

# ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL UTILIZANDO COMO MATERIA PRIMA EL RASTROJO DE MAÍZ Y SORGO.

\*Autor: Mg Ing. Ascurra Adalberto Mario

Universidad Nacional de Lomas de Zamora –Facultad de Ingeniería

[planeamiento@ingenieria.unlz.edu.ar](mailto:planeamiento@ingenieria.unlz.edu.ar)

## RESUMEN

Los esfuerzos de los países del mundo están orientados a la conservación de la energía y al desarrollo de fuentes alternativas motivados por dos problemas fundamentales: la contaminación del medio ambiente y la disminución de las reservas de los combustibles fósiles.

Los estudios realizados por organismos internacionales, Argentina tiene zonas con superávit potencial de biomasa energética y, desde una perspectiva agrónoma, posee condiciones adecuadas para el desarrollo de insumos básicos necesarios para la producción de energía a partir de biomasa, como también tiene un gran potencial y ventajas comparativas para la producción de biocombustibles.

El trabajo aborda el análisis de la factibilidad económica de obtener bioetanol lignocelulósico a través del rastrojo de maíz, considerando que nuestro país ha tenido, en los últimos diez años, incremento del rendimiento del cultivo. Esto pone en escenario la posibilidad de obtener rastrojo sin dañar la salubridad del suelo, y hacer sustentable en el tiempo, la obtención de la materia prima y transformarla en combustible.

El análisis muestra la conveniencia económica para procesar y convertir al rastrojo de maíz en bioetanol, aplicando el criterio de formar complejos productivos o joint venture.

Los resultados obtenidos demuestran la existencia de una utilidad bruta para el complejo productivo, y se asume como una buena aproximación la producción de bioetanol.

La metodología utilizada para el análisis se basa en el método de simulación Montecarlo, debido a la poca información publicada a la fecha.

Las conclusiones a las que se arriba, están orientadas desde el punto de vista económico, sin entrar en el análisis de los procesos productivos y sin considerar inversión inicial.

Palabras claves: Biocombustible; Bioetanol lignocelulósico; Método Montecarlo; Factibilidad económica.

## ABSTRACT

The effort of the countries is orientated to the conservation of energy and the development of alternative sources motivated by two core issues, the pollution and the decrease in reserves of fossil fuels.

Studies achieved by International Organisms, Argentina has areas with a potential surplus of energy biomass, and from an agronomic perspective, it has suitable conditions for the development of the basic inputs which are necessary for the production of energy from biomass; also it has great potential and comparative advantages for the production of biofuels.

The aim of this work is to analyse the economic viability of obtaining lignocellulosic bioethanol, through corn stubble, considering that Argentina has had a consecutive increased in harvest and its yield. This shows the possibility of obtaining harvest stumps without damaging the soil's conditions and, at the same time, making it sustainable over the time, in order to obtain raw material and transform it into fuel.

The analysis has addressed the economic convenience to process and convert maize stubble into bioethanol, applying the criterion of forming productive complexes or joint venture.

The obtained results have demonstrated the existence of gross profit for the members of the productive complex, and they are considered as a valuable approximation to the production of bioethanol.

The methodology used for the analysis was based on the Monte Carlo simulation method, due to the available information published to date.

The conclusions reached in the current study are orientated to the economic side without taking into account the analysis of the productive process and an initial investment.

## 1-INTRODUCCIÓN

Los organismos internacionales están tomando con mucha seriedad el crecimiento de la demanda energética como consecuencia del crecimiento demográfico, y pronosticando que los países tendrán que afrontar las variaciones de los precios y posibles conflictos socio-económico generados por la necesidad del consumo energético.

Datos suministrados por World Population Prospects: The 2015 Revision(1), establece una proyección de crecimiento demográfico sostenido llegando 9725 millones de personas para el año 2050 y 11213 millones para el año 2100.

De los datos suministrados por el Banco Mundial, basados en Estadísticas de la IEA © OCDE/IEA, y “Key World Energy Statistics”(2) realiza un estudio de proyección y determinan que las perspectivas para los combustible hacia el año 2035 será de casi 18.000 millones de TOE o TEP. Este valor nos está indicando que el mundo va a necesitar, en términos de energía, un valor de  $209340 \times 10^{11}$  Kwh, para ese año.

Claramente, este crecimiento en la demanda de la energía no podrá ser satisfecho por el recurso finito y escaso del petróleo, por lo cual surge gran interés por los biocombustibles, los cuales podrán ayudar a sustentar la demanda.

Uno de los biocombustibles con mayor demanda en el mundo es el bioetanol. Actualmente, su producción está en base a productos que son utilizados para la alimentación humana y/o de animales, y ellos son los denominados biocombustibles de primera generación, las materias primas más utilizada son el maíz, trigo, caña de azúcar, sorgo, entre otros.

El desarrollo del biocombustible deberá satisfacer la demanda, y mantener la declaración de la seguridad alimentaria, y cumplir con la mejora del medio ambiente. En la última reunión celebrada en la ciudad de Paris en Dic/15 los países se comprometieron a bajar las emisiones de gases en un 40% para el año 2030.

Todos estos problemas dan una buena oportunidad para buscar energías alternativas; entre ellas, el estudio de los biocombustibles de segunda generación.

Las ventajas que tiene Argentina en residuos lignocelulósicos nos alienta a realizar un estudio de factibilidad económica para la producción del bioetanol lignocelulósico a partir del rastrojo de maíz y sorgo.

Para ello, los objetivos específicos de este trabajo están orientados a:

- ❖ Determinar una región con potencial para la instalación de una planta de producción de bioetanol, teniendo en cuenta la cantidad de materia prima disponible.
- ❖ Realizar un análisis de la factibilidad económica de la instalación de una planta procesadora de biocombustibles.
- ❖ Analizar y comparar la rentabilidad del bioetanol de segunda generación con respecto al precio del petróleo, y llegar a una conclusión de competitividad.

