



Universidad Nacional de Lomas de Zamora

Facultad de Ingeniería

***ANALIZAR LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA
PRODUCCIÓN DE ETANOL UTILIZANDO COMO
MATERIA PRIMA EL RASTROJO DE MAÍZ Y SORGO***

***Tesis para optar al grado de Magíster en Producción e
Industrialización de Cereales y Oleaginosas***

Maestrando: Especialista Ing. ADALBERTO MARIO ASCURRA

Director: Dr. AMÍLCAR ARZUBI

Lomas de Zamora, diciembre de 2016



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

AGRADECIMIENTOS

Durante estos últimos años que han sido de gran esfuerzo para mí, para poder llegar a elaborar esta tesis, debo agradecer a muchísimas personas por su apoyo.

En primer lugar, 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 Dres. Ricardo Amé y César López por haber impulsado y defendido la necesidad que nuestra Universidad dicte una maestría de este tenor, en función de las necesidades del país.

A mi director de tesis, el Dr. Amilcar Arzubi, y al Dr. Luis Bertoia por sus aportes y sugerencias para la elaboración de la presente tesis.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería que forman parte del Instituto de Investigaciones de Tecnología y Educación por sus contribuciones y cooperaciones para la conformación del presente trabajo, y al Instituto Tecnológico para la Calidad, a través de la Mg. Paula Penco por su colaboración en el área de la redacción.

Y, por último, pero no menos importante, a mi esposa e hija que han aceptado que no compartiera con ellas determinados momentos en pos de la elaboración de mi trabajo final y crecimiento profesional.



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.

De acuerdo a los estudios realizados por organismos internacionales, Argentina tiene zonas con superávit potencial de biomasa energética y, desde el punto de vista agronómico, 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.

La presente tesis 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 10 años, un aumento consecutivo de cosecha, y además un 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, desde el punto de vista del productor y de la planta procesadora, aplicando el criterio de formar complejos productivos o joint venture.

Los resultados obtenidos demuestran la existencia de una utilidad bruta para los integrantes del 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 en el presente trabajo están orientadas desde el punto de vista económico, sin entrar en el análisis de los procesos productivos y sin considerar inversión inicial.

Finalmente, los resultados de este trabajo permiten determinar algunos aspectos clave que orientan un análisis de factibilidad técnica para la obtención de biocombustibles con vistas a un corto y mediano plazo.



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.

According to some 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 thesis 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.

From a standpoint of the producer and the processing plant, 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 Montecarlo 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.

Summing up, the results of this work will allow us to identify some key aspects that guide a technical viability analysis to obtain biofuels with a view to short and medium term.



ÍNDICE TEMÁTICO

CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN	1
1-1 JUSTIFICACIÓN	1
1-2 OBJETIVO GENERAL.....	4
1-2-1 <i>Objetivos Específicos</i>	4
1-3 METODOLOGÍA	5
1-4 ALCANCES	5
CAPÍTULO 2 - CONSUMO ENERGÉTICO	8
2-1 CONTEXTO MUNDIAL	8
2-2 EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO	15
2-3 MATRIZ ENERGÉTICA ARGENTINA.....	15
2-3-1 <i>Oferta Total Primaria</i>	19
2-3-2 <i>Oferta Interna Primaria</i>	24
2-3-3 <i>Energía Secundaria</i>	27
2-3-3-1 <i>Oferta Total Secundaria</i>	27
2-3-3-2 <i>Oferta Interna Secundaria</i>	30
2-3-3-3 <i>Consumo</i>	33
2-3-3-3-1 <i>Consumo Sector Residencial</i>	36
2-3-3-3-2 <i>Consumo Sector Comercial y Público</i>	36
2-3-3-3-3 <i>Consumo Sector Transporte</i>	36
2-3-3-3-4 <i>Consumo Sector Agropecuario</i>	36
2-3-3-3-5 <i>Consumo Sector Industrial</i>	36
2-4 RESERVAS	37
CAPÍTULO 3 - SEGURIDAD ENERGÉTICA	39
3-1 CONSIDERACIONES GENERALES.....	39
3-2 EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	40
3-3 INTENSIDAD ENERGÉTICA	41
3-4 INDICADORES ENERGÉTICOS	41
3-5 EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA.....	43
CAPÍTULO 4 - BIOCOMBUSTIBLES	46
4-1 BIOCOMBUSTIBLES EN EL MUNDO	46
4-2 BIOMASA.....	47
4-3 BIOCOMBUSTIBLES	48
4-4 BIOCOMBUSTIBLES EN LA ARGENTINA	51
4-5 CARACTERÍSTICAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES	52



CAPÍTULO 5 - PRODUCCIÓN, CONSUMO Y TENDENCIA DEL BIOETANOL...	54
5-1 PRODUCCIÓN Y CONSUMO MUNDIAL.....	54
5-1-1 Unión Europea	54
5-2 AMÉRICA LATINA	58
5-3 PANORAMA EN ARGENTINA	61
5-4 MARCO LEGAL EN ARGENTINA	66
5-5 LEYES-REGULACIONES.....	66
5-5-1 Precio del bioetanol de acuerdo a lo establecido por la Secretaría de Energía de la Nación, según la Resolución 44/2014, Modificada el 16/9/2014.....	67
5-6 BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN	68
5-7 IMPACTO SOCIAL-INSTITUCIONAL.....	69
CAPÍTULO 6 - PRODUCCIÓN DE BIOETANOL.....	71
6-1 PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE PRIMERA GENERACIÓN.....	71
6-2 CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DEL ETANOL	71
6-3 BIOMASA LIGNOCELULÓSICA.....	72
6-4 CONVENIENCIAS DE OBTENER BIOETANOL A TRAVÉS DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS	73
6-5 PRODUCCIÓN DE BIOETANOL LIGNOCELULÓSICO.....	73
6-6 CASO REFERENCIAL NREL	76
6-7 BIORREFINERÍAS INSTALADAS	78
6-8 SUB-PRODUCTOS	80
CAPÍTULO 7 - LA INDUSTRIA DEL BIOETANOL EN LA ARGENTINA	82
7-1 GENERALIDADES PARA EL ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD DE PRODUCCIÓN DEL BIOETANOL	82
7-2 DISPONIBILIDAD DE LA MATERIA PRIMA EN ARGENTINA.....	83
7-3 ÍNDICE DE COSECHA	84
7-4 CANTIDAD DE RASTROJO A RETIRAR DEL CAMPO.....	87
CAPÍTULO 8 - ANÁLISIS DE DATOS ECONÓMICOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL COSTO DEL ETANOL LIGNOCELULÓSICO	90
8-1 ANÁLISIS DE DATOS	90
8-1-1 Cálculo de materia prima para la obtención de bioetanol	92
8-2 ANÁLISIS DE COSTOS DEL ETANOL LIGNOCELULÓSICO EN ARGENTINA	92
8-2-1 Análisis del costo del transporte.....	93
8-2-2 Zonas de donde extraer el rastrojo.....	95
8-2-2-1 Cálculo del costo del transporte.....	97
8-2-3 Estimación del costo de la materia prima (rastrojo de maíz)	98



8-2-3-1 Costo de nutrientes.....	99
8-2-3-2 Costos de rollos de rastrojo.....	101
8-2-4 <i>Cálculo del rendimiento del grano seco</i>	102
8-2-4-1 Cálculo de rastrojo producido.....	102
8.2.4.2 Cálculo de la cantidad de rastrojo seco Tn/ha a retirar.....	103
8-2-4-2-2 Cálculo de costos y márgenes.....	104
8-2-4-2-3 Complejo Productivo.....	106
8-2-5 <i>Análisis de Rentabilidad</i>	110
CAPÍTULO 9 - PRECIOS DEL BIOETANOL.....	113
9-1 CONSIDERACIONES GENERALES.....	113
9-2 RELACIÓN DE PRECIOS ENTRE LA NAFTA Y EL MAÍZ EN LOS ESTADOS UNIDOS.....	113
9-2-1 <i>Precio del etanol a base de caña de azúcar en Brasil</i>	116
9-2-2 <i>Comparaciones de precio del Etanol Argentina-Estados Unidos-Brasil</i>	117
9-3 DATOS COMPARATIVOS DE ETANOL LIGNOCELULÓSICO ARGENTINA-EEUU... ..	120
CAPÍTULO 10 - ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL LIGNOCELULÓSICO.....	123
10-1 CONSIDERACIONES GENERALES.....	123
10-2 VARIABLES A CONSIDERAR PARA CALCULAR EL PRECIO DEL BIOETANOL LIGNOCELULÓSICO.....	123
10-3 ANÁLISIS DE LOS PRECIOS DE LAS MATERIAS PRIMAS: PRECIO DEL PETRÓLEO- TONELADA DE MAÍZ.....	123
10-4 EL MÉTODO MONTECARLO.....	127
10-4-1 <i>Identificar la ecuación de transferencia</i>	128
10-4-2 <i>Definir los parámetros de entrada</i>	128
10-4-3 <i>Crear datos aleatorios</i>	128
10-4-4 <i>Simular y analizar la salida del proceso</i>	128
10-5 APLICACIÓN DEL MÉTODO EN LA TESIS.....	128
10-5-1 <i>Simulación de Montecarlo</i>	131
10-5-2 <i>Simulación de escenarios con datos de la simulación Montecarlo</i>	134
10-5-3 <i>Análisis del Escenario 1</i>	136
10-5-4 <i>Análisis del Escenario 2</i>	137
10-5-5 <i>Consecuencia de los escenarios</i>	137
10-5-6 <i>Planteamiento de un nuevo escenario</i>	139
10-5-6-1 Análisis del Maíz y el Petróleo. Relación barril de petróleo/tonelada de maíz.....	139
10-5-6-1-1 Análisis del barril de petróleo.....	139



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

10-5-6-1-2 Análisis de la tonelada de maíz	140
10-5-6-1-3 Análisis de la relación Barril de Petróleo/Tonelada de Maíz	142
10-6 ANÁLISIS COMPLEMENTARIO	143
10-6-1 Análisis complementario del Petróleo Crudo.....	143
10-6-2 Análisis complementario del Maíz.....	144
10-6-3 Análisis complementario de la relación Petróleo Crudo/Maíz	146
10-6-4 Análisis complementario. Datos estadísticos descriptivos	147
10-6-4-1 Análisis complementario. Prueba de hipótesis.....	148
10-6-4-1-1 Para el Petróleo Crudo.....	148
10-6-4-1-2 Para el Maíz.....	149
10-6-4-1-3 Para la relación Petróleo Crudo/Maíz	149
10-6-4-2 Análisis complementario. Diseño factorial completo	149
10-7 CONSTRUCCIÓN DEL ESCENARIO 3.....	152
10-8 ACTUALIZACIÓN DE DATOS	154
10-9 ACTUALIZACIÓN CON EL MÉTODO MONTECARLO	155
10-10 ESTIMACIÓN DEL PRECIO ÓPTIMO DEL BIOETANOL LIGNOCELULÓSICO.....	157
CONCLUSIONES.....	158
ANEXOS.....	162
ANEXO I - DEFINICIONES DEL BANCO MUNDIAL	162
ANEXO II - OFERTA INTERNA DE ENERGÍAS SECUNDARIAS. PERÍODO 2004-2014	163
ANEXO III - ANÁLISIS DE LA OFERTA TOTAL VS OFERTA INTERNA DE LAS ENERGÍAS SECUNDARIAS	164
ANEXO IV - CONSUMO TOTALES POR AÑO Y POR ENERGÍA	165
ANEXO V - ASPECTOS DESTACABLES DE LA LEY DE BIOCOMBUSTIBLES (LEY N° 26.093) Y LA RESOLUCIÓN 44/2014.....	166
V-1 Ley de Biocombustibles.....	166
V-2 Resolución 44/2014.....	167
ANEXO VI - PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN EL PERÍODO 2004-2015 EN LAS LOCALIDADES EN ESTUDIO	170
ANEXO VII - VALORES DE TN/KM	173
ANEXO VIII - ÍNDICE DE COSECHA.....	174
ANEXO IX - CADENA DE VALOR DEL MAÍZ	175
ANEXO X - PRECIO DEL MAÍZ-PRECIO DEL ETANOL-PRECIO DE LA GASOLINA	176
ANEXO XI - COMPARACIÓN MENSUAL ENTRE LA TASA DE VARIACIÓN EN EL PRECIO DEL PETRÓLEO CRUDO BRENT VS LA TASA DE CAMBIO EN EL PRECIO DEL MAÍZ.....	177



ANEXO XII - MUESTRA DE 100.000 VALORES ALEATORIOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN
MONTECARLO..... 178
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 179

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Proyección del crecimiento de la población mundial. Años 2015-2030-2050-2100.....	10
Tabla 2.2	Consumo total de energía comercializada en el mundo, por región y tipo de combustible 1990-2030 (expresadas en miles de billones de BTU).....	13
Tabla 2.3	Oferta Total de Energía Primaria.....	19
Tabla 2.4	Participación porcentual de cada energía con respecto a la oferta total.....	23
Tabla 2.5	Oferta Interna de Energías Primarias. Período 2004-2014 (Miles de TEP).....	24
Tabla 2.6	Variación de la Oferta Interna y la Oferta Total.....	26
Tabla 2.7	Comportamiento de la Oferta Total de las Energías Secundarias en miles de TEP.....	27
Tabla 2.8	Importación de Energías Secundarias medidas en miles de TEP.....	28
Tabla 2.9	Participación Porcentual de cada energía secundaria importada entre 2004-2014.....	29
Tabla 2.10	Participación Porcentual de la Oferta Interna distribuida por cada energía secundaria en el período 2004-2014.....	31
Tabla 2.11	Reservas de Petróleo y Gas Natural.....	38
Tabla 4.1	Ahorro en GEI de los biocombustibles según la materia prima.....	53
Tabla 5.1	Capacidad de producción de bioetanol en la Comunidad Europea expresada 1000 m ³	54
Tabla 5.2	Perspectiva del mercado biocarburantes. UE 2009-2020 (billones de litros).....	55
Tabla 5.3	Producción de etanol en EEUU y América Latina.....	60



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

Tabla 5.4	Proyección de la producción de bioetanol para el mercado interno....	63
Tabla 5.5	Producción de la caña de azúcar.....	63
Tabla 5.6	Producción de maíz en el período 2004-2015.....	64
Tabla 5.7	Cupos de bioetanol por empresa.....	64
Tabla 5.8	Cupos de bioetanol de plantas de maíz.....	65
Tabla 5.9	Producción de bioetanol 2009-2014 en Argentina.....	65
Tabla 7.1	Producción del maíz durante 2004-2015.....	83
Tabla 7.2	Producción del sorgo durante 2004-2015.....	83
Tabla 7.3	Evolución del crecimiento en la producción de los granos. Período 2004-2015.....	84
Tabla 7.4	Producción de rastrojos de distintos cultivos.....	85
Tabla 7.5	Producción de grano y estimación de la producción rastrojo de maíz. Período 2008-2011.....	86
Tabla 8.1	Elaboración de naftas (expresadas en m ³)	90
Tabla 8.2	Venta de naftas (expresadas en m ³)	90
Tabla 8.3	Datos estadísticos de la producción y venta para el corte en el período 2009-2015.....	91
Tabla 8.4	Porcentajes de bioetanol utilizados para el corte (unidades en m ³).....	91
Tabla 8.5	Producción de maíz en provincias con plantas mezcladoras.....	95
Tabla 8.6	Rendimiento de la producción del maíz, período 2004-2015.....	97
Tabla 8.7	Costo del Transporte.....	98



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

Tabla 8.8	Requerimiento y exportación de nutrientes, base 13% de humedad...	100
Tabla 8.9	Costo del nutriente.....	101
Tabla 8.10	Detalle de los costos parciales para determinar el costo de rollos de rastrojo. La tabla está en función de 1000 fardos.....	101
Tabla 8.11	Costo de los rollos.....	101
Tabla 8.12	Rendimiento del grano seco.....	102
Tabla 8.13	Datos estadísticos del índice de cosecha, período 2004-2015.....	102
Tabla 8.14	Retiro de rastrojo para no afectar la calidad del suelo.....	103
Tabla 8.15	Cálculo Costos y Márgenes por hectárea.....	105
Tabla 8.16	Costos y Márgenes por hectárea (ampliado).....	108
Tabla 8.17	Resumen de Costos y Márgenes para cada rendimiento. Datos comunes para los tres rendimientos.....	109
Tabla 8.18	Márgenes Porcentuales del Rastrojo del Maíz.....	110
Tabla 8.19	Variación porcentual en márgenes brutos.....	111
Tabla 8.20	Relación de márgenes brutos de grano seco y rastrojo seco.....	111
Tabla 8.21	Comparación de márgenes brutos esperados entre maíz-rastrojo de maíz.....	112
Tabla 9.1	Precios en los Estados Unidos. Período 2010-2015.....	113
Tabla 9.2	Comparación de precios del Bioetanol.....	119
Tabla 9.3	Datos comparativos de costos de materia prima más transporte.....	120
Tabla 10.1	Relación Precio del Crudo Brent–Precio del Maíz.....	124



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

Tabla 10.2	Comparación de Precios Litros de Petróleo Crudo vs Litros Equivalentes de Tonelada de Maíz.....	126
Tabla 10.3	Variables consideradas.....	129
Tabla 10.4	Valores extremos: valores del Petróleo y Tonelada de Maíz.....	135
Tabla 10.5	Máximo valor del Maíz. Mínimo valor del Petróleo.....	135
Tabla 10.6	Equivalencias de la tonelada de Maíz y el barril de Petróleo a litros...	135
Tabla 10.7	Mínimo valor de la Tonelada de Maíz-Máximo valor del Petróleo....	136
Tabla 10.8	Equivalencias de la tonelada de Maíz y el barril de Petróleo a litros para el escenario 2.....	136
Tabla 10.9	Resultados obtenidos en el Escenario 1.....	136
Tabla 10.10	Resultados obtenidos en el Escenario 2.....	137
Tabla 10.11	Modelo para histograma.....	139
Tabla 10.12	Análisis del barril de petróleo.....	140
Tabla 10.13	Frecuencia de los precios del barril de petróleo.....	140
Tabla 10.14	Análisis de la tonelada de maíz.....	141
Tabla 10.15	Frecuencia de los precios de la tonelada de maíz.....	141
Tabla 10.16	Análisis de la relación Barril de Petróleo/Tonelada de Maíz.....	142
Tabla 10.17	Frecuencia de la relación Barril de Petróleo/Tonelada de Maíz.....	142
Tabla 10.18	Datos estadísticos descriptivos: Petróleo Crudo-Maíz-Relación Petróleo Crudo/Maíz.....	148
Tabla 10.19	Prueba de hipótesis para el Petróleo Crudo.....	149



Tabla 10.20	Prueba de hipótesis para el Maíz.....	149
Tabla 10.21	Prueba de hipótesis para la relación Petróleo Crudo/Maíz.....	149
Tabla 10.22	Precios de las Materias Primas y sus relaciones, según datos estadísticos descriptivos.....	153
Tabla 10.23	Resultados obtenidos en Escenario 3.....	153
Tabla 10.24	Comparación de Costos considerando los rendimientos promedios de los años 2015-2016.....	155
Tabla 10.25	Márgenes de Utilidad considerando Montecarlo con costos 2016.....	156
Tabla 10.26	Comparación de Porcentajes de Utilidad en U\$/lt año 2015-2016...	156
Tabla 10.27	Resumen de los valores que hacen rentable la producción del bioetanol lignocelulósico.....	157

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1	Panorama de los combustibles hacia el año 2035. Suministro total de energía primaria.....	11
Gráfico 2.2	Panorama de suministro de energías primarias hacia el 2035 por región.....	12
Gráfico 2.3	Proporciones de los combustibles respecto de la disponibilidad mundial de energía primaria en el año 2004.....	13
Gráfico 2.4	Tendencia de emisión de CO ₂ dado por región hacia el año 2035....	15
Gráfico 2.5	Producción Nacional de Energías Primarias.....	20
Gráfico 2.6	Importación de Energía Primaria 2004-2014.....	21
Gráfico 2.7	Oferta Total-Producción Nacional-Importación.....	21
Gráfico 2.8	Comparación de la participación porcentual de las energías primarias en base a la oferta total.....	23
Gráfico 2.9	Participación porcentual de las energías en la oferta interna de energías primarias.....	25



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

Gráfico 2.10	Comparación de Participación Porcentual de energías primarias en la oferta interna.....	26
Gráfico 2.11	Relación porcentual de la Producción Nacional e Importación para Energías Secundarias con respecto a la oferta total.....	29
Gráfico 2.12	Participación Porcentual de la Oferta Interna distribuida por cada energía secundaria en el período 2004-2014.....	31
Gráfico 2.13	Comparación de la participación de las energías secundarias al inicio y final del período considerado (2004 y 2014).....	32
Gráfico 2.14	Evolución de la Oferta Interna - Oferta Total - Energías Secundarias.....	33
Gráfico 2.15	Participación porcentual de cada energía.....	34
Gráfico 2.16	Comparativo de energías expresadas en miles de TEP.....	34
Gráfico 2.17	Comparación de consumos por sectores. Años 2004-2014.....	35
Gráfico 3.1	Evolución de la intensidad energética.....	42
Gráfico 3.2	Consumo Energético del Transporte.....	44
Gráfico 5.1	Desarrollo del mercado mundial de etanol.....	57
Gráfico 5.2	Distribuciones regionales de producción y consumo mundiales de etanol en 2023.....	58
Gráfico 5.3	América Latina y el Caribe. Demanda de energía 2008.....	59
Gráfico 5.4	Perspectiva de la demanda energética en América Latina y el Caribe.....	59
Gráfico 9.1	Variación del precio de la gasolina y el etanol. Período 2010-2015...	114
Gráfico 9.2	Variación del precio del maíz y el etanol. Período 2010-2015.....	114
Gráfico 9.3	Relación maíz con gasolina/etanol.....	115
Gráfico 9.4	Evolución del Precio de Etanol en los Estados Unidos.....	116



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

Gráfico 9.5	Evolución de la producción de etanol anhidro e hidratado en Brasil. Períodos 2008/2009 a 2015/2016.....	116
Gráfico 9.6	Evolución de los precios del Etanol términos nominales (izquierda) y en términos reales (derecha).....	117
Gráfico 10.1	Informe de resumen de Petróleo Crudo Brent (precio U\$\$/barril).....	129
Gráfico 10.2	Informe de resumen de Tonelada de Maíz (precio U\$\$/tonelada).....	130
Gráfico 10.3	Relación de Precios Petróleo Crudo Brent (U\$\$/barril) / Tonelada de Maíz (U\$\$/tn).....	131
Gráfico 10.4	Comportamiento triangular del Precio del Petróleo Crudo Brent expresado en U\$\$/barril.....	132
Gráfico 10.5	Comportamiento triangular del Precio de la Tonelada de Maíz expresado en U\$\$/tn.....	133
Gráfico 10.6	Relación Petróleo Crudo-Tonelada de Maíz.....	134
Gráfico 10.7	Variación del precio del grano de maíz. Período 2012-2015.....	138
Gráfico 10.8	Histograma Precio del Petróleo.....	140
Gráfico 10.9	Histograma Precio de Maíz.....	141
Gráfico 10.10	Histograma Relación Petróleo Crudo/Tonelada de Maíz.....	142
Gráfico 10.11	Histograma (con curva normal) del Petróleo Crudo.....	143
Gráfico 10.12	Gráfica de Caja del Petróleo Crudo.....	144
Gráfico 10.13	Histograma (con curva normal) del Maíz.....	145
Gráfico 10.14	Gráfica de Caja del Maíz.....	145
Gráfico 10.15	Histograma (con curva normal) de la relación Petróleo Crudo/Tonelada de maíz.....	146
Gráfico 10.16	Caja Relación Petróleo Crudo/Tonelada de Maíz.....	147



Gráfico 10.17	Efectos principales para Relación Medias Ajustadas.....	150
Gráfico 10.18	Interacción para Relación Medias Ajustadas.....	150
Gráfico 10.19	Gráfico de Cubos (medias ajustadas) de Relación.....	151
Gráfico 10.20	Gráfica de Contorno de Relación vs Maíz-Petróleo Crudo.....	152

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Estructura General y Principales Flujos Energéticos del Balance Energético Nacional.....	18
Figura 6.1	Diagrama de Alternativas del Proceso de Producción del etanol lignocelulósico.....	75
Figura 6.2	Etapas del proceso de obtención de etanol lignocelulósico.....	76
Figura 8.1	Cadena de valor del Etanol Lignocelulósico.....	93
Figura 8.2	Cadena de valor del Etanol Lignocelulósico.....	94



CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

1-1 Justificación

El problema del consumo energético mundial se viene analizando año tras año debido a los problemas que se generan en los cambios de las matrices energéticas de cada país, como consecuencia del cambio constante de la oferta y la demanda.

Las energías convencionales cada día estarán más caras, ya sea para las empresas como para el consumo familiar, cuyas consecuencias serán, para las familias, el inconveniente de acceder a las energías y, para las empresas, perder competitividad.

Aquellos países que dependan de los combustibles convencionales estarán muy expuestos a las estrategias que decidan implementar los países productores de combustibles fósiles.

En el mundo se está trabajando muchísimo en la conservación de la energía y el desarrollo de fuentes alternativas para bajar la contaminación del medio ambiente provocado por el consumo de combustibles fósiles, ya que los mismos contribuyen al denominado efecto invernadero, principal responsable del calentamiento global.

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.

De hecho, se estima que la demanda de energía crecerá, a nivel mundial, más de un 50% para el año 2025, y los países con mayor poder económico serán los productores de esta demanda.

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.

La necesidad de investigar energías alternativas y renovables puede ser la solución de aquellos países que deban importar petróleo como elemento fundamental para sostener la generación y el consumo energético propio.

Hay diferentes energías renovables; cualquiera de ellas tiene la característica de no contaminar el medio ambiente.



Para el caso de los biocombustibles, poseen grandes ventajas medioambientales, económicas y sociales, y permiten a los países diversificar sus matrices energéticas y así evitar la dependencia de los combustibles fósiles.

Muchas naciones han incluido en sus leyes la obligatoriedad de utilizar biocombustibles dentro de sus fuentes energéticas, alineándose así con el protocolo de Kyoto, Copenhague y Durban, y la última reunión que se celebró en París, en diciembre de 2015, con el compromiso de llegar a bajar las emisiones de gases en un 40% para el año 2030, y en un 60% para el 2040.

Los biocombustibles están en pleno desarrollo y tomando cada día más fuerza; se están realizando grandes esfuerzos en el área de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías para la producción de los mismos. Se piensa que en un futuro no muy lejano podrían sustituir, parcialmente, a los combustibles fósiles, dando solución a los problemas de impacto ambiental y dependencia de ellos.

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 utilizadas son el maíz, trigo, caña de azúcar, sorgo, entre otros. Este biocombustible está dentro de los denominados alcoholes etílicos, que se producen a partir de la fermentación de los azúcares que provienen de la sacarosa, almidón y la celulosa de los productos vegetales.

Es importante apreciar que el etanol es un biocombustible muy demandado por el área del transporte; es usado como complemento de la nafta y en países como Estados Unidos, Alemania y Brasil son utilizados en forma masiva. Hoy en día, los países con mayores regulaciones y producción de bioetanol en el mundo son Brasil, a partir de la caña de azúcar, y Estados Unidos a partir del maíz.

Desde el punto de vista de los motores de combustión interna se utilizan mezclas hasta el 10% de etanol, sin afectar el buen funcionamiento de los mismos, y con un 85% de mezcla para motores modificados (E85), alcanzando inclusive el uso de etanol puro.

El uso de cultivos, como materia prima para la producción del biocombustible, y una demanda en crecimiento, trae consigo una serie de conflictos de precios a nivel mundial. En respuesta a estas problemáticas se está estudiando y desarrollando la



producción de bioetanol de segunda generación, el cual proviene de residuos lignocelulósicos (desechos agrícolas, forestales, municipales, cultivos energéticos, etc.), cuya ventaja es no trasladar conflictos asociados a los precios de los productos alimenticios.

Los estudios que se realizan en los centros de investigación buscan la necesidad de producir biocombustibles a través del concepto de biorrefinería. Este concepto busca poder producir biocombustibles y biomateriales a partir de materiales lignocelulósicos, con lo cual se produciría un gran cambio económico e industrial en el rubro de las fuentes energéticas.

La introducción del concepto de biorrefinería no sólo persigue la obtención de un producto, sino también aprovechar las instalaciones y los procesos para obtener co-productos, y así incentivar al sector y poder lograr mayor rentabilidad. Desde la óptica del medio ambiente, se estarían obteniendo elementos con bajo niveles contaminantes.

Argentina no está ajena a los inconvenientes generados por la falta de energía. Hoy en día es un país muy dependiente de los combustibles fósiles; su crecimiento demográfico y económico de los últimos años ha hecho que las inversiones realizadas en el sector energético fueran insuficientes para abastecer la demanda necesaria.

El gobierno, frente a estos inconvenientes, ha tenido la iniciativa de generar diferentes programas, proyectos y leyes para tratar de atender la falta de energía y trabajar sobre el uso racional de ella.

Apostando a la generación de energía, el Congreso de la Nación aprueba, 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. La ley también se orienta a impulsar el desarrollo regional y la creación de empleo.

En enero de 2008 se aprueba la Ley 26.334, que promueve la producción de bioetanol a partir de caña de azúcar, y así permite participar a los ingenios azucareros en el régimen de promoción de biocombustibles.

Con respecto a la eficiencia energética se ha trabajado con programas como el PRONUREE (Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía) para el mejor aprovechamiento de energía eléctrica; Programa Renovar (Abastecimiento de Energía Eléctrica a partir de fuentes renovables); otros de los programas que se llevaron a cabo a través del Fondo Argentino de Eficiencia Energética (FAEE)



otorgaron a las Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs) una línea de créditos para proyectos de inversión en eficiencia energética.

El uso de energías renovables, el empleo eficiente de la energía, más el fomento de llegar a obtener procesos más limpios y eficientes en la transformación, lograrán la consolidación del uso de las fuentes de energías limpias y será la clave para un futuro energético sostenible.

Aprovechando la riqueza que tiene nuestro país con respecto a biomasa lignocelulósica, el impulso desde el gobierno para aumentar el porcentaje de mezcla de etanol con naftas, las proyecciones publicadas, establecen que nuestro país ampliará considerablemente la demanda de las naftas, y nos lleva a pensar en la necesidad de aumentar nuestra producción de etanol.

Las ventajas que tiene Argentina con respecto a biomasa, la necesidad de ampliar la producción de etanol, da la oportunidad de realizar un estudio de los biocombustibles de segunda generación con el objetivo de aportar conocimientos, y llegar a determinar las ventajas de invertir en el desarrollo de energías renovables.

Esta riqueza 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.

1-2 Objetivo General

Analizar la factibilidad económica de la producción de bioetanol lignocelulósico utilizando el rastrojo de maíz y sorgo como materia prima.

1-2-1 Objetivos Específicos

Se presupone que la contribución de las energías renovables no sólo ayudará a un desarrollo tecnológico más limpio y competitivo, sino también a la economía del país, ampliación de puestos de trabajo, y lograr mejorar el medio ambiente.

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.
- ❖ Explorar y tomar conocimiento de los procesos productivos que concluyen en la obtención del etanol procedente del rastrojo de maíz y sorgo.
- ❖ 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.

1-3 Metodología

El trabajo consiste en una revisión bibliográfica de los estudios realizados en otros países para proyectos de obtención de bioetanol proveniente de biomasa lignocelulósica.

Con la información recabada se analizan y estiman factores intervinientes en la estructura de costos para la recolección y el transporte del material lignocelulósico hacia las plantas procesadoras/mezcladoras.

Luego, con los datos obtenidos y analizados se aplican herramientas para determinar la sensibilidad/riesgo y viabilidad de instalar una planta de bioetanol lignocelulósico en nuestro país.

La herramienta estadística es la simulación de Montecarlo, con distribución normal, y se ajustan los valores con análisis complementarios. Se realiza una prueba de hipótesis, y así se obtienen valores de un precio mínimo de venta del etanol lignocelulósico que incentiven a la inversión de una planta procesadora de bioetanol utilizando como materia prima el rastrojo de maíz.

Una de las herramientas informáticas que se emplea es el Minitab, para crear los datos aleatorios y escenarios. Para esto se utiliza una distribución triangular, con el fin de acotar los extremos de máximos y mínimos a una función de densidad de probabilidad cero.

Por otro lado, se usa la herramienta que nos suministra el software del Matlab para poder realizar el análisis complementario con una distribución normal, y así obtener datos estadísticos descriptivos y, por último, realizar una prueba de hipótesis.

1-4 Alcances

En primera instancia se analiza la matriz energética Argentina con el objetivo de conocer las necesidades de obtener energías renovables, y así poder cumplir con los compromisos firmados por nuestro país para bajar la contaminación del medio ambiente.

Se explora la evolución del bioetanol de primera y segunda generación, a nivel mundial y local, logrando conocer el potencial de cada país para la producción del biocombustible.



Se investiga la disponibilidad de la materia prima (rastrojo) a través de los dos cultivos a analizar, maíz y sorgo en el país, y con ese dato se calcula la cantidad de rastrojo disponible para la producción del bioetanol lignocelulósico, proyectando la sustentabilidad en el tiempo.

Para determinar la cantidad de materia prima disponible se analizan las cosechas durante el período 2004-2015, y se alcanza la información de la zona que posee mayor producción de estos granos. También es necesario conocer los espacios donde se encuentran las plantas mezcladoras autorizadas por la Secretaría de Energía de la Nación, y con esos dos datos fundamentales estimar una posible ubicación de la planta procesadora, considerando el costo de la logística, dato relevante para el análisis, debido a las recomendaciones bibliográficas y la extensión de nuestro territorio.

Con toda la información recopilada se establece un costo estimado de la obtención del bioetanol lignocelulósico, sin considerar los costos de transformación y analizándolo desde la perspectiva del productor de grano, con dos hipótesis fundamentales. La primera es observarlo sólo como generador de materia prima; y la segunda hipótesis, la conveniencia de formar parte de un complejo productivo. Para ambas hipótesis se tiene muy en cuenta la mantenimiento de la salubridad del suelo.

Con el método estadístico Montecarlo se estima un precio mínimo de venta del bioetanol; este valor se introduce en una tabla de costos y márgenes para poder determinar las posibles rentabilidades a través de diferentes escenarios, y así poder predeterminar la conveniencia de una inversión en la producción del bioetanol utilizando, como materia prima, el rastrojo de maíz.

El trabajo no incluye un análisis de los costos de transformación, ni de los diferentes procesos productivos con sus respectivos co-productos. Se enfoca en realizar una búsqueda bibliográfica y de experiencias de otros países con respecto a los diferentes procesos que se están utilizando en la actualidad, y conocer los co-producto que se obtienen de cada proceso productivo.

Los impactos sociales se establecen en forma genérica, es decir, no específica, debido a que el proyecto es exploratorio; aún hay varias etapas para estudiar profundamente y se necesitaría un estudio de campo para poder llegar a una conclusión fehaciente.

Desde el punto de vista ambiental, como no se analizan los procesos productivos no puede definirse cuál tecnología es más factible o aconsejable para nuestro país; en



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

consecuencia, sólo nos quedamos con el concepto que el uso de biocombustible es beneficioso para el ambiente.



CAPÍTULO 2 - CONSUMO ENERGÉTICO

2-1 Contexto Mundial

Las diferentes organizaciones mundiales vienen analizando y siguiendo la evolución del consumo energético año tras año. Sus proyecciones son revisadas debido a problemas que se suscitan desde diferentes puntos de vista, principalmente aquellos cuyas consecuencias se vean reflejadas en la oferta y demanda de energía y, por consecuencia, en el cambio en la matriz energética de cada país.

