Nacional de información e Integración de Mercados. Fecha: 10 de Diciembre de 2015. [www.sniim.org.mx/estadisticas/precios/consumidor](http://www.sniim.org.mx/estadisticas/precios/consumidor)

Talebna F., Karakashev D. & Angelidaki I. (2010) Production of bioethanol from wheat Straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation. *Bioresource Technology* 101: 4744- 4753

Tapia B. L. M., Acevedo C. J., Araméndiz T. H. & Ararat H. J. (2015). La sostenibilidad en el diseño de cadenas de suministro de biocombustibles. *Revista Ingenierías*. Vol. 14 (26): 57-72

Urías U. R. E., Meza R. E. & Mendoza G. J.M. (2014). Los biocombustibles en América Latina. Actualidad y debates según las experiencias en Brasil, Argentina y México. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*. *Revista Académica de Economía*. 201:1-16.

Valdés-Rodríguez O.A. & Palacios-Wassenaar O. M. (2016). Evolución y situación actual de plantaciones para biocombustibles: perspectivas y retos para México. *Agroproductividad* 9(2): 33-41.

Valero P. J., Cortina V. H. S. & Vela C. M.P. (2011). El proyecto de biocombustibles en Chiapas: experiencias de los productores de piñón (*Jatropha curcas*) en el marco de la crisis rural. *Estudios sociales*. Vol. 19(38): 119-144.

Wise T.A. (2012). The costs to Mexico of U.S. corn ethanol expansion. *Global development and environment Institute, Working paper No 12-01* Fecha: 12 de mayo de 2014. <http://ase.tufts.edu/gdae>

Wood B.D.K., Nelson C.H. & Nogueira L. (2011) Poverty effects of food prices escalation; the importance of substitution effects in Mexican households. *Food Policy* 37(1): 77-85.

Zamora-Hernández T., Prado-Fuentes A., Capataz-Tafur J., Barrera-Figueroa B.E., Peña-Castro J.M. (2014) Demostraciones prácticas de los retos y oportunidades de la producción de bioetanol de primera y segunda generación a partir de cultivos tropicales. *Educación Química*, 25(2): 265- 274

Zerbe J. I. (1988) Biofuels: production and potential. *Applied Research and Public Policy W/1988*. USA. 38-47 pp.

## BIOGRAFÍA

Alberto Pérez Fernández es Doctor en Economía Agrícola por la Universidad Autónoma Chapingo. Actualmente es Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Ciencias Económicas Administrativas en la Universidad Autónoma del Carmen, Calle 56 No 4. Esq. Avenida Concordia. Col. Benito Juárez C. P. 24180. Ciudad del Carmen, Campeche, México. Correo electrónico: [albertopefe@gmail.com](mailto:albertopefe@gmail.com)

José Apolonio Venegas Venegas es Doctor en Ciencias en Economía Agrícola por la Universidad Autónoma Chapingo, actualmente es catedrático CONACYT-UNACH en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas. Dirección: Carr. Villaflores-Ocozocoautla km. 7.5. C. P. 30470, Villaflores, Chiapas. Correo electrónico: [javenegasve@conacyt.mx](mailto:javenegasve@conacyt.mx)