### 1-1 **Biocombustibles.**

Debemos aclarar que el etanol es un alcohol etílico, y se puede obtener de diferentes materias primas. El material lignocelulósico se encuentra en los residuos llamados rastrojo, que es considerado como materia prima alternativa, y el mismo está constituido por fibras de celulosas, hemicelulosa, y lignina, que a través de procesos de transformación por separado se obtiene el etanol de segunda generación.

#### 1-1-2 **Características y Ventajas del Etanol Lignocelulósico**

Las diferentes bibliografías establecen como ventajas de la utilización del etanol en cualquiera de sus formas de obtención y materia prima utilizada como:

- ❖ Posee un alto octanaje y una gran solubilidad en la nafta.
- ❖ El etanol hídrico puede utilizarse como único combustible (sin mezclarlo con nafta) solamente en motores especialmente adaptados para su uso.
- ❖ Etanol anhidro puede ser mezclado con nafta en los vehículos convencionales. Las mezclas de baja proporción de etanol anhidro (5%) no requieren adaptación alguna,
- ❖ El uso con la mezcla reduce la producción de gases invernaderos
- ❖ Se utilizan para la generación de electricidad y calor
- ❖ No son fuentes de alimentos
- ❖ Se presupone que su costo será menor.

### 1-2 **Marco Legal en Argentina**

El Congreso de la Nación Argentina aprobó, en el año 2006, la Ley Nacional N° 26.093 de Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentable de Biocombustibles,

reglamentada por el Decreto 109/2007, e implementada en el año 2010. La ley establece los requisitos, para las empresas que vayan a participar del suministro a las petroleras del porcentaje de biocombustibles establecido por la Secretaría de Energía de la Nación.

### 1-3 Matriz Energética Argentina

Realizar una revisión y análisis de la matriz energética argentina nos dará una visión de la producción y el consumo de la energía, su crecimiento y distribución, considerando los diferentes factores, tales como el crecimiento demográfico, industrial y comercial.

Con estos datos se podrá analizar el uso racional de la energía y las oportunidades de generar energías renovables, que contribuyan a mejorar el medio ambiente y la disminución del CO2.

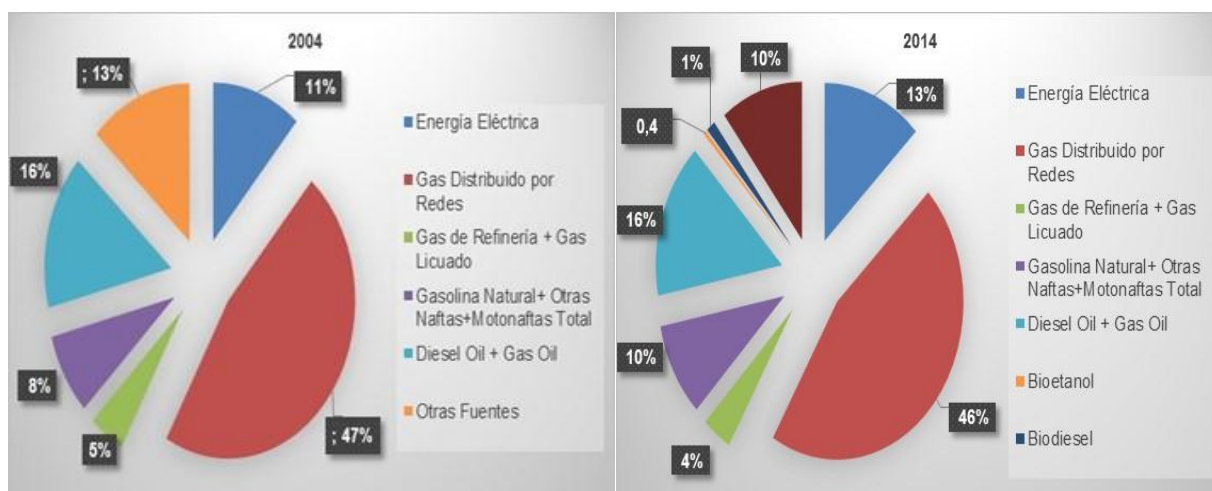
La matriz energética se construye en base a las energías primarias que posee un país, con sus respectivas transformaciones, para obtener las energías secundarias y calcular los consumos respectivos. Con esos datos la Secretaría de Energía de la Nación prepara los informes de los balances energéticos.

Considerando los datos publicados por las planillas BEN (Balance Energético Nacional (3), desde el año 2004 al 2014 se elaboran gráficos y tablas para observar el comportamiento de la matriz energética durante el período mencionado.

La variación de consumo en el período considerado se incrementó un 21.83%, desde el año 2004 al año 2014.

Para tener una visualización de la participación de las energías secundarias en el inicio y el final del período considerado, obtenemos el gráfico siguiente.

Gráfico 1: Comparación de la participación de las energías secundarias al inicio y final del período considerado



Fuente: Elaboración propia con datos de las planillas BEN de la Secretaría de Energía

En el año 2014 aparece en las estadísticas el bioetanol como consecuencia de la implementación de la ley de biocombustible, cabe aclarar que este bioetanol son los denominados de primera generación. Y su participación es pequeña debido al corto tiempo que la estadística lo ha empezado a considerar, como consecuencia de la implementación de la ley de biocombustible.

Si consideramos la proyección para el año 2025 de un consumo de naftas de 10000 millones de m3, y para cumplir con la proyección de la ley a un corte del 12%, esto implicaría un volumen para corte de 1200 millones de m3 de bioetanol.

Los datos incentivan a realizar un estudio de una factibilidad de producir etanol lignocelulósico y bajar el consumo de maíz para la obtención de bioetanol de primera generación y concentrar la producción de maíz principalmente para alimentos.