Los esfuerzos de todos los países están orientados a la conservación de la energía y el desarrollo de fuentes alternativas, como consecuencia de los efectos negativos del consumo de combustibles de origen fósil, los cuales contaminan el medio ambiente, ya que el dióxido de carbono producido por la combustión de los combustibles líquidos es el principal constituyente de lo que se conoce como gases de efecto invernadero, principales responsables del calentamiento global.

Esta necesidad de reducir las emisiones de CO₂ se ven reflejadas en los acuerdos firmados por Kyoto, Copenhague y Durban y, por último, la reunión en París en diciembre de 2015, donde se buscó la firma de un compromiso vinculante y definitivo para la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera a partir del año 2020. Todos estos esfuerzos forman parte de las estrategias energéticas de los países del mundo.

Llevar adelante un programa mundial del cuidado del medio ambiente también trae aparejado administrar mejor los recursos energéticos de cada país. Para los países productores del petróleo y sus derivados es un desafío, buscar formas de extracción más limpias y mejorar los procesos de obtención de los combustibles líquidos y sus derivados.

Otras cuestiones que los países productores de petróleo deberán tener en cuenta, para que no haya desequilibrios en las matrices energéticas del mundo, son los temas financieros, cuyas consecuencias pueden ser muy negativas para sus empresas, tales como la comercialización y aumento en los costos de producción.

Durante todos estos años hubo varias experiencias en la variación del mercado del petróleo mundial por diferentes motivos; la última fue la crisis económica de Estados Unidos en el 2008, donde factores externos al sector provocaron que los precios del barril de petróleo tuvieran una baja considerable, con sus consecuencias de



corrimiento de precios en todas las economías del mundo. Como resultado se está creando un marco internacional de normas y reglamentaciones de la comercialización del crudo para el mundo.

No obstante, a pesar de todos los inconvenientes que está sufriendo el sector, todos los estudios demuestran que el mundo seguirá dependiendo del petróleo y sus derivados por varios años más.

La IEA/AIE (Agencia Internacional de Energía), cuyos análisis se basan en estudios anuales del petróleo, gas natural, carbón, electricidad y las energías renovables, herramientas indispensables para los responsables de la política energética, y el Centro de Análisis de la información sobre el dióxido de carbono de los Estados Unidos de América son fuentes de información sobre producción, uso, dependencia y eficiencia energética, recopiladas por el Banco Mundial, el cual define que

...el uso de energía se refiere al consumo de energía primaria antes de la transformación en otros combustibles finales, lo que equivale a la producción nacional más las importaciones y las variaciones de existencias, menos las exportaciones y los combustibles suministrados a barcos y aviones afectados al transporte internacional.¹

La mayoría de los países toman esta definición y construyen su matriz energética, estableciendo las diferentes fuentes de energía que dispone cada país y su incidencia relativa en el total de la oferta. Las matrices se recalculan anualmente y sirven para posibles comparaciones a lo largo de los años; también como referencia a un momento determinado, con otros países de la región o a nivel mundial.

Según los datos suministrados por World Population Prospects: The 2015 Revision², se establece una proyección de crecimiento demográfico sostenido hacia el 2100. Este crecimiento de la población traerá aparejado un crecimiento sostenido del consumo energético mundial. Las variaciones de las ofertas-demandas dependerán de cada región/país, de sus políticas energéticas, sus conflictos socio-económicos y, principalmente, del precio del petróleo.

¹ 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

² NACIONES UNIDAS [en línea]. New York: World Population Prospects: The 2015 Revision [fecha de consulta: 3 febrero 2016].

Disponible en: http://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf



Otros de los inconvenientes que tendrán que afrontar los países es la sensibilidad de los precios ante las variaciones de la demanda y los conflictos socio-políticos generados por la necesidad de consumo de energía. Las consecuencias de esta sensibilidad de los precios se verán reflejadas en la dificultad de mantenerla sostenible en el tiempo.

Tabla 2.1 Proyección del crecimiento de la población mundial.
Años 2015-2030-2050-2100

Mayores Áreas	Población (millones)			
	2015	2030	2050	2100
Mundo	7349	8501	9725	11213
Africa	1186	1679	2478	4387
Asia	4393	9923	5267	4889
Europa	738	734	707	646
América Latina y el Caribe	634	721	784	721
Norte América	358	396	433	500
Oceanía	39	47	57	71

Fuente: Naciones Unidas, Departamento de Economía y Social, División de la Población.

De los datos suministrados por el Banco Mundial, basados en Estadísticas de la IEA © OCDE³/IEA, y “Key World Energy Statistics”⁴, perteneciente a la IEA, partiendo del año 1990 y comparándolo con el año 2012, tomándolo como base para el estudio de proyección, estableciendo diferentes escenarios, determinan que las perspectivas para los combustible hacia el 2035 será de casi 18.000 millones de TOE (sigla en inglés que en español se conoce como TEP, y es una unidad de energía que equivale a “tonelada equivalente de petróleo”). Su valor equivale a la energía que rinde una tonelada de petróleo; se ha tomado un valor convencional de 41 868 000 000 J (julios) = 11 630 kWh (kilovatios-hora).

Este valor nos está indicando que el mundo va a necesitar, en términos de energía, un valor de 209340×10^{11} Kwh, para el 2035.

La IEA y la OCDE establecieron 450 escenarios para realizar una proyección estadística, y poder establecer un panorama para los combustibles, con proyección hacia el año 2035.

³ Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

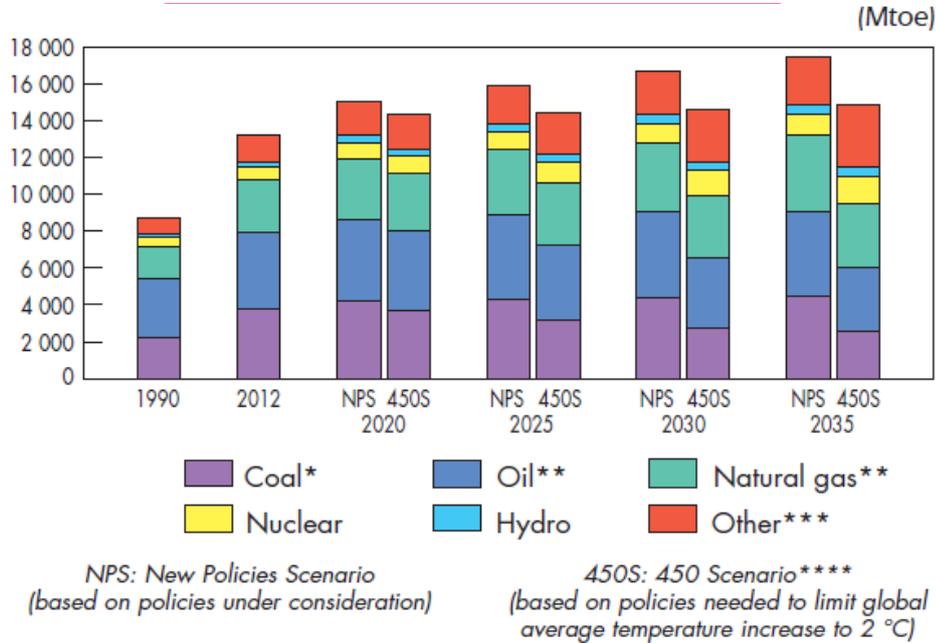
⁴ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY [en línea]. Estadísticas de la AIE © OCDE/AIE [fecha de consulta: 4 febrero 2016].

Disponible en: <http://www.iea.org/statistics/>



El gráfico que sigue compara entre escenarios de nuevas políticas y escenarios para limitar el aumento de la temperatura media mundial a 2°C.

Gráfico 2.1 Panorama de los combustibles hacia el año 2035.
Suministro total de energía primaria



Fuente: Gráfico extraído de “Key World Energy Statistics”

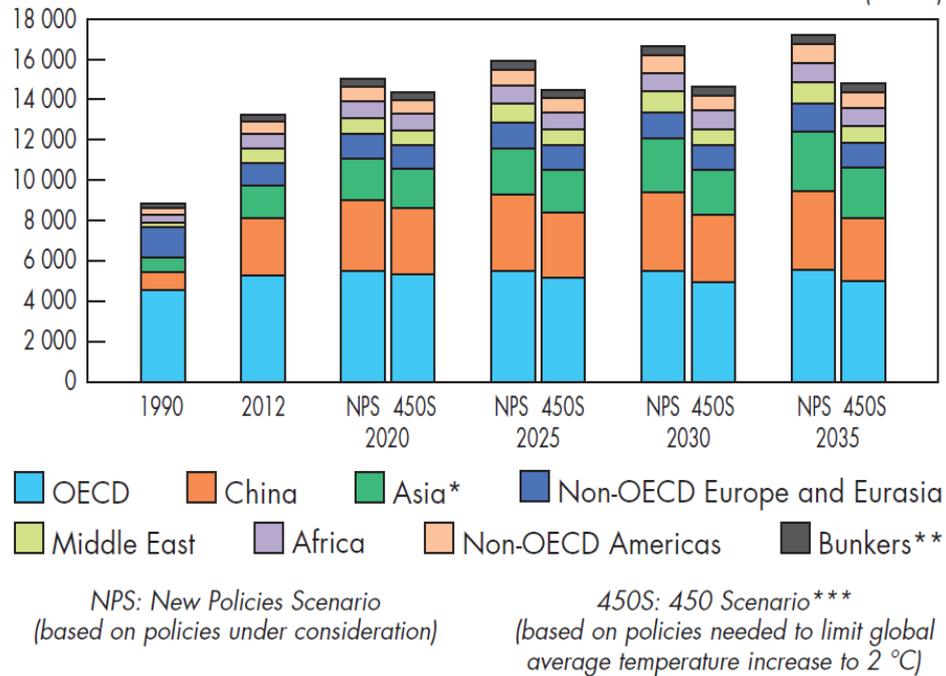
En este gráfico las proyecciones con respecto al año 2012 se realizan sobre NPS (Escenarios de Nuevas Políticas) y una segunda consideración con políticas implementadas para limitar el aumento de la temperatura en 2°C (450S).

El panorama de los combustibles, tomando como base el año 2012 con un valor de casi 13 millones de toneladas equivalente de petróleo (MTOE), para el año 2035 sobre la base de políticas de la limitación de la temperatura mundial llegaría a 14 MTOE, resultando que el incremento será de casi 1000 MTOE, aportando al mayor crecimiento los combustibles líquidos, seguido por el gas natural, y lo más interesante se ve en el crecimiento de otras energías. La energía nuclear, según el gráfico, no aportará un mayor crecimiento a la matriz energética proyectada.

Para analizar las proyecciones hacia el año 2035 distribuido por regiones, nos apoyamos en el gráfico siguiente, que muestra a China como una región en sí misma, considerando a Asia como un aportante destacable en esta proyección.

Es conveniente aclarar que América Latina no integra el grupo de países que conforman la organización OCDE.

Gráfico 2.2 Panorama de suministro de energías primarias hacia el 2035 por región (Mtoe)



Fuente: Gráfico extraído de “Key World Energy Statistics”.

Al hacer el análisis por región, las mayores proyecciones se dan en los países miembros de la OECD/OCDE, seguido por China y el continente Asiático, mientras que en los países de América Latina el crecimiento no es muy significativo.

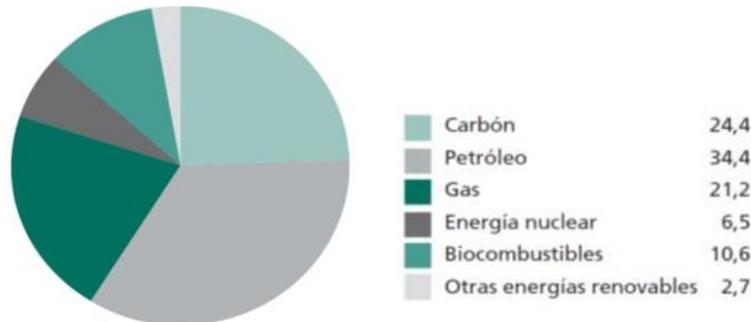
De los gráficos sobre el panorama del consumo energético está dado que la mayor proporción de la demanda de energía resultará del crecimiento de las economías asiáticas, China y la India.

Los consumos de energía en los países en desarrollo crecerán a un ritmo más pausado que en los países desarrollados con economías maduras y con un crecimiento demográfico más lento, con lo cual se estima que la demanda crecerá a un ritmo del 0,9% anual.

Según el documento de la FAO, “Oferta y demanda de Energía: Tendencias y Perspectivas”⁵, toma como base el año 2004 con respecto a la disponibilidad energética en el mundo, y se puede observar que los biocombustibles y otras energías renovables sólo sumaban el 13%:

⁵ FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [en línea]. Oferta y demanda de Energía: Tendencias y Perspectivas [fecha de consulta: 4 febrero 2016]. Disponible en: [ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0139s/i0139s03.pdf](http://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0139s/i0139s03.pdf)

Gráfico 2.3 Proporciones de los combustibles respecto de la disponibilidad mundial de energía primaria en el año 2004



Fuente: Gráfico extraído del documento de la FAO “Oferta y demanda de Energía: Tendencias y Perspectivas”.

Este documento presenta una proyección hacia el año 2030, que se detalla en la Tabla 2.2. Las proyecciones del consumo se establecen en miles de billones de BTU, discriminadas por sectores geográficos y por tipo de combustibles.

Las energías denominadas como “otros” tienen una proyección en términos porcentuales mayor que el cálculo de crecimiento del petróleo.

Estas variaciones se pueden fundamentar en que los países van pensando en energías renovables para incorporarlas en sus matrices energéticas.

En la Tabla 2.2 se puede observar que el consumo total de energía comercializada para América de Sur y Central estima un crecimiento de un 2,4% anual en el período 2004-2030. Todas las energías primarias tienen crecimiento, como así también se puede observar el de la energía nuclear, sin dar datos de energías como la biomasa, una alternativa de consumo de energía con menores emisiones de dióxido de carbono.

Tabla 2.2 Consumo total de energía comercializada en el mundo, por región y tipo de combustible 1990-2030 (expresadas en miles de billones de BTU)

Región	1990	2004	2010	2020	2030	Aumento Porcentual anual 2004-2030
Países de América del Norte Pertenecientes a la OCDE	100,8	120,9	130,3	145,1	161,6	1,1
Países de Europa pertenecientes a la OCDE	69,9	81,1	84,1	86,1	89,2	0,4
Países de Asia pertenecientes a la OCDE	26,6	37,8	39,9	43,9	47,2	0,9
Países de Asia no pertenecientes a la OCDE	47,5	99,9	131,0	178,8	227,6	3,2
Cercano Oriente	11,3	21,1	26,3	32,6	38,2	2,3
África	9,5	13,7	16,9	21,2	24,9	2,3
América Central y del Sur	14,5	22,5	27,7	34,8	41,4	2,4
Total de países pertenecientes a la OCDE	197,4	239,8	254,4	275,1	298	0,8
Total de países no pertenecientes a la OCDE	150,0	206,9	256,6	331,9	403,5	2,6



Tipo de Combustibles

Petróleo	136,2	168,2	183,9	210,6	238,9	1,4
Gas Natural	75,2	103,4	120,6	147,0	170,4	1,9
Carbón	89,4	114,5	136,4	167,2	199,1	2,2
Nuclear	20,4	27,5	29,8	35,7	39,7	1,4
Otros	26,2	33,2	40,4	46,5	53,5	1,9
Total Mundial	347,3	446,7	511,1	607,0	701,6	1,8

Nota: No se incluye la biomasa tradicional.

Fuente: Documento de la FAO “Oferta y demanda de Energía: Tendencias y Perspectivas”.

En el período considerado se establece que los combustibles fósiles, el petróleo y sus derivados, como fuentes de energía no renovables, seguirán siendo las principales fuentes; pero teniendo en cuenta la bibliografía que hace un llamado de atención al posible agotamiento de estos recursos, las proyecciones de estudio en energías alternativas será cada vez más necesaria para poder cubrir la demanda mundial.

El sector de combustibles fósiles ya está obligado a mejorar sus procesos de extracción y obtención de sus derivados, para la disminución de dióxido de carbono y cumplir con los acuerdos de impacto ambiental.

El aumento de la demanda, acompañando el crecimiento demográfico, repercute en el precio del petróleo, y este aumento impacta directamente en las economías del mundo.

Todos estos problemas dan una buena oportunidad para buscar energías alternativas; entre ellas, el estudio de los biocombustibles. En el orden social, la necesidad de diversificar las fuentes de energía e investigar los recursos locales repercutirá en una mayor generación de empleo. En el aspecto ambiental, los estudios realizados en los biocombustibles establecen que son menos contaminantes y tienen menor impacto sobre el cambio climático que los combustibles fósiles.

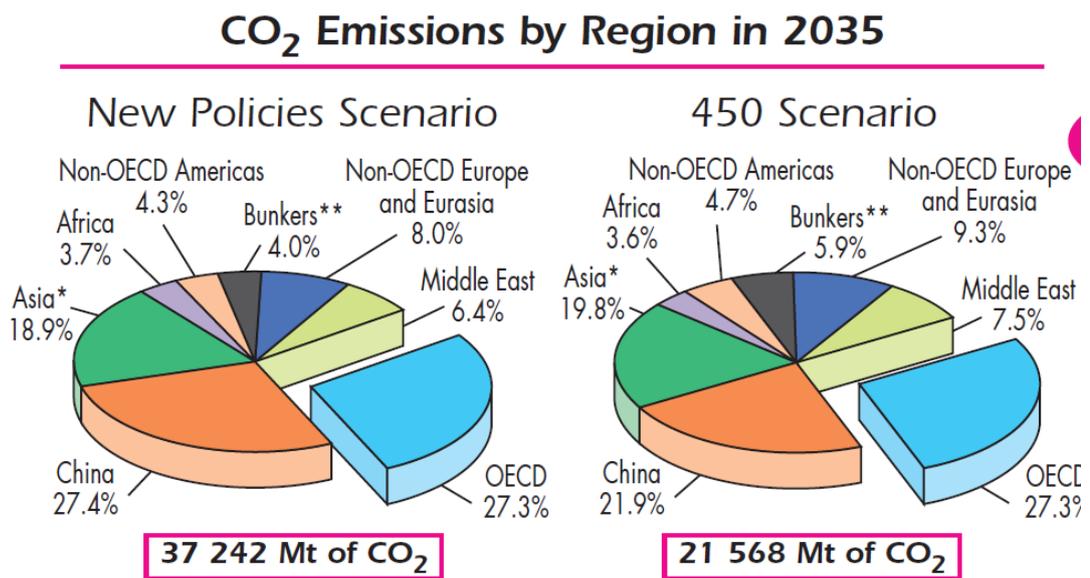
Uno de los sectores que es potencialmente viable para proveer materia prima para la generación de energía renovable es el sector agropecuario, a través de los cultivos con alto poder de aprovechamiento para el uso de biocombustibles, tales como el etanol y el biodiesel, y también el biogás.

Una de las industrias incipientes en América Latina y el Caribe es la de producción de etanol, cuya obtención está en base a la caña de azúcar y el grano de maíz. Es así que se ha logrado en las actividades productivas e industriales relacionadas con dicho producto un salto tecnológico significativo, lo que ha redundado en un claro aumento de la productividad agrícola e industrial del sector.

2-2 Emisiones de Dióxido de Carbono

En relación a otras de las consideraciones que se tienen en cuenta en función del compromiso tomado por los países del mundo, de bajar las emisiones de dióxido de carbono, la AIE publica una proyección de la disminución de las emisiones de dióxido de carbono, proyectadas al año 2035, mostradas en el siguiente gráfico separadas por región.

Gráfico 2.4 Tendencia de emisión de CO₂ dado por región hacia el año 2035



Fuente: Gráfico extraído de “Key World Energy Statistics”.

La disminución del dióxido de carbono viene acompañada por una mejora de procesos y lograr una eficiencia energética capaz de alcanzar una reducción del 43% en las emisiones de gases de efecto invernadero. En el balance de aportes en la disminución de los gases, China proyecta una mayor eficiencia de casi 6%.

2-3 Matriz Energética Argentina

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 prepara los informes de los balances energéticos.

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.

Como consecuencia de una serie de transformaciones políticas que se generaron en nuestro país en toda la década de los 90 y hasta fines del año 2003, la matriz energética argentina sufrió cambios de generación y exploración de hidrocarburos. En estos años el objetivo energético fue mantener la infraestructura existente, y no hubo exploraciones nuevas.

Las modificaciones estructurales que se produjeron durante la década del 90, en materia energética, se tradujeron en llegar al fin de la década con una matriz totalmente desbalanceada, creando un mercado sin controles y posiciones monopólicas; así, se puede interpretar que se crearon oligopolios energéticos.

Las empresas, como lógica función de las mismas, pensaron en maximizar sus ganancias y minimizar sus inversiones de riesgo y, por falta de control del Estado Nacional, no declaraban las reservas. Como consecuencia de esta falta de control, el mercado por sí mismo no planificó el futuro, rol innegable del Estado, encargado de realizar tal función.

Por la falta de planificación energética, el año 2003 encuentra al país con una base de reservas de hidrocarburos y su sub-producto muy bajos, con una proyección de reservas de 9 años, sin considerar el crecimiento de la demanda; y, con respecto al gas, también disminuyó en términos de años de reserva, alcanzando a una reserva de 12 años.

En el año 2003 el cambio de gobierno, el nuevo Estado Nacional, decide intervenir en la matriz energética nacional e implementa un plan estratégico de reconstrucción del sector energético, en el cual se incluyen políticas de ahorro, uso racional y eficiencia energética.

Al año siguiente, la nueva administración de la nación crea el Plan Energético Nacional 2004-2019, orientado a un proceso de re-industrialización del país, manteniendo las ventajas competitivas. Para llevarlo adelante, se planificaron obras de infraestructura para la ampliación del Sistema Argentino de Interconexión (SADI) de energía eléctrica y el Sistema Nacional del Transporte de gas natural por redes. Además, la construcción de centrales eléctricas y el aumento de potencia en las ya



existentes; el relanzamiento del Plan Nuclear y el Plan Nacional de obras Hidroeléctricas; la creación de la empresa ENARSA; y la planificación de la obtención de energías renovables a través del programa GENREN (Generación de Energías Renovables).

Dentro de este contexto, en el mes de abril del 2006, se crea el Plan Nuclear Argentino, que es apoyado en forma conjunta por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA).

Con el objeto de revertir la situación de las energías primarias no renovables, el 16 de abril del 2012 se recupera la empresa YPF S.A. En principio, el objetivo estuvo centrado en el área de negocios upstream (exploración y producción) no convencionales, como también en aumentar la producción de yacimientos maduros.

Para poder determinar los cambios efectuados, se realiza un análisis considerando desde la puesta en vigencia de las nuevas normativas, del nuevo Estado Nacional. Se toman en cuenta los últimos 10 años (2004-2014), y así poder observar los cambios que se produjeron en la matriz energética.

Tomando los datos de la Secretaría de Energía de la Nación desde el año 2004 al 2014 y sus definiciones, se analiza el balance energético nacional en el período ya mencionado.

La Secretaría de Energía de la Nación presenta las definiciones de energías en base a las del Banco Mundial, cuyos detalles se encuentran en el Anexo I.

Con las definiciones y los datos suministrado por dicha Secretaría, a través de las planillas BEN (Balance Energético Nacional), se elaboran gráficos y tablas para observar el comportamiento de la matriz energética durante el período mencionado; las unidades están expresadas en millones de TEP, que es una unidad de energía equivalente a la energía que rinde una tonelada de petróleo.

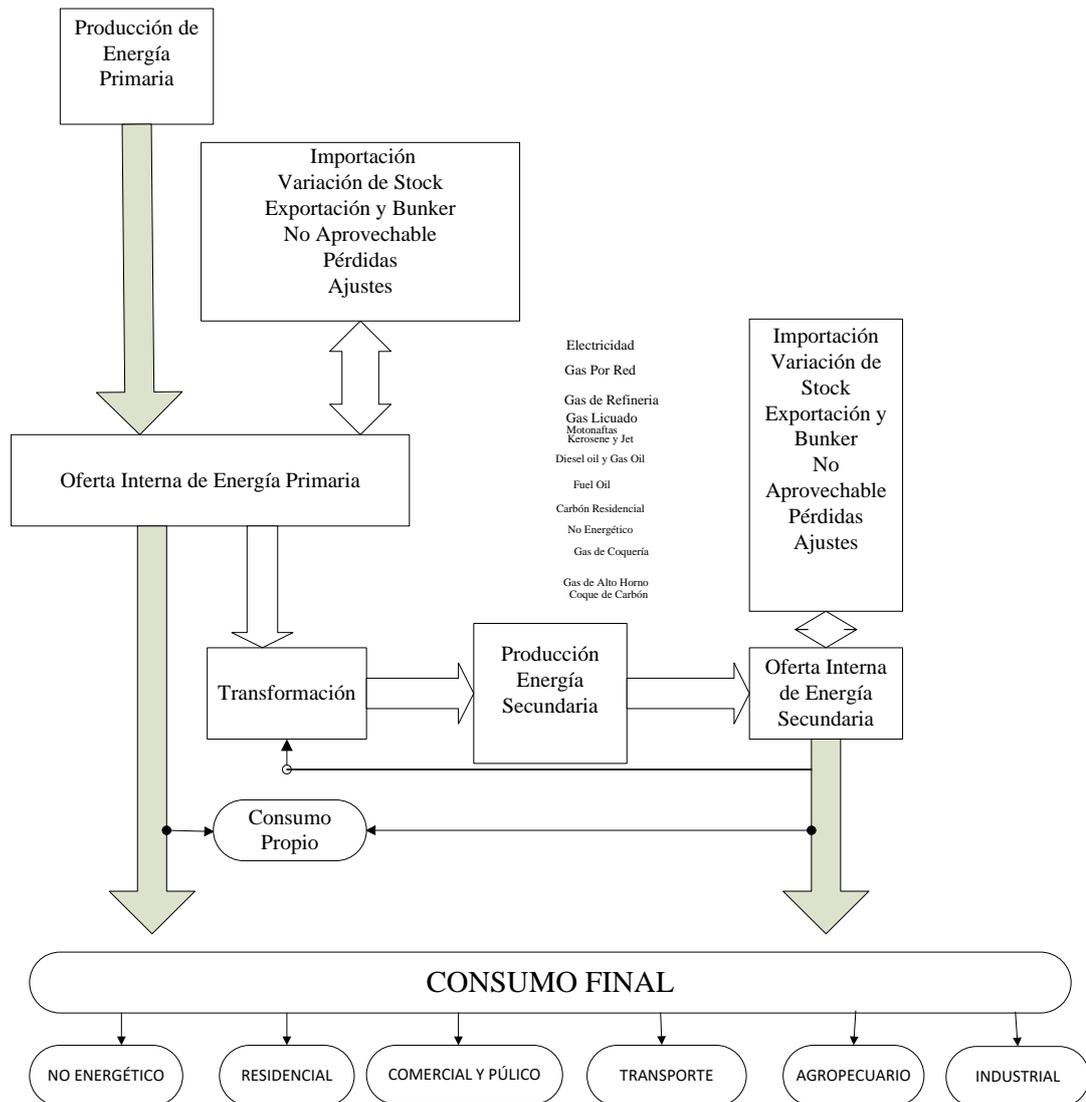
La matriz energética formulada por la Secretaría de Energía de la Nación está dividida en energías primarias y secundarias. La oferta total de energía es aquella cantidad de energía primaria y secundaria disponible para cubrir las necesidades energéticas del país, ya sea del consumo final de los sectores socio-económicos, como el consumo propio del sector energético y los centros de transformación.

Para una fácil visualización de las diferentes etapas de la transformación de las energías se presenta, en el gráfico, la estructura general y principales flujos energéticos



del Balance Energético Nacional⁶, con el fin de observar desde el inicio de la energía primaria, sus transformaciones con sus consumos propios, las diferentes energías secundarias, también con sus consumos propios, para llegar al consumo general, y distribuido a los diferentes sectores de consumo.

Figura 2.1 Estructura General y Principales Flujos Energéticos del Balance Energético Nacional



Fuente: Secretaría de Energía de la Nación-Balance Energético.

⁶ 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



2-3-1 Oferta Total Primaria

Observando los datos de la producción, importación y la variación de stock, suministrado por las planillas BEN⁷, para cada año del período considerado se construye la oferta total de las energías primarias: Oferta Total de Energía Primaria = Producción + Importación + Variación de Stock.

La variación de stock juega un rol importante, dado que en función de los resultados del período anterior se calculan las necesidades del próximo período.

Tabla 2.3 Oferta Total de Energía Primaria

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Energía Hidráulica	3314.63	3720.49	4143.33	3436.98	3425.31	3820.51	3680.83	3464.10	3226.67	3619.42	3591.85
Energía Nuclear	2378.61	2089.33	2217.15	2142.2	2188.92	2281.65	2282.65	1910.15	1854.31	1849.82	1690.00
Gas Natural de Pozo	50610.32	50689.03	51121.98	50362.1	49152.40	47912.11	47129.87	46716.46	47652.26	45206.26	45187.19
Petróleo	37042.19	34792.42	34514.18	34204.08	33683.98	31641.96	31924.13	29430.73	30279.08	29387.09	29356.47
Carbón Mineral	1094.88	1127.40	1055.11	1220.47	1394.60	955.97	1272.35	1551.91	83012.32	1254.28	1489.00
Leña	1172.00	1226.58	1201.20	1185.73	1207.45	1188.12	1264.57	1351.08	1215.71	1212.13	1151.00
Bagazo	1004.04	1087.06	1226.62	1242.41	1282.61	1240.02	1133.40	1188.41	1185.98	1050.04	1154.71
Aceites Vegetales	0.00	0.00	0.00	170.76	755.72	1257.16	2007.10	2601.15	2616.39	2226.73	2816.29
Alcoholes Vegetales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	63.32	89.32	127.61	255.45	356.79
Energía Eólico	142.85	142.71	142.31	140.77	137.02	136.04	133.84	134.08	199.68	215.64	268.74
Energía Solar	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.14	0.70	1.30	1.37
Otros Primarios	252.09	278.98	293.30	281.69	327.79	340.56	377.47	376.94	394.79	408.03	408.03
TOTALES	97011.61	91291.28	91996.64	94387.21	93555.80	90774.10	91269.53	88814.47	171765.52	86686.19	87471.43

Fuente: Elaboración propia según datos de la Secretaría de Energía de la Nación.

Durante el período considerado, según datos de las planillas BEN, la variación de stock para el gas natural de pozo siempre se ha publicado un valor de cero, lo cual se interpreta que nunca hubo un aumento de la oferta ni se consumió todo lo extraído en el período referenciado; mientras que el petróleo se comportó de forma diferente, ya que hubo períodos que la variación presentada fue positiva, incrementando la oferta, y períodos negativos, lo cual significa que parte de la energía no se consumió, sino que fue almacenada para el período anterior.

Por definición de la Secretaría de Energía de la Nación, “la producción es el total producido, técnica y económicamente utilizable”⁸. El país cuenta con energías primarias que se obtienen en forma directa, tales como la hidráulica, eólica y solar, y

⁷ MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA [en línea] Balances Energéticos [fecha de consulta: 10 febrero 2016].

Disponible en: <http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>

⁸ BALANCE ENERGÉTICO [en línea]. Metodología BEN, p. 6 [fecha de consulta: 6 febrero 2016].

Disponible en:

http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/contenidos_didacticos/BalanceEnergéticoMetodología_BEN.pdf

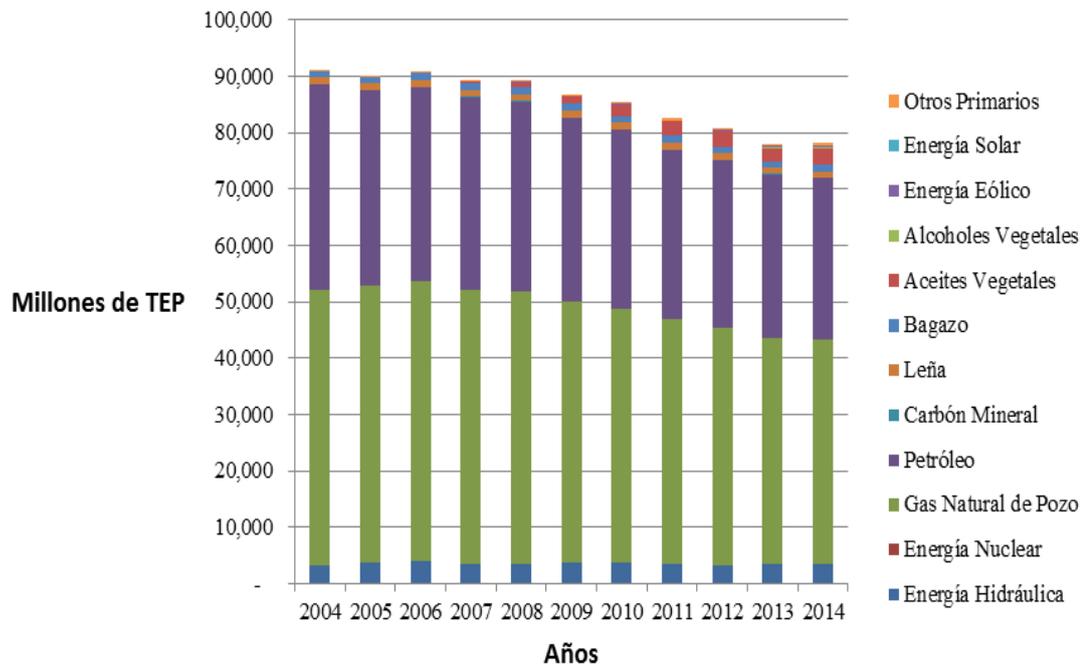


UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

las que se obtienen por un proceso de extracción, tales como el petróleo, carbón mineral, leña, bagazo, etc. La producción de estas energías constituye la base para la construcción de nuestra matriz energética.

Gráfico 2.5 Producción Nacional de Energías Primarias



Fuente: Elaboración propia según Planillas Ben.

Entre los años 2004 a 2008, los valores de la producción nacional se ubicaron entre los 91000 a 89000 millones de TEP. Y a partir del año 2009, debido a la crisis mundial que golpeó a todos los países del mundo, empieza su descenso hasta llegar al 2014 con una producción nacional de 78.162 millones de TEP.

Observando la variación porcentual entre los extremos del período considerado, la caída de la producción nacional representó una disminución porcentual del 14%.

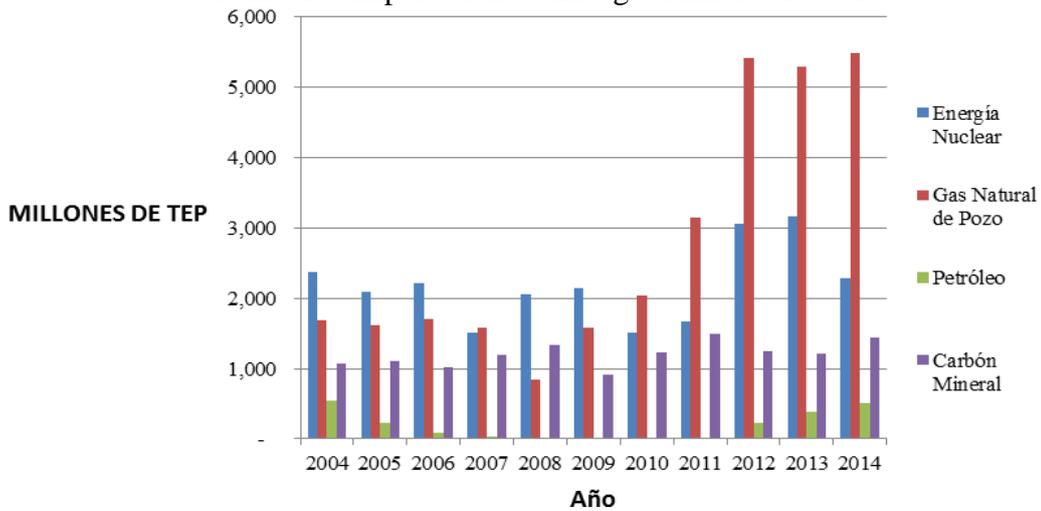
Dicha caída de la producción nacional se ve reflejada en las dos energías primarias más importantes de nuestro país: el gas natural de pozo en un 19%, y el petróleo en un 21%.