### 1-4 Disponibilidad de la Materia Prima en Argentina

Conocer la cosecha durante el período 2004-2015 nos dará una idea de la cantidad de rastrojo producido, dado que es un dato fundamental para conocer con qué cantidad de materia prima se cuenta para la obtención del bioetanol de segunda generación, y si el mismo es sustentable en el tiempo. Se analizó los dos granos principales para obtener la materia prima (rastrojo), maíz y sorgo para determinar

el comportamiento en el período considerando, y así poder determinar cuál de los dos granos es más sustentable en el tiempo para obtener la materia prima necesaria.

La producción de maíz durante el período 2004-2015 estuvo alrededor de los 255 millones de toneladas distribuidas en las zonas principales de acuerdo a la tabla 1, mientras que la producción del sorgo estuvo alrededor de los 37 millones.

.Tabla1 Producción de maíz en el período 2004-2015- Comparación Maíz-Sorgo

Zonas	Producción en Toneladas	Porcentaje de participación		MAÍZ	SORGO
<b>Total País</b>	254,389,047		<b>Sembrado (ha)</b>	101%	54%
<b>Córdoba</b>	92026760	36%	<b>cosechado(ha)</b>	98%	39%
<b>Provincia de Buenos Aires</b>	82514610	32%	<b>Producción (tn)</b>	126%	43%
<b>Santa Fe</b>	39362545	15%	<b>Rendimiento (Kg/ha)</b>	14%	3%
<b>Entre Ríos</b>	14673570	6%			

Fuente: Ministerio de Agroindustria de la Nación Argentina (MAGyP)(4)

Observar la tabla nos demuestra que hay suficiente materia prima para la obtención del bioetanol lignocelulósico. Como el maíz a crecido mucho más que el sorgo, y su rendimiento ha mejorado mucho más que el del sorgo, el trabajo se centra en el análisis del rastrojo del maíz.

## 2- Parte analítica

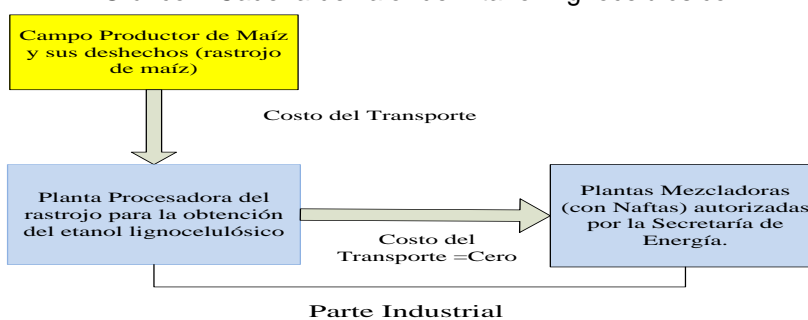
### 2-1 **Análisis de costos del etanol lignocelulósico en Argentina**

Para realizar un análisis detallado del costo de producción del etanol lignocelulósico a través del rastrojo de maíz, en nuestro país no hay experiencia en el mismo, y para soslayar estas dificultades, se buscaron datos que se asemejen al trabajo de recoger y transportar rastrojo de maíz a la planta procesadora.

Para dar lugar a las recomendaciones de NREL(5), se realiza la hipótesis de ubicar la planta procesadora cercana a las plantas mezcladoras autorizadas por la Secretaría de Energía de la Nación; y así plantear un Joint Venture con los integrantes de la cadena de valor, y así obtener un ahorro en la logística, considerando que en nuestro país la misma tiene una incidencia elevada.

La cadena de valor del bioetanol queda esquematizada según el gráfico siguiente:

Gráfico 2 Cadena de valor del Etanol Lignocelulósico



Fuente: Elaboración Propia

### 2-2 **Estimación del costo de la materia prima (rastrojo de maíz) en puerta de campo**

Como no se ha realizado un trabajo de muestreo, se llega a un valor hipotético realizando las siguientes consideraciones, desde el punto de vista del productor del grano.

El productor debe:

- ❖ Recuperar un porcentaje de los gastos incurridos en los nutrientes e insumos que efectuó en la siembra/cosecha;
- ❖ Calcular los costos de enfardado del rastrojo;
- ❖ Calcular el costo de transporte para entregar el rastrojo a la planta procesadora.

### 2-2-1 Estimación del costo de la materia prima (rastrojo de maíz) en puerta de campo

Para determinar los procedimientos y costos de confección de rollos de rastrosos se toman las experiencias de confección de rollos de pastura asumiendo que cada rollo pesa 450Kg, considerándose los valores expresados en la publicación “Cuantificación y uso de Biomasa de residuos de cultivos en Argentina para bioenergía” (6) Los pasos para confeccionar los rollos de rastrosos son: Preparación del rastrosos, corte, hilerado, enrollado.

a) Costos de enfardado de rastrosos= 25,17 U\$S/ rollo.

### 2-2-2 Costo de nutrientes

Para realizar el cálculo de éste costo se adquieren de los valores referenciales del informe INTA presentado en “Resultados Económicos del Maíz. Campaña 2014/15 (7)

En relación al uso agrícola de los suelos en Argentina, se puede pensar que los nutrientes extraídos por la producción del grano pueden ser repuestos principalmente por los fertilizantes, y la otra parte aportados por el suelo.

Se considera que la planta de maíz está compuesta por un 50% en grano y el 50% restante la componen el rastrosos, un porcentaje de éste queda en el suelo y otro porcentaje es extraído, con sus respectivos porcentajes de nutrientes.

Subsiguientemente, en base a lo expresado, los costos de reposición de nutrientes los podemos distribuir en un 75% por reposición del grano, y el otro 25% restante por reposición de extracción del rastrosos.

b) Recuperación de pérdidas de nutrientes = 17.75U\$S/ha

### 2-2-3 Análisis del costo del transporte

Se considera la cosecha de maíz, dentro de las provincias que poseen plantas mezcladoras autorizadas por la Secretaría de Energía de la Nación.

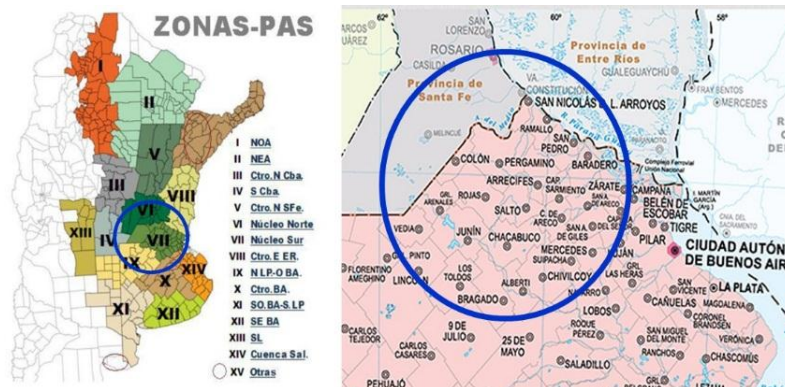
Tabla 2 Producción de maíz en provincias con plantas mezcladoras

PROVINCIA	PRODUCCIÓN EN TN COSECHA 2014-2015	PLANTAS MEZCLADORAS AUTORIZADAS POR LA S.E.
CÓRDOBA	11.667.100	1
BUENOS AIRES	8.893.434	11
SANTA FE	4.370.455	5
CHACO	577.060	2
TUCUMÁN	286.270	1

Fuente: Secretaría de Energía de la Nación y Ministerio de Agroindustria.

La tabla nos permite analizar en función de la producción del grano y las ubicaciones de las plantas mezcladoras autorizadas, cual es el lugar más conveniente de establecer la planta procesadora, considerando que el costo del transporte/logística en nuestro país es muy alto.

La Bolsa de Cereales de Buenos Aires ha diferenciado quince zonas PAS (Panorama Agrícola Semanal), de las cuales este trabajo analizó la Zona VII Núcleo Sur para determinar el costo del transporte expresado en U\$S/tn transportada, dado que en la ciudad de Junin se encuentran dos plantas mezcladoras, y la Provincia de Buenos Aires es la segunda productora del grano en el país.



Fuente: Elaboración propia.

En la Zona VII Núcleo Sur se han considerado solamente aquellas localidades que se encuentran en un radio de la distancia recomendada (80 km). Así, las localidades analizadas son Bragado, Chacabuco, Arenales, Junín, L. N. Alem, Pergamino, Rojas y Salto.

El costos de transporte se consideró por Km/Tn transportada (8), además se tomó en cuenta 30 Km para movimientos internos desde el campo hacia el centro de distribución de cada localidad.

c) Costo del transporte a planta mezcladora : 20,83U\$/tn

La suma de los tres componentes(a+b+c) nos da el Costo Total puesto en la Industria = 279U\$/ha

### 2.3 **Análisis del Precio del Bioetanol Lignocelulósico**

La misma dificultad que ya se comentó para determinar el costo del etanol lignocelulósico existe para determinar el precio mínimo de venta de este biocombustible; los precios publicados no desagregan su procedencia.

Por tal motivo, este trabajo busca, a través de la relación de precios de las dos materias primas primarias, petróleo y maíz, encontrar un parámetro hasta qué valores debe llegar el precio del petróleo y el precio de la tonelada de maíz para incentivar a la producción del bioetanol lignocelulósico en nuestro país.

#### 2-3-1 **Análisis de los precios de las materias primas: Precio del Petróleo-Tonelada de Maíz**

La tabla publicada por el Index Mundi (9) nos permite realizar una proyección para poder encontrar una relación óptima entre litros de petróleo y litros de etanol equivalentes a tonelada de maíz.

Entonces, para encontrar un valor de precio mínimo de venta se ha empleado un método de simulación de valores proyectados: El Método de Montecarlo, aplicando la herramienta Minitab (10)

#### 2-3-2 **Aplicación del método**

Se toman, como muestra, los valores del Precio del Petróleo Crudo Brent y Precio de la Tonelada de Maíz, extraídas del Index Mundi, y se realiza una simulación tomando 100.000 valores aleatorios para cada variable utilizando una distribución triangular y las cotas mínima, máxima y el valor del modo. Se toma, como ecuación de transferencia, el cociente Precio Petróleo Crudo Brent/Precio Tonelada de Maíz.

#### 2-3-2-1 **Simulación de escenarios con datos de la simulación Montecarlo**

Con la distribución triangular aplicada se trabaja con los extremos de los triángulos, se los utiliza con el fin de establecer dos escenarios posibles para la obtención de un precio mínimo de venta del etanol.

Tabla 3: Valores extremos: valores del Petróleo y Tonelada de Maíz

	Precio del Barril de Petróleo expresados en U\$/barril	Precio de la Tonelada de Maíz expresado en U\$/tn
Máximo	133.85	331.85
Mínimo	38.08	103.04

Fuente: Elaboración propia.

Escenario 1: Se plantea el objetivo de analizar qué rentabilidad se obtendría tomando los datos de mínimo valor del barril del Petróleo, expresado en U\$/barril, y el máximo valor de la tonelada de Maíz, expresado en U\$/tn.

Tabla 4: Equivalencias de la tonelada de Maíz y el barril de Petróleo a litros

Escenario 1			
Precio Mínimo de Venta del Etanol	0.85 U\$/lt	Precio Equivalente de Petróleo	0.24U\$/lt

Fuente: Elaboración propia.

Escenario 2: Para este escenario se toma el máximo valor del barril del Petróleo expresado en U\$/barril, y el mínimo valor de la tonelada de Maíz expresado en U\$/tn.

Tabla 5 Equivalencias de la tonelada de Maíz y el barril de Petróleo a litros para el escenario 2

Escenario 2			
Precio Mínimo de Venta del Etanol	0.27 U\$/lt	Precio Equivalente de Petróleo	0.84 U\$/lt

Fuente: Elaboración propia.