Las demás energías han experimentado crecimiento, que hace que la caída de la producción total no se vea tan afectada.

La disminución de producción nacional obliga al país a importar energías primarias para incrementar la oferta interna de éstas, y alimentar a los centros de transformación para la obtención de energías secundarias.



Gráfico 2.6 Importación de Energía Primaria 2004-2014

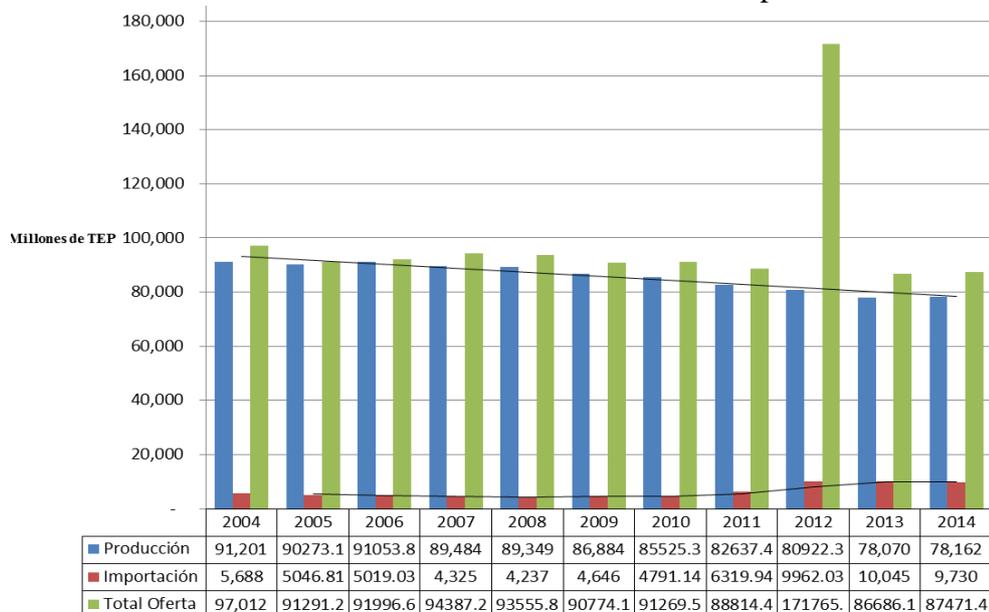


Fuente: Elaboración propia según datos de BEN

En el gráfico se han considerado aquellas energías que necesitan importación para abastecer las necesidades de las demandas. En todas las demás la producción nacional es del 100%.

La importación de energías primarias se ha incrementado durante el período 2004-2014 en un 71%, siendo el gas natural de pozo la mayor energía importada; pero cabe destacar que el petróleo, siendo una energía muy importante debido a los sub-productos que se pueden obtener de él, ha disminuido en un promedio del 6%.

Gráfico 2.7 Oferta Total-Producción Nacional-Importación



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de las Planillas BEN.



La tendencia de la producción nacional es decreciente, mientras que la importación de energías primarias es exactamente lo contrario; se acrecentó en el período 2004-2014.

La oferta total tiene un crecimiento importante en el año 2012, debido a que las energías primarias renovables empiezan a tener participación en el cálculo de la matriz energética.

Considerando todas las variables que componen la oferta total de todas las energías primarias, se puede observar en el gráfico que las variaciones no son muy significativas en los primeros seis años del período, pero en los dos últimos la disminución es considerable.

Realizando un análisis de las relaciones de producción nacional, en cuanto a la oferta total, las conclusiones son que la incidencia de la importación con respecto a la oferta total es menor que la relación con respecto a la producción nacional.

La producción nacional de las energías primarias siempre priorizó sobre la importación.

En el año 2012 comienza una disminución, que le costó recuperarla a los niveles del 2004; en consecuencia, la importación creció al doble en términos porcentuales. En el año 2004, dicha producción estaba en el orden del 99% de la participación, pasando en el año 2014 al 89%. Esa diferencia fue suplida por la importación, cuyo mayor porcentaje viene de la mano del gas natural por pozo.

La importación de la energía nuclear ha disminuido un 4% durante el período, pero tuvo porcentajes altos en los años 2012, llegando a un 28% con respecto al 2004, y en el 2013, que siguió aumentando hasta llegar al 33%.

La importación del gas natural de pozo empieza a crecer a partir del 2010; da un salto importante en los últimos tres años del período considerado, debido a la mayor cantidad de demanda industrial y residencial. Del petróleo se puede expresar que su importación ha venido bajando desde el año 2004, siendo su variación en el período del -7%.

Con estos datos es importante conocer cuál es la participación de cada energía sobre la producción total de energías primarias, y su variación en el período considerado.



Tabla 2.4 Participación porcentual de cada energía con respecto a la oferta total

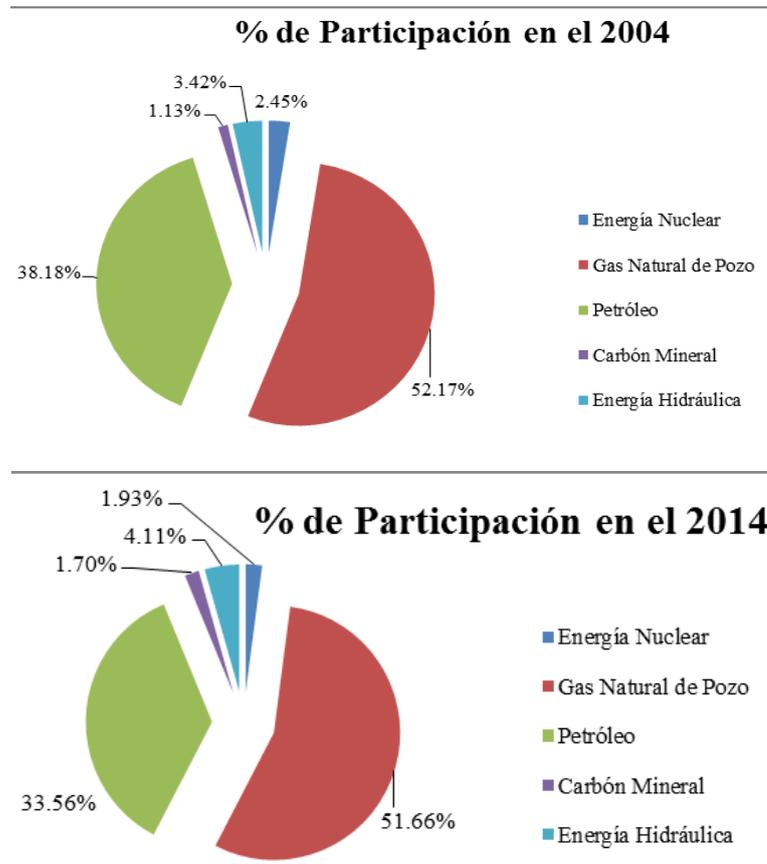
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Energía Hidráulica	3.4%	4.1%	4.5%	3.6%	3.7%	4.2%	4.0%	3.9%	1.9%	4.2%	4.1%
Energía Nuclear	2.45%	2.29%	2.41%	2.27%	2.34%	2.51%	2.50%	2.15%	1.08%	2.13%	1.93%
Gas Natural de Pozo	52.17%	55.52%	55.57%	53.36%	52.54%	52.78%	51.64%	52.60%	27.74%	52.15%	51.66%
Petróleo	38.18%	38.11%	37.52%	36.24%	36.00%	34.86%	34.98%	33.14%	17.63%	33.90%	33.56%
Carbón Mineral	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	48%	1%	2%

Fuente: Elaboración propia según datos de la Secretaría de Energía de la Nación.

En la tabla se presentan aquellas energías primarias con mayor participación dentro de la oferta total. El gas natural de pozo y el petróleo son las energías con mayor participación en todo el período considerado. Se han mantenido en el orden del 53% y 37% respectivamente.

Con la tabla anterior se compone el gráfico comparativo de la participación de la oferta total de las energías primarias, teniendo en cuenta el inicio y el final del período considerado.

Gráfico 2.8 Comparación de la participación porcentual de las energías primarias en base a la oferta total



Fuente: Elaboración propia según datos de la Secretaría de Energía de la Nación.



La participación en la oferta total de las energías primarias no se ha modificado significativamente, manteniendo el gas natural de pozo y el petróleo como las mayores participaciones. La energía hidráulica es la única que ha aumentado su participación.

2-3-2 Oferta Interna Primaria

Una vez conocido el comportamiento de la oferta total de las energías primarias, y siguiendo con los criterios de la SEN⁹, ahora es necesario conocer el comportamiento de la oferta interna primaria. Aplicando la fórmula de la SEN:

$$\text{Oferta Interna Primaria} = \text{Oferta total} - \text{Exportación y Bunker} - \text{No Aprovechado} - \text{Pérdidas} + \text{Ajustes}$$

Tabla 2.5 Oferta Interna de Energías Primarias. Período 2004-2014 (Miles de TEP)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Variación % 2014-2004
Energía Hidráulica	3,281	3,683	4,102	3,403	3,391	3,782	3,644	3,429	3,194	3,583	3,556	8.36%
Energía Nuclear	2,379	2,089	2,217	2,142	2,189	2,282	2,283	1,910	1,854	1,850	1,690	-28.95%
Gas Natural de Pozo	45,789	47,226	48,157	48,819	48,064	46,083	45,503	44,786	47,002	44,983	44,158	-3.56%
Petróleo	27,382	27,285	28,880	30,643	29,500	27,280	27,328	26,505	27,410	27,213	27,183	-0.73%
Carbón Mineral	1,074	1,127	1,055	1,220	1,392	955	1,269	1,548	1,310	1,253	1,489	38.61%
Leña	1,489	1,227	1,201	1,186	1,207	1,188	1,265	1,351	1,216	1,212	1,151	-22.68%
Bagazo	1,004	1,087	1,227	1,242	1,283	1,240	1,133	1,188	1,186	1,050	1,155	15.01%
Aceites Vegetales	-	-	-	171	756	1,257	2,007	2,601	2,616	2,227	2,816	130.78%
Alcoholes Vegetales	-	-	-	-	-	-	63	89	128	255	357	463.50%
Energía Eólico	143	143	142	141	137	136	134	134	200	216	269	88.13%
Energía Solar	0.0060	0.0070	0.0077	0.0094	0.0124	0.0065	0.007	0.139	0.70	1.2964	1.3712	22677.14%
Otros Primarios	252	279	293	282	328	341	377	377	395	408	408	61.86%
Total Oferta Interna	82,793	84,147	87,275	89,249	88,246	84,144	85,006	83,920	86,511	84,252	84,233	1.74%

Fuente: Elaboración propia según datos de la Secretaría de Energía de la Nación.

La oferta interna, entendiéndose como la oferta en el mercado interno, durante estos 10 años considerados ha crecido 1,74% pasando, en el año 2004, de 82.793 millones de TEP a 84.233 millones de TEP en el año 2014.

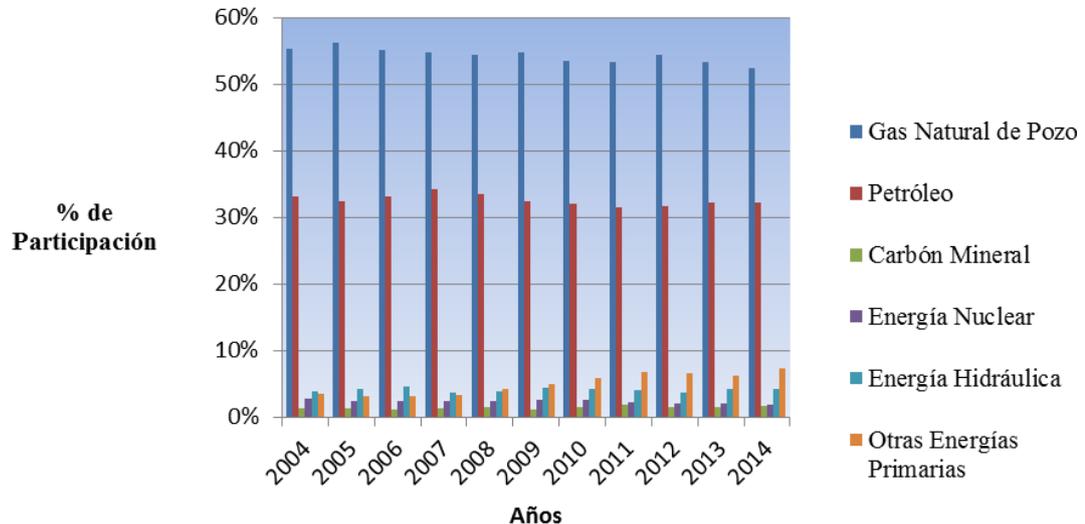
Desagregando la tabla, y considerando principalmente a los hidrocarburos, tales como el petróleo que disminuyó a casi el 1% y el gas natural que cayó un 4%, la tabla se compensa por el incremento de carbón mineral en un 39% y por el aumento de energías primarias renovables, tales como los aceites y alcoholes vegetales, la energía eólica y solar. Son energías que se han incorporado a la oferta interna de energías primarias desde el cambio de gobierno en el año 2003 que, si bien es cierto que en

⁹ Secretaría de Energía de la Nación.



términos porcentuales han crecido exponencialmente, en términos de valores aún no son tan significativos.

Gráfico 2.9 Participación porcentual de las energías en la oferta interna de energías primarias



Fuente: Elaboración propia según datos de la Secretaría de Energía de la Nación.

El gráfico nos demuestra que, durante estos diez últimos años, la participación de las energías primarias en la oferta interna se distribuyeron, prácticamente, en el orden del 55% el gas natural de pozo; en el orden del 32% el petróleo; el carbón mineral, la energía nuclear y la energía hidráulica se han mantenido constantes en el orden del 2 al 3%.

La única energía que presentó incremento durante el período considerado son las denominadas otras energías primarias, que pasaron de un 3% a un 7%. Todos estos datos nos demuestran que el gas natural de pozo y el petróleo representan el 84% de la oferta interna.

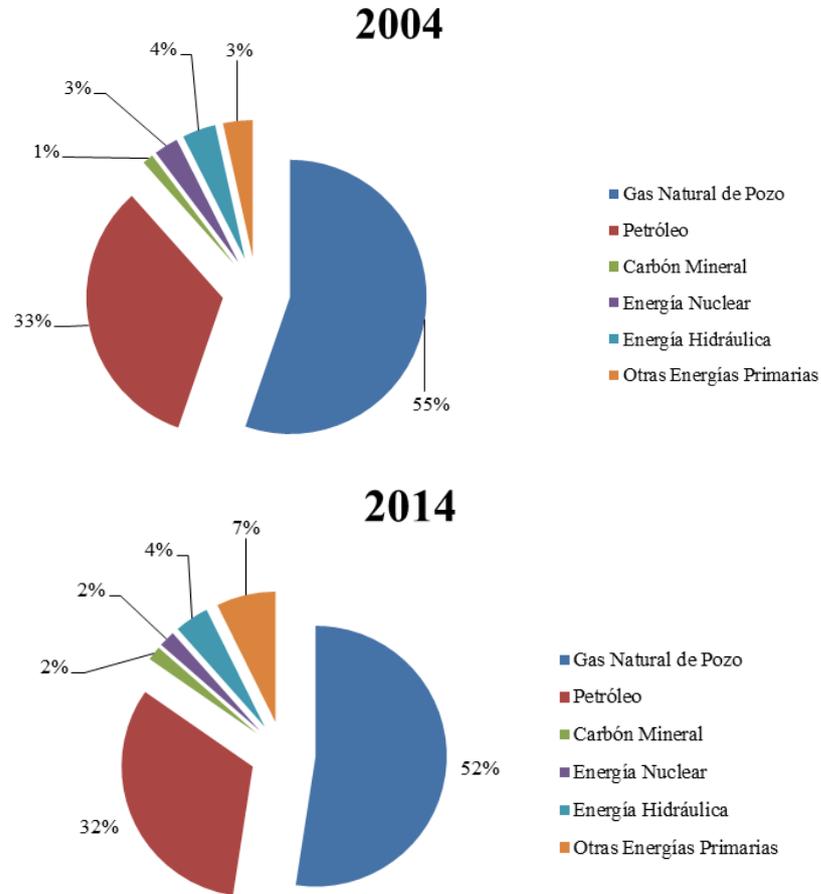
Las otras energías tienen una participación baja, en términos porcentuales, en la oferta interna de las energías primarias.

Es importante mencionar que los hidrocarburos pertenecientes a las energías primarias son de alta importancia, debido a que las mismas constituyen las energías estratégicas para cualquier país y, además, son no renovables.

Para poder visualizar la evolución de las energías primarias en la oferta interna, se toma el año de inicio del estudio y el año de finalización, para observar la participación de cada una de las energías.



Gráfico 2.10 Comparación de Participación Porcentual de energías primarias en la oferta interna



Fuente: Elaboración propia según datos de la Secretaria de Energía de la Nación.

Como ya se mencionó, la participación de las energías primarias, como el gas natural de pozo y el petróleo, en los dos años considerados mantienen su supremacía en la oferta interna. Lo más significativo es observar la disminución en términos porcentuales de estas dos energías. Además, teniendo en cuenta que son energías no renovables.

Al considerar los otros valores de la fórmula para establecer la Oferta Primaria (Exportación y Bunker; No aprovechables; Pérdidas; Ajustes), se puede observar la incidencia que han tenido estos valores en la participación de las energías.

Tabla 2.6 Variación de la Oferta Interna y la Oferta Total

	2004		2014	
	Oferta Interna	Oferta Total	Oferta Interna	Oferta Total
Gas Natural de Pozo	55%	55.54%	52.00%	58.14%
Petróleo	33%	40.65%	32.00%	38.00%

Fuente: Elaboración propia según datos de la Secretaria de Energía de la Nación.



Las diferencias porcentuales que se aprecian entre la oferta interna y la oferta total, en el año 2004, tuvieron más incidencia en el petróleo que en el gas natural de pozo; y para el año 2014, la incidencia en el gas natural de pozo se incrementó y en el petróleo prácticamente se mantuvo constante.

2-3-3 Energía Secundaria

2-3-3-1 Oferta Total Secundaria

La energía primaria ingresa a los diferentes centros de transformación y, a través de cada proceso específico para cada energía primaria, se obtiene la energía secundaria correspondiente. Una vez realizado el proceso de transformación en cada centro específico, se obtienen las energías secundarias cuyo comportamiento en la oferta total se establece según la siguiente tabla.

Tabla 2.7 Comportamiento de la Oferta Total de las Energías Secundarias en miles de TEP

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Variación % desde el 2004 al 2014
Producción	80,297	90,273	84,815	87,315	87,206	82,430	84,262	84,518	87,556	85,702	85,660	6.68%
Importación	2,404	2,095	2,196	2,952	2,913	3,076	5,921	9,950	7,943	11,697	11,552	380.42%
Variación de Stock	1,292	-166	1,088	1,098	1,066	2,354	139	-583	232	-25	-46	-103.55%
Oferta Total	83,994	95,154	88,099	91,365	91,185	87,859	90,322	93,885	95,730	97,373	97,165	15.68%

Fuente: Elaboración propia según datos de la Secretaría de Energía de la Nación.

La oferta total de las energías secundarias ha crecido durante los años considerados en un 16%, compuesto por el incremento de la producción nacional en un 6,68%, pero la tabla demuestra que esta producción no alcanzó y se debió importar energías secundarias cuya variación en los años considerados se ha incrementado en un 380%.

La variación de stock, según la definición de la SEN, es un valor positivo; nos está diciendo que se ha consumido producto almacenado, aumentando la oferta total. Y el valor negativo nos indica que parte de esa energía no fue consumida en el período referenciado.

Dentro de los diez años considerados, sólo en cuatro (2005; 2011; 2013 y 2014) nuestro país ha logrado no consumir toda la energía disponible, y en los demás años se ha tenido que consumir la energía almacenada para satisfacer las necesidades de consumo.



La variación porcentual del 380% de importación de energía secundaria nos lleva a conocer y analizar cuáles energías secundarias se importó, cantidad e incidencia en la oferta total.

Tabla 2.8 Importación de Energías Secundarias medidas en miles de TEP.

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Variación %
Energía Eléctrica	654.59	689.44	637.85	897.61	727.25	739.57	885.73	939.88	698.02	714.09	861.95	32%
Gas Distribuido por Redes	0.00	0.00	0.00	0.00	421.29	726.33	1291.58	3209.43	3018.78	5311.23	6141.72	1358%
Gas Licuado	15.06	0.00	0.00	33.36	2.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-86%
Otras Naftas		0.00	42.91	117.69	20.40	70.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	65%
Motonafta Total	33.47	11.63	27.36	18.92	42.57	0.00	115.45	117.74	43.60	311.76	369.74	1005%
Kerosene y Aerokerosene	3.00	11.88	7.10	8.36	21.31	29.07	49.82	100.80	44.00	61.19	77.01	2467%
Diesel Oil + Gas Oil	368.58	625.20	411.68	780.24	777.01	501.60	2828.67	3975.34	2839.20	4574.46	3458.21	838%
Fuel Oil	714.97	576.14	953.05	968.53	803.80	694.67	699.36	1531.60	1238.76	652.17	580.14	-19%
Carbón Residual	103.62	114.87	15.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-100%
No Energético	494.40	66.01	101.03	127.09	97.57	313.68	50.54	75.55	60.19	71.96	62.89	-87%
Total	2387.70	2095.16	2196.41	2951.80	2913.36	3075.70	5921.15	9950.33	7942.55	11696.87	11551.66	384%

Fuente: Elaboración propia según datos de las planillas BEN.

Con respecto a las energías secundarias con mayor cantidad que se debió importar en el período 2004-2014, el primer lugar lo ocupa el gas distribuido por redes, con una variación porcentual que representó un 1350%; y el segundo lugar lo ocupó la energía denominada motonafta, con una variación porcentual del orden del 1005%.

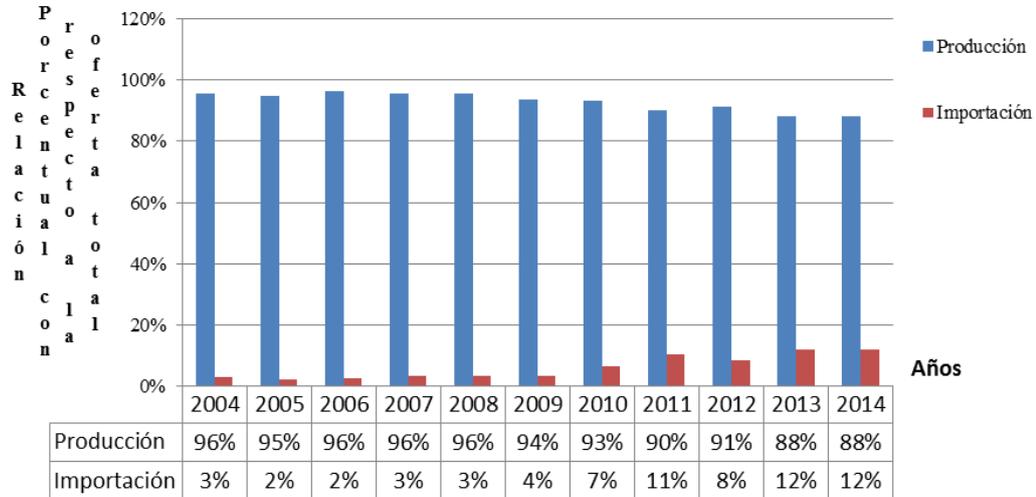
Debemos recordar que la SEN considera al grupo motonafta constituido por: Aeronaftas, Nafta común, Nafta Súper, Nafta Ultra, cortes de Gas Oil sin terminar, cortes de Nafta sin terminar, y otros productos livianos. La variedad de productos que conforman el grupo motonafta hace que su incremento refleje un valor muy significativo.

Otra energía secundaria con mucho consumo interno, y que también debió ser importada para satisfacer las necesidades del país, fue el Diésel Oil + Gas Oil, con un incremento del 838%.

Los incrementos de importación nos hacen pensar qué incidencia tiene cada una de estas energías con respecto a la oferta total y poder compararla con la producción nacional con respecto a la misma oferta total.



Gráfico 2.11 Relación porcentual de la Producción Nacional e Importación para Energías Secundarias con respecto a la oferta total



Fuente: Elaboración propia según datos de la Secretaria de Energía de la Nación.

El gráfico nos demuestra que en la relación entre producción nacional e importación la supremacía está en manos de la producción nacional con un porcentual del orden del 95% hasta el año 2012, año en que empieza a caer la producción llegando al 88% de la participación en el año 2014.

La participación de la importación en relación a la total de las energías secundarias fue creciendo en forma paulatina hasta el año 2009; después pega un salto importante en el año 2010, incrementándose un 3% en términos porcentuales con respecto al año 2009; y luego del año 2010 fue creciendo hasta llegar a casi el 12% en el año 2014.

Dado el crecimiento de la importación de las energías secundarias, es importante conocer cuál es la participación de estas energías en la matriz energética.

Tabla 2.9 Participación Porcentual de cada energía secundaria importada entre 2004-2014

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Energía Eléctrica	27%	33%	29%	30%	25%	24%	15%	9%	9%	6%	7%
Gas Distribuido por Redes	0%	0%	0%	0%	14%	24%	22%	32%	38%	45%	53%
Gas Licuado	1%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Otras Naftas	0%	0%	2%	4%	1%	2%	0%	0%	0%	0%	0%
Motonafta Total	1%	1%	1%	1%	1%	0%	2%	1%	1%	3%	3%
Kerosene y Aerokerosene	0%	1%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Diesel Oil + Gas Oil	15%	30%	19%	26%	27%	16%	48%	40%	36%	39%	30%
Fuel Oil	30%	27%	43%	33%	28%	23%	12%	15%	16%	6%	5%
Carbón Residual	4%	5%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
No Energético	21%	3%	4%	5%	4%	13%	2%	3%	3%	3%	3%

Fuente: Elaboración propia según datos de la Secretaria de Energía de la Nación.



En cuanto a la participación de la importación de las energías secundarias se puede observar que cada energía se comportó de diferente manera. Por ejemplo, la energía eléctrica pasó de una participación del 27% a una del 7% en el año 2014; este dato es positivo, demostrando que el país ha aumentado su capacidad de producción nacional, necesitando importar menos esta energía. Con el gas distribuido por redes pasa exactamente lo contrario: hasta el año 2007 no era necesario la importación, pero desde el 2008 se inició la importación de esta energía incrementándose en forma constante, hasta llegar al año 2014 con una participación del 53%.

Otro dato a considerar es que, si bien es cierto que ha crecido exponencialmente la importación de las energías consideradas como motonafta, la incidencia en cada año en términos porcentuales no ha sido muy significativa, pasando del 1% en el año 2004 a un 3% en el 2014.

Y, por último, la energía secundaria del Diésel + Gas Oil tuvo un comportamiento variable en estos años. Su incidencia en la importación ha sufrido variaciones; en el año 2004 estaba en el orden del 15%, tuvo un pico en el 2010 del 48%, para luego bajar en el año 2014 a un 30%.

2-3-3-2 Oferta Interna Secundaria

Aplicando el mismo concepto para el cálculo de la energía primaria, las variaciones de las energías secundarias, con los datos obtenidos de las planillas BEN, se confeccionó en la tabla general de la Oferta Interna de Energías Secundarias Período 2004-2014; su detalle se encuentra en el Anexo II.

Dentro de la oferta interna de las energías secundarias, el gas para redes y el gas de refinerías han tenido un crecimiento importante pero, debido a la incorporación de leyes para las mezclas de combustibles líquidos a partir del 2010, el bioetanol y el biodiesel han crecido exponencialmente. La oferta interna ha aumentado durante los diez años un 31%.

Para lograr una mejor interpretación de la oferta interna de las energías secundarias, se han agrupado. Se ha tomado la suma del gas de refinería con el gas licuado para formar un valor unificado del gas. Con respecto a las naftas, se han agrupado la gasolina natural + otras naftas + motonaftas total, y se ha formado el valor unificado. El último valor que se unificó está constituido por los valores de kerosene y aerokerosene + fuel oil + carbón residual + no energético + gas de coquería + gas de



alto horno + coque + carbón de leña. Con estas agrupaciones de energías se facilita el conocimiento de la participación de cada energía dentro de las energías secundarias.

Se establecen los porcentajes de participación y se crean las siguientes tablas y gráficos.

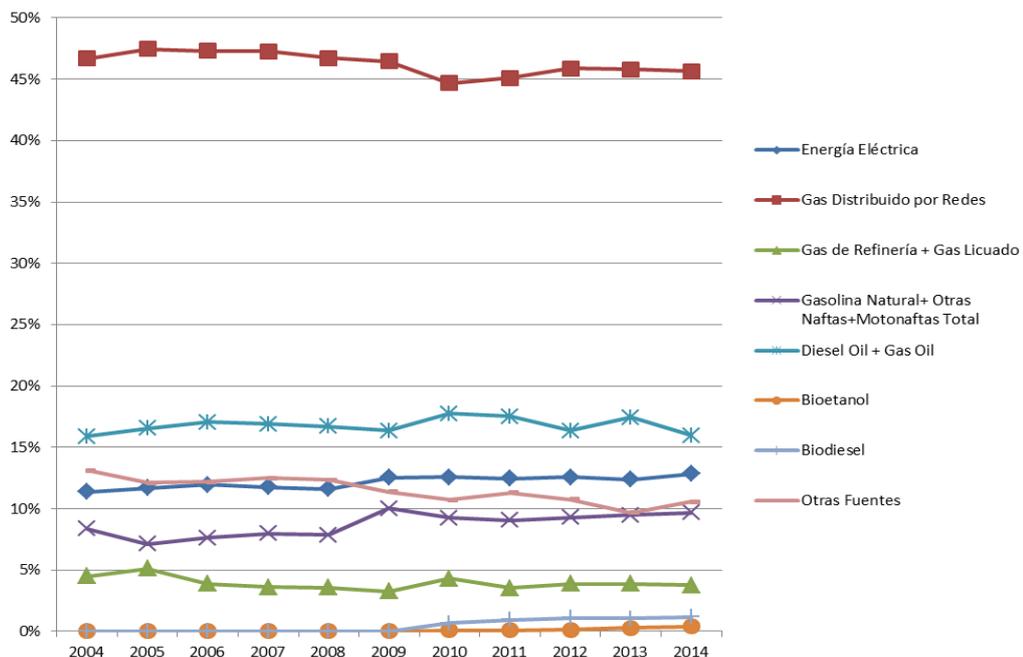
Tabla 2.10 Participación Porcentual de la Oferta Interna distribuida por cada energía secundaria en el período 2004-2014

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Energía Eléctrica	11%	12%	12%	12%	12%	13%	13%	12%	13%	12%	13%
Gas Distribuido por Redes	47%	47%	47%	47%	47%	46%	45%	45%	46%	46%	46%
Gas de Refinería + Gas Licuado	5%	5%	4%	4%	4%	3%	4%	4%	4%	4%	4%
Gasolina Natural+ Otras Naftas+Motonaftas Total	8%	7%	8%	8%	8%	10%	9%	9%	9%	9%	10%
Diesel Oil + Gas Oil	16%	17%	17%	17%	17%	16%	18%	18%	16%	17%	16%
Bioetanol	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.08%	0.10%	0.15%	0.29%	0.40%
Biodiesel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0.68%	0.95%	1.09%	1.07%	1.18%
Otras Fuentes	13%	12%	12%	12%	12%	11%	11%	11%	11%	10%	11%

Fuente: Elaboración propia según datos de la Secretaria de Energía de la Nación

Poniendo en juego todas las variables que componen la ecuación para obtener la oferta interna secundaria, la mayor participación en forma constante ha sido el gas distribuido por redes y la energía eléctrica; desde el punto de vista de la energía del Diésel + Gas Oil, que principalmente se consumen en transporte e industria, prácticamente se mantuvo constante durante el período en estudio.

Gráfico 2.12 Participación Porcentual de la Oferta Interna distribuida por cada energía secundaria en el período 2004-2014



Fuente: Elaboración propia según datos de la Secretaria de Energía de la Nación.



Así, la participación del gas distribuido por redes se ha mantenido en el orden del 46% durante el período de referencia.

La segunda energía secundaria con mayor participación es el diésel + gas oil, que también se ha mantenido constante.

Y la tercera energía secundaria con mayor participación es la energía eléctrica, que se mantuvo dentro de los valores del 12%.

Observando el gráfico, la participación de las energías secundarias, en general, no han sufrido grandes modificaciones en los diez años considerados pero, si bien es cierto que el bioetanol aparece con un porcentaje muy bajo, hay que hacer dos consideraciones:

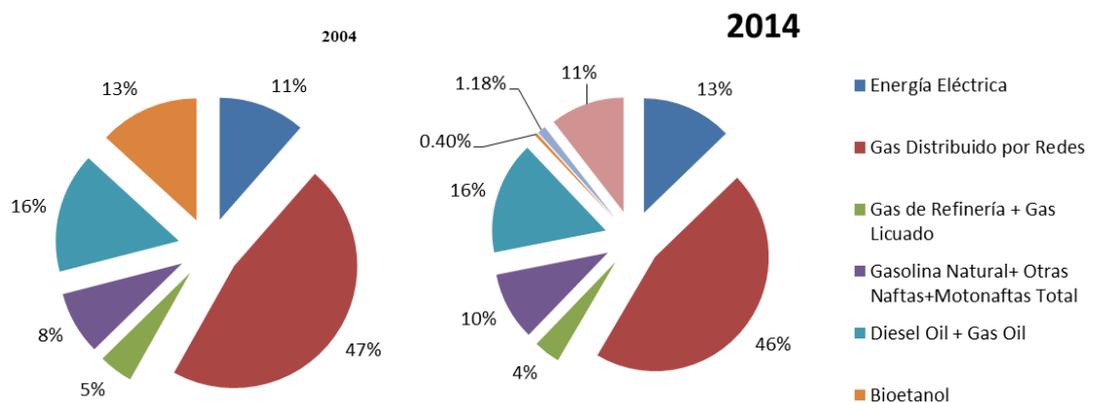
a) antes no se poseía datos estadísticos;

b) a partir del 2010 se propone la mezcla de este combustible con las naftas, que hace que su participación sea muy baja, dado el poco tiempo transcurrido en su consideración.

Pero al tener en cuenta el crecimiento del biodiesel y el bioetanol, llamados biocombustibles, se puede observar su crecimiento en la consideración de la oferta interna, demostrando un crecimiento exponencial.

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

Gráfico 2.13 Comparación de la participación de las energías secundarias al inicio y final del período considerado (2004 y 2014)



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

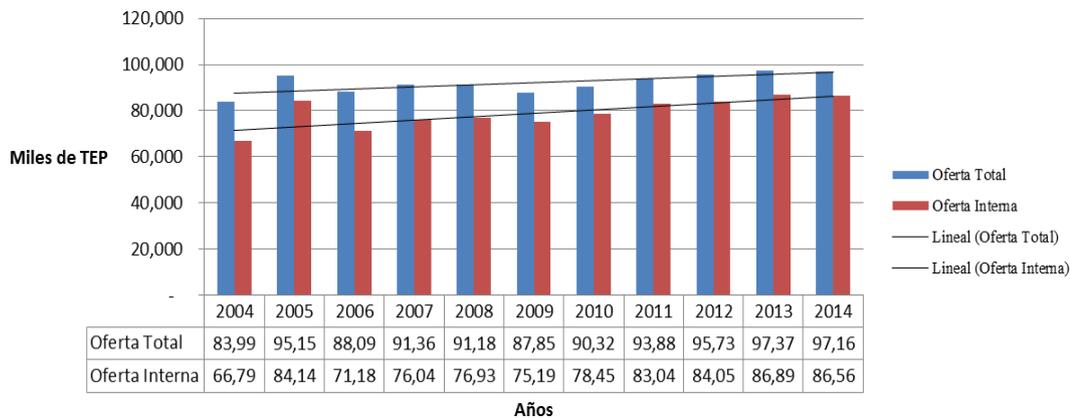
Es interesante observar cómo ha cambiado la oferta interna de las energías secundarias en el período considerado. El aumento de la energía eléctrica de 2 puntos en términos porcentuales, la variación del gas distribuido por redes natural es muy baja, pero lo importante es la aparición de los biocombustibles dentro de la



participación de las energías secundarias, y que la disminución de otras energías ha sido absorbida por ellos.