### 2-3-2-2 Consecuencia de los escenarios

El análisis nos da elementos para expresar que el escenario 1 es el más aconsejable. Pero nos encontramos con el inconveniente que este escenario no cumple con las recomendaciones para producirlo, dado que el precio del petróleo considerado está por debajo del precio del etanol.

El escenario 2 cumple con la condición que el precio del litro de petróleo está por encima del precio del etanol, pero el precio de la tonelada de maíz es bajo para incentivar la cosecha del grano y, en consecuencia, no incentiva la producción del bioetanol.

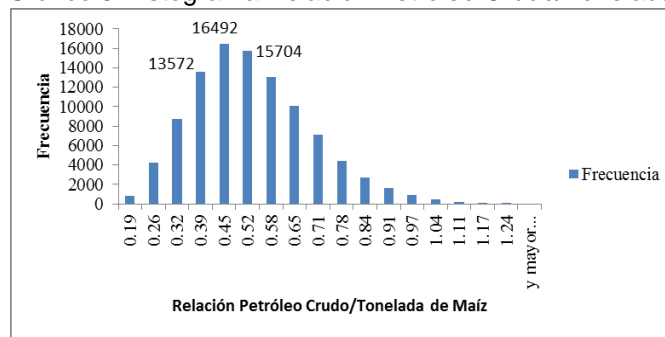
Estos nos llevan a plantear un tercer escenario para encontrar una relación óptima entre el valor del petróleo y tn de maíz, con el fin de alcanzar un precio mínimo de venta del biocombustible, que llegue a ser competitivo, sustentable en el tiempo, y obtener una rentabilidad positiva.

Con el histograma, realizamos un análisis complementario con una distribución normal; con ello logramos los datos estadísticos descriptivos y, por último, se realiza una prueba de hipótesis para construir el escenario 3.

### 2-4 Planteamiento de un nuevo escenario

Con los datos de la simulación se incorpora al programa y el resultado obtenido construye los valores con mayor frecuencia y su gráfico correspondiente.

Gráfico 3 Histograma Relación Petróleo Crudo/Tonelada de Maíz



Fuente: Elaboración propia según datos de la simulación de Montecarlo.

Este histograma nos indica que el valor de 0.45 es la relación entre las dos materias primas que demuestra mayor frecuencia.

#### 2-4-1 Análisis complementario

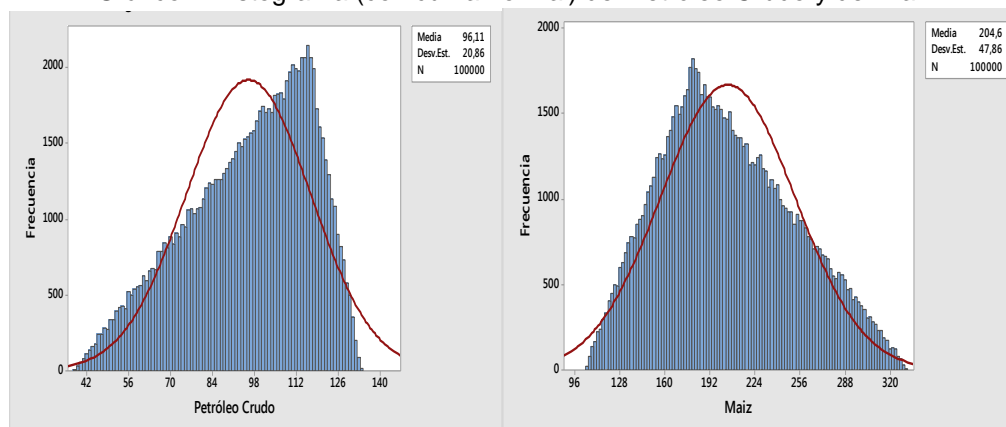
Es necesario realizar un ajuste a los valores obtenidos de las frecuencias halladas para el petróleo, el maíz y la relación entre ambos, con una distribución normal para acotar más los valores.

##### 2-4-1-1 Análisis complementario del Petróleo Crudo

Con todos los datos de la muestra (100.000) se ajustan los precios del barril de petróleo y la tonelada de maíz de acuerdo a la frecuencia que presenta el histograma.

Para el caso del petróleo, los precios con mayores frecuencias han oscilado entre los 111,31 a 122,58 U\$S/ barril. Se realiza un ajuste de los valores en función de la frecuencia de los mismos, aplicando una distribución normal:

Gráfico 4 Histograma (con curva normal) del Petróleo Crudo y del Maíz



Fuente: Elaboración propia.

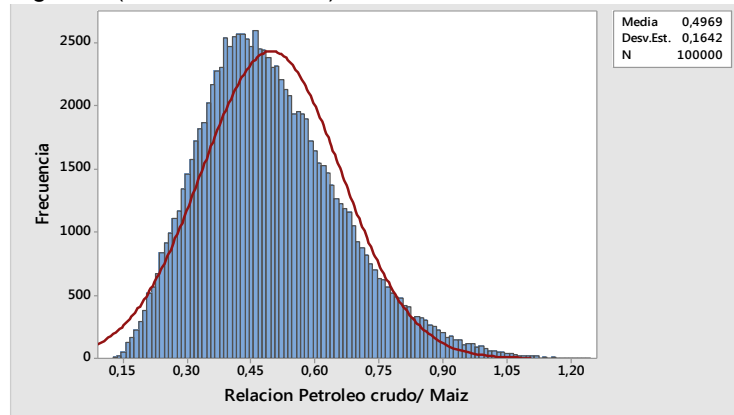
Para el caso del maíz se aplica el mismo concepto, se ajustan los precios de la tonelada de maíz que en el histograma demostró que oscilan entre 170,34 a 197,26 U\$/tn.

### 2-4-1-2 Análisis complementario de la relación Petróleo Crudo/Maíz

Análogamente, se aplica el mismo concepto que en el punto anterior, pero en este caso se toma la relación de petróleo crudo/tonelada de maíz. El histograma demostró que la relación oscila entre los valores de 0,39 a 0,52.

A estos datos se le aplica una distribución normal y se obtiene el siguiente gráfico:

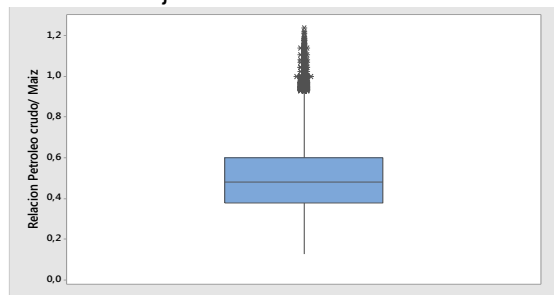
Gráfico 5: Histograma (con curva normal) de la relación Petróleo Crudo/Tonelada de maíz



Fuente: Elaboración propia.

Se analiza la distribución normal, a través de la gráfica de caja para la relación entre las dos materias primas:

Gráfica 6: Gráfica de Caja Relación Petróleo Crudo/Tonelada de Maíz



Fuente: Elaboración propia.

El gráfico de Box Plot nos está demostrando que en el primer cuartil  $Q_1$  los valores de la relación entre las materias primas se encuentran en 0,39 representando el 25% de la muestra; el segundo cuartil  $Q_2$  representa el 50% de la variable y se encuentra dentro de los valores de 0,49; y el tercer cuartil  $Q_3$  representa el 75% de los valores de la muestra, cuyo valor se encuentra en 0,58.

### 2-4-1-3 Datos estadísticos descriptivos

Se construyen los datos estadísticos descriptivos relacionando las variables Petróleo Crudo-Maíz-Relación entre Petróleo Crudo/Tonelada de Maíz.

Tabla 6 Datos estadísticos descriptivos: Petróleo Crudo-Maíz-Relación Petróleo Crudo/Maíz

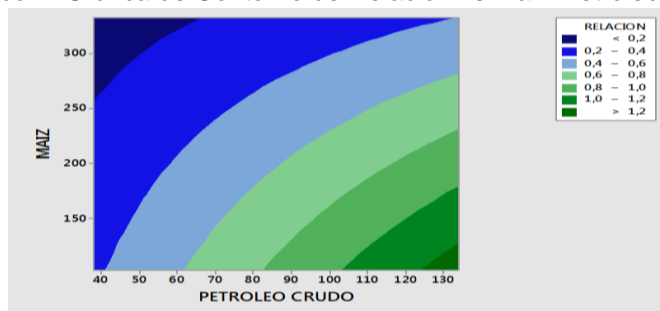
Variable	Mínimo	Q1	Media	Desviación Estándar	Variable	Mediana	Q3	Máximo	Desviación Estándar
Petróleo Crudo	38,076	81,444	96,115	20,864	Petróleo Crudo	99,412	113,11	133,847	92,382
Maíz	103,04	168,75	204,64	47,86	Maíz	199,51	331,85	331,85	179,166
Relación Petróleo Crudo/Tonelada de Maíz	0,12730	0,37823	0,49694	0,16420	Relación Petróleo Crudo/Tonelada de Maíz	0,47813	0,59792	1,23	

Fuente: Elaboración propia.



#### 2-4-1-4-Prueba de hipótesis- Diseño Factorial Completo-Gráfico de Contorno

Gráfico 7: Gráfica de Contorno de Relación vs Maíz-Petróleo Crudo



Fuente: Elaboración propia.

A partir de las consideraciones realizadas con el gráfico de cubos (medias ajustadas) de relación, y con el gráfico de contorno, podemos determinar que las zonas más alentadoras para la producción del bioetanol se logran en la relación de materias primas que se encuentra entre ■ 0,2-0,4 ■ 0,4-0,6 ■ 0,6-0,8.

#### 2-4-1-5 Estimación del precio óptimo del bioetanol lignocelulósico

El análisis estadístico complementario realizado nos permite tener una visión entre cuáles valores se deben cotizar las dos materias primas y la relación entre ellas para obtener un precio mínimo de venta del etanol lignocelulósico, y a su vez, que represente una rentabilidad para los productores y plantas transformadoras.

Tabla 8: Resumen de los valores que hacen rentable la producción del bioetanol lignocelulósico

	Media	Mediana	Máximo	25% de la muestra	75% de la muestra
<b>Petróleo</b>	96	99	134	81	113
<b>Maíz</b>	205	199	332	169	332
<b>Relación Barril de Petróleo/Tonelada de Maíz</b>	0,60	0,50	0,80	0,37	0,59

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del análisis complementario.

#### 2-4-1-6 Construcción del Escenario 3

Para construir el escenario 3 se trabaja con los valores de la mediana, que toma un valor de relación de 0,48, obtenidos de los datos estadísticos descriptivos, donde la tonelada de maíz toma el valor de 199,51 U\$\$/tn, y la mediana del barril de petróleo adquiere el valor de 99,412 U\$\$/barril. El escenario sería el siguiente:

Tabla 7: Precios de las Materias Primas y sus relaciones, según datos estadísticos descriptivos

	Datos Estadísticos Descriptivos		Datos Estadísticos Descriptivos
Precio del Barril de Petróleo en U\$\$/barril	99.412	Precio del Litro de Petróleo en U\$\$/lt	0.62
Precio de la Tn de Maíz en U\$\$/tn	199.51	Precio del Litro de Etanol en U\$\$/lt	0.51
Relación Petróleo/Maíz	0.48	Relación Petróleo/maíz	0.48

Fuente: Elaboración propia según datos estadísticos descriptivos.