Con los datos de la tabla Oferta Interna de Energías Secundarias (Anexo II) se consideran los valores que hacen disminuir la oferta interna (Exportación y Bunker-No aprovechables-Pérdidas-Ajustes) y se confecciona la tabla Análisis de la Oferta Total vs Oferta Interna, teniendo en cuenta la sumatoria de cada energía secundaria por año, dentro del período considerado. Dicha tabla se encuentra en el Anexo III.

Gráfico 2.14 Evolución de la Oferta Interna - Oferta Total - Energías Secundarias



Fuente: Elaboración propia según datos de la Secretaria de Energía de la Nación.

La tendencia de la oferta interna y la oferta total de las energías secundarias tienen pendientes positivas; el salto de la energía total en el año 2005, 2013 y 2014 se debe a un alto grado de producción del gas distribuido por redes y a la producción del diésel + gas oil, sumándole el incremento de la energía eléctrica en el año 2014. La oferta interna en el año 2004 es la más baja en millones de TEP, debido a que ese año en el rubro Exportación y Bunker el valor llegó a 2,850 millones de TEP para el gas natural de pozo, y a 9,5 millones de TEP de petróleo.

2-3-3-3 Consumo

El consumo se debe analizar en función de la oferta interna primaria más la oferta interna secundaria, que sufren las respectivas transformaciones, y donde las empresas del sector energético tienen su consumo propio. Una vez deducidas estas energías, y no incluyendo el consumo no energético, se analiza el comportamiento y se obtiene que la variación de consumo en el período considerado se incrementó un 21.83%, pasando de un consumo total en el año 2004 de 50.303 millones de TEP a 61.285 millones de TEP en el año 2014. La energía eléctrica, el gas distribuido por redes y el



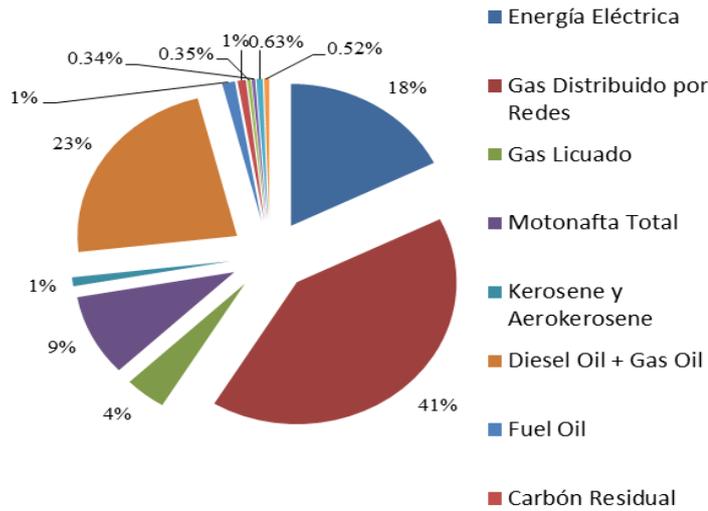
UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
 Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

diésel + gas oil son los consumos que más han crecido durante estos diez años analizados.

Se establecieron todos los consumos por energía y por año (ver detalles en el Anexo IV Consumos totales por año y por energía) y se construye el gráfico de la participación porcentual de cada energía durante los diez años.

Gráfico 2.15 Participación porcentual de cada energía

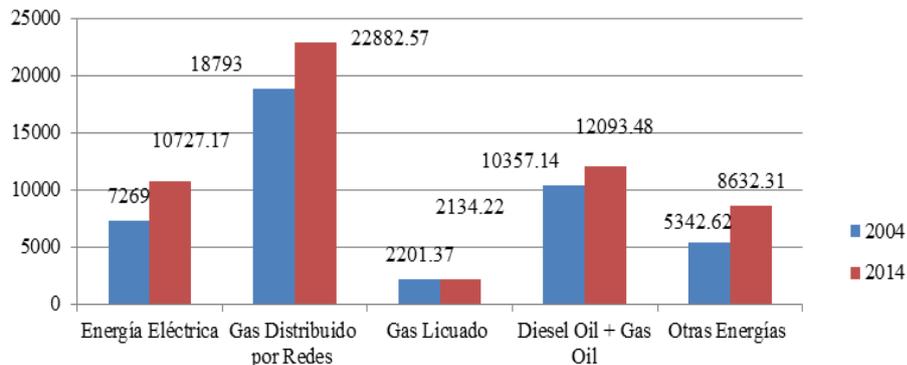


Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía de la Nación.

Hay tres energías que conforman el 82% del consumo energético. El mayor consumo pertenece al gas distribuido por redes con una participación del 41%, seguido por el diésel + gas oil con un 23% y, por último, la energía eléctrica con el 18%.

En términos de valores, agrupando las energías del fuel oil, carbón residual, gas de coquería, gas de alto horno, coque, carbón de leña, motonaftas, kerosene y aerokerosene, se conforma el grupo de otras energías; luego, se consideran los consumos de las otras energías y se construye la tabla comparativa de consumo entre los años 2004 y 2014, utilizando la unidad de medida en miles de TEP.

Gráfico 2.16 Comparativo de energías expresadas en miles de TEP



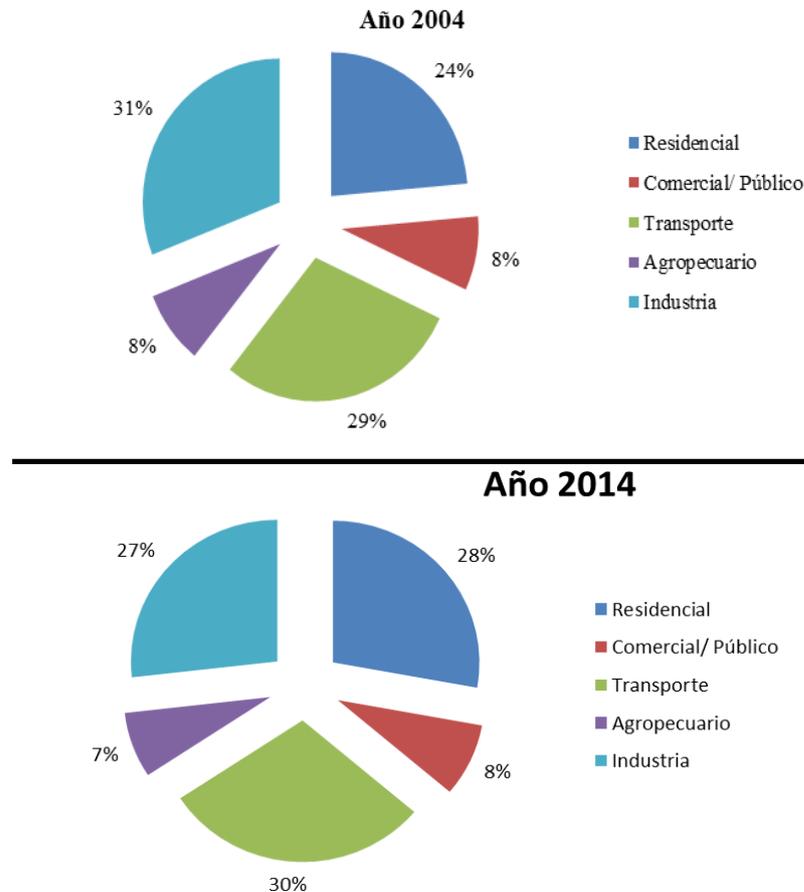
Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaria de Energía de la Nación.



Se observa que el consumo de todas las energías ha aumentado; el único que presentó una pequeña merma es el gas licuado.

Dicho consumo, en términos generales, se tiene que analizar en función del sector al que pertenece. Para ello, la SEN lo distribuye en cinco sectores independientes: Residencial, Comercial/Público, Transporte, Agropecuario e Industrial.

Gráfico 2.17 Comparación de consumos por sectores. Años 2004-2014



Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía de la Nación.

En el 2004, el sector de la Industria fue el de mayor consumo, descendiendo 4 puntos en términos porcentuales, pasando a ser el tercer sector de mayor consumo en el año 2014. Por su parte, el sector transporte creció en el 2014, pero su variación no es tan significativa. El sector residencial presentó un crecimiento, pasando de un 24% a un 28% en los dos años considerados respectivamente. Los otros dos sectores prácticamente se han mantenido constantes en los diez años.



2-3-3-3-1 Consumo Sector Residencial

El mayor consumo se concentra en el gas distribuido por redes que se mantuvo en el orden del 38%, y en la energía eléctrica que fue creciendo durante el período considerado, llegando a su pico en el año 2013 con un 67% de participación en el consumo.

El crecimiento del consumo de gas por red y de energía eléctrica se explica por el crecimiento demográfico y la inclusión de mayor población a las redes mencionadas.

2-3-3-3-2 Consumo Sector Comercial y Público

Se comportó de la misma manera que el residencial, siendo la energía eléctrica y la energía del gas distribuido por redes las más significativas en su uso.

2-3-3-3-3 Consumo Sector Transporte

Como es conocido, su mayor consumo se encuentra en los combustibles líquidos donde se vio incrementado el consumo de motonaftas (considerándose toda calidad de naftas), que pasó de un 26% en el 2004 a un consumo de 38% en el año 2014; la disminución que sufrió el diésel + oil en el orden del 17% es debido a la incorporación en el mercado de los biocombustibles, tales como el biodiesel y el bioetanol. El mercado automotriz ha incorporado el gas licuado de petróleo y su consumo ha venido aumentando y reemplazando al consumo del diésel.

2-3-3-3-4 Consumo Sector Agropecuario

De las cuatro energías consideradas para este sector, la de mayor incidencia es el diésel oil + gas oil, que se ha incrementado en 3 puntos en términos porcentuales en el período considerado. En el caso de la energía eléctrica en el sector agropecuario cuenta con generadores propios, con lo cual la energía suministrada por las empresas distribuidoras es baja. El fuel oil tiene una pequeña merma debido a los nuevos equipos que ya dejaron de usar a este combustible para la combustión.

2-3-3-3-5 Consumo Sector Industrial

Este sector consume, básicamente, dos energías: la energía eléctrica y el gas distribuidos por redes. La primera mantuvo los valores porcentuales casi sin modificación, pero el gas distribuido por redes tuvo una disminución desde el año 2008



hasta el año 2012, producto de la merma de producción por el impacto económico que se desarrolló en el año 2008 a nivel mundial.

2-4 Reservas

De acuerdo con todos los datos analizados, Argentina aún es muy dependiente de sus energías primarias, tiene un gran consumo de sus energías secundarias y, además, demuestra que las energías alternativas todavía no tienen un peso propio dentro de la matriz energética; simplemente observando las planillas BEN de la SEN, aún no aparecen datos de consumo.

Los motivos del crecimiento del consumo vinieron acompañados por factores de crecimiento demográfico y crecimiento del consumo del sector residencial por políticas de conectividad a la red de gas. Teniendo Argentina el mayor consumo de gas natural en la región, también creció la conectividad a la red eléctrica.

Pensar en un país que tenga un desarrollo productivo sostenible es pensar en políticas energéticas que puedan satisfacer las necesidades de la demanda en términos generales. Si lo pensamos en función de un crecimiento demográfico, crecerá la demanda de las energías primarias y secundarias, del transporte, de la infraestructura, etc.

Para ello no sólo se deberá analizar la disponibilidad presente, sino también calcular y conocer sus reservas de energía primaria e ir proyectando energías alternativas, teniendo en cuenta la proyección de la disminución de las reservas.

Según datos publicados por la OETEC (Observatorio de la Energía, Tecnología e Infraestructura para el Desarrollo) junto con el CLICET (Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas), se dieron a conocer, en enero del 2014, los “Indicadores Energéticos de Argentina”¹⁰.

En este informe publicó la tabla 4b “Coeficiente de las Reservas Comprobadas HFC/Extracción de Hidrocarburos al 31/12/2011”.

La información disponible sobre las reservas comprobadas de hidrocarburos del país hasta el final de las concesiones (HFC), suministrada por la Secretaría de Energía de la Nación, son las siguientes:

¹⁰ OETEC [en línea]. Indicadores Energéticos de Argentina, Enero de 2014, p. 16 [fecha de consulta: 10 febrero 2016].

Disponible en: <http://www.oetec.org/informes/indicadoresenergeticos250114.pdf>



Tabla 2.11 Reservas de Petróleo y Gas Natural

Hidrocarburos	Reservas Comprobadas (millones de m³)	Extracción (millones de m³)	Horizonte de Vida (años)
Petróleo	335,2	32.5	10.3
Gas Natural	302.031	45526.2	6,6

Fuente: Informe de la OETEC basado en datos de información estadística de hidrocarburos de la Secretaría de Energía de la Nación.

El horizonte de reservas de las energías no renovables para un país son pocos años: *“Los actuales planes de inversión en ejecución desde el 2012, tanto en formaciones geológicas de explotación convencional como no convencional (...), permitirán en pocos años incrementar significativamente el horizonte de vida de tales reservas”*. (OETEC, p. 15, 16)

En relación a las proyecciones de reservas de energía, principalmente en hidrocarburos y gas, en términos de años no hay un horizonte tan importante. Es un momento esencial para pensar en políticas que ayuden a extender nuestras reservas.

Para tal fin se deberán combinar políticas de ahorro energético, incentivar, apoyar la incorporación de empresas con el objetivo de desarrollar energías renovables, y con todo ello lograr una mayor eficiencia y conservación energética.

Es conveniente pensar en energías renovables que contribuyan a mejorar el medio ambiente y la disminución del CO₂. La necesidad de realizar cambios para mejorar nuestra matriz energética tendría que estar orientada hacia esas energías renovables, a través de una producción propia dirigida a:

- a) Biocombustibles (etanol y biodiesel);
- b) Energía eólica;
- c) Energía hidroeléctrica;
- d) Energía solar y otras alternativas.



CAPÍTULO 3 - SEGURIDAD ENERGÉTICA

3-1 Consideraciones Generales

Las experiencias que el mundo va desarrollando con respecto a la oferta y la demanda de combustibles no renovables, sus variaciones de precio, sus políticas de comercialización por parte de los países productores, la variación de los costos de producción dependientes de este producto, han influido y aún en el presente siguen teniendo incidencia en las economías de los países.

Recordando que, en el año 1973, la OPEP (Organización de los Países Exportadores de Petróleo) embargó a países que habían apoyado la causa israelí y en cuestión de semanas cuadruplicó el precio del crudo, hecho que se repitió en los años 1979 y 1981, el mundo reaccionó a través de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos): crea la Agencia Internacional de Energía (AIE) con el objetivo de promover políticas públicas entre los países miembros para evitar eventuales desequilibrios en el mercado del petróleo.

Con estas políticas surge el concepto de “Seguridad Energética”, que se define como “...*La capacidad de una economía para proveer la cantidad necesaria de energía para su correcto funcionamiento en el largo plazo, teniendo en cuenta las previsiones de crecimiento*”¹¹. Este concepto llevó a los países a la diversificación y eficiencia energética.

Con esta decisión política y la problemática del cambio climático, que ya se venía estudiando, nace el protocolo de Kyoto en Japón, entrando en vigencia el 16 de febrero de 2005, donde los países se comprometieron a bajar el CO₂ en un 15% con respecto al año 1990. En noviembre de 2009, fueron 187 estados los que ratificaron y se comprometieron a ajustar su matriz energética, consumiendo combustibles que permitieran cumplir con los objetivos de emisión de gases de invernadero (GEI). Los países industrializados, en su lucha contra el cambio climático, deberán reducir en forma gradual la emisión de GEI en un promedio del 5%, durante el período que va de 2008 a 2012, en relación al nivel de 1990. Esta reducción es variable por país, dependiendo de los GEI que producen. Por ejemplo, la Unión Europea deberá reducir

¹¹ BURASCHI, M. 2014. *Biocombustibles argentinos: ¿oportunidad o amenaza? La exportación de biocombustibles y sus implicancias políticas, económicas y sociales. El caso argentino*, Córdoba, Argentina: Edit. CEA Colección Tesis, p. 37.
Disponible en: http://209.177.156.169/libreria_cm/archivos/pdf_1176.pdf



sus emisiones en un 8% y Japón en un 6%. EEUU fue uno de los países que no suscribió este Protocolo (junto con Australia, Croacia y Mónaco), con el agravante de que, en 2003, producía el 25% de los gases contaminantes.

En diciembre de 2015 se reunieron en París los países miembros, con el compromiso de llegar a un acuerdo para bajar las emisiones de gases en un 40% para el año 2030 y en un 60% para el año 2040.

Con el correr de los años el concepto de seguridad energética se fue ampliando, incorporando las diversas alternativas energéticas y convirtiéndose en un término más amplio, donde también se tiene en cuenta la disponibilidad y los costos de los recursos energéticos y energía sostenible.

El Banco Mundial, en septiembre del 2014, publicó en su página web que apoya la iniciativa “Energía Sostenible para Todos”. Esta publicación apunta a lograr las siguientes tres metas “antes de 2030:

- *Garantizar el acceso universal a la electricidad y los combustibles limpios para cocinar;*
- *Duplicar la proporción de energías renovables en la matriz energética mundial; y*
- *Duplicar la tasa de aumento de la eficiencia energética.”*¹²

3-2 Eficiencia Energética

La eficiencia energética debe ser entendida como un concepto de productividad: entregar más servicios con un consumo energético similar o menor al suministrado hasta ese momento. El objetivo no es el ahorro, sino la mejor utilización de la energía. Lograrlo es estudiar mejor la optimización de los procesos y el empleo de la energía.

Este concepto no debe confundirse con el de “Intensidad Energética”, que representa la cantidad de energía consumida según la actividad o sub-sector.

Según IEA, en su texto sobre *Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas*¹³, propone indicadores esenciales de

¹² BANCO MUNDIAL [en línea]. Energía: Panorama general [fecha de consulta: 5 febrero 2016]. Disponible en: <http://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview>

¹³ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) [en línea]. 2015. *Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas*, Francia: OCDE/AIE. Disponible en: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyEfficiencyVespagnol_epdf.pdf



eficiencia energética para establecer políticas, y considera diferentes conceptos para llegar a determinar los indicadores.

3-3 Intensidad Energética

Podemos expresar a la “Intensidad Energética” a través de un indicador económico tal como: $I = E/PBI$

Donde

E = Energía Consumida

PBI = Producto Bruto Interno de un País

Hay varios factores que intervienen para el cálculo de la intensidad energética; algunos son endógenos y otros exógenos de un país. Por ejemplo, estructura económica, tamaño del país, costos de los servicios energéticos, etc.

Considerar factores que no están puntualmente relacionados con la energía propiamente dicha tiene un impacto directo al cálculo de la eficiencia energética y puede llegar a darnos indicadores erróneos para nuestros cálculos.

Otro concepto que hay que tener en cuenta es la conservación de la energía, que está directamente relacionada con las políticas de cada país para limitar o reducir el consumo energético.

En conclusión, la eficiencia energética es saber utilizar la energía a través de elementos más eficientes. Para determinar la intensidad energética nos debemos basar en el consumo real de energía y se recomienda utilizar el indicador de la eficiencia energética. Teniendo en cuenta la eficiencia energética técnica y la conservación de energía, ambas aportan para la mejora de la intensidad energética.

3-4 Indicadores Energéticos

Según los estudios realizados en función de una iniciativa internacional encaminada a definir un conjunto de indicadores energéticos del desarrollo sostenible (IEDS), y las metodologías y directrices correspondientes, por parte del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), en conjunto con el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales (UNDESA) de las Naciones Unidas, la Agencia Internacional de la Energía (AIE), la Oficina Europea de Estadística de las Comunidades Europeas (Eurostat) y la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), se ha facilitado la utilización de un solo grupo de indicadores energéticos, y con un carácter más amplio referente a los Indicadores de Desarrollo Sostenible (IDS),



adoptado por los Estados Miembros de las Naciones Unidas y las organizaciones internacionales, al amparo del Programa 21 y de la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible (CDS).

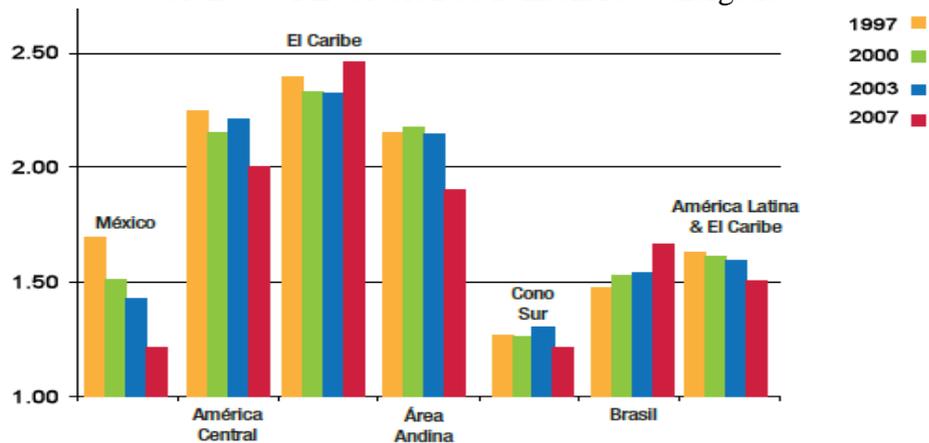
Así, siguiendo el texto *Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías*¹⁴, los indicadores energéticos contemplan una serie de datos auxiliares tales como

...la demografía, la riqueza, el desarrollo económico, el transporte, la urbanización, etc. Algunas de esas estadísticas abarcan:

- la población;
- el PIB per cápita;
- el porcentaje correspondiente a los sectores en el valor agregado del PIB;
- la distancia recorrida per cápita;
- la actividad en el sector del transporte de carga;
- la superficie edificada per cápita;
- el valor agregado de determinadas industrias de manufacturas;
- las desigualdades en los ingresos.¹⁵

Considerando los conceptos de Intensidad Energética y Eficiencia Energética, la OLADE (Organización Latinoamericana de la Energía) realizó un estudio que se publicó en el año 2008, demostrando la evolución de la intensidad energética en los países de América Latina y el Caribe en el período 1997-2007. Este estudio abarcó todos los tipos de combustibles renovables y no renovables, y el objetivo del mismo fue fortalecer el marco institucional y legal en todos los países de la región.

Gráfico 3.1 Evolución de la intensidad energética



Fuente: Sistema de Información Económica Energética – SIEE OLADE 2008.

¹⁴ ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE LAS NACIONES UNIDAS, AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA, EUROSTAT, Y AGENCIA EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE [en línea]. 2008. *Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías*, Austria: OIEA.

Disponible en: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222s_web.pdf

¹⁵ *Ibid.*, p. 26.



Las conclusiones a las que se arribó fueron:

- se avanzó poco en eficiencia energética;
- los esfuerzos realizados no tuvieron una continuidad a largo plazo;
- la región está desarrollando legislaciones en materia de energías renovables, biocombustibles y eficiencia energética;
- los programas de inversión en la materia no están planteados a largo plazo;
- los programas de eficiencia energética requieren de programas permanentes;
- la sostenibilidad depende de la institucionalidad.

3-5 Eficiencia Energética de la República Argentina

En el año 2014 se presentó el *Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de la República Argentina*¹⁶, dentro del marco del programa regional BIEE (Base de Indicadores de Eficiencia Energética para América Latina y el Caribe) articulado por la CEPAL.

El objetivo del documento estuvo basado en describir las tendencias de consumo energético durante el período 1990-2010, dando especial atención a la sustitución de los combustibles que se hayan producido en dicho período. El informe relaciona directamente las tasas de crecimiento económico con la tasa de utilización de la energía, en todas sus formas.

Toma valores como la Intensidad Energética Primaria que se obtiene de la relación entre el Producto Bruto Interno (medido en millones de pesos argentinos) y el consumo de Energía Primaria medido en Ktep (toneladas equivalentes de petróleo), cuya medida es energía por unidad de producto. Según el informe,

*...la intensidad energética disminuye cuando se obtiene el mismo valor de producto con menor gasto energético, esto se observa cuando se implementan políticas de eficiencia, cuando mejora el rendimiento de las transformaciones o cuando se aprovecha la capacidad instalada ociosa, especialmente en el sector industrial.*¹⁷

¹⁶ Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) [en línea]. 2014. *Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de la República Argentina*, Santiago de Chile: Naciones Unidas.

Disponibile en:

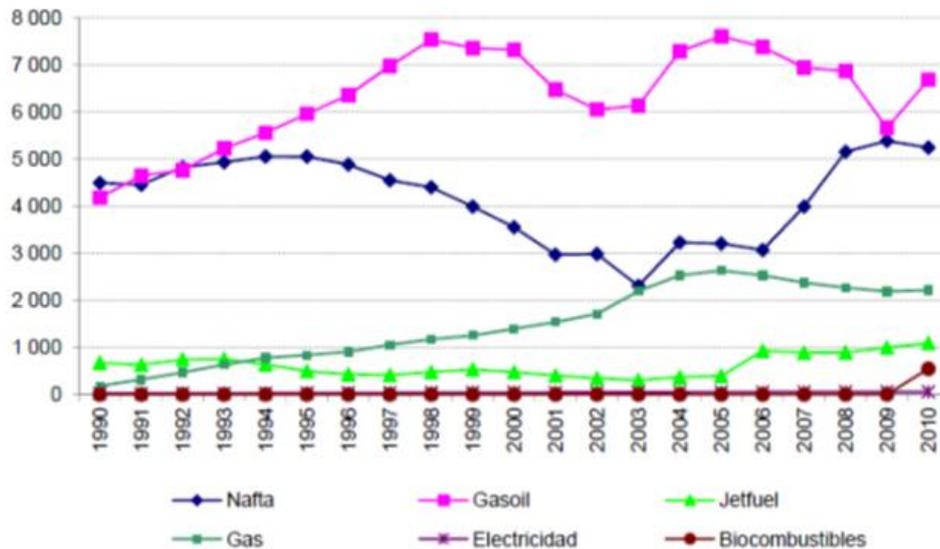
http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37142/S1420670_es.pdf?sequence=4

¹⁷ *Ibid.*, p. 26.



En el gráfico que sigue se pueden observar los consumos de combustibles en el sector transporte, que en el período 1990-2010 pasó de consumir 47% a 33% de naftas, 44% a 42% de gasoil, y un consumo del 14% de gas natural comprimido.

Gráfico 3.2 Consumo Energético del Transporte



Fuente: CEPAL [en línea]. *Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de la República Argentina*, p. 45, basado en datos de la Secretaría de Energía.

El consumo del gas oil, un combustible muy utilizado en los automóviles, ómnibus, camiones y pequeñas embarcaciones, empieza a disminuir a partir del año 2000, debido a un cambio en los motores, y comienza a ser sustituido o mezclado con otros combustibles.

Las estadísticas empiezan a mostrar la incorporación de los biocombustibles a partir del año 2010, como consecuencia de las leyes implementadas, donde se obligaba a incorporar un 5% del total del consumo como mezcla. El cumplimiento de la ley se dio con mucha más fuerza en el biodiesel que incorpora al gasoil en una mezcla del 8% en volumen, logrando de esta forma disminuir los recursos derivados del petróleo. Además, se comienza a incorporar la producción de alcohol (etanol) para utilizar en mezcla con las naftas.

El Gobierno Nacional viene trabajando para el uso racional y la eficiencia energética, a través de diferentes programas, desde lo público y lo privado.

El Fondo Argentino de Eficiencia Energética (FAEE), que se desarrolla dentro del Proyecto GEF de Eficiencia Energética en Argentina, llevado a cabo por la Secretaría de Energía de la Nación, dependiente del Ministerio de Planificación



Federal, otorga a las Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs) una línea de créditos para proyectos de inversión en eficiencia energética.

Estos créditos apuntan a proyectos de inversión para la mejora de la eficiencia energética presentados por las PyMEs, tales como mejoras en sistemas térmicos, de refrigeración, motrices, de iluminación, y/o en procesos productivos. En el año 2015 se abrió el tercer llamado para la presentación de proyectos.

Según el artículo del Dr. Luis Mundaca (2015), titulado "Indicadores energéticos internacionales evalúan a la Argentina de manera positiva"¹⁸, se considera que para evaluar la situación energética en la Argentina hay que tener en cuenta:

...indicadores relativos a la intensidad energética, la dependencia energética de diferentes fuentes de energía -incluyendo dependencia de las importaciones de gas-, la relación entre las reservas y la producción, la oferta en relación con la demanda, la cuota de las energías renovables en el suministro total de energía primaria, el porcentaje de biocombustibles en el sector de transportes, la interconexión del sistema energético, la diversificación de los proveedores (nacionales e internacionales), índices de vulnerabilidad de combustibles fósiles, etc.

Además, el autor mencionado comenta que la Argentina, de acuerdo a indicadores internacionales, está evaluada en forma positiva, ya que “*para el año 2014, el Índice de Seguridad Energética del Consejo Mundial de la Energía coloca a la Argentina en el lugar 14, por sobre países como Alemania, Nueva Zelandia o Noruega*”.

Con todas las políticas llevadas a cabo por el Gobierno Nacional, interpretando los conceptos de eficiencia energética, intensidad energética, seguridad energética, implementando programas para la mejora del uso de la energía, colocaron al país, según indicadores internacionales, entre los 50 primeros países que no tendrían motivos para que se generara una crisis energética.

¹⁸ MUNDACA, L. [en línea]. 2015. Indicadores energéticos internacionales evalúan a la Argentina de manera positiva", *OETEC-ID* [fecha de consulta: 18 febrero 2016]. Disponible en: <http://www.oetec.org/nota.php?id=1082&area=1>



CAPÍTULO 4 - BIOCOMBUSTIBLES

4-1 Biocombustibles en el Mundo

El mundo sigue siendo dependiente de los combustibles fósiles, tales como el petróleo, gas natural y el carbón, o la energía nuclear que se obtiene a partir del uranio. Estas energías necesitarán muchos años para renovarse y está en duda en qué momento se agotarán. No se conoce ni se puede determinar por diferentes razones, tales como políticas, fuentes de financiación para la exploración, intereses políticos, cantidad de reservas petrolíferas y capacidad de abastecimiento que tiene el mundo.

Por definición,

...la reserva de un yacimiento hidrocarburífero es una fracción del hidrocarburo original in situ, dado que no es posible extraer el total del energético existente, y el valor de esa fracción fluctúa entre un 15% y 60% del total del hidrocarburo existente. En ese sentido, se dirá que las reservas comprobadas o certificadas son el resultado de la obtención de ese valor. En lo concerniente a las reservas no comprobadas, se subdividen en probables y posibles. [...] suele tomarse para el registro de reservas totales la sumatoria de las reservas comprobadas y del 50% de las reservas probables.¹⁹

En sentido contrario, las materias primas que no cumplan las condiciones anteriores se denominan recursos. Así, vemos la importancia de los costos del petróleo, su extracción y los precios del mercado, que dan su influencia sobre las reservas.

Según datos publicados en el 2004 por la OPEP y la AIE, el nivel de inversión en el sector fue muy bajo, pero el aumento de los precios durante los años 2005-2006 motivó a la inversión de la exploración, descubriendo nuevos yacimientos petrolíferos en el mundo.

La producción y el abastecimiento de los combustibles fósiles está concentrado en pocos países del mundo; esto les permite restringir la oferta e imponer el precio. La consecuencia de esta imposición de precio es directamente proporcional al aumento del transporte, expresadas en cualquiera de sus formas, vía terrestre, aérea, marítima y fluvial. Las estimaciones, para el año 2035, del consumo de transporte se incrementarán en un 61%, según datos de la U.S. Energy Information Administration - EIA²⁰, 2010.

¹⁹ DE DICCO, R. A. [en línea]. 2006. Estudio sobre el agotamiento de las reservas hidrocarburíferas de Argentina, período 1980-2005. Buenos Aires: IDICSO (Universidad del Salvador), pp. 12 y 13. Disponible en: <http://www.usal.edu.ar/archivos/csoc/docs/idicso-sdti038.pdf>

²⁰ EIA [en línea]. U.S. Energy Information Administration. Washington, Estados Unidos. Disponible en <http://www.eia.gov/>



Por tal motivo, las nuevas investigaciones están orientadas a las energías renovables, que se obtienen a partir de recursos naturales abundantes, partiendo del concepto que la renovación es ilimitada. Es indispensable fomentar la investigación y desarrollo de energías renovables teniendo en cuenta que la población mundial, según datos publicados por la ya referenciada *World Population Prospects: The 2015 Revision*²¹, crecerá a 9725 millones de personas para el año 2050. Este crecimiento demográfico hará que se incrementen la demanda alimentaria y la energética.

Los Estados Unidos tienen una alta dependencia del petróleo, por lo cual vienen desarrollando diferentes investigaciones en lo que respecta a biocombustibles para encontrar soluciones alternativas y bajar su dependencia del crudo.

4-2 Biomasa

Las principales fuentes de biomasa la constituyen la agricultura para la producción de bioenergía en sus diferentes presentaciones, como el biogás, bioelectricidad, biodiesel y bioetanol.

A la biomasa se la define, según I. Mateos Moreno, citado en el texto *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica*²², “como el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma”.

La biomasa vegetal incluye toda la biomasa procedente de vegetales, teniendo en cuenta a la biomasa lignocelulósica y a los productos de la agricultura que contienen azúcares, almidones y proteínas, como pueden ser los granos, frutos u otros.

El desarrollo de energías renovables cambiará los patrones de producción; las investigaciones desarrolladas hasta la fecha tienen como objetivo principal desacelerar el uso de los recursos naturales, bajar los gases del efecto invernadero y con ello reducir la problemática de los efectos del cambio climático.

La biomasa, elemento fundamental como fuente de energía renovable, además de sus propiedades como fuente de energía, es importantísima para fomentar el

²¹ NACIONES UNIDAS [en línea]. New York: World Population Prospects: The 2015 Revision [fecha de consulta: 3 febrero 2016].

Disponible en: http://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf

²² ABRIL, A.; NAVARRO, E. A. 2012. *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica*. Sevilla, España: Aleta Ediciones, p. 15.

Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/241216642_Etanol_a_partir_de_biomasa_lignocelulosica



desarrollo regional, pudiendo dinamizar la actividad económica, la industrialización, el desarrollo tecnológico y la creación de nuevos puestos de trabajo en las zonas rurales de la región.

4-3 Biocombustibles

El uso de los biocombustibles, mencionado en el trabajo “Biocombustibles: Estrategias limpias para combatir la crisis energética” de la Revista Tecnociencia, “...ofrece muchos beneficios, incluyendo la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, el desarrollo económico de zonas agropecuarias-rural, además de un incremento en la sustentabilidad energética (Zhu et al., 2009)”²³.

De acuerdo a la materia prima utilizada, los biocombustibles se clasifican en primera generación y segunda generación. Los de primera generación utilizan como materia prima a aquéllas provenientes de cultivos alimenticios tales como el maíz, trigo, sorgo y cebada. Los llamados de segunda generación son aquellos biocombustibles que se obtienen a partir de residuos forestales o residuos de procesos agroindustriales.

También se están estudiando los biocombustibles de tercera generación, cuya materia es extraída a partir de micro-algas y fuentes microbianas.

Considerando la oportunidad de los países para desarrollar biocombustibles de primera y segunda generación, es una tendencia que los países del mundo implementen políticas para su investigación y desarrollo.

Así, en el caso de América Latina se vienen poniendo en funcionamiento políticas y programas de incentivación para la implementación de producción de biocombustibles.

La oportunidad del desarrollo de los biocombustibles viene de la mano de la agricultura en la región, cuyas ventajas comparativas con respecto a otras regiones es positiva, y cuyas inversiones pueden ser significativas dado el potencial del mercado, regional e internacional.

²³ CASTILLO-VÁZQUEZ, N.; SIQUEIROS CENDÓN, T.; RASCÓN-CRUZ, Q. 2011. Biocombustibles: Estrategias limpias para combatir la crisis energética. *Revista Tecnociencia*. México, Vol. V, N°2, p. 61.

Disponible en:

http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v5n2/data/Biocombustibles_estrategias_limpias_para_combatir_la_crisis_energetica.pdf



Siguiendo el trabajo *América Latina y el Caribe. Mapeo político-institucional y análisis de la competencia entre producción de alimentos y bioenergía*,

...De acuerdo con la terminología aplicada por la FAO (2001) (CEPAL 2009) los biocombustibles pueden ser clasificados en tres grupos: a) combustibles de madera, derivados directa o indirectamente de los árboles y arbustos que crecen en tierras forestales y no forestales; b) agrocombustibles, que provienen principalmente de la biomasa que resulta de los cultivos destinados a ser utilizados como combustible y de los subproductos agrícolas, agroindustriales y animales; c) subproductos de tipo municipal referidos a los desechos de biomasa producidos por la población urbana, que pueden ser sólidos o gaseosos/líquidos producidos en ciudades y aldeas.²⁴

La tendencia de un mayor aprovechamiento de los cereales y oleaginosas para el uso energético trajo aparejadas discusiones que se presentan en la bibliografía con autores a favor de este aprovechamiento y otra parte de la literatura lo discute, porque fundamentan que está en riesgo la declaración de la seguridad alimentaria. Una de sus definiciones dice: *“La seguridad alimentaria se da cuando todas las personas tienen acceso físico, social y económico permanente a alimentos seguros, nutritivos y en cantidad suficiente para satisfacer sus requerimientos nutricionales y preferencias alimentarias, y así poder llevar una vida activa y saludable”²⁵.*

El uso de los cereales y oleaginosas, como fuentes de energía renovable, llevó al aumento de precios de los mismos; Braun (2007), citado en el informe *Situación y desempeño de la agricultura en ALC desde la perspectiva tecnológica Informe 2008*, señala cuatro grandes factores que a nivel mundial están incidiendo en el aumento de los precios de los alimentos:

- *Incremento en la demanda de productos alimenticios, debido al crecimiento demográfico que han experimentado algunos países en desarrollo, en especial China e India.*
- *Cambios en los hábitos de consumo, ya que, con el crecimiento económico que han experimentado estos países, y los procesos de urbanización y desarrollo que se han venido dando, su población tiene mayor capacidad de adquirir alimentos más sanos y de mayor calidad.*
- *Bajos niveles en los inventarios de cereales a escala mundial, a causa de que varios países productores experimentaron bajos niveles en la producción de alimentos, lo cual en algunos casos se puede explicar por una reducción en el área cosechada y por los efectos de las malas condiciones del tiempo.*
- *Un cambio en el uso de los cultivos alimenticios hacia la producción de energía: ante el aumento en los precios de los combustibles fósiles, se ha estado incentivando la*

²⁴ ASCHER, M. [et al.] (coords.). 2010. *América Latina y el Caribe. Mapeo político-institucional y análisis de la competencia entre producción de alimentos y bioenergía*. San José, Costa Rica: IICA. ISBN13: 978-92-9248-252-7, p. 1.

Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/B1683e/B1683e.pdf>

²⁵ FAO [en línea]. 2015. Estadísticas sobre seguridad alimentaria [fecha de consulta: 20 febrero 2016]. Disponible en: <http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/es/>



producción de etanol y diésel con base en productos agrícolas, especialmente maíz, aceites vegetales y azúcar, entre otros. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la producción de este tipo de biocombustibles se triplicó en el período 2000-2007 y ha llegado a representar cerca del 2% del consumo mundial de combustibles para el transporte.²⁶

El aumento de los precios de los combustibles fósiles tuvo un boom entre los años 2005-2006. Volviendo sobre los factores recién mencionados, estos escenarios posicionan a la agricultura como un elemento importantísimo para el desarrollo de los países, ya sea como proveedor de alimentos o de insumos energéticos.

La oportunidad de la agricultura como rol de agro-energía en el siglo XXI representa un desafío para el desarrollo de nuevas tecnologías para la producción de biocombustibles, teniendo en cuenta evitar los impactos negativos en términos de medio ambiente y no generar desabastecimiento alimentario en la población.

La preocupación de los diferentes organismos internacionales en hacer cumplir el compromiso de mantener la seguridad alimentaria e incentivar la búsqueda de combustibles alternativos, que emanen menor cantidad de CO₂ y contribuyan a disminuir el calentamiento global, pone de manifiesto que las investigaciones se deberán desarrollar en aquellos cultivos y/o sus rastrojos que no se interpongan en la matriz de alimentación.

De acuerdo con la ya referida Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la producción de este tipo de biocombustibles se triplicó en el período 2000-2007 y ha llegado a representar cerca del 2% del consumo mundial de combustibles para el transporte.

Así, los biocombustibles líquidos provenientes de materia prima agrícola son principalmente aprovechados en el transporte, y los más usados son el bioetanol y biodiesel. Para su obtención y su sustentabilidad hay que tener en cuenta la disponibilidad de tierra para sembrar estos cultivos y sus desechos con el fin de no tener una coalición entre su uso energético y su utilización alimentaria.

Como ya se mencionó anteriormente, la utilización de los cereales y oleaginosas para biocombustibles puede traer una consecuencia no deseada, que es el aumento de los precios de estos cereales como consecuencia de la demanda. Una de las maneras

²⁶ PALMIERI, V.; ALARCÓN, E.; RODRÍGUEZ, D. 2009. *Situación y desempeño de la agricultura en ALC desde la perspectiva tecnológica Informe de 2008*. San José, Costa Rica: IICA, pp. 8 y 9. Disponible en: <http://www.sidalc.net/repdoc/A5296e/A5296e.pdf>



para contrarrestar este posible efecto es analizar un mejor desarrollo en aquellas regiones donde la agricultura no sea una actividad competitiva por diferentes razones.

Los países deberán fomentar políticas de desarrollo de biocombustibles para no generar conflictos con aquellas tierras que estén destinadas al suministro de alimentos y que pondría en riesgo la seguridad alimentaria de cada país.

Siguiendo el análisis del IICA, Bot *et al.* (2008) expresa que los países de América Latina y el Caribe con alta disponibilidad de tierras arables son "...Ecuador, Surinam, Guyana, Paraguay, Uruguay, México, Perú, Venezuela, Colombia, Bolivia, Argentina y Brasil"²⁷. Son países con posibilidades de expansión de cualquier tipo de agricultura, que los transforma en proveedores de alimentos mediante el esquema de desarrollo sostenible, y también con posibilidades de desarrollar biocombustibles tanto para uso interno como para exportar.

4-4 Biocombustibles en la Argentina

El estudio realizado por la FAO, en colaboración con organismos oficiales de nuestro país, arriba a las siguientes conclusiones que fueron expresadas en el *Análisis del balance de energía derivada de biomasa en Argentina – WISDOM Argentina Informe Final*²⁸, donde se analiza la producción y consumo de biocombustibles aplicando la metodología de Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles.

El método WISDOM está basado en la tecnología de los sistemas de información geográfica (SIG), dando la oportunidad de combinar oferta y demanda de datos que sean necesarios conocer como, por ejemplo, combustibles leñosos, agricultura, asuntos sociales, industrias energéticas, etc.

Si bien es cierto que el estudio está basado en el potencial dendro-energético, con el fin de conocer qué potencial de producción tiene el país para producir energía térmica y eléctrica, en base a la capacidad de leña, carbón vegetal o residuos agroindustriales, se pueden obtener los datos de las zonas con alta potencialidad de

²⁷ ASCHER, M. [et al.] (coords.), *op. cit.*, p. 2.

²⁸ TROSSERO, M. (coord.). 2009. *Análisis del balance de energía derivada de biomasa en Argentina – Wisdom Argentina Informe Final*, Roma: FAO.

Disponible en:

https://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/probiomasa/WISDOM_Arg_Informe_Final.pdf



biomasa. De estos estudios realizados, el informe final dio como resultado que la Argentina tiene un nivel de superávit potencial de biomasa energética.

Así, Argentina, desde el punto de vista agronómico y forestal, posee condiciones ecológicas adecuadas para el desarrollo de insumos básicos necesarios para la producción de energía a partir de biomasa; también tiene un gran potencial y ventajas comparativas para la producción de biocombustibles. Esto se debe a que es uno de los principales productores de cereales y oleaginosas; además, posee gran extensión de tierras para lograr desarrollar cultivos tradicionales, tales como la soja, girasol, maíz y sorgo, y cultivos no tradicionales, como el ricino, cártamo, colza, etc., todos ellos principales insumos para la elaboración de biocombustibles.

Hay que realizar una diferenciación del concepto “biocombustible”. En términos generales, la palabra abarca todos aquellos combustibles derivados de la biomasa vegetal, los cuales pueden ser líquidos, gaseosos o sólidos. Los sólidos son utilizados para la generación de energía térmica, a diferencia de los biocombustibles líquidos y gaseosos que son empleados en el transporte.

4-5 Características de los Biocombustibles

La condición necesaria de los biocombustibles líquidos y gaseosos para poder ser utilizados en motores de combustión interna es que deben tener rasgos similares a los productos fósiles.

Otra de las características que deben presentar los biocombustibles de origen agrícola es que su balance energético en toda la cadena productiva sea positivo, y su costo de producción sea favorable con respecto a los combustibles fósiles.

Como ya se mencionó, hay dos clases de biocombustibles: el etanol utilizado en motores nafteros y el biodiesel que se utiliza en motores diésel.

Las materias primas para la obtención del etanol son productos ricos en sacarosa, tales como la caña de azúcar, la melaza y el sorgo dulce; también se puede obtener de materias primas ricas en almidón, como son los cereales, tales como el maíz, trigo, cebada o tubérculos, como la mandioca, papa y batata. La fórmula química del etanol es C_2H_5OH .

En cambio, el biodiesel se obtiene a partir de aceites vegetales o grasas animales; las principales materias primas son la soja, el girasol, la palma aceitera y la colza. Estos aceites vegetales sin modificación pueden utilizarse como combustibles, pero los



motores deben ser modificados en consecuencia, a través de una transformación química llamada trans-esterificación; así, mejora las propiedades y pueden ser utilizados en los motores diesel.

Otras de las ventajas de la utilización de los biocombustibles es bajar la emisión de gases de invernadero (GEI).

Veamos la tabla publicada en el artículo de la revista *Tecnociencia*, antes referenciada:

Tabla 4.1 Ahorro en GEI de los biocombustibles según la materia prima

Biocombustible	Materia Prima	Ahorro en GEI (gCO₂, eq/MJ)
Etanol	Maíz	35.58
Etanol	Caña de Azúcar	59,99
Biodiesel	Canola	41.18
Biodiesel	Soja	38,79
Etanol	Biomasa Lignocelulósica	63.10
Metanol	Biomasa Lignocelulósica	77.60

Fuente: Adaptado de Havlik *et al.* (2010), citado en la revista *Tecnociencia*²⁹.

Según datos presentados por OLADE³⁰, Argentina genera un 9,8 MtCO₂e per cápita (datos al año 2015), y la región genera 7,6 toneladas de CO₂. Los estudios recomiendan bajar a 2 toneladas para el año 2050.

Considerando los datos publicados por OLADE, y tomando los valores de la Tabla 4.1, Argentina puede contribuir muchísimo a esa disminución, dado el potencial de generar estos biocombustibles en base a la riqueza de materia prima y biomasa que posee.

²⁹ CASTILLO-VÁZQUEZ, N.; SIQUEIROS CENDÓN, T.; RASCÓN-CRUZ, Q., *op. cit.*, p. 62.

³⁰ OLADE [en línea]. 2016. *Cambia la energía cambia el clima. Cambio climático y su impacto en el sector energético*. Ecuador: OLADE.

Disponible en: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0357.pdf>



CAPÍTULO 5 - PRODUCCIÓN, CONSUMO Y TENDENCIA DEL BIOETANOL

5-1 Producción y Consumo Mundial

La producción y el consumo mundial de bioetanol son liderados por Estados Unidos y Brasil, utilizando básicamente, como materia prima, la caña de azúcar para Brasil, y el maíz para los Estados Unidos. Por su parte, la Unión Europea utiliza los cereales, ocupando el tercer lugar en el mundo como productor.

Así, la Unión Europea, en forma conjunta con los Estados Unidos y Brasil, representan el mayor porcentaje de la producción y el consumo llegando casi al 90%. Desde el 2001 al 2011 la producción se ha incrementado en 66.000 millones de litros.

5-1-1 Unión Europea

Siguiendo las “Perspectivas del bioetanol en la UE hasta el 2020”³¹, la capacidad de producción de la Unión Europea, verificada hasta el año 2012, viene creciendo en forma constante desde el año 2008. La producción total se ha incrementado en 1.994 millones de litros. En la misma tabla se demuestra que la mayor capacidad de producción se encuentra instalada en Francia y Alemania.

Tabla 5.1 Capacidad de producción de bioetanol en la Comunidad Europea expresada 1000 m³

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Francia	578	945	1035	1015	1133	1000	960	1000	970
Alemania	410	628	749	761	743	773	847	916	955
Hungría	30	140	150	186	173	270	370	370	395
Polonia	119	110	166	205	167	213	235	181	160
España	360	346	465	472	463	381	443	455	500
Reino Unido	18	72	75	285	200	170	225	640	400
Sub Total	1515	2241	2640	2924	2879	2807	3080	3562	3380
Total Europa	1792	2762	3544	4143	4377	4516	4650	5255	5077

Fuente: F.O. Licht³²

³¹ MALUENDA GARCÍA, M. J. [en línea]. s/f. Perspectivas del bioetanol en la UE hasta el 2020 [fecha de consulta: 22 febrero 2016].

Disponible en: <http://www.agrodigital.com/Documentos/bioetanolab13.pdf>

³² F.O. LICHT es la empresa líder en el análisis de los mercados mundiales del azúcar, etanol y biocombustibles. Publica una serie de informes impresos y digitales, además de organizar conferencias internacionales líderes del mercado incluyendo F.O. Licht World Ethanol & Biofuels and F.O. Licht's Sugar and Ethanol Brazil.

Disponible en: http://praj.net/p-media/ethanol_latin_america.pdf



Los países con mayor crecimiento han sido el Reino Unido y Hungría. Pero todos los países principales de producción de etanol demuestran crecimiento tomando como base el año 2007. También se debe mencionar que la producción de bioetanol estuvo restringida por falta de certezas en los procesos de elaboración.

Durante el año 2011, la capacidad de producción de los principales países productores de etanol sufrió una caída, pero al año siguiente se recuperó a causa de la implementación de políticas restrictivas a la importación del biocombustible, dando oportunidad a los productores locales con el fin de ampliar su producción y el uso de las capacidades.

En la Unión Europea, aunque aún hay incertidumbre acerca de cuál proceso productivo es el más económico, se está potenciando el crecimiento del bioetanol en pos del cumplimiento de los objetivos de proteger el medio ambiente. Pero este crecimiento de la producción no alcanzó para equiparar el aumento del consumo.

De acuerdo al documento de trabajo antes mencionado, durante el año 2009 la comunidad establece, para las energías renovables, una directiva conocida como la Directiva 20/20/20, cuyos objetivos fueron:

- Reducción del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2020 con respecto a 1990.
- Mejorar el 20% en la eficiencia energética con relación a las previsiones para 2020.
- Establece una cuota de 20% de energías renovables en el cómputo total de energías de la UE, con el objetivo mínimo de que el 10% de esta cuota de consumo de energía se aplique al transporte en cada Estado miembro de la UE.³³

Con estos objetivos la Comisión Europea establece un balance de tres años (2009, 2010 y 2011) con vistas al año 2020:

Tabla 5.2 Perspectiva del mercado biocarburantes. UE 2009-2020 (billones de litros)

	2009	2010	2011	2020
Producción Útil	15.8	16.7	18.1	36.7
Etanol	5.6	6.4	7.2	18.2
Etanol de 2° Generación	0	0	0	0.4
Biodiesel	10.2	10.3	10.9	18.5
Biodiesel 2° Generación	0.4	0.5	0.7	3.6
Consumo	18.8	21	20.8	45
Etanol	6.7	8	8.5	24.2
Otros Usos transporte	2.3	2.5	2.5	2.5
Biodiesel	12.1	13	12.4	20.8
Comercio	-3	-4.2	-2.7	-8.3
Etanol	-1.1	-1.6	-1.3	-6.1
Biodiesel	-1.9	-2.7	-1.5	-2.3

Fuente: Maluenda García. s/f. Perspectivas del bioetanol en la UE hasta el 2020, p. 2.

³³ MALUENDA GARCÍA, M. J., *op. cit.*, p. 2.



El objetivo estaba planteado en aumentar en 20 billones de litros entre los años 2010-2020, dando mayor prioridad a la producción de bioetanol, 12 billones para el etanol y 8 billones para el biodiesel.

En el año 2008 se inicia una crisis económica mundial, iniciada en los Estados Unidos; entre sus causantes más sobresalientes se encuentran los altos precios de las materias primas, sobrevalorización de productos, crisis alimentaria y energética mundial. Con tal panorama los gobiernos tuvieron que realizar rescates financieros para salvar sus economías y aplicaron programas de austeridad económica.

Como la crisis afectó mayoritariamente a los países desarrollados, los mercados emergentes se vieron muy afectados por la reducción de sus exportaciones hacia, principalmente, Estados Unidos y la Unión Europea.

El mercado de biocombustibles no pudo escapar a esta situación, y los países de la Comunidad Europea, para proteger su mercado y producción interna, aplicó medidas comerciales contra la importación de biocombustibles provenientes de Argentina, Indonesia y Estados Unidos de América. También revieron las perspectivas de biocombustibles de primera generación proyectadas hacia el 2020.

Argentina, para poder contrarrestar estas medidas comerciales de la Unión Europea, debió permitir el aumento de la mezcla del combustible, principalmente del biodiesel, dando una respuesta a los productores, permitiéndoles vender el excedente.

Los Estados Unidos, debido a los cambios de comercialización, estuvieron obligados a reducir los requisitos internos para biocombustible, a través de su Agencia de Protección Ambiental (EPA), para el año 2014.

En Brasil decidieron aumentar el porcentaje de la mezcla de etanol al 25% para poder contrarrestar la inflación interna y no aumentar el precio de las naftas.

Una vez superada la crisis económica de los países, se proyecta que el uso y la producción del etanol tendrá una tendencia alcista hacia el año 2023, manteniéndose como los tres mayores productores en el mundo Estados Unidos, Brasil y la Unión Europea, siendo Brasil el mayor impulsor del aumento de la oferta.

Con respecto a los precios de los biocombustibles en un contexto mundial en recesión y con una amplia oferta, descendieron con respecto al 2011.

De acuerdo a la información suministrada por la OCDE-FAO, “Perspectivas Agrícolas 2014-2023”:

- *Se espera que los precios del etanol [...] se incrementen de acuerdo con las tasas de inflación y los precios del petróleo crudo durante la próxima década. [...]*



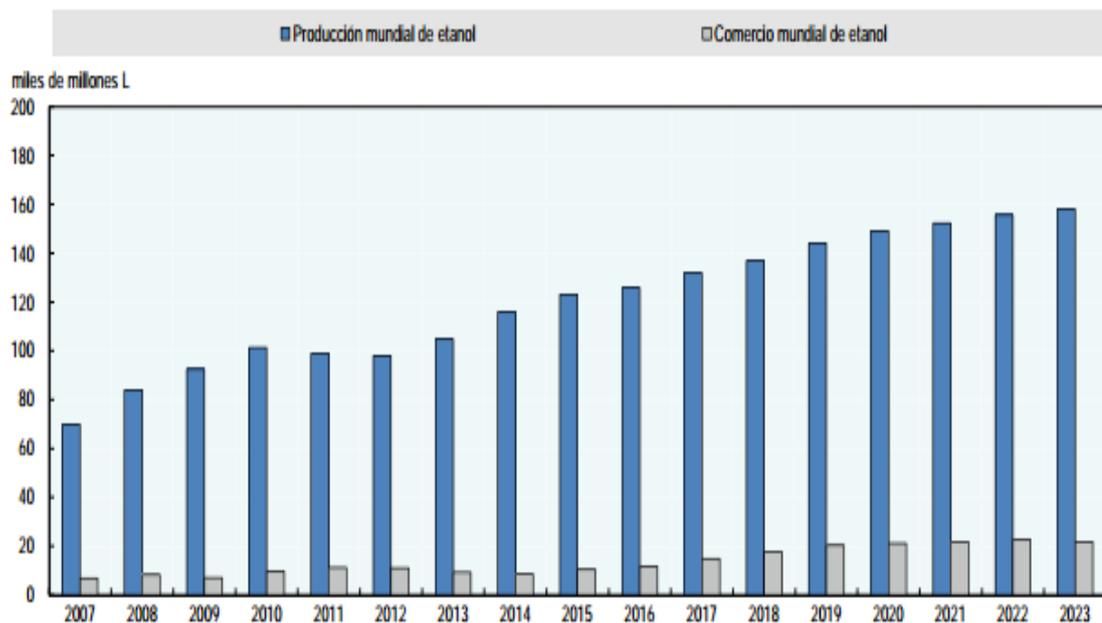
- Se espera que la producción mundial de etanol y biodiesel se expanda hasta alcanzar, respectivamente, 158 Mml y 40 Mml para 2023. El etanol y el biodiesel se seguirán produciendo sobre todo con materia prima útil también para consumo humano. Hacia 2023, se espera que 12%, 28% y 14% de la producción mundial de cereales secundarios, caña de azúcar y aceite vegetal, respectivamente, se utilicen para producir biocombustibles.
- El uso del etanol en Estados Unidos de América se limitará por la barrera de mezcla de etanol. [...]

Se prevé que la importación, impulsada por las políticas, de etanol a base de caña de azúcar para cubrir la brecha avanzada, también decrecerá al final de la próxima década para, así, alcanzar 10 Mml en 2023. Se asume que para 2023 solo se instrumentará 12% de los requisitos celulósicos de EUA.

- Con respecto a la Unión Europea, las Perspectivas asumen que el porcentaje de cumplimiento de la RED proveniente de biocombustibles alcanzará 8.5% en 2020. [...] El aumento de producción de biocombustible de segunda generación permanecerá muy limitado. Serán necesarias las importaciones para satisfacer el objetivo de RED.³⁴

Los gráficos que siguen resaltan la producción y uso de etanol:

Gráfico 5.1 Desarrollo del mercado mundial de etanol

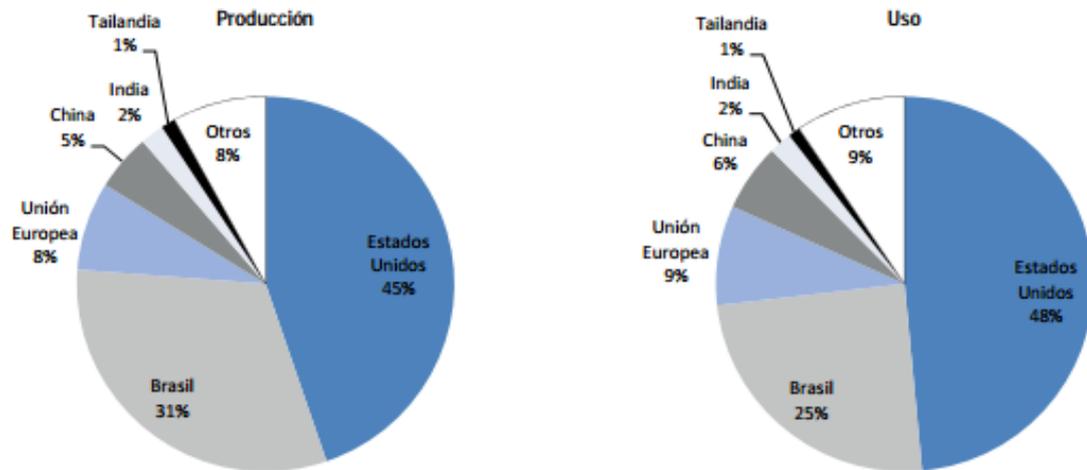


Fuente: OCDE-FAO. *Perspectivas Agrícolas 2014-2023*, p. 124.

³⁴ OCDE-FAO [en línea]. 2014. *Perspectivas Agrícolas 2014-2023*. Universidad Autónoma Chapingo, México: OECD Publishing, p. 116.

Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3818s.pdf>

Gráfico 5.2 Distribuciones regionales de producción y consumo mundiales de etanol en 2023



Fuente: OCDE-FAO. *Perspectivas Agrícolas 2014-2023*, p. 124.

El aumento de producción proyectado para el año 2023 supone un escenario basado en:

- aumento de la demanda de motores flexibles en el mundo;
- aumento del precio del petróleo.

Con estas perspectivas, y considerando que los países empezarán a salir de sus respectivas recesiones paulatinamente, se proyecta que los Estados Unidos, debido a todas las modificaciones realizadas en sus reglamentaciones internas, llegue a exportar el 8% de su producción, dado que priorizará no aumentar el valor para su consumo interno.

5-2 América Latina

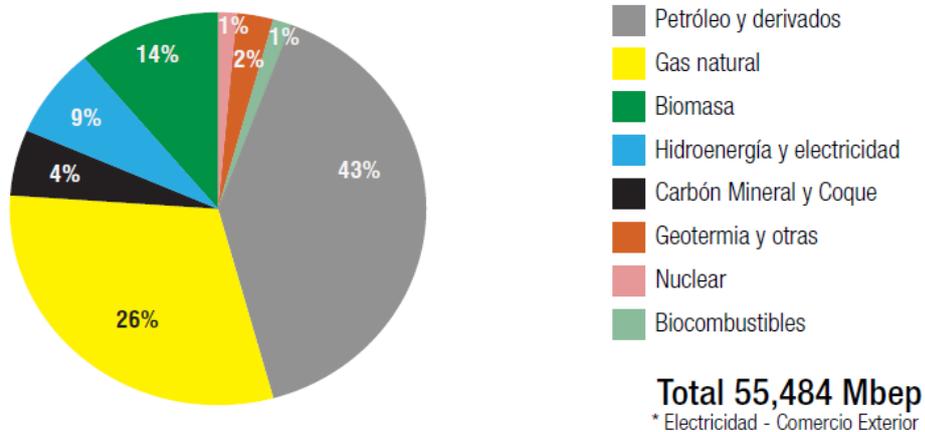
La matriz energética de la región tiene variaciones muy diferentes entre los países integrantes. Hay países que poseen petróleo, como Brasil, Venezuela, Argentina; los otros países tienen que importar este combustible haciendo que gran parte del presupuesto económico esté destinado a este rubro, logrando un mayor costo en su producción agro-industrial y de servicios.

Esto obliga a los países a la diversificación de las fuentes energéticas para poder bajar el consumo del petróleo y los costos de producción a través del ahorro de las importaciones.

Según datos publicados por OLADE, en julio de 2010, la matriz energética de la región es como se demuestra en el siguiente gráfico:



Gráfico 5.3 América Latina y el Caribe. Demanda de energía 2008

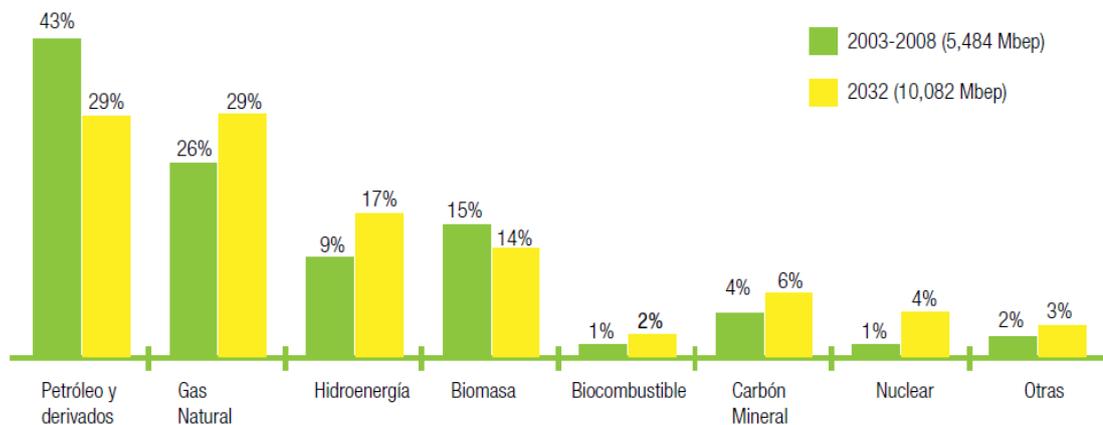


Fuente: Sistema de Información Económica Energética - SIEE OLADE 2008.

En la misma publicación nos muestra la tendencia de la demanda energética proyectada hacia el año 2032. En esta tendencia se puede observar que la demanda de los biocombustibles crecerá en un 100% en 22 años.

Gráfico 5.4 Perspectiva de la demanda energética en América Latina y el Caribe

La demanda de petróleo y derivados y de gas natural se mantiene del orden del 70%, lo que las confirma como las principales fuentes en el sector energético de la Región



Fuente: Sistema de Información Económica Energética – SIEE OLADE 2008.

La región viene invirtiendo en desarrollo tecnológico en pos de mejoras en el rinde por hectárea, cuyas consecuencias no sólo han sido económicas, sino también con beneficios sociales y ambientales.

En América Latina, la materia prima base para la producción del etanol es la caña de azúcar y, en segundo lugar, el grano de maíz.



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

Tabla 5.3 Producción de etanol en EEUU y América Latina

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
EEUU	24552	34968	40728	50088	52805	50350	50397	54286	55700
Brasil	20000	24200	23921	25529	21018	21622	25398	26328	27529
Argentina			23	121	170	252	472	673	830
Colombia	275	256	325	291	337	370	388	407	456
Total	20275	24456	24269	25941	21525	22244	26258	27408	28815

Fuente: F.O. Licht

En el año 2012, el 75% del mercado mundial de los biocombustibles fue absorbido por el bioetanol, convirtiéndose en el biocombustible más empleado en el mundo.

Por la capacidad de producción, EEUU y Brasil dominan el mercado de este biocombustible; los dos países representan el 85% de la producción y el 82% del consumo mundial. Esto hace al mercado mundial del etanol muy dependiente de estos dos países, una perspectiva difícil, ya que el mercado de bioetanol de Brasil tiene altibajos en su producción, y la de los EEUU no ha crecido demasiado desde 2010, como lo demuestra la Tabla 5.3.

En los EEUU existió el problema de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), que propuso recortar el uso total de combustibles renovables, hechos principalmente de maíz estadounidense y, en menor medida, de soja. La propuesta de la EPA, para reducir las metas de combustibles renovables, es una victoria para la industria del petróleo pero una pérdida para los productores de biocombustibles. El RFS (Estándar de Combustible Renovable) requiere el uso de más etanol del que se puede mezclar con gasolina.

Estas medidas obligarían a los refinadores a exportar más combustible o producir menos gasolina, lo que llevaría a una escasez y mayores precios en las estaciones de servicio, además de una mala cosecha de maíz.

En Brasil, una combinación de varias malas cosechas sucesivas de caña de azúcar, fuertes precios internacionales de éste, y un diferencial de precios internos, más pequeño entre el etanol y la gasolina, ha cambiado notoriamente el consumo.

Estas consideraciones realizadas con respecto a los EEUU y Brasil imaginan un escenario favorable para Argentina, que viene creciendo su producción desde el 2009 en forma gradual y constante hasta la fecha considerada, logrando superar en



producción a Colombia a partir del año 2011, pasando a ser el tercer productor en la región.

Estos países, además de poseer los cultivos necesarios para la obtención del etanol, poseen un marco regulatorio, leyes e incentivos para la producción, uso y manejo del combustible. Además, en estos países se han establecido porcentajes para la mezcla de naftas y etanol.

Las iniciativas más importantes que ofrecen las políticas de estos países es garantizar a los productores un consumo interno, a través de la mezcla que se va realizando gradualmente; otras de las políticas de incentivo es el control de precios interno del etanol, en pos de un mayor beneficio de los productores, tomando como base el costo de oportunidad.

Los porcentajes de mezcla varían en cada país dependiendo, básicamente, de la antigüedad de las leyes que se fueron dictando; por ejemplo, Brasil ya está con un 20% de mezcla.

Países, como Chile, podrán obtener etanol a través de productos forestales; Canadá está a la vanguardia de las investigaciones tecnológicas para la obtención del etanol celulósico. Si bien es cierto que Venezuela es rica en reservas de petróleo, también están propiciando investigaciones para obtener etanol, en este caso, de la caña de azúcar, para evitar problemas con la seguridad alimentaria. Por último, Argentina y Brasil también están investigando la obtención de etanol celulósico.

5-3 Panorama en Argentina

Según la publicación de USDA (United States Department of Agriculture), titulada “Argentina Biofuels Annual 2015”³⁵ sobre etanol en Argentina, se establece que, desde la puesta en vigencia de la ley que promueve la producción del bioetanol, la misma tuvo una continua expansión y se proyecta que la producción y el consumo interno para el 2016 llegarán a los 900 millones de litros. Para ese año se espera que la industria azucarera aporte el 50% de la producción del bioetanol y el grano de maíz aportará el 50% restante. Se estima una proyección de uso para los años 2015-2016

³⁵ USDA [en línea]. 2015. Argentina Biofuels Annual 2015. Estados Unidos: Gain Report. Disponible en:

http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Buenos%20Aires_Argentina_7-1-2015.pdf



entre el 85-90%. Existen proyectos de inversión en curso, pero igualmente no se espera una expansión significativa en los próximos meses.

Aunque las plantas de cereales locales son capaces de utilizar el maíz o el sorgo, emplean casi exclusivamente el maíz para la producción del bioetanol. Históricamente, el sorgo fue de 10-20% más barato que el maíz, pero su cosecha se utilizó, principalmente, para exportar a China, por lo que los precios del sorgo locales son más altos que el maíz. Por lo tanto, en consecuencia se espera que las plantas de etanol de maíz primen sobre el sorgo, debido a una serie de ventajas en costos y producción.

Las proyecciones de la producción para el 2016 se espera que aumenten en un 34% dado que nuevas empresas están ingresando al mercado. La Secretaría de Energía de la Nación ya les ha asignado cupos de producción. Otras de las causas que harían incrementar la producción del etanol sería el comportamiento de la rentabilidad con respecto al azúcar; las variaciones del precio de esta materia prima podrían llegar a alentar a la producción de etanol a base de maíz.

Así, las empresas que producen etanol prefieren emplear el maíz debido a ventajas de costos y producción; en principio, comprar el maíz en forma interna tiene un costo del 20% más barato por el ahorro del impuesto a la exportación que posee esta materia prima, ya que el gobierno nacional regula las exportaciones.

Desde el punto de vista del consumo, también se proyecta un crecimiento dado que el gobierno planea aumentar el porcentaje de mezcla con la nafta en un 2%. En nuestro país se calcula que el consumo de nafta llega al 40%; este porcentaje de consumo es liderado por los autos que, en su gran mayoría, son motores nafteros.

Claro que la volatilidad de los precios del petróleo, los altos costos de producción, la obligatoriedad de cumplir con la reglamentación de la mezcla, contribuyen a que el consumo de etanol sea totalmente interno.