A prima facie, el escenario es alentador desde los dos puntos de vista: el valor del litro de petróleo es mayor que el litro de etanol, y el valor que se cotizaría la tonelada de maíz también favorece al productor, ya sea para cosechar el grano, como para producir bioetanol de segunda generación.

El escenario 3 cumple con las condiciones que se proyectan: aumento del barril del petróleo, acomodamiento del valor de la tonelada de maíz.

### 3- Resultados

Con los datos obtenidos en cada escenario, se construye la tabla “Costos y Márgenes” para analizar la rentabilidad económica que puede llegar a obtener el complejo productivo.

La tabla 8 está conformada en tres bloques principales: costos en el campo, ingresos y márgenes. Los datos para construir el bloque “Costos en el campo”, se calculó los costos de materia prima, pérdidas de nutrientes y costos de transporte.

En la columna “Rastrojo de maíz seco”, los valores de rollos/ha se establecen los valores que oscilan entre 350 a 450 Kg/rollo, y se realizó los cálculos de rastrojo seco que se puede retirar del campo sin perjudicar la salubridad del suelo.

En el bloque “Ingresos” los factores de conversión para el rastrojo de maíz se calcula que por cada tonelada de rastrojo seco se obtendrán 268 lts de etanol lignocelulósico. Y el valor del Etanol, se obtiene de los datos calculados con la simulación de Monte Carlo.

El bloque “Márgenes” es la diferencia entre ingresos menos egresos. Los costos que se han tenido en cuenta corresponde al año 2015, y actualizados al año 2016.

Tabla 8: Costos y Márgenes por Hectárea

		EN U\$S/ha				
		MAIZ GRANO SECO	RASTROJO MAIZ SECO	U\$S/rollo	U\$S/tn	U\$S/litro
	RINDE ESTIMADO PROMEDIO 2003-2014 EN ESTADO SECO	tn/ha				
	rollo	kg/roll				
	rollos/ha					
<b>COSTOS</b>						
Costos en el campo	Costos de implantacion					
	Costo oportunidad de la tierra					
	Gastos de Cosecha					
	Gastos de flete-secada y comisiones					
	Costo pérdida de nutrientes					
	Costos enrollado rastrojo	U\$S/rollo				
	<b>total costos en el campo</b>					
	Costos de transporte (promedio z)	U\$S/tn				
	<b>TOTAL DE COSTOS (puesto en la industria)</b>					
<b>INGRESOS</b>						
Ingresos	Factor de conversión a Etanol	litros/tn				
	Total de litros de Etanol producidos	lts				
	Valor del Etanol (según Simulación)	U\$S/lts				
	<b>Ingresos</b>					
<b>MARGEN</b>						
	Ingresos - Costos	U\$S/ha				

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9: Márgenes de Utilidad considerando simulación Monte Carlo-Costos 2016

	Rendimiento Tn/ha	Precio de Venta según Montecarlo U\$S/lts	INGRESOS U\$S/ha	MARGEN U\$S/ha	Margen U\$S/tn	Margen U\$S/litro	Porcentaje de Utilidad en U\$S/lt
Año 2016 Escenario 1	Promedio	0.85	774.52	532.44	156.60	0.58	220%
	Máximo		851.97	586.78	156.89	0.59	221%
	Mínimo		713.01	489.28	156.32	0.58	219%
Año 2016 Escenario 2	Promedio	0.27	246.02	3.94	1.16	0.00	2%
	Máximo		270.63	5.44	1.45	0.01	2%
	Mínimo		226.49	2.75	0.88	0.00	1%
Año 2016 Escenario 3	Promedio	0.51	464.71	222.63	65.48	0.24	92%
	Máximo		511	245.99	65.77	0.25	93%
	Mínimo		427.81	204.08	65.20	0.24	91%

Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de la Simulación de Monte Carlo.

De acuerdo a los cálculos realizados y resumido en la Tabla 9, se puede observar que en todos los escenarios los márgenes son alentadores, pero estos altos rendimientos hay que tener en cuenta que no se ha tenido en cuenta el proceso de transformación.

#### 4- CONCLUSIONES

Durante mucho tiempo, los problemas que afectaban al mundo tenían un eje común y estaban interrelacionados entre sí: la energía, los alimentos y el cambio climático.

La experiencia de los años anteriores demuestra que en la planificación de la energía y de los alimentos que han desarrollado los países no existía una interrelación sino todo lo contrario, y en muchas oportunidades se han creado barreras entre las mismas. Esta visión no integrada de los países en planificar y gestionar los recursos ha traído, como consecuencia, un problema directo a la población, debido a que si hay escasez de un elemento puede causar directamente la carencia de producción del otro.

Todos estos factores han hecho que los especialistas del mundo en energías, alimentación y densidad poblacional conformaran una sinergia entre ellos considerando al problema como un vector denominado vector del desarrollo, para mitigar las problemáticas que aquejan al mundo: matriz energética, medio ambiente, alimentación y sustitución de combustibles fósiles.

Al haber realizado el análisis de este vector, se demuestra que hay varios factores que entran en juego con el fin de determinar la problemática en forma conjunta que afronta hoy en día el mundo, para lograr que los países puedan desarrollarse sustentablemente.

Este trabajo se centró en la investigación del etanol lignocelulósico, considerando dos ejes fundamentales: no seguir creando conflictos con los intereses de la alimentación y analizarlo como elemento sustituto de las naftas, dado que, según las proyecciones para nuestro país, el consumo de naftas tendrá un crecimiento mayor al 100 % para el año 2025.

Se ha demostrado que Argentina es muy dependiente de las energías no renovables, ya que se necesita importar petróleo para abastecer la demanda actual; el crecimiento proyectado del consumo de naftas hace necesario analizar la posibilidad de obtener etanol lignocelulósico, para las mezclas y así disminuir la importación de petróleo, hecho que favorecerá a la economía del país, a la eficiencia energética, y posibilitará la diversificación de la matriz energética. Todo esto contribuirá al cumplimiento en mejorar el medio ambiente, según los compromisos firmados por nuestro país.