Durante el año 2010, la producción alcanzó las 120.000 toneladas de caña de azúcar en la zona del noroeste argentino (NOA); para lograr el corte de mezcla solicitado por la reglamentación vigente, y teniendo en cuenta las nuevas plantas que se han puesto en marcha en el período 2012-2014 con otras materias primas como ser el sorgo y el maíz, se necesitarán producir 250.000 toneladas de bioetanol para llegar al corte de mezcla reglamentado.



En el informe “Estado del Arte y Novedades de la Bioenergía en Argentina”³⁶, presentado por la FAO en el mes de octubre de 2011, se plantea una hipótesis donde el etanol, si sólo se obtendría del sorgo y el maíz, se destinarían aproximadamente 675.000 toneladas de la producción para obtener el etanol necesario. Haciendo una proyección hacia el año 2020, se necesitarían 303 millones de toneladas para satisfacer el mercado interno.

Tabla 5.4 Proyección de la producción de bioetanol para el mercado interno

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Consumo de naftas (miles de ton (1))	4860	4981	5106	5223	5364	5498	5636	5776	5921	6069
Mercado Interno (miles de ton) (2)	180	249	255	262	268	275	282	289	296	303
Capacidad Instalada para Exportación (miles de ton)	ND									
Producción para Exportación (miles de tn)	ND									
Total Producción miles de toneladas	180	249	255	262	268	275	282	289	296	303

Notas: (1) El incremento anual en el consumo de naftas se estimó en un 2,5% para todo el período.

(2) El incremento anual es del 5% del consumo de naftas que se mantiene.

* No incluye los proyectos anunciados a partir de cereales.

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

En nuestro país hay mucho interés en invertir en la producción de energías renovables, tanto desde el lado privado como estatal, y esto es debido a que nuestro país es rico en cultivos y con muchas posibilidades de generación de este tipo de energías.

La producción de bioetanol en la Argentina está basada, principalmente, en la producción de la caña de azúcar, que se concentra en el NOA, y el grano de maíz.

Tabla 5.5 Producción de la caña de azúcar

Provincia	Porcentaje de la producción
Tucumán	70%
Salta	30%
Jujuy	30%

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

La producción de maíz durante el período 2004-2015 estuvo alrededor de los 255 millones de toneladas distribuidas de la siguiente manera:

³⁶ ALMADA, M. 2011. *Estado del Arte y Novedades de la Bioenergía en Argentina*. Argentina: FAO. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/019/as423s/as423s.pdf>



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

Tabla 5.6 Producción de maíz en el período 2004-2015

Zonas	Producción en Toneladas	Porcentaje de participación
Total País	254,389,047	
Córdoba	92026760	36 %
Provincia de Buenos Aires	82514610	32%
Santa Fe	39362545	15%
Entre Ríos	14673570	6 %

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

La producción, en sus inicios, no estaba dirigida al alcohol para uso de combustible, sino a la industria de bebidas, alimenticias y cosméticos.

De acuerdo a la reglamentación vigente, la Secretaría de Energía otorgó, en el año 2010, a nueve ingenios azucareros cupos para la obtención del bioetanol con fines de uso para la mezcla con las naftas, y esos cupos son los siguientes:

Tabla 5.7 Cupos de bioetanol por empresa

Compañía	Total m3
Compañía Bioenergía Santa Rosa S.A	30.000
Bioenergía La Corona S.A	24.000
Alconoa SRL	39.500
Biotrinidad s.A	22.000
Compañía Bioenergía La Florida S.A	60.000
Rio Grande Energía S.A	12,200.00
Bioledesma S.A	49,000.00
Bio San Isidro S.A	6,000.00
Energías Ecológicas de Tucumán S.A	25,100.00
Total	267,800.00

Fuente: Cámara Argentina de Energías Renovables.

En el año 2012, ingresa al mercado bioetanol producido a partir del maíz y sorgo, mediante dos plantas; en el 2013 se inauguran tres plantas más.



Tabla 5.8 Cupos de bioetanol de plantas de maíz

ESTADO	PLANTA	LOCALIZACIÓN	CUPO (M3)	MAIZ PROCESADO (ton)	COMIENZO OPERACIONES
En Funcionamiento	Bio 4	Rio IV	50000	116279	sep-12
En Funcionamiento	Vicentín	Avellaneda	48000	111628	jul-12
En Construcción	aCA Bio	Villa María	125000	290698	dic-13
En Construcción	Promaíz	Alejandro Roca	135000	313953	feb-12
En Construcción	Diaser	San Luis	82500	191860	jul-03
Con Cupo Otorgado	Bahía Energías Renovables	Bahía Blanca	100000	232558	ene-14
Con Cupo Otorgado	Bioterai	Santa Fe	121000	281395	oct-15
Con Cupo Otorgado	Agroctanos	La Carlota	83000	193023	ene-14
Con Cupo Otorgado	Biosanfe	Bahía Blanca	100000	232558	feb-14
Con Cupo Otorgado	Balba Bioenergías		105000	244186	mar-15
Con Cupo Otorgado	Biomaderro	La Matanza	50000	116279	dic-11
Sin Cupo	Alimentos del Sur	Entre Rios	80000	186047	
Sin Cupo	Las Lajitas	Salta	50000	116279	
Sin Cupo	Green Pampas	Timbues	450000	1046512	

Fuente Cámara Argentina de Energía Renovable.

En el año 2015, el INDEC publicó la producción de bioetanol en la Argentina desde el 2009 al 2014.

Tabla 5.9 Producción de bioetanol 2009-2014 en Argentina

Producción en metros cúbicos				
Período	Total	Bioetanol de Caña	Bioetanol de maíz	Ventas locales en metros cúbicos
2009	23.297	23.297		2.664
2010	124930	124930		117.677
2011	173.623	173.623		166.005
2012	250.489	229.989	20.500	237.169
2013	472.380	304.786	167.594	474752
2014	671.121	2999.864	371.257	663.102

Fuente: INDEC.

Como se puede observar en la estadística, la producción se ve incrementada a partir de la vigencia de la Ley 26.093, año 2010, permitiendo a los ingenios azucareros la producción de etanol apto para la mezcla con las naftas, y la introducción en el mercado del etanol proveniente del maíz.



En la actualidad hay presiones hacia el gobierno para la autorización del aumento de la mezcla y llegar al 12%.

5-4 Marco Legal en Argentina

El Congreso de la Nación 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.

Los objetivos principales de esta ley son diversificar el suministro de energía, contribuir a la conservación del medio ambiente, y promover el desarrollo de las zonas rurales en beneficio de productores agrícolas pequeños y medianos.

El marco de la ley básicamente está centrado en los biocombustibles convencionales. Los puntos sobresalientes son:

- Vigencia de 15 años a partir de la aprobación de la ley.
- Creación de la Comisión Nacional Asesora para la Promoción de la producción y usos sustentables de los biocombustibles, quien asesorará a la autoridad de aplicación.
- La autoridad de aplicación es la encargada de habilitar las plantas de procesamiento.
- Los combustibles tradicionales deberán mezclarse con un mínimo de 5% de biocombustible, medidos sobre la cantidad del producto final, a partir del 1° de enero del 2010.
- Las mezclas serán realizadas en las instalaciones que hayan sido aprobadas específicamente por la autoridad de aplicación.

5-5 Leyes-Regulaciones

La Ley 26.093 fue promulgada en el año 2006 y reglamentada en el 2007. Establece un régimen de promoción que cuenta con los siguientes incentivos para la producción de etanol y biodiesel:

- Promoción de la inversión en bienes de capital y obras de infraestructura:
 - a) Devolución anticipada de IVA.
 - b) Amortización acelerada para Impuesto a las Ganancias.
- Los bienes afectados a proyectos aprobados por la Autoridad de Aplicación no integran la base imponible de Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta.



- Exención de impuestos a los combustibles fósiles:
 - a) tasa de Infraestructura Hídrica (nafta y GNC).
 - b) Imp. s/ Combustibles Líquidos y Gas Natural.
 - c) Imp. s/ transferencia e importación de Gasoil.

Un resumen de las leyes y regulaciones de biocombustibles en Argentina se encuentra detallado en el Anexo V.

En enero de 2008, el Congreso aprobó la Ley 26.334, que promueve la producción de bioetanol a partir de caña de azúcar. Esta ley permite a los ingenios azucareros participar en el régimen de promoción de biocombustibles, el mantenimiento de las normas y reglamentos de la ley de biocombustibles básicos. También promueve la exportación de excedentes de etanol.

Más de diez provincias han adherido a la Ley de Biocombustibles y, en algunos casos, proporcionan ventajas fiscales adicionales para la inversión y la construcción de bio-refinerías en su territorio.

En diciembre de 2013, el Gobierno anunció, para el caso del etanol, la rápida incorporación de nuevas plantas de bioetanol de grano; la mezcla promedio nacional efectiva en 2014 aumentó a 8%, ya que las empresas petroleras se mimetizaron voluntariamente a un ritmo mayor que el mandato de 5%. La Secretaría de Energía, a través de la Resolución 44/2014, aumentó el mandato mezcla de etanol para un mínimo de 10% en diciembre de 2014.

5-5-1 Precio del bioetanol de acuerdo a lo establecido por la Secretaría de Energía de la Nación, según la Resolución 44/2014, Modificada el 16/9/2014

En septiembre de 2014, mediante la Resolución 44/14³⁷, la Secretaría de Energía creó un precio diferenciado para el etanol en función de la materia prima utilizada (hasta entonces sólo había un precio). Por lo tanto, a través de la publicación de las nuevas fórmulas de precios, el etanol de grano tenía un precio inferior al de etanol de caña de azúcar. En diciembre 2014 se publicó el primer precio diferenciado. En mayo de 2015, el precio oficial para el etanol de grano fue de AR\$/6,965 (0,78 U\$/l) y el

³⁷ MINISTERIO DE JUSTICIA Y DERECHOS HUMANOS. INFORMACIÓN LEGISLATIVA [en línea]. Secretaría de Energía, Biocombustibles, Resolución 44/2014. Buenos Aires, 16/9/2014.

Disponible en:

<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/235000-239999/235362/norma.htm>



precio para el etanol procedente de la caña de azúcar fue establecido en AR\$/l 8,559 (U\$/l 0,96).

Sus puntos sobresalientes son:

- La mezcla deberá estar entre el 8,5%, 9% y 10% desde octubre a diciembre de 2014.
- Procedimientos para establecer los precios de adquisición del bioetanol, según sean elaborados en base a utilización de caña de azúcar o de maíz como materia prima.
- En el Anexo I de la Resolución 44/2014 se detalla el procedimiento para la determinación del precio de adquisición del bioetanol a partir de la caña de azúcar. La fórmula está basada en función de un litro de caña de azúcar.
- En el Anexo II de la misma Resolución se detalla el procedimiento para la determinación del precio de adquisición del bioetanol a partir del maíz

5-6 Bioetanol de Segunda Generación

La política actual no se centra específicamente en la segunda generación o los biocombustibles avanzados. Sin embargo, hay algunos programas del gobierno, del sector privado y las universidades que investigan este tipo de materias primas y tecnología.

El Ministerio de Agricultura, a través de la agencia de investigación del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), dirige y coordina la mayor parte de la investigación en biocombustibles en Argentina. Los objetivos del Programa Nacional de Bioenergía son garantizar el suministro de fuentes de bioenergía en apoyo del desarrollo sostenible, la seguridad energética nacional, la reducción de la pobreza, la atenuación del cambio climático y el equilibrio del medio ambiente. Hay tres objetivos específicos:

- 1) la identificación y caracterización del potencial de los diferentes cultivos, residuos y subproductos de la producción de energía;
- 2) el estudio y desarrollo de los cultivos no tradicionales con potencial de energía;
- 3) el desarrollo de biocombustibles de segunda generación, a través de la identificación de nuevas enzimas para degradar la celulosa.



Las investigaciones deberán centrarse, principalmente, en materias primas que se puedan producir en zonas no aptas para la producción agrícola y que no compitan con la producción de alimentos. Algunos programas están trabajando en biocombustibles celulósicos, basados en la caña de azúcar, la remolacha azucarera, residuos de cosecha y el sorgo dulce. Desde 2009, Argentina es miembro de la Asociación Mundial de Bioenergía (GBEP), que promueve la bioenergía para desarrollo sostenible. El gobierno recibió el apoyo financiero del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y ya está coordinando estudios públicos/privados de 24 indicadores de sostenibilidad para la bioenergía.

5-7 Impacto Social-Institucional

Con la sanción de la Ley 26.093 para la producción y uso de biocombustibles, también se busca impulsar el desarrollo regional y la creación de empleo. Las plantas de biodiesel en conjunto con las plantas de bioetanol se encuentran distribuidas en casi todo el territorio del país.

Las ubicaciones geográficas de algunas plantas de biodiesel, principalmente aquellas que se encuentran en zonas alejadas de centros de consumo, dan oportunidades de autoabastecimiento de bioenergías.

Si se lograra, en un futuro, la instalación de biorrefinerías en zonas alejadas de los grandes consumos, se alcanzaría la creación de empleos calificados y con la lógica consecuencia de la mejora del nivel de vida del lugar.

La implementación de políticas públicas incentivando la producción de biocombustibles puede llegar a resolver problemas de emisión de contaminantes y/o fortalecer la independencia y seguridad energética.

Además, el otorgamiento de créditos para infraestructura, que reduzcan el costo de producción o aumenten la demanda para biocombustibles.

Políticas regulatorias para no entrar en coalición con la seguridad alimentaria y la producción de biocombustibles.

Regulaciones para el aumento de cultivos energéticos, ya que la producción de biocombustibles genera sub-productos que no siempre son aprovechados en forma adecuada.

También, regulaciones para que el impacto económico esté acorde con una economía de escala, cuidando a pequeños productores.



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

Se ha realizado una revisión de la situación de la producción y demanda del etanol en el mundo; todos los datos y análisis realizados, en forma individual o en conjunto entre la FAO, CEPAL, OCDE y Banco Mundial, coinciden en un aumento del consumo en forma proyectada, pero haciendo la salvedad que las proyecciones se podrán realizar en función del precio del petróleo, manteniendo el compromiso de cumplir con la seguridad alimentaria.

Estados Unidos está desarrollando investigaciones para obtener etanol celulósico desde el año 2002; en el año 2007 se publicó la norma RFS2 (Norma de Energía Renovable; el número 2 es porque está orientado hacia los biocombustible de segunda generación).

Debido a los inconvenientes de lograr una tecnología de producción a gran escala para la obtención de bioetanol celulósico, se proyecta una producción limitada para los próximos diez años.



CAPÍTULO 6 - PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

6-1 Producción de Bioetanol de Primera Generación

El proceso de producción del etanol depende del uso que se le vaya a dar al producto, el cual puede ser para uso industrial, bebidas o combustibles; pero, básicamente, los pasos son los mismos.

La producción del etanol puede ser obtenida a través de diferentes materias primas, tales como el sorgo, trigo, cebada, remolacha o papa y, principalmente, de la caña de azúcar y el grano del maíz.

Como ya se indicó, en nuestro país el etanol es producido, básicamente, por las últimas dos materias primas recién mencionadas: la caña de azúcar y el grano de maíz.

Con el grano de maíz, el sistema de producción utilizado para la obtención del bioetanol es, básicamente:

- 1) Proceso por molienda húmeda;
- 2) Proceso por molienda seca.

Estos dos procesos prácticamente tienen las mismas etapas:

- a) Preparación de la materia prima (feedstock);
- b) Fermentación de los azúcares simples;
- c) Recupero del alcohol;
- d) Recupero de los sub-productos.

La elección del sistema de producción depende de los sub-productos que se quieran obtener. Con el proceso de molienda seca se obtienen granos destilados secos y solubles (DDGS) que se utilizan para alimentación del ganado.

Por su parte, con el proceso de molienda húmeda se obtienen, como sub-productos, el aceite de maíz, gluten feed y gluten meal, también utilizados para alimentación de animales.

Hasta aquí se ha hecho una breve descripción de los dos procesos más utilizados para obtener el etanol de primera generación, denominados así porque se utilizan materias primas comestibles.

6-2 Características y Ventajas del Etanol

La bibliografía que sigue refiere a diferentes autores dando las ventajas de la utilización del etanol en cualquiera de sus formas de obtención y materia prima utilizada:



- Posee un alto octanaje y una gran solubilidad en la nafta (Bravo, 2007).
- El etanol hídrico puede utilizarse como único combustible (sin mezclarlo con nafta) solamente en motores especialmente adaptados para su uso.
- Etanol anhidro posee la calidad necesaria para utilizarlo mezclado con nafta en los vehículos convencionales. Las mezclas de baja proporción de etanol anhidro (5%) no requieren adaptación alguna, mientras que las de alta proporción (85%) se utilizan en los vehículos denominados Flexible Fuel Vehicle o flex-fuel. Estos vehículos están diseñados para poder utilizar indistintamente nafta y mezclas con etanol en cualquier porcentaje hasta dicho máximo (Ballesteros, 2001; CADER, 2010).

Desde el punto de vista técnico, diversos autores han destacado las siguientes ventajas de la utilización de biocombustibles en reemplazo total o parcial de los combustibles de fósiles (Camps et al., 2002; Ballesteros, 2001; Carrasco, 2001; Gabay, 2009):

- Pueden ser utilizados indistintamente en la generación de electricidad, calor y motores de combustión interna.
- Presentan menor emisión de gases contaminantes, con excepción del óxido nitroso (N₂O) que la incrementa levemente.
- El aumento de su producción puede actuar como sumidero muy importante de dióxido de carbono (CO₂), siendo “una de las alternativas más realistas para corregir el efecto invernadero” (Carrasco, 2001).
- No contienen azufre, uno de los principales causantes de la lluvia ácida.
- El hollín es apenas visible.
- Los residuos son altamente biodegradables.

6-3 Biomasa Lignocelulósica

La biomasa lignocelulósica está constituida, principalmente, por celulosa, hemicelulosa y lignina. Este tipo de biomasa, llamada biomasa vegetal, se encuentra en los bosques, cultivos agrícolas, residuos de cosechas (bagazo de caña de azúcar y de maíz; paja de trigo, de arroz y de cebada) y otros residuos provenientes de la madera, industria del papel y papel reciclado.

Debido a que, actualmente, la obtención de etanol a través de cultivos no satisface la demanda global, se está avanzando muchísimo en la investigación de la



obtención de bioetanol a través de materiales lignocelulósicos. Esta materia prima se la considera una fuente alternativa para obtener el bioetanol de segunda generación.

6-4 Conveniencias de obtener Bioetanol a través de Materiales Lignocelulósicos

Se pueden listar de la siguiente forma:

- El alcohol producido desde azúcar y almidón no cubre las demandas proyectadas de bioetanol.
- No son fuente de alimentos, lo cual no compite con el mercado alimentario.
- Su generación no compite con tierras de uso agrícola.
- La biomasa lignocelulósica, al ser abundante, presupone que su costo sea menor, contribuyendo a un precio final más bajo del biocombustible.
- Una de las ventajas más importantes de materia prima lignocelulósica es la reutilización de los residuos de primera generación para luego volver a obtener residuos y lograr nuevamente etanol.

6-5 Producción de Bioetanol Lignocelulósico

Los costos de la obtención del etanol en base a almidón y azúcares aún no son lo suficientemente económicos como para alentar a los países a implementar una política del consumo de etanol como combustible al 100%. El uso de las materias primas lignocelulósicas propone un reto tecnológico muy importante, principalmente en los procesos de hidrólisis y de la fermentación para obtener el etanol lignocelulósico.

Los materiales lignocelulósicos, en líneas generales, son materias primas muy heterogéneas que forman una red de fibras de celulosas envueltas en hemicelulosa y lignina. Según el trabajo *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica*,

...la composición de los materiales lignocelulósicos, constituidos por celulosa (con zonas cristalinas y amorfas), hemicelulosas y lignina, en una estructura compleja y difícil de penetrar y atacar por agentes químicos, requieren de un pretratamiento para "romper" esa estructura y facilitar los procesos posteriores (Galbe, 1993; Galbe, 1997; Macmillan, 1997).³⁸

La biomasa lignocelulósica que se recoge de la planta de maíz presenta la estructura compuesta por las tres fracciones Celulosa, Hemicelulosa y Lignina, que

³⁸ ABRIL, A.; NAVARRO, E. A., *op. cit.*, p. 46.



deben ser tratadas en forma independiente para obtener una conversión eficiente en etanol.

En términos generales, la lignocelulósica del rastrojo del maíz tiene una composición de 45% de celulosa, 15% de lignina y un 25% de hemicelulosa.

La celulosa es un homopolímero lineal de la glucosa que forman fibras muy estables e insolubles en agua; la hemicelulosa es el nombre que se le da a un grupo de polisacáridos heterogéneos ramificados, fáciles de hidrolizar; y la lignina es un polímero fenólico que proporciona protección a las células de las plantas.

Establecer la estructura y composición facilita determinar los procesos particulares en cada etapa de la producción pero, por lo general, las siguientes operaciones básicas componen el proceso de obtención del etanol:

1. Pretratamiento: preparación de la materia prima;
2. Producción enzimática;
3. Hidrólisis: obtención de los azúcares fermentables;
4. Fermentación: conversión de los azúcares en etanol;
5. Destilación.

La etapa del pretratamiento tiene como función romper la pared celular de la biomasa e hidrolizar la hemicelulosa, y la etapa del hidrolizado libera azúcares para luego llegar a la fermentación del etanol. En el pretratamiento se trata de mejorar el rendimiento y la velocidad de la hidrólisis.

Un problema a resolver es reducir los costos relacionados con la conversión de polisacáridos en azúcares simples. Una opción es la disminución de procesos como sucede en la sacarificación y fermentación simultánea (SSF) (Dowe y McMillan, 2008), donde los dos últimos pasos, hidrólisis enzimática y fermentación, pueden ser combinados en una sola operación que evita el producto final de la inhibición de las enzimas hidrolíticas, y elimina la necesidad de hidrólisis y la fermentación en reactores separados.

Las biorrefinerías comienzan con la reducción y pretratamiento termoquímico de la celulosa, proceso que facilita la catalización enzimática de los polímeros.

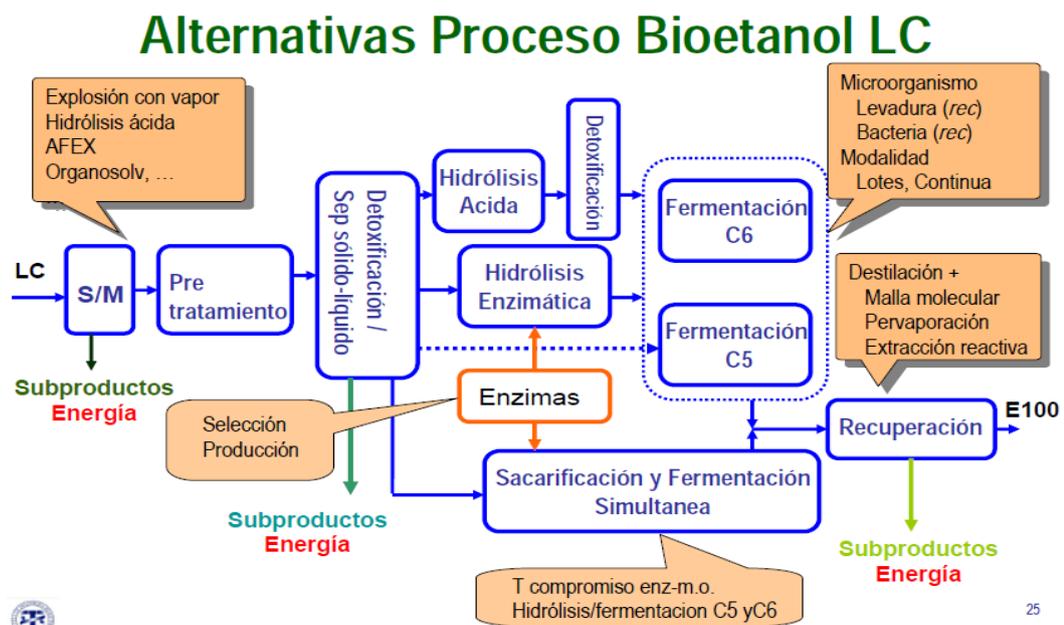
La hidrólisis consiste en degradar los polisacáridos de las paredes celulares a azúcares simples; para ello se aplican enzimas especiales (celulasas). La fermentación se realiza mediante bacterias o levaduras que convierten este azúcar en etanol y otros subproductos.

Las investigaciones están orientadas a reducir el costo de las enzimas y, como consecuencia, aumenta el costo de la fermentación. Para tratar de solucionar este inconveniente se estudia poder realizar simultáneamente la sacarificación y fermentación, así la hidrólisis de la celulosa y la fermentación de la glucosa se combinan en un solo paso.

También se está investigando un proceso con biocatalización (pretratamiento, hidrólisis y fermentación) cuyo hallazgo será un significativo avance para mejorar los costos y el consumo de energía en la refinación de celulosa.

En la figura que sigue se esquematizan las etapas del proceso de producción del etanol lignocelulósico con diferentes alternativas de llevar adelante cada etapa de dicho proceso.

Figura 6.1 Diagrama de Alternativas del Proceso de Producción del etanol lignocelulósico



Fuente: Seminario Internacional “Impacto de la producción de Biocombustibles”³⁹.

En cada etapa se han desarrollado diferentes procesos a través de los años, que se demuestran en la siguiente figura:

³⁹ AROCA, G. 2009. Estado del Arte de la Producción de Etanol LC. *Seminario Internacional “Impacto de la Producción de Biocombustibles”*, 15-17 de abril, 2009. Itajubá, SP, Brasil: Red Temática CYTED BIALEMA, p. 25.
 Disponible en:
http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/novidades/seminario_internacional_2009/files/Bioetanol_LC_CYTED.pdf

Figura 6.2 Etapas del proceso de obtención de etanol lignocelulósico



Fuente: Seminario Internacional “Impacto de la producción de Biocombustibles”⁴⁰.

Los diferentes procedimientos de pretratamiento buscan, básicamente, obtener una alta velocidad de hidrólisis, alto rendimiento de azúcares fermentables y no generar inhibidores de fermentación.

En la etapa de la sacarificación y fermentación simultánea (SSF) la hidrólisis y la fermentación se combinan en un solo paso; la hidrólisis enzimática no genera inhibidores de fermentación.

La fermentación se realiza en etapas. Primero, la glucosa se fermenta a etanol por intermedios de levaduras; esta mezcla es destilada para remover el etanol y quedando la xilosa sin convertir. Luego se añade una segunda levadura para fermentar la xilosa a etanol; este etanol producido es destilado, y la lignina y el material celular restante se secan y pueden llegar a quemarse para recuperar energía para el sistema, o para producir energía.

6-6 Caso Referencial NREL

Hace más de 20 años que en los EEUU se vienen realizando estudios y pruebas piloto para la obtención del etanol a través de materia prima lignocelulósica y, especialmente, mediante el rastrojo de maíz.

Últimamente el gobierno propuso un programa de investigación planteado en tres etapas. La primera etapa, cuya duración está pautada para 5 años, es una investigación base para, luego, ser aplicada en la segunda etapa, llamada fase de

⁴⁰ AROCA, G. 2009, *op. cit.*, p. 26.



despliegue tecnológico; y la tercera es la fase llamada de integración, donde las dos etapas anteriores se unen para el desarrollo de una biorrefinería.

Durante el año 2011 iniciaron la construcción de la planta de bioetanol de segunda generación en Kansas (EEUU), con el respaldo del Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE), para entrar en producción en el año 2013. Se ha propuesto reforzar las capacidades biotecnológicas, ya sea en el campo bioquímico como en biología molecular, con el objetivo de producir enzimas celulósicas y levaduras co-fermentadoras de azúcares de C₅ y C₆, ambas para ser utilizadas en la conversión de biomasa lignocelulósica en etanol.

El Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE), en forma conjunta con el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL⁴¹), ha modelado muchos diseños de procesos realizando una estimación económica de cada uno.

En tales circunstancias, en el año 1999, presentó un informe basado en un modelo técnico-económico, calculando los costos de producción de biocombustible, utilizando un modelo de proceso.

El análisis de procesos está fundamentado en un balance de materia prima y energía para cada uno de esos procesos y, desde el punto de vista económico, los costos de capital y de operación están apoyados en supuestos económicos.

Los últimos adelantos presentados estuvieron orientados hacia los procesos. Los pasos fueron: pre-hidrólisis con ácido diluido co-corriente con sacarificación simultánea (enzimática) y co-fermentación, y la producción de enzimas celulasa.

Durante el año 2012 investigó la producción de etanol a través de rutas de conversión bioquímicas y termoquímicas a un precio competitivo con respecto a la gasolina.

Ese año, los datos de producción de etanol celulósico, totalmente integrados y generados por el NREL en forma conjunta con investigadores en su Centro de Investigación Integrada Bio-refinería (IBRF), han generado mejoras básicas de investigación y procesos en el pretratamiento, hidrólisis enzimática y fermentación.

Las mejoras se vieron reflejadas en:

⁴¹ NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, en español, Laboratorio Nacional de Energía Renovable [en línea]. Departamento de Energía, EEUU [fecha de consulta: 18 diciembre 2015]. Disponible en: <http://www.nrel.gov/>



- adelantos logrados que estuvieron basados en tecnologías de procesamiento mejoradas;
- desacetilación de la materia prima;
- el petratoamiento;
- logro de enzimas específicas;
- los rendimientos de fermentación;
- costes de tratamiento de aguas residuales provocadas por la desacetilación;
- las emisiones de GEI y una disminución de la demanda de energía fósil;
- los costes de producción.

Estas investigaciones realizadas durante el año 2012 se hicieron con algunas biorrefinerías ya existentes utilizando el Know-How de las mismas, en lo que respeta a los diferentes procesos. Las pruebas se realizaron con materia prima lignocelulósica proveniente de distintos orígenes, incluyendo cultivos específicamente desarrollados para la producción de biomasa. Se han establecido procesos donde se logra eficacia en la transformación de la biomasa, aprovechando el reciclado de los deshechos y logrando producir sus propias fuentes de energía.

6-7 Biorrefinerías Instaladas

De los datos suministrados por la oficina de Energías Eficientes y Renovables del gobierno de los Estados Unidos⁴², se publican los avances e instalaciones de biorrefinerías para la obtención de etanol lignocelulósico.

Durante el año 2013, la biorrefinería Abengoa instaló, en Kansas, una planta de etanol celulósico. Esta planta fue co-financiada por el DOE, con el objeto de bajar riesgos técnicos.

Abengoa diseñó y construyó la planta de Kansas en torno a un proceso de hidrólisis enzimática. Dicho proceso convierte una gama de residuos agrícolas en azúcares que, luego, se fermentan, destilan y deshidratan para obtener el etanol desnaturalizado combustible. Los residuos agrícolas incluyen el rastrojo de maíz, paja de trigo y pastos estacionales. Abengoa tiene la capacidad de convertir hasta 325.000

⁴² ENERGÍAS EFICIENTES Y RENOVABLES DEL GOBIERNO DE LOS ESTADOS UNIDOS [en línea]. Disponible online en <http://energy.gov/>



toneladas secas de residuos agrícolas en 25 millones de galones de etanol celulósico cada año.

Por su parte, Biorrefinería POET-DSM, en Emmetsburg, Iowa, comenzó la producción de etanol celulósico a partir de residuos de maíz el 3 de septiembre de 2014. Esta instalación utiliza la técnica de procesos biológicos para convertir rastrojo de maíz (mazorcas, hojas, cáscaras, tallos) en un biocombustible.

El Departamento de Energía de EE.UU. contribuyó con \$ 100 millones en apoyo de costo compartido para el desarrollo, diseño y construcción de esta instalación pionera que tiene la capacidad de producir hasta 25 millones de galones de etanol celulósico al año.

Se trabajó con agencias gubernamentales y universidades para aclarar los impactos del maíz, la eliminación de rastrojo en la salud del suelo. POET-DSM desarrolló su innovador sistema EZ Bale. Al dejar aproximadamente un 75% de la biomasa en el campo, se centra en la recogida de mazorcas, hojas y cáscaras. El rastrojo de maíz que se incluye en las EZ Bale proporciona un mayor contenido energético, alimentación y menos ceniza a los equipos en la biorrefinería.

Dicho rastrojo comienza el procesamiento sometido a una serie de procesos de pretratamiento físico que rompe sus paredes celulares rígidas de manera que los componentes básicos de azúcar pueden ser extraídos y fermentados. El producto etanol resultante se destila y envía a las refinerías para mezclar con la gasolina.

Proyecto Libertad estaba estratégicamente situado justo al lado de la planta de etanol de maíz existente, primera generación en Emmetsburg para compartir energía, tierra, carreteras, almacenamiento, red de abastecimiento de materia prima y el personal.

En julio de 2013, el Centro de Bioenergía Indian River, cerca de Vero Beach, Florida, comenzó a producir etanol de celulosa a partir de residuos. INEOS Bio y Nueva Planet Energy, propiedad conjunta de la instalación de \$ 130 millones, utiliza un proceso termoquímico-fermentación híbrida para convertir continuamente desechos vegetales y madera en combustible, calor y energía.

La planta de etanol celulósico DuPont en Nevada, Iowa, produce cerca de 30 millones de galones de etanol celulósico por año.

DuPont comenzó la construcción de esta instalación en 2012, pero la preparación para la construcción de esta biorrefinería avanzada empezó en la década de 2000,



cuando se inició a trabajar con el ya mencionado Laboratorio Nacional del Departamento de Energía Renovable (NREL) en la tecnología de los biocombustibles.

DOE ha apoyado a DuPont mediante la financiación de las tecnologías de conversión de bioenergía clave, y la colaboración en proyectos de investigación y desarrollo. Esta colaboración se centró en dos áreas claves: en un área el equipo ha trabajado en el desarrollo, optimización y ampliación de *Zymomonas mobilis*, una bacteria que mejora la fermentación de los azúcares de la biomasa, para la producción de biocombustibles; en el segundo área, NREL apoyó a DuPont en el desarrollo de un proceso de pretratamiento de amoníaco suave adecuado para los residuos de caña de maíz.

En total, el DOE ha contribuido con más de \$ 51 millones de dólares para avanzar en varias tecnologías que ayudaron a traer nueva biorrefinería de DuPont a buen término.

6-8 Sub-Productos

Los sub-productos que son derivados de la obtención de etanol lignocelulósico dependen del método utilizado para obtenerlos, pero podemos generalizar y, en función de la composición de la materia, de la lignina, pueden ser para usos comerciales y/o industriales. A través de la combustión pueden generar energía para el uso general o para una industria en particular. Además, se pueden utilizar como adhesivos sólidos o líquidos, con fines domésticos, y pueden ser empleados a través de un proceso químico como un medicamento para porcinos.

De los derivados de la hemicelulosa se obtiene el Xilitol a partir de la xilosa, que tiene características de endulzante con gusto parecido a la sacarosa. Dentro de la industria es muy utilizado para la producción de caramelos, mentas, chocolates, etc., como reemplazo del azúcar.

En cuanto a productos de biorrefinerías se obtienen biofertilizantes, biogás, que pueden ser utilizados en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. Obtención de CO₂ que se comercializa para otras industrias que producen una variedad de productos, entre ellas empresas que fabrican bolsas para los supermercados.

En conclusión, desde las biorrefinerías se obtienen, como sub-productos, levaduras para alimento animal, Xilitol y la lignina con fines comerciales, aparte de



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

poder generar energía para consumo propio y, dependiendo del tamaño de la planta, hasta el excedente puede ser vendido a la red.

Todos estos factores ayudan a la sustentabilidad y a poder llegar a una rentabilidad de la empresa.

Como ejemplos de sub-productos que se obtienen según el proceso elegido, Abengoa utilizará los sólidos residuales y biogás de tratamiento de aguas residuales para generar hasta 21 MW brutos, eléctrica potencia suficiente para abastecer todas las necesidades de electricidad de la biorrefinería y tener un excedente para la subida a la red local. El vapor extraído de la turbina, sistema de cogeneración, también satisface todas las necesidades de vapor en la instalación. Las cenizas que se obtienen en el sistema de la caldera pueden ser utilizadas para la construcción de carreteras o de jardinería.

Biorrefinería POET-DSM en Emmetsburg, Iowa, en su proceso la porción del rastrojo de maíz (principalmente lignina), que no se puede convertir en biocombustible, se utiliza para generar la energía térmica necesaria por el Proyecto Libertad, y gran parte de la energía requerida por la planta de etanol de maíz adyacente.

Dupont obtiene como sub-producto, a través de una asociación entre Procter and Gamble, un detergente para la ropa.



CAPÍTULO 7 - LA INDUSTRIA DEL BIOETANOL EN LA ARGENTINA

7-1 Generalidades para el análisis de la factibilidad de producción del bioetanol

Según estudios y datos suministrado por la OCDE⁴³, para obtener una mezcla de combustible del 10%, en la Unión Europea requeriría una demanda del 50% de las tierras; un 30% del área cultivable de los Estados Unidos; y las estimaciones para Brasil y Argentina las ubicarían en un 10% de tierras fértiles.

Esta ventaja comparativa que posee nuestro país tiene que venir acompañada con un desarrollo tecnológico que mejore nuestras tierras, y se puede llegar al reemplazo de combustibles fósiles por energía sustentable, en este caso el etanol lignocelulósico.

Los biocombustibles se obtienen de diferentes granos, entre ellos se encuentra el maíz y el sorgo, cuyas producciones, en nuestro país, vienen creciendo en la última década.

El biocombustible de segunda generación, etanol lignocelulósico, dado la fertilidad de nuestras tierras tiene amplia oportunidad para su desarrollo, además genera la oportunidad para que los granos no se vean afectados por la competencia en el mercado de los alimentos, ya sea alimentos para los seres humanos como para alimentación animal.

Argentina, al tener dos materias primas fundamentales para el bioetanol de segunda generación (maíz y sorgo), posee una mayor ventaja comparativa para la obtención del biocombustible para mezclas con combustibles líquidos, especialmente con las naftas.

Con el desarrollo de biorrefinerías se puede alcanzar la producción necesaria en un futuro cercano para nuestro país, dado que las proyecciones de puesta a punto de refinerías para la obtención de bioetanol lignocelulósico en los Estados Unidos estaban orientadas para el año 2012. Y en la actualidad ya existen biorrefinerías en ese país trabajando con la obtención del etanol lignocelulósico.

Si bien es cierto que las estimaciones de obtención de bioetanol podrían llegar a cubrir la demanda total del transporte, todavía los procesos tecnológicos son muy jóvenes y el desarrollo real lo ha obtenido Estados Unidos; aun así, se deben mejorar económicamente. La realidad a la fecha es que se está estimulando la obtención del bioetanol para llegar a reemplazar en un 30%, con una proyección para el año 2030.

⁴³ Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.



Para dar cumplimiento a las proyecciones estimadas se tienen que cumplir dos condiciones básicas: a) país con disponibilidad de tierras; b) desarrollo tecnológico.

Hasta la fecha en nuestro país no se conocen inversiones públicas o privadas para la producción del bioetanol lignocelulósico.

Desde el punto de vista económico, armar una estructura de costos y poder llegar a determinar precio y rentabilidad se dificulta como consecuencia de la escasa información existente.

7-2 Disponibilidad de la Materia Prima en Argentina

Tabla 7.1 Producción del maíz durante 2004-2015

Cultivo	Provincia	Campaña	Sembrado (ha)	Cosechado (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
MAIZ	** TOTAL DEL PAIS	2003/04	2.988.400	2.338.602	14.950.825	6.393
MAIZ	** TOTAL DEL PAIS	2004/05	3.403.837	2.783.436	20.482.572	7.359
MAIZ	** TOTAL DEL PAIS	2005/06	3.190.440	2.447.166	14.445.538	5.903
MAIZ	** TOTAL DEL PAIS	2006/07	3.578.235	2.838.072	21.755.364	7.666
MAIZ	** TOTAL DEL PAIS	2007/08	4.239.285	3.412.155	22.016.926	6.452
MAIZ	** TOTAL DEL PAIS	2008/09	3.501.328	2.362.508	13.134.435	5.56
MAIZ	** TOTAL DEL PAIS	2009/10	3.671.260	2.904.035	22.663.095	7.804
MAIZ	** TOTAL DEL PAIS	2010/11	4.561.101	3.747.838	23.799.830	6.35
MAIZ	** TOTAL DEL PAIS	2011/12	5.000.330	3.696.300	21.196.637	5.735
MAIZ	** TOTAL DEL PAIS	2012/13	6.133.378	4.863.801	32.119.211	6.604
MAIZ	** TOTAL DEL PAIS	2013/14	6.098.885	4.836.655	33.087.165	6.841
MAIZ	** TOTAL DEL PAIS	2014/15	6.034.480	4.626.880	33.817.449	7.309

Fuente: Datos suministrados por la Dirección de Información Agrícola y Forestal.⁴⁴

Tabla 7.2 Producción del sorgo durante 2004-2015

Cultivo	Provincia	Campaña	Sembrado (ha)	Cosechado (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
SORGO	** TOTAL DEL PAIS	2003/04	545.125	475.494	2.164.953	4.553
SORGO	** TOTAL DEL PAIS	2004/05	617.452	557.962	2.894.250	5.187
SORGO	** TOTAL DEL PAIS	2005/06	577.01	497.64	2.327.865	4.678
SORGO	** TOTAL DEL PAIS	2006/07	700.01	594.41	2.794.967	4.702
SORGO	** TOTAL DEL PAIS	2007/08	808.34	620.41	2.940.788	4.74
SORGO	** TOTAL DEL PAIS	2008/09	828.7	459.943	1.809.820	3.935
SORGO	** TOTAL DEL PAIS	2009/10	1.033.150	755.235	3.637.427	4.816
SORGO	** TOTAL DEL PAIS	2010/11	1.233.452	1.012.617	4.458.442	4.403
SORGO	** TOTAL DEL PAIS	2011/12	1.266.304	913.815	4.252.310	4.653
SORGO	** TOTAL DEL PAIS	2012/13	1.157.963	889.993	3.635.837	4.085
SORGO	** TOTAL DEL PAIS	2013/14	997.425	787.657	3.466.410	4.401
SORGO	** TOTAL DEL PAIS	2014/15	840.936	658.576	3.098.148	4.704

Fuente: Datos suministrados por la Dirección de Información Agrícola y Forestal.

⁴⁴ DATOS DE LA DIRECCIÓN DE INFORMACIÓN AGRÍCOLA Y FORESTAL [en línea], Argentina [fecha de consulta: 12 marzo 2016].
Disponibile en: http://www.siiia.gob.ar/sst_pcias/estima/estima.php



Conocer la cosecha durante este período 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, y si el mismo es sustentable en el tiempo.

Considerando los dos granos, ver su evolución durante el período antes referenciado:

Tabla 7.3 Evolución del crecimiento en la producción de los granos.
Período 2004-2015

	Maíz	Sorgo
Sembrado (ha)	101%	54%
Cosechado (ha)	98%	39%
Producción (tn)	126%	43%
Rendimientos (Kg/ha)	14%	3%

Fuente: Elaboración propia.

Observar que los dos granos han mejorado durante el período alienta y nos demuestra que hay suficiente materia prima para la obtención del bioetanol lignocelulósico.

Los productores de los dos cultivos destinan su producción en un gran porcentaje al mercado de la exportación. Si bien es cierto que es muy importante para el país desde el punto de vista de los ingresos que deja por las exportaciones, no es necesario analizar la cadena de valor de ninguno de los dos cultivos, ya que, como se empleará sólo el rastrojo, su utilización no afecta en nada la comercialización de los cultivos. Pero sí hay que tener muy en cuenta qué cantidad del mismo se puede remover del suelo para no verse afectado.

7-3 Índice de Cosecha

De la cantidad de biomasa que se forma en la cosecha, una parte se exporta (porción del carbono que se retira del campo) y otra fracción queda en el campo, como rastrojo (biomasa aérea) y biomasa radical. En el suelo se produce un proceso de humificación, que depende de la calidad de material aportado y que la misma varía entre 8 al 15% .

En la literatura se encuentran diferentes definiciones sobre el tema; pero, generalizando el concepto, el Índice de Cosecha es la cantidad de biomasa aérea y residual que queda en el campo.



Una manera de calcular este índice está definida en la publicación “Cátedra de Forrajes y Cereales - FAZ – UNT”⁴⁵: cantidad de biomasa acumulada durante el crecimiento del cultivo, órgano de cosecha (espiga) y el resto de la planta.

$$IC = \frac{\text{Rendimiento en grano (gr/m}^2\text{)}}{\text{Biomasa aérea total (gr/m}^2\text{)}}$$

Dicho artículo cita un ejemplo del rinde de maíz granífero en Tucumán (realizando las conversiones necesarias) de 7500 Kg/ha y una biomasa aérea total (incluyendo el grano) de 16190Kg/ha. Publican el índice de cosecha calculado, que estuvo entre los valores de 0,48 a 0,35.

Es importante destacar que el maíz es el principal cultivo granífero aportante de rastrojo, pues tiene una relación grano producido: rastrojo dejado de 1:1,2 (un maíz de 6.000 kg de grano deja 7.200 kg de rastrojo).

Los cultivos de trigo, soja, girasol y maíz difieren en la cantidad y calidad de los rastrojos que quedan en el sistema luego de la cosecha (Tabla 7.4). El elevado volumen de rastrojos aportado por el maíz contribuye favorablemente al contenido de materia orgánica del suelo. Además, la elevada relación carbono/nitrógeno permite una mayor perdurabilidad de los residuos.

Tabla 7.4 Producción de rastrojos de distintos cultivos

Cultivo	Relación Paja/grano	Rastrojos (Kg/ha)	Relación C/N
Trigo	1,5	4800	82
Maíz	1,4	9500	77
Girasol	1,7	3700	60
Soja	1,3	2900	46

Fuente: Informes Especiales de ILSI Argentina, Volumen II: Maíz y Nutrición.⁴⁶

La publicación mexicana *Rastrojos. Manejo, uso y mercado en el centro y sur de México*, con respecto al rastrojo establece una “proporción ponderada de rendimiento de rastrojo/grano de maíz, estableciendo el criterio que de un total de

⁴⁵ MARTÍN, G. O. [en línea]. Cátedra de Forrajes y Cereales - FAZ - UNT. Cultivo del maíz [fecha de consulta: 19 febrero 2016].

Disponible en: <http://ecaths1.s3.amazonaws.com/forrajicultura/CultivoMaiz.pdf>

⁴⁶ ILSI ARGENTINA [en línea]. 2006. Maíz y Nutrición. Informes Especiales de ILSI Argentina. Volumen II [fecha de consulta: 3 marzo 2016].

Disponible en: <http://www.ilsa.org.ar/index.php?com=publicaciones&seccion=1>



producción obtenida en una hectárea el 46.6% es grano y 53.4% es rastrojo (Macedo, 2000; Zetina et al., 2005; Luna, 2010 y Muñoz, 2011)⁴⁷.

Así, determinaron la siguiente fórmula para establecer la producción del rastrojo:

$$\text{Producción de rastrojo} = \left(\frac{\text{Producción de grano}}{\text{porcentaje de grano}} \times 100 \right) - \text{producción de grano}$$

Tabla 7.5 Producción de grano y estimación de la producción rastrojo de maíz.
Período 2008-2011

Cultivo	Producción del Grano (t)	Producción de Rastrojo (t)
Maíz	21.372.598	25.089.571

Fuente: Reyes Muro, L.; Camallo Villa T.; Guevara Hernández, F. (coords). *Rastrojos. Manejo, uso y mercado en el centro y sur de México*.

Cabe acotar que la fórmula no tiene en cuenta el índice de cosecha, pero también mantiene la relación de 1:1,2.

Del trabajo presentado por el INTA, mediante los autores Julio E. Menéndez y Jorge A. Hilbert, en el documento *Cuantificación y uso de biomasa de residuos de cultivos en Argentina para bioenergía*, en relación a la estimación del factor de residuo dice que

...El factor de residuo (FR) es la relación entre los rastrojos y el rendimiento, representa el complemento del índice de cosecha (IC). Es decir, la proporción de la biomasa aérea que no es grano o el órgano que se cosecha del cultivo. El factor de residuo puede calcularse a partir del IC, donde $FR = (1 - IC)/IC$. Este factor multiplicado por el rendimiento nos permite estimar el residuo. En términos generales, para maíz, se puede considerar un IC de 0,5 (Dr. Andrade, com. per.).⁴⁸

Teniendo en cuenta estos antecedentes, consideraremos tres escenarios posibles para el IC y, en consecuencia, para el FR. Utilizaremos un valor de IC de 0,50 como valor promedio, un IC de 0,3 como valor mínimo, y un IC de 0,60 como valor máximo. Para estos, los valores de FR utilizados serán 1; 2,33 y 0,67 respectivamente.

⁴⁷ REYES MURO, L.; CAMALLO VILLA, T.; GUEVARA HERNÁNDEZ, F. (coords). *Rastrojos. Manejo, uso y mercado en el centro y sur de México*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 7, ISBN: 978-607-37-0170-9, p. 15.

Disponible en: http://conservacion.cimmyt.org/index.php/es/component/docman/doc_view/1169-rastrojos

⁴⁸ MENÉNDEZ, JULIO E.; HILBERT, J. A. 2013. *Cuantificación y uso de Biomasa de residuos de cultivos en Argentina para bioenergía*, Buenos Aires: INTA, p. 27.

Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-cuantificacion_y_uso_de_biomasa_de_residuos_de_c.pdf



Este trabajo presentado por el INTA introduce el concepto de factor de residuo, combinado con el índice de cosecha, para calcular la cantidad de rastrojo que se produce después de la cosecha.

La bibliografía presente establece, en forma general, para calcular el rastrojo producido después de la cosecha, como herramienta importante el índice de cosecha, y determina una relación genérica como la publicada en el trabajo mexicano, donde el rastrojo de maíz está compuesto por el 46% de grano, y un 54% de la materia seca de la planta completa pertenece al rastrojo puro.

La Fundación Maizar utiliza la relación Espiga (grano + marlo + chala) / Planta Completa calculado en materia seca, para determinar el índice de cosecha.

$$\text{Indice de Cosecha} = \frac{\text{Producción del grano}}{\text{Kg de Materia seca de la planta completa}}$$

7-4 Cantidad de rastrojo a retirar del campo

La bibliografía que abarca los temas del suelo demuestra que mantener y desarrollar la materia orgánica mejora el rinde del campo. En ese sentido se entiende que a los rastrojos se los considera como materia prima para la reposición de materia orgánica de los mismos.

La cosecha de maíz aporta grandes volúmenes de rastrojo. La planta es muy eficiente en la producción de biomasa: a mayor rendimiento del grano, mayor cantidad de rastrojo; además, el cultivo de maíz es una fuente potencial de materia prima lignocelulósica, óptima para la producción de energía dada su alta eficiencia de convertir la energía solar en compuestos orgánicos. Después de la cosecha de este cultivo queda en el lote una alta cantidad de biomasa (rastrojos), que están compuestos por cañas que tienen una alta relación de Carbono/Nitrógeno, y una proporción alta de lignina y celulosa en sus tejidos.

Considerando los requerimientos del sistema suelo para mantener su contenido orgánico, el exceso de rastrojo podría ser utilizado como materia prima para la producción de energía.

Existe en la bibliografía una discusión con respecto a la recolección y manejo de los rastrojos, teniendo como base del debate el balance de nutrientes en función de lo extraído y lo repuesto. Los estudios realizados demuestran que los limitantes de la extracción del rastrojo son la erosión hídrica y eólica, contenido de carbono, balance



de nutrientes, cantidad de agua y temperatura del suelo. Estas consideraciones están basadas, principalmente, en las características y particularidades de cada zona.

Imaginado que los escenarios son diferentes, una metodología para poder determinar la cantidad de rastrojo que se puede retirar del campo podría ser la del análisis de balance de carbono.

En el marco de la Fundación Producir Conservando, el trabajo titulado “Sustentabilidad de la agricultura en la próxima década. Potencial uso de fertilizantes al 2015”⁴⁹, por el Ing. Gustavo Oliverio y el Lic. Gustavo M. López, en septiembre del 2008, presenta el análisis en función de las necesidades de nutrientes en los suelos, su reposición y uso, e indican que la erosión es un proceso irreversible de degradación de los suelos, por lo cual es necesario establecer un sistema agrícola sustentable en el tiempo.

En el documento se recomienda ya sea un manejo por siembra directa o labranzas conservacionistas, mantener en la superficie del suelo una cobertura de rastrojo de cultivo superior al 40%, para cuidar los suelos dentro de los márgenes de tolerancia de los problemas de erosión, y con ello dar sustentabilidad a la producción.

Otros de los aspectos a tener en cuenta en un sistema de producción sustentable está relacionado con la nutrición mineral de los cultivos.

El requerimiento nutricional de un cultivo puede resumirse como la cantidad de nutrientes necesarios para el adecuado desarrollo del mismo y la extracción o exportación de nutrientes, que es la cantidad de nutrientes extraídos o exportados del suelo por los granos producidos.

Tomando los criterios de fertilización de cultivos extensivos en EE.UU. o en la UE, vemos con claridad que las recomendaciones de fertilización surgen de realizar un aporte de nutrientes cercano al 100% de los requerimientos de los cultivos en función del potencial de producción de cada zona.

En el documento “Producción de biomasa para biocombustibles líquidos: el potencial de América Latina y el Caribe”⁵⁰ se cita a Lynd y otros (2003), quienes

⁴⁹ LÓPEZ, G.; OLIVERIO, G. [en línea]. 2008. Sustentabilidad de la agricultura en la próxima década. Potencial uso de fertilizantes al 2015 [fecha de consulta: 12 marzo 2016].

Disponible en: http://producirconservando.org.ar/intercambio/docs/fert_122_millones.pdf

⁵⁰ NACIONES UNIDAS [en línea]. 2007. Producción de biomasa para biocombustibles líquidos: el potencial de América Latina y el Caribe. Chile: CEPAL. ISBN: 978-92-1323127-2.

Disponible en:

<http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/Biocombustibles/CEPAL/produccion%20de%20biomasa.pdf>



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

estiman que un 50% de los residuos de maíz pueden ser removidos sin causar un efecto negativo al suelo.

Así, respetando las recomendaciones para mantener un suelo sustentable y aporte de nutrientes para sostener la fertilidad de los mismos, en este trabajo se tomará como un valor seguro, con el fin de no dañar las condiciones del suelo, retirar el 50% de la producción de rastrojo seco.



CAPÍTULO 8 - ANÁLISIS DE DATOS ECONÓMICOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL COSTO DEL ETANOL LIGNOCELULÓSICO

8-1 Análisis de Datos

En nuestro país, hasta el año 2011, el etanol era utilizado por diferentes industrias, tales como la de alimentos, bebidas, cosméticos y agroquímicos, mientras que el remanente era destinado a la exportación. Como consecuencia de dar cumplimiento a la Ley N° 26.093, llamada Ley de Biocombustibles, con el objetivo de mejorar el uso energético y bajar la emanación de CO₂, se empezó a utilizar el etanol para el corte de combustible, específicamente para las naftas.

Conocer el consumo de las naftas nos dará un panorama de la cantidad necesaria de producción de etanol para dar cumplimiento a la reglamentación vigente y sus proyecciones.

El Instituto Argentino del Petróleo y el Gas publica anualmente sus estadísticas; de esos anuarios se tomaron los valores de elaboración y venta de naftas, procesadas por todas las empresas del rubro.

Tabla 8.1 Elaboración de naftas (expresadas en m³)

Naftas	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Común	381594	279629	205432	141735	119910	29026	27439
Super	4594010	4642430	4992430	5389690	5780619	5782682	5980383
Ultra	1059571	1223171	1653794	1769828	1709215	1468458	2311743
Total	6035175	6145230	6851656	7301253	7609744	7280166	8319565

Fuente: Elaboración propia sobre datos Estadísticas de Petróleo y Gas (EPG).

Tabla 8.2 Venta de naftas (expresadas en m³)

Naftas	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Común	388550	278661	205376	130746	122568	27425	26875
Super	4316448	4696159	5027850	5544198	6091466	6160361	6155276
Ultra	1054247	1261537	1732814	1826766	1953811	1892478	2355661
Total	5759245	6236357	6966040	7501710	8167845	8080264	8537812

Fuente: Elaboración propia sobre datos Estadísticas de Petróleo y Gas (EPG).

Con los datos de las tablas se visualiza el incremento tanto en la elaboración como en las ventas durante el período 2009-2015. Y tomando los datos proyectados para el año 2025 de consumo de naftas, donde se estima que llegarán a los 10.000 millones de litros (fuente: Usda Gain Report For Argentina del 7/1/2015), con los datos obtenidos de años anteriores, se parte para el análisis y cálculo de la cantidad necesaria



de producción de etanol lignocelulósico, y dar cumplimiento a la ley de biocombustibles.

El estudio deberá comparar los datos de producción de etanol desde el 2010, año que se pone en vigencia la obligatoriedad del corte de combustible, y establecer las cantidades en las que se deberá aumentar la producción de etanol.

Como ya se mencionó, en nuestro país la producción del bioetanol se lleva a cabo con materia prima proveniente del grano de maíz y la caña de azúcar.

Tabla 8.3 Datos estadísticos de la producción y venta para el corte en el período 2009-2015

Producción y Ventas de Bioetanol						
Fuente: <i>Ministerio de Energía y Minería</i>						
En metros cúbicos						
Datos anuales y mensuales						
Fecha	Bioetanol TOTAL		Bioetanol en base a maíz		Bioetanol en base a caña de azúcar	
	Producción	Ventas al corte	Producción	Ventas al corte	Producción	Ventas al corte
2009	23,297	2,664	0	0	23,297	2,664
2010	124,930	117,806	0	0	124,930	117,806
2011	173,623	165,392	0	0	173,623	165,392
2012	250,489	237,843	20,500	17,395	229,989	220,448
2013	472,380	474,752	167,594	169,143	304,786	305,609
2014	671,121	663,102	371,257	364,900	299,864	298,202
2015	815,408	803,639	479,265	475,570	336,144	328,069

Fuente: Secretaría de Energía de la Nación.

Con los datos estadísticos expresados realizamos una evaluación del consumo de nafta versus la producción de bioetanol, y podemos obtener una conclusión de la utilización del bioetanol para el corte.

Tabla 8.4 Porcentajes de bioetanol utilizados para el corte (unidades en m³)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Consumo Total de todas las Naftas	6236357	6966040	7501710	8167845	8080264	8537812
Total de Bioetanol para el corte	117806	165392	237843	474752	663102	803639
% del Total Bioetanol Vs Consumo Total de todas las Naftas			3.17%	5.81%	8.21%	9.41%
Total de Bioetanol para el corte sólo Maíz			17395	169143	364900	475570
% del Bioetanol de Maíz Vs Consumo Total de Naftas			0.23%	2.07%	4.52%	5.57%

Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, y el INDEC.

A partir de la vigencia de la ley de biocombustibles, la tasa de corte fue aumentando paulatinamente y, si consideramos la suma del bioetanol proveniente de la caña de azúcar más la proveniente del grano de maíz, la ley se empieza a cumplir a partir del año 2013, y en el año 2014 y 2015 superó lo establecido en un punto porcentual.



Pero para este trabajo es importante conocer la producción del bioetanol proveniente del grano de maíz para el corte con la nafta, y de la tabla se concluye que considerando sólo la producción del bioetanol procedente de dicho grano aún no se ha llegado al 7% como establece la ley.

Si tomamos el año 2015, donde se consumió un total de todas las calidades de naftas, 8.537.812 m³ para cumplir con el 10% de corte (según lo establecido por la Secretaría de Energía de la Nación) utilizando únicamente el grano de maíz, se hubiesen necesitado 853782 m³ y, según los datos de la Tabla 8.4, se produjo para el corte a base del grano de maíz un 50% menos de lo hipotéticamente necesario.

Si ahora 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.

8-1-1 Cálculo de materia prima para la obtención de bioetanol

Para dar cumplimiento a la Resolución 44/2014 de la Secretaría de Energía y producir 853782 m³ de etanol a base de maíz, considerando la densidad del etanol (0,789 Kg/l), es necesario producir 637634 Tn de maíz.

Según los datos expresados en la Tabla 7.1 Producción del maíz durante 2004-2015, en el punto 7-2 del Capítulo 7, en los años 2014/2015 se produjo 33.817.449 Tn de maíz; estos valores nos indican que entre 1,5 a 2% de la producción debe ser destinada a la producción de bioetanol para el corte de nafta.

Los datos calculados incentivan a realizar un estudio de una factibilidad de producir etanol lignocelulósico y bajar el consumo de maíz para la obtención de bioetanol de segunda generación.

8-2 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 aún es bastante dificultoso dado que en las investigaciones en función de la transformación nos encontramos en la etapa de investigación. A la fecha no hay ninguna planta piloto que esté desarrollando la obtención del etanol lignocelulósico y, al no existir datos nacionales o del exterior del costo de producción, esa etapa no será calculada en la presente tesis.

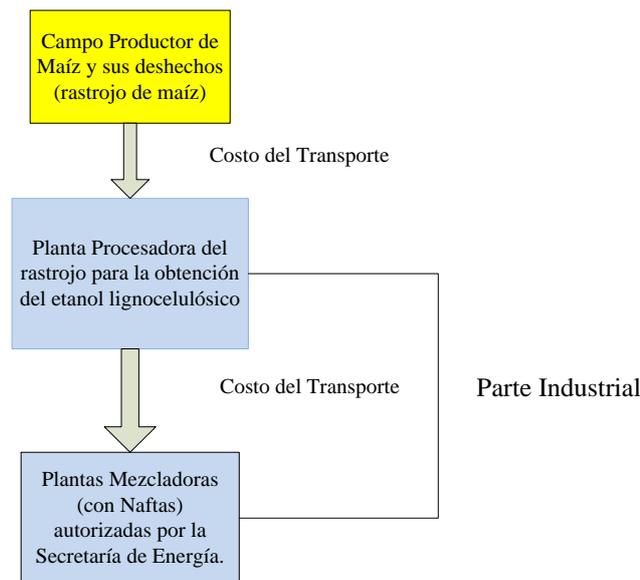
Para soslayar estas dificultades, en este trabajo se buscaron datos que se asemejen al trabajo de recoger y transportar rastrojo de maíz a la planta procesadora.



Se tomó el costo de rollos de pastura para determinar un costo hipotético del costo de rollos de rastrojo; además, el costo de nutrientes para hallar un valor hipotético del costo de reposición de los mismos. Con esos datos hipotéticos, más el cálculo del costo de transporte, se calculó el costo del rastrojo puesto en planta procesadora, listo para la mezcla.

Para poder realizar un análisis de costo, primero debemos conocer en forma resumida la cadena de valor del etanol lignocelulósico.

Figura 8.1 Cadena de valor del Etanol Lignocelulósico



Fuente: Elaboración propia.

Pensando en la cadena de valor, e iniciando un análisis de costos para la obtención del etanol lignocelulósico, básicamente hay que tener en cuenta:

- Costo de la materia prima (rastrojo de maíz) en puerta de campo;
- Costo del transporte del rastrojo a la planta procesadora;
- Costos de transformación de la materia prima en biocombustible;
- Costo del transporte de la planta procesadora a la planta mezcladora.

8-2-1 Análisis del costo del transporte

El costo del transporte está directamente relacionado con la distancia a recorrer desde el campo donde se retira la materia prima (rastrojo de maíz) con la ubicación de la planta procesadora. Este dato es importantísimo dada la incidencia que tiene la logística en los costos finales.

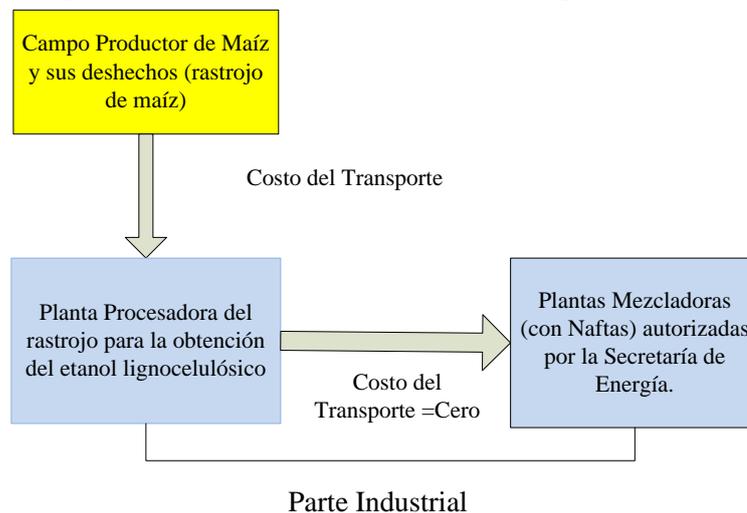
El ya referenciado NREL⁵¹ recomienda que la distancia óptima entre el campo (cosecha/almacenaje) a la planta procesadora no debería superar un radio de 80 km.

Para dar lugar a las recomendaciones de NREL, este trabajo realiza la hipótesis de ubicar la planta procesadora cercana a las plantas mezcladoras autorizadas por la Secretaría de Energía de la Nación; de esta manera se plantean dos consideraciones:

- aprovechar las instalaciones de las plantas mezcladoras adaptando sus procesos de refinerías y bajar costos de inversión;
- instalar la planta procesadora muy cercana a la planta mezcladora para sustituir el traslado del bioetanol a la planta mezcladora, y así obtener un ahorro en la logística.

Basándonos en las hipótesis a y b, la cadena de valor del bioetanol queda esquematizada como vemos a continuación.

Figura 8.2 Cadena de valor del Etanol Lignocelulósico



Fuente: Elaboración propia.

El análisis para el estudio del costo del transporte, con las hipótesis establecidas, se inicia considerando la producción de maíz obtenida en la cosecha 2014-2015, dentro de las provincias que poseen plantas mezcladoras autorizadas por la Secretaría de Energía de la Nación.

⁵¹ 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/>



Tabla 8.5 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.

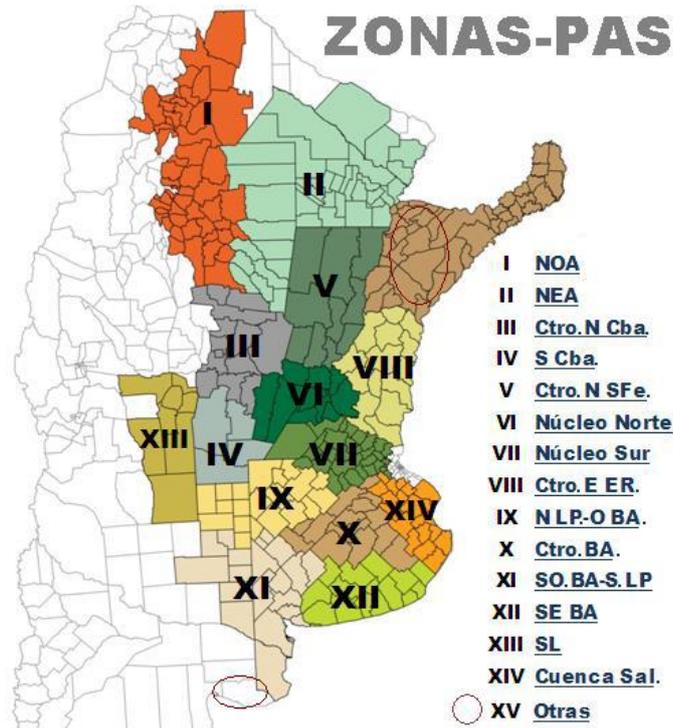
Los datos de la tabla nos dan dos posibilidades de analizar dónde ubicar la planta procesadora:

- a) desde el punto de vista de la producción anual del maíz, la provincia de Córdoba podría ser considerada la mejor ubicación, buena producción, buen rendimiento del rastrojo;
- b) desde el punto de vista de la ubicación de las plantas mezcladoras, los productores de la provincia de Buenos Aires tienen mayor oferta para vender sus rastrojos. Es importante destacar que de estas once plantas mezcladoras, una cantidad de siete se encuentran en la denominada Gran Buenos Aires, en los partidos de Ensenada, Berisso, Campana, Dock Sud y Laferrere, mientras que de las otras cuatro restantes se encuentran dos en la localidad de Bahía Blanca y dos en la localidad de Junín.

La cantidad de plantas mezcladoras ubicadas en la provincia de Buenos Aires nos posibilita establecer zonas que, en función de la distancia, se lograría optimizar los costos de logística.

8-2-2 Zonas de donde extraer el rastrojo

La Bolsa de Cereales de Buenos Aires ha diferenciado quince zonas PAS (Panorama Agrícola Semanal), de las cuales en este trabajo se analizará la Zona VII Núcleo Sur para determinar el costo del transporte expresado en U\$/tn transportada.



La Zona VII Núcleo Sur está compuesta por la zona norte de la provincia de Buenos Aires más la zona sur de la provincia de Santa Fe, y sus localidades son: Alberti, Baradero, Bme. Mitre (hoy en día denominado Partido de Arrecifes), Bragado, Capitán Sarmiento, Carmen de Areco, Chacabuco, Chivilcoy, Colón, Gral. Arenales, Junín, L. N. Alem, Pergamino, Ramallo, Rojas, Salto, San Antonio de Areco, San Nicolás de los Arroyos, San Pedro, Suipacha, Zárate, Constitución, Gral. López.

De cada localidad que compone la Zona VII Núcleo Sur se establecieron sus rendimientos de producción y las distancias existentes a las plantas mezcladoras ubicadas en las localidades de Campana y Junín.

Considerando que la instalación de la planta procesadora es conveniente ubicarla muy cercana a la planta mezcladora, para obtener un ahorro en la logística, en la Zona VII Núcleo Sur se han considerado solamente aquellas localidades que se encuentran en un radio de la distancia recomendada.

Así, las localidades analizadas son Bragado, Chacabuco, Arenales, Junín, L. N. Alem, Pergamino, Rojas y Salto.

Se calculó la producción de maíz en el período 2004-2015 de aquellas localidades que se mencionaron en el párrafo anterior dado que, como ya se mencionó, se encuentran a la distancia recomendada (ver Anexo VI) en base a los datos de



Estimaciones Agrícolas suministrados por la Dirección de Información Agrícola y Forestal. Con esos datos se construyó la tabla siguiente:

Tabla 8.6 Rendimiento de la producción del maíz, período 2004-2015

		Sembrado (ha)	Cosechado (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
Rendimiento	Promedio	19.411	18.028	155.055	8.696
	Maximo	34.900	30.890	291.900	11.500
	Mínimo	10.450	9.500	75.200	4.970

Fuente: Elaboración propia. Resumen de datos de SIIA⁵².

Con respecto a las localidades que se encuentran a un radio de 95 Km, los rendimientos de producción que se presentan en la tabla pertenecen a aquellas localidades que se ubican a la distancia recomendada y considerando las campañas 2004-2015.

Observando los valores de la tabla anterior en el período considerado, nos da una idea de la sustentabilidad de obtener la materia prima necesaria (recolección de rastrojo de maíz) para una posible producción de etanol lignocelulósico.

8-2-2-1 Cálculo del costo del transporte

El cálculo del costo del transporte del rastrojo se realiza bajo las consideraciones y la hipótesis establecidas en el punto 8-2-1, asumiendo que el productor del rastrojo debe entregar su materia prima a la planta procesadora.

Se consideraron las ciudades de Junín y Campana, dado que éstas dos poseen plantas mezcladoras autorizadas por la Secretaría de Energía.

Los costos por Km/Tn transportada se adquieren de la página de la Confederación Argentina del Transporte Automotor de Cargas - CATAAC 2015 (ver Anexo VII).