El estudio exploratorio acerca de la factibilidad económica de obtener etanol a través del rastrojo de maíz, se ha demostrado nuestra fortaleza con respecto a la producción del grano, con su respectivo rastrojo.

Se trabajó con datos de producción de maíz, acotándolo a la zona denominada Zona VII, por el motivo que esta zona se encuentra la localidad de Junín, la cual posee planta mezcladora en la actualidad; también cumple con la recomendación que dicha planta se encuentre dentro de un radio óptimo de la puerta de campo.

Se han respetado los conceptos para mantener la salubridad del suelo; así, para los cálculos realizados del total de rastrojo producido sólo se retira el 50%.

En relación al costo del transporte, la cantidad de rastrojo retirado y los costos de reposición de nutrientes se llegó a un costo del rastrojo puesta en puerta de campo.

Para determinar un precio mínimo de venta se utilizó la relación de precios de las materias primas maíz y petróleo. Las herramientas estadísticas, como la simulación de Montecarlo, con distribución normal, ajustando los valores con análisis complementarios y prueba de hipótesis, fueron empleadas para obtener un valor de referencia.

Se trabajó con tres escenarios posibles, y el escenario más alentador para la producción del bioetanol lignocelulósico encontró que el precio mínimo de venta debería estar dentro del rango de los 0,51 U\$/lts, con un porcentaje de utilidad del orden del 92%, con costos referidos al año 2016.

Se puede establecer que la rentabilidad de la obtención del biocombustible de segunda generación depende, principalmente, del Precio de la Tonelada de Maíz, en un segundo plano, pero no por ello menos importante, del Precio del Barril de Petróleo y la relación existente entre las dos materias primas

Nuestro país cuenta con ventaja comparativa natural, abundancia de recursos, tierras ricas para la producción agrícola, mano de obra calificada, mucho potencial para la innovación. Todas estas virtudes nos permiten pensar en una planificación sostenible a largo plazo para la obtención de bioetanol de segunda generación.

Por último, por ser un estudio exploratorio, el cual intentó mostrar, en forma preliminar, la factibilidad económica de obtención de etanol de segunda generación en nuestro país, con los resultados obtenidos se puede asumir que es factible producir bioetanol procedente del rastrojo de maíz.

## Bibliografía

- (1) NACIONES UNIDAS [en línea]. New York: World Population Prospects: The 2015 Revision [fecha de consulta: 3 febrero 2016].
- (2) BANCO MUNDIAL [en línea]. Argentina: Datos Energía y Minería [fecha de consulta: 3 febrero 2016]. Disponible en: [http://datos.bancomundial.org/tema/energia-y-mineria?cid=EXT\\_BoletinES\\_W\\_EXT](http://datos.bancomundial.org/tema/energia-y-mineria?cid=EXT_BoletinES_W_EXT)
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY [en línea]. Estadísticas de la AIE © OCDE/AIE [fecha de consulta: 4 febrero 2016]. Disponible en: <http://www.iea.org/statistics/>
- (3) REPÚBLICA ARGENTINA SECRETARÍA DE ENERGÍA [en línea]. Balance Energético Nacional [fecha de consulta: 4 febrero 2016]. Disponible en: [http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion\\_del\\_mercado/publicaciones/energia\\_en\\_gral/balancesenergeticos2007/Texto/BEN.pdf](http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/publicaciones/energia_en_gral/balancesenergeticos2007/Texto/BEN.pdf)
- (4) DATOS DE LA DIRECCIÓN DE INFORMACIÓN AGRÍCOLA Y FORESTAL [en línea], Argentina [fecha de consulta: 12 marzo 2016]. Disponible en: [http://www.siiia.gob.ar/sst\\_pcias/estima/estima.php](http://www.siiia.gob.ar/sst_pcias/estima/estima.php)
- (5) NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, en español, Laboratorio Nacional de Energía Renovable [en línea]. Departamento de Energía, EEUU [fecha de consulta: 2 enero 2016]. Disponible en: <http://www.nrel.gov/>
- (6) MENÉNDEZ, JULIO E.; HILBERT, J. A. 2013. *Cuantificación y uso de Biomasa de residuos de cultivos en Argentina para bioenergía*, Buenos Aires: INTA. Disponible en: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-cuantificacion\\_y\\_uso\\_de\\_biomasa\\_de\\_residuos\\_de\\_c.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-cuantificacion_y_uso_de_biomasa_de_residuos_de_c.pdf)
- (7) GHIDA DAZA, C. [en línea], *op. cit.*
- (8) CONFEDERACIÓN ARGENTINA DEL TRANSPORTE AUTOMOTOR DE CARGAS – CATAC [en línea]. Argentina [fecha de consulta: 3 abril 2016]. Disponible en: <http://www.catac.org.ar/tarifas.aspx>
- (9) INDEX MUNDI [en línea]. Índices de precios [fecha de consulta: 3 enero 2016]. Disponible en: <http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=petroleo-crudo-brent&meses=120&mercancia=maiz>
- (10) MINITAB [en línea]. 2016. Minitab Statistical Software. Disponible en: <https://www.minitab.com/es-mx/>

## Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, por su esfuerzo y el apoyo a los docentes para mejorar nuestro nivel personal y a través de ello mejorar el nivel académico de la Facultad, teniendo al Sr. Decano Dr. Ing. Oscar Manuel Pascal como impulsor principal.

A los Doctores Ingeniero Amílcar Arzubí, Luis Bertoia por sus aportes y sugerencias para la elaboración de este trabajo.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería de la UNLZ que forman parte del Instituto de Investigaciones de Tecnología y Educación, y al Instituto Tecnológico para la Calidad por sus aportes para la conformación del presente trabajo.