En cuanto a los valores de Tn/Km transportado en pesos, se realizó la conversión a dólares con la cotización del Banco Nación a mayo de 2015, tomando un promedio entre la compra y la venta = \$8,9450.

Se consideró 30 Km para movimientos internos desde el campo hacia el centro de distribución de cada localidad. De este análisis surge que la localidad de Junín es la más conveniente en términos de costos de transporte.

⁵² DATOS DE LA DIRECCIÓN DE INFORMACIÓN AGRÍCOLA Y FORESTAL [en línea], Argentina [fecha de consulta: 19 marzo 2016].
Disponible en: http://www.siiia.gob.ar/sst_pcias/estima/estima.php



Tabla 8.7 Costo del Transporte

	Distancia Interna en Km	Distancia hasta Junin en Km	Distancia Total en Km	Costo del Transporte en \$/tn	Coste del Transporte en U\$/tn
JUNIN	30		30	101.18	11.31
LEANDRO N ALEM	30	46	76	164.26	18.36
ROJAS	30	53	83	172.65	19.30
CHACABUCO	30	55	85	175.05	19.57
GENERAL ARENALES	30	57	87	177.49	19.84
BRAGADO	30	80	110	204.54	22.87
SALTO	30	102	132	231.32	25.86
PERGAMINO	30	130	160	264.44	29.56
Promedios	30.00	74.71	95.38	186.37	20.83

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a datos publicados por CATAC⁵³.

8-2-3 Estimación del costo de la materia prima (rastrojo de maíz)

Este dato es básico para pensar cuál sería el valor del rastrojo sin importar cuál es el precio de venta ni el rendimiento económico esperado del maíz. Una vez finalizada la cosecha ya se puede saber qué rendimiento de producción se obtuvo, y el productor puede analizar a qué precio podría vender su rastrojo. Con lo cual el costo de éste no depende del rendimiento económico de la cosecha.

Dado que no se encontraron datos de valores de venta de esta materia prima, y no se ha realizado un trabajo de muestreo, se llega a un valor hipotético realizando las siguientes consideraciones:

- el productor ya realizó la inversión necesaria para obtener la cosecha de maíz;
- el productor ya desembolsó el pago de todos los impuestos;
- el productor ya conoce la rentabilidad obtenida en dicha cosecha.

Hechas estas consideraciones se parte de la hipótesis que el productor está interesado en vender su rastrojo y para ello debe realizar un análisis del costo de esta materia prima. Para realizar este análisis se parte de la hipótesis que el productor debe:

- recuperar un porcentaje de los gastos incurridos en los nutrientes e insumos que efectuó en la siembra/cosecha;
- costos de enfardado del rastrojo;

⁵³ CONFEDERACIÓN ARGENTINA DEL TRANSPORTE AUTOMOTOR DE CARGAS – CATAC [en línea]. Argentina [fecha de consulta: 3 abril 2016].

Disponibile en: <http://www.catac.org.ar/tarifas.aspx>



- cálculo del costo de transporte para entregar el rastrojo a la planta procesadora.
Para obtener un valor hipotético de los costos, se calcularon los costos del enrollado del rastrojo de maíz, asumiendo que cada rollo pesa 450 Kg, y los costos por pérdidas de nutrientes. Con estos dos valores se llega a un valor hipotético del costo del rastrojo en el campo. Si a estos valores obtenidos se le suma el costo del transporte calculado en el punto 8-2-1, se obtiene el costo para que el productor pueda colocar el rastrojo en la planta procesadora.

Para realizar el cálculo de los costos se adquieren los valores referenciales del informe INTA presentado en “Resultados Económicos del Maíz. Campaña 2014/15”⁵⁴. Se toma, como eje de cálculo, la pérdida de nutrientes del suelo expresada en U\$S/ha. Los cálculos son realizados a mayo del 2015.

8-2-3-1 Costo de nutrientes

Debemos tener en cuenta los conceptos de “absorción” y “extracción” de los cultivos. La absorción es la cantidad total de nutrientes absorbidos por el cultivo durante su ciclo de desarrollo, y la extracción es la cantidad total de nutrientes en los órganos cosechados: grano, forraje u otros.

Esto significa que, al tener en cuenta la reposición de nutrientes, se deben considerar los que fueron absorbidos por todo el cultivo y los que se encuentran en todos los órganos.

Pero el concepto para la práctica de fertilización sólo busca reponer los nutrientes que son absorbidos y depositados en tejidos y granos.

Los requerimientos de absorción y extracción se expresan en términos de kg de nutrientes por tonelada de grano, siempre en base seca.

Para mantener un sistema de producción sustentable, hay que vincularlo a la nutrición mineral de los cultivos que integran la rotación, y considerar la reposición de los nutrientes por el camino de los fertilizantes, que fueron extraídos del suelo por los granos producidos.

⁵⁴ GHIDA DAZA, C. [en línea]. 2014. Resultados económicos de maíz. Campaña 2014/15. Argentina: EEA INTA Marcos Juárez [fecha de consulta: 4 abril 2016].
Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_economia_maiz14.pdf



Tabla 8.8 Requerimiento y exportación de nutrientes, base 13% de humedad.

Maíz	Requerimiento	Extracción
N	2,20 %	1,33%
P	0,40%	0,27%
K	1,90%	0,35%
Ca	0,30%	0,02%
Mg	0,30%	0,14%
S	0,40%	0,12%

Fuente: Producir Conservando “Sustentabilidad de la agricultura en la próxima década. Potencial uso de fertilizantes al 2015⁵⁵.”

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.

En el documento recién referenciado, “Sustentabilidad de la agricultura en la próxima década. Potencial uso de fertilizantes al 2015”, sobre el estudio de usos de los fertilizantes que se proyectó para el año 2015, con los principales cultivos se llegaría a 122 millones de toneladas de producción y, de ellos, 2,6 millones de Tn de nutrientes deberán ser repuestos frente a los 4,2 millones de nutrientes que exporta por la producción del grano.

Todos estos datos nos dicen que la mayor exportación de nutrientes está concentrada en el grano, y una pequeña parte puede ser aportada por el suelo.

En consecuencia, si la composición de la planta de maíz está compuesta por un 50% en grano y el resto la componen panoja, tallo, chalas, etc., con lo cual el 50% restante es rastrojo, 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 rastrojo.

⁵⁵ LÓPEZ, G.; OLIVERIO, G. [en línea]. 2008. Sustentabilidad de la agricultura en la próxima década. Potencial uso de fertilizantes al 2015 [fecha de consulta: 15 marzo 2016]. Disponible en: http://producirconservando.org.ar/intercambio/docs/fert_122_millones.pdf



Tabla 8.9 Costo del nutriente

Gastos de Insumos	\$/ha	U\$S /ha Valor del dólar a Mayo /15	Redondeo	75% Para el Grano	25% Para el rastrojo
		8.945			
Pérdida de Nutrientes	632.37				
Total	632.37	70.70	71	53.25	17.75

Fuente: Ghida Daza, C. [en línea]. 2014. Resultados económicos de maíz. Campaña 2014/15. EEA INTA.

8-2-3-2 Costos de rollos de rastrojo

Para determinar los procedimientos y costos de confección de rollos de rastrojos se toman las experiencias de confección de rollos de pastura, considerándose los valores expresados en la publicación “Cuantificación y uso de Biomasa de residuos de cultivos en Argentina para bioenergía”⁵⁶.

Tabla 8.10 Detalle de los costos parciales para determinar el costo de rollos de rastrojo. La tabla está en función de 1000 fardos.

	U\$S/ha	U\$S /rollo
Mano de Obra Corte para 1000 rollos/año	2.32	0.81
Combustible	7.31	2.56
Mantenimiento Tractor	0.57	0.20
Mantenimiento Cortadora	0.65	0.23
Interés Tractor	2.86	1.00
Interés Cortadora	1.23	0.43
Amortización Tractor	4.76	1.67
Amortización Cortadora	2.55	0.90
Total Costos de preparación del rastrojo	22.25	7.80

Fuente: Cuantificación y uso de Biomasa de residuos de cultivos en Argentina para bioenergía, p. 36.

Con el mismo criterio se establecen las diferentes etapas para obtener el rollo y se constituye la siguiente tabla:

Tabla 8.11 Costo de los rollos

	U\$S/ rollo
corte	7.8
hilerado	3.77
enrollado	11.11
transporte	2.49
Costo Total de los rollos	25.17

Fuente: Elaboración propia a partir de la publicación recién referenciada, p. 36.

⁵⁶ 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



8-2-4 Cálculo del rendimiento del grano seco

Con los datos de la Tabla 8.6 Rendimiento de la producción del maíz, período 2004-2015, en la zona considerada, respetando el radio de 95 Km calculado, se descontó la humedad del grano y se calculó el rendimiento el grano seco para tres escenarios: promedio, máximo y mínimo.

Tabla 8.12 Rendimiento del grano seco

	Producción Grano Húmedo en Kg	DESCUENTO DEL 15% POR HUMEDAD	Promedio de área cosechada	Rendimiento del Grano Seco Kg/ha	Rendimiento del Grano Seco tn/ha
PROMEDIO	155055260	131796971.35	18028	7,310.84	7.31
MAXIMO	291900000	248115000.00	30890	8,032.21	8.03
MINIMO	75200000	63920000.00	9500	6,728.42	6.73

Fuente: Elaboración propia con datos de SIIA.

8-2-4-1 Cálculo de rastrojo producido

Con los datos del grano seco se puede calcular la cantidad de rastrojo producido y la cantidad de rastrojo a retirar. Para realizar el cálculo hay que considerar los conceptos vertidos en el punto 7-3 Índice de cosecha. Para considerar ese valor se toman en cuenta los datos suministrado por la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNLZ, que se encuentran en el Anexo VIII. Con esos datos se calculan datos estadísticos que se presentan en la tabla que sigue:

Tabla 8.13 Datos estadísticos del índice de cosecha, período 2004-2015

MODAL	MAX	MIN	Promedio
0.58	0.76	0.03	0.51

Fuente: Elaboración propia.

En este trabajo se toma la moda estadística para aplicarla en la fórmula del índice de cosecha. Y se aplica la fórmula:

$$IC = \frac{\text{Producción del Grano}}{\text{Kg de Materia Seca de la planta completa}}$$

Recordamos que la constitución del rastrojo:

Grano en %	Rastrojo en %
46	54

Aplicando la fórmula del índice de cosecha se obtiene la cantidad de rastrojo seco, tomando el dato de la producción promedio del período 2004-2015, cuyo valor es de 131796971.4 Kg.



8.2.4.2 Cálculo de la cantidad de rastrojo seco Tn/ha a retirar

Para determinar la cantidad de rastrojo a retirar del campo se aplican los conceptos establecidos en el punto 7-4 Cantidad de rastrojo a retirar del campo. Los datos se toman de la producción del grano de maíz en el período 2004-2015 vertidos por la Dirección de Información Agrícola y Forestal. Se trabaja con la producción promedio del período considerado.

Tabla 8.14 Retiro de rastrojo para no afectar la calidad del suelo

Indice de Cosecha	KG de Rastrojo	% DE RETIRO	Kg de Rastrojo Seco listo para la producción de etanol	TN DE Rastrojo Seco	Promedio de Ha cosechadas	promedio del Rendimiento del Rastrojo Seco Tn/ha
0.58	122707525.05	50%	61,353,762.53	61353.76	18027.60	3.40
0.58	122707525.05	40%	49,083,010.02	49083.01	18027.60	2.72
0.58	122707525.05	30%	36,812,257.52	36812.26	18027.60	2.04

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los cálculos de retiro de rastrojo.

Basándonos en la publicación de la CEPAL, titulada “Producción de biomasa para biocombustibles líquidos: el potencial de América Latina y el Caribe”⁵⁷, se cita a Lynd y otros (2003), quienes estiman que un 50% de los residuos de maíz pueden ser removidos sin causar un efecto negativo al suelo. Este trabajo toma ese valor para los cálculos de los costos y márgenes por hectárea, y así establece un parámetro para analizar la conveniencia o no para el productor en relación a vender su rastrojo.

Con todos los datos calculados se confecciona la tabla para el cálculo de los costos y márgenes que se incurren en el manejo del rastrojo de maíz. Se presenta el valor promedio del período considerado.

Hay que tener presente que la Secretaría de la Energía de la Nación regula el precio del bioetanol, entendiendo que el precio publicado por la misma es el que paga la planta mezcladora (Empresas Petroleras) a la planta procesadora.

El procedimiento utilizado por la Secretaría para determinar dicho precio involucra a toda la cadena de valor del bioetanol. La fórmula desarrollada se expresa en el Capítulo 5 y su detalle se encuentra en el Anexo V de la presente tesis.

⁵⁷ NACIONES UNIDAS [en línea]. 2007. Producción de biomasa para biocombustibles líquidos: el potencial de América Latina y el Caribe. Chile: CEPAL. ISBN: 978-92-1323127-2. Disponible en: <http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/Biocombustibles/CEPAL/produccion%20de%20biomasa.pdf>



El análisis se inicia en el comienzo de la cadena de valor, entendiéndose como el primero en la cadena al productor del grano del maíz y sus deshechos (rastrojo de maíz).

Como ya se explicó anteriormente, al no existir producción de etanol de segunda generación este trabajo estima que el valor que recibiría el productor por el rastrojo será el que sale de la aplicación de la fórmula de la S.E. de la Nación, cuyo valor representaría el poder de compra de la industria respecto del insumo que le aporta el productor, y considerando a toda la cadena de valor.

Para obtener el valor de la materia prima, la S.E. de la Nación toma como valor base el precio FAS⁵⁸ del grano de maíz (es un valor menor al precio FOB del grano) del mes anterior, y lo multiplica por el factor de conversión que equivale a la cantidad de litros de etanol que se obtiene de un kg de grano de maíz.

8-2-4-2-2 Cálculo de costos y márgenes

El cálculo se inicia aplicando la hipótesis expresada en el punto 8-2-2:

- recuperar un porcentaje de los gastos incurridos por pérdida de nutrientes;
- costos del enrollado del rastrojo;
- costos de transporte para entregar el rastrojo a la planta procesadora.

Para la construcción de la tabla de cálculo “Costos y Márgenes” se arman tres bloques principales: costos en el campo, ingresos y márgenes. A continuación, los detalles de cada bloque. Los datos para construir el bloque “Costos en el campo”, que forman la columna del grano de maíz seco, se obtienen de la revista *Márgenes Agropecuario* N° 360, junio de 2015. Por su parte, los datos de enrollado del rastrojo se toman de la Tabla 8.10 Detalle de los costos parciales para determinar el costo de rollos de rastrojo; el costo de los nutrientes, de Tabla 8.9 Costo del nutriente; y el costo del transporte se adquiere de la Tabla 8.7 Costo del Transporte.

En la columna “Rastrojo de maíz seco”, los valores de rollos/ha se establecen entre los valores publicados por el INTA, que oscilan entre 350 a 450 Kg/rollo.

⁵⁸ Las siglas FAS (acrónimo del término en inglés Free Alongside Ship, “franco al costado del buque, puerto de carga convenido”) se refieren a un incoterm, o cláusula de comercio internacional, que se utiliza para operaciones de compraventa en que el transporte de la mercancía se realiza por barco. Así, la responsabilidad del vendedor finaliza una vez que la mercadería es colocada al costado del buque en el puerto de embarque convenido. Esto quiere decir que el comprador ha de asumir todos los costos y riesgos de pérdida o daño de las mercaderías desde aquel momento. El término FAS exige al vendedor despachar las mercaderías para la exportación.

Disponible en: <http://www.businesscol.com/comex/incoterms.htm>



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
 Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

En el bloque “Ingresos” los factores de conversión (tn de materia prima a obtención de bioetanol) se toman de los datos publicados por BIO 4, última empresa que instaló la planta para producir etanol a través del grano de maíz en nuestro país, que obtuvo un rendimiento de 1Tn/430lts; y para el rastrojo de maíz se plantean los datos publicados por NREL, donde se calcula que por cada tonelada de rastrojo seco se obtendrán 268 lts de etanol lignocelulósico. Y el valor en la fila “Valor del Etanol (según Secretaría)”, se obtiene de los datos expresados por la Secretaría de Energía de la Nación. Este valor es el resultado de multiplicar el precio FAS expresado en \$/tn por el factor de conversión expresado en tn/lts, cuyo valor establecido es de 0,0024 tn/lts. El resultado de la multiplicación se dolarizó a la cotización de la moneda a mayo de 2015, según Banco Nación (1U\$\$ = 8,9450\$). Así, se obtiene el valor de 0,27 U\$\$/lts.

El bloque “Márgenes” es la diferencia entre ingresos menos egresos.

Es favorable recordar que no existe experiencia para la obtención del etanol lignocelulósico en nuestro país, y con el objetivo de obtener un dato de referencia se utilizan los mismos parámetros de cálculos para el etanol de grano. La primera etapa es conocer si con los costos obtenidos el pago para el productor por su materia prima es rentable.

Tabla 8.15 Cálculo Costos y Márgenes por hectárea

				EN U\$\$/ha			
			MAIZ GRANO SECO	RASTROJO MAIZ SECO	U\$\$/rollo	U\$\$/tn	U\$\$/litro
PROMEDIO 2004-2015 EN ESTADO SECO	tn/ha		7.31	3.4			
rollo	kg/rollo			450			
rollos/ha				7.56			
COSTOS							
Costos en el campo	Costos de implantacion		418	---			
	Costo oportunidad de la tierra		214	---			
	Gastos de Cosecha		9	---			
	Gastos de flete-secada y comisiones		450	---			
	Costo pérdida de nutrientes		53	18			
	Costos enrollado rastrojo	U\$\$/rollo	25.17	---	190.17		
	total costos en el campo			1,144	207.92	28	61
Costos de transporte (promedio zona Nucleo Sur Reducido)	U\$\$/tn	20.83		71	21	20.88	0.08
TOTAL DE COSTOS (puesto en la industria)			1144	279	48	82.04	0.31



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
 Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

		INGRESOS						
ingresos	Factor de conversión a Etanol según SE	litros/tn		430	268			
	Total de litros de Etanol producidos	lts/ha		3,143	911			
	Valor del Etanol (según Secretaría)	U\$\$/lts	0.27					
	ingresos	u\$\$/ha		849	246	33	72	0.27
		MARGEN						
	Ingresos - Costos	U\$\$/ha		-295	-32.90	-16	-9.68	-0.04
	Porcentaje : Ingresos - Costos			-26%	-12%		-12%	-12%

Fuente: Elaboración propia.

El resultado obtenido del análisis nos establece un margen negativo del orden del 33 U\$\$/ha, representando un 12% de pérdida con respecto a la inversión. Si bien es cierto que la tabla demuestra un valor negativo en términos económicos para el productor, también hay que considerar que éste está vendiendo un desperdicio, que los datos utilizados son hipotéticos con respecto al rastrojo, y el valor del etanol calculado para el precio de venta está en base al del grano.

Esto nos lleva a pensar que, posiblemente, aunque los valores expresados en la tabla den un margen negativo, el productor esté igualmente dispuesto a vender su rastrojo.

8-2-4-2-3 Complejo Productivo

Pensando en la hipótesis que el productor esté dispuesto a vender su rastrojo, pero ante un panorama altamente competitivo y con poca experiencia en el mercado de los biocombustibles de segunda generación, le convenga formar parte de un conjunto de empresas que intenten resolver el problema en forma conjunta.

Para formar parte de un entramado productivo hay que observar las experiencias que han desarrollado aquellos países que ya vienen investigando y desarrollando los biocombustibles de segunda generación, como el caso de los Estados Unidos y Europa, donde se puede decir que han aplicado los conceptos de complejos productivos en lo que respecta a concentraciones geográficas de empresas e instituciones que se encuentran interconectadas para poder competir, incluyendo a todos, desde las empresas de suministros de servicios, maquinarias, el estado facilitando la construcción de caminos para la mejora de la logística, y todos aquellos elementos que llegado el momento suman para lograr un mejor posicionamiento y mayor competitividad.



El sector maicero en nuestro país tiene una basta experiencia en desarrollo de cadenas de valor con integraciones verticales. En esta cadena ya se encuentra el sector de bioetanol de primera generación, según se demuestra en la publicación del INTA, “Maíz. Cadena de Valor Agregado. Alternativas de transformación e industrialización”⁵⁹ publicado en julio 2010 (ver figura en Anexo IX).

Aprovechando la experiencia de los mismos productores del grano de maíz es más fácil para ampliar el concepto, insertarse e integrarse a un complejo productivo para el sector de bioetanol de segunda generación.

Aplicando estos conceptos se crea la Ley 26.093, promoción de biocombustibles, que está orientada a la promoción de las pequeñas y medianas empresas, de productores agropecuarios y de las economías regionales. La orientación de esta promoción trata de incentivar a estos actores a buscar nuevos nichos de mercado, a través del desarrollo de empresas productoras de biocombustibles, y encontrar asociatividades entre ellas.

Los beneficios de formar un complejo productivo viene de la mano de beneficios impositivos y tributarios por un período de 15 años. Otras de las herramientas que brinda la ley para formar complejos productivos para estos actores es dar la posibilidad de firmar convenios de cooperación con distintos organismos públicos, privados, mixtos y organizaciones no gubernamentales, para la investigación y desarrollo de este nuevo nicho de mercado.

Con estas consideraciones se plantea que el productor de campo empiece a participar en un complejo productivo integrado con una empresa productora de bioetanol de segunda generación, y así poder aprovechar los beneficios de la ley, sin olvidar que la venta del rastrojo aumentaría sus ingresos, independientemente del resultado de la cosecha obtenida del grano de maíz y, además, obtendría ingresos por la venta de biocombustibles.

En consecuencia, se deben plantear nuevamente todos los cálculos para tener un valor referencial del costo del rastrojo, y considerando que el precio de venta seguirá siendo regido por el Estado.

⁵⁹ MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA. [en línea]. 2010. Maíz. Cadena de Valor Agregado. Alternativas de transformación e industrialización. Argentina: INTA [fecha de consulta: 4 enero 2016].

Disponible en: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/folletos/FolletoMaizConValorAgregado.pdf>



Se vuelve a construir la tabla de costos y márgenes, incluyendo la hipótesis que ahora el productor del grano forma parte del complejo productivo, con la planta procesadora y refinería de biocombustible de segunda generación.

La composición de la tabla de costos y márgenes mantienen los mismos bloques de la tabla anterior, que se explicaron en el punto 8-2-4-2-2. Los mismos se mantienen constantes, realizando un cambio en el bloque “Ingresos”: su valor presenta cambios debido a que el valor expresado en la fila “Valor del Etanol” es informado por la Secretaría de Energía de la Nación, pero en este caso toma todos los valores de la cadena de valor (su fórmula está expresada en el AnexoV). El precio del bioetanol considerado en la tabla corresponde a mayo de 2015; el mismo fue publicado a un valor de 6,95\$/lts y dolarizado a una cotización de 1U\$\$ = 8,9450\$. Se realiza la conversión correspondiente llegando a 0,78 U\$\$/lt de bioetanol. También es conveniente aclarar que el precio considerado por litro de etanol está en base a la fórmula utilizada por la SE de la Nación, correspondiente al grano de maíz.

Tabla 8.16 Costos y Márgenes por hectárea (ampliado)

				EN U\$\$/ha				
			MAIZ GRANO SECO	RASTROJO MAIZ SECO	U\$\$/rollo	U\$\$/tn	U\$\$/litro	
PROMEDIO 2004-2015 EN ESTADO SECO		tn/ha	7.31	3.4				
rollo		kg/rollo		450				
rollos/ha				7.56				
COSTOS								
Costos en el campo	Costos de implantacion		418	---				
	Costo oportunidad de la tierra		214	---				
	Gastos de Cosecha		9	---				
	Gastos de flete-secada y comisiones		450	---				
	Costo pérdida de nutrientes		53	18				
	Costos enrollado rastrojo	U\$\$/rollo	25.17	---	190.17			
	total costos en el campo			1,144	207.92	28	61	0.228
(promedio zona Nucleo Sur Reducido)	U\$\$/tn	20.83		71	21	20.83	0.08	
TOTAL DE COSTOS (puesto en la industria)			1144	279	48	81.98	0.31	



INGRESOS								
ingresos	Factor de conversión a Etanol según SE	litros/tn		430	268			
	Total de litros de Etanol producidos	lts/ha		3,143	911			
	Valor del Etanol (según Secretaría)	U\$\$/lts	0.78					
	ingresos	u\$\$/ha		2,452	711	94	209	0.78

MARGEN								
Ingresos - Costos	U\$\$/ha		1308	431.99	46	127.06	0.47	
Porcentaje : Ingresos -Costos			114%	155%		155%	155%	

Fuente: Elaboración propia.

La primera conclusión que se puede obtener es decir que es beneficioso para el productor del rastrojo de maíz formar parte de un complejo productivo con la refinería.

Los márgenes pasan de un valor negativo en términos porcentuales del 12% a un margen positivo del 155%. Si bien es cierto que el margen es bastante alentador, hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- el porcentaje de utilidad es para toda la cadena de valor;
- en el cálculo no se consideró el costo de transformación;
- el margen también es alto debido a que en la fórmula que estipula la Secretaría está considerado el margen que deberían percibir las empresas.

No obstante, y teniendo en cuenta que el margen es alto, esto alienta a realizar un análisis teórico de la factibilidad de producir bioetanol lignocelulósico a través del rastrojo de maíz.

Condicionamente, y para ver el comportamiento de cada rendimiento, promedio, máximo y mínimo, se utiliza la misma tabla ampliada de costos y márgenes para obtener los datos de referencia y poder determinar los diferentes márgenes que se pueden llegar a obtener.

Para tal fin se confecciona la tabla comparativa de los márgenes para cada rendimiento de producción del rastrojo de maíz.

Tabla 8.17 Resumen de Costos y Márgenes para cada rendimiento.
 Datos comunes para los tres rendimientos

ROLLO DE RASTROJO	Costos enrollado rastrojo en U\$\$/Rollo	Costos de transporte (promedio zona sur) U\$\$/Tn
450	25.17	20.83
450	25.17	20.83
450	25.17	20.83



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
 Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

Rendimiento Tn/ha	Maíz Grano Seco	Datos del Rastrojo de Maíz Seco	Rollos de Rastrojo/ha	Total costos en el campo U\$\$/ha	Total De Costos (puesto en la industria) U\$\$/ha	Ingresos U\$\$/ha	Margen U\$\$/Ha	Margen U\$\$/tn	Margen U\$\$/litro
Promedio	7.31	3.4	7.56	208	279	711	432	127	0.47
Máximo	8.03	3.74	8.31	227	305	782	477	128	0.48
Mínimo	6.73	3.13	6.96	193	258	654	396	127	0.47

Fuente: Elaboración propia.

En términos porcentuales, se obtienen los siguientes datos:

Tabla 8.18 Márgenes Porcentuales del Rastrojo del Maíz

Rendimiento Tn/ha	Maíz Grano Seco	Datos del Rastrojo de maíz seco	Margen U\$\$/Ha Para el Rastrojo de maíz	Margen % Para el Rastrojo de maíz U\$\$/lt
Promedio	7.31	3.4	432	155%
Máximo	8.03	3.74	477	156%
Mínimo	6.73	3.13	396	154%

Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos como referencia nos indican que, para cada rendimiento de producción del rastrojo expresado en tn/ha, los márgenes son positivos enunciados en U\$\$/lt.

8-2-5 Análisis de Rentabilidad

El INTA presentó un documento ya referenciado, “Resultados económicos de maíz. Campaña 2014/2015”⁶⁰, para la provincia de Córdoba, de los cultivos principales de esta provincia, y en dicho estudio consideró un rendimiento del maíz del orden de 9,35 tn/ha, demostrando que los valores esperados en dicha campaña rondarían los 5116\$/ha.

Construimos, en base a los datos de dicho documento, la variación porcentual en dólares de los márgenes brutos esperados entre la campaña 2014/2015 y 2013/2014 del maíz. Tomando el valor del dólar en los meses de Mayo/2015= \$8.95 y en Mayo/2014= \$8.06, tenemos:

⁶⁰ GHIDA DAZA, C. [en línea], *op. cit.*



Tabla 8.19 Variación porcentual en márgenes brutos

Cultivo	Ciclo 2014/2015 (1)	Ciclo 2013/2014 (2)	Variación (2)/(1)
<i>Maíz</i>	5116,7 \$/ha	3132,3 \$/ha	63.3%
<i>Equivalencia en U\$S</i>	571,62 U\$S/ha	388,62	68%

Fuente: Elaboración propia a partir de GHIDA DAZA, C. [en línea], *op. cit.*, p. 4.

Considerando que cada zona tiene diferentes rendimientos, los resultados esperados están en relación a la zona; pero, igualmente, estos datos publicados por el INTA nos permiten tomarlos como datos referenciales.

Si ahora comparamos los márgenes brutos obtenidos en el cálculo para el análisis de la conveniencia de obtener etanol a través del rastrojo de maíz, llegamos a la siguiente tabla:

Tabla 8.20 Relación de márgenes brutos de grano seco y rastrojo seco

Rendimientos	Margen Bruto U\$S/ha para el grano de maíz seco (1)	Margen Bruto U\$S/ha para el rastrojo seco (2)	Relación entre (2) y (1)
<i>Promedio</i>	1308	432	33%
<i>Máximo</i>	1549	477	31 %
<i>Mínimo</i>	1173	421	36%

Fuente: Elaboración propia.

Con los márgenes brutos calculados para el rastrojo de maíz, para cualquiera de sus escenarios, tenemos que el rendimiento del rastrojo seco representa, en promedio, un 33% respecto al grano de maíz seco en la Zona Pas VII Núcleo Sur reducido a un radio de 95 Km promedio.

Si tomamos, como dato comparativo, los márgenes brutos esperados publicados por el INTA en la campaña del maíz para el período 2014/2015 en la zona de Córdoba, con los márgenes brutos calculados para el rastrojo seco en la Zona Pas VII, y lo comparamos con cada rendimiento, construimos la tabla siguiente:



Tabla 8.21 Comparación de márgenes brutos esperados entre maíz-rastrojo de maíz

<i>Rendimientos</i>	Márgenes esperados en campaña 2014/2015 (U\$S/ha) (1)	Márgenes obtenidos con la venta del rastrojo de maíz (U\$S/ha) (2)	Diferencia porcentual (2) (1)
<i>Promedio</i>	571,62	432	76 %
<i>Máximo</i>	571,62	477	83%
<i>Mínimo</i>	571,62	421	74%

Fuente: Elaboración propia en base a cálculos y datos del INTA.

Los datos recabados de la comparación entre los márgenes del grano y los márgenes del rastrojo a prima facie nos están indicando que al margen económico, que el productor obtiene a través de la cosecha de maíz, se le suma el margen obtenido por formar parte de un complejo productivo con la planta procesadora. El margen bruto que el productor estaría incorporando se encuentra en un promedio, en términos porcentuales, del 78%.

Todos los datos obtenidos y comparados nos indican que si se lograra formar parte de un complejo productivo entre productor de rastrojo - planta procesadora de bioetanol - organismos de I+D, la rentabilidad para el productor se incrementaría.

No obstante, siempre hay que recordar que, aunque los márgenes de utilidad sean positivos, todavía no existe experiencia empírica del tema. Pero sí se puede visualizar que la venta del rastrojo es alentador, más considerando que el análisis estuvo basado en la conveniencia del productor de rastrojo, al vender su materia prima.

El dato también es motivador si consideramos que estaríamos en presencia de una sustitución de materia prima, priorizando la cosecha del grano de maíz para la alimentación.

Si lo analizamos desde el punto de vista de la planta procesadora de bioetanol, también son alentadores los datos obtenidos dado que, además de una rentabilidad por la venta del bioetanol, también podría aumentar su margen con la venta de los sub-productos que obtendría según el método de transformación utilizado.



CAPÍTULO 9 - PRECIOS DEL BIOETANOL

9-1 Consideraciones generales

Para realizar una comparación de precios del bioetanol se debe tener en cuenta los precios relativos de la materia prima, sus cotizaciones en los diferentes períodos de tiempo, conocer con qué productos compiten y cuál es su relación entre los productos competidores. Conocer las diferentes alternativas de procesos, productos, rendimientos que se obtienen de acuerdo a la zona considerada. Y, en este caso en particular, cuáles son las obligaciones de mezclas que legislan cada país.

9-2 Relación de precios entre la nafta y el maíz en los Estados Unidos

Para poder realizar esta relación se trabaja con las tablas publicadas por National Agricultural Statistics Service, Quick Stats Database⁶¹; la misma toma valores desde el año 1982. Se adquieren los valores desde el año 2010 hasta el año 2015 (ver Anexo X); con esos datos se calculan los valores equivalentes a Kg y litros, y luego se construye la tabla promedio de cada año.

Tabla 9.1 Precios en los Estados Unidos. Período 2010-2015

	Precio del Maíz Equivalente	Precio del Etanol Equivalente	Gasolina	Precio del maíz por litro de Etanol
	U\$\$/Kg	U\$\$/lt	U\$\$/lt	U\$\$/lt
Año 2010	0.15	0.51	0.57	0.37
Año 2011	0.24	0.71	0.77	0.59
Año 2012	0.26	0.63	0.77	0.65
Año 2013	0.24	0.65	0.77	0.60
Año 2014	0.16	0.62	0.70	0.40
Año 2015	0.15	0.42	0.50	0.36

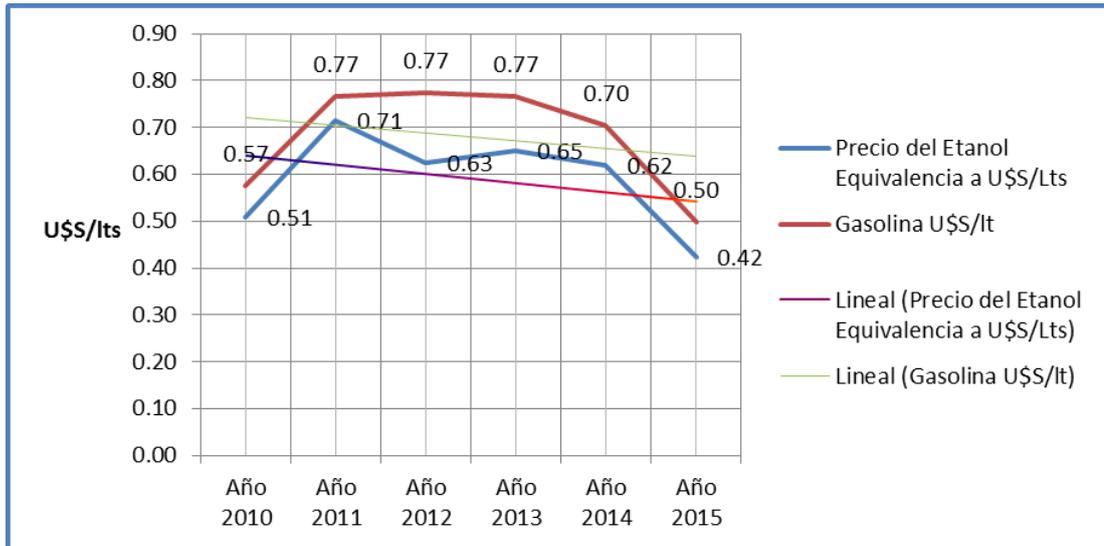
Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los datos del National Agricultural Statistics Service, Quick Stats Database.

La tabla anterior habilita a realizar el gráfico donde se puede observar la variación que experimentaron los precios de la gasolina y el etanol en los Estados Unidos.

⁶¹ USDA [en línea]. National Agricultural Statistics Service, Quick Stats Database. Estados Unidos [fecha de consulta: 9 enero 2016].
Disponible en: <https://quickstats.nass.usda.gov/.%20Fuel%20prices:%20Nebraska>



Gráfico 9.1 Variación del precio de la gasolina y el etanol. Período 2010-2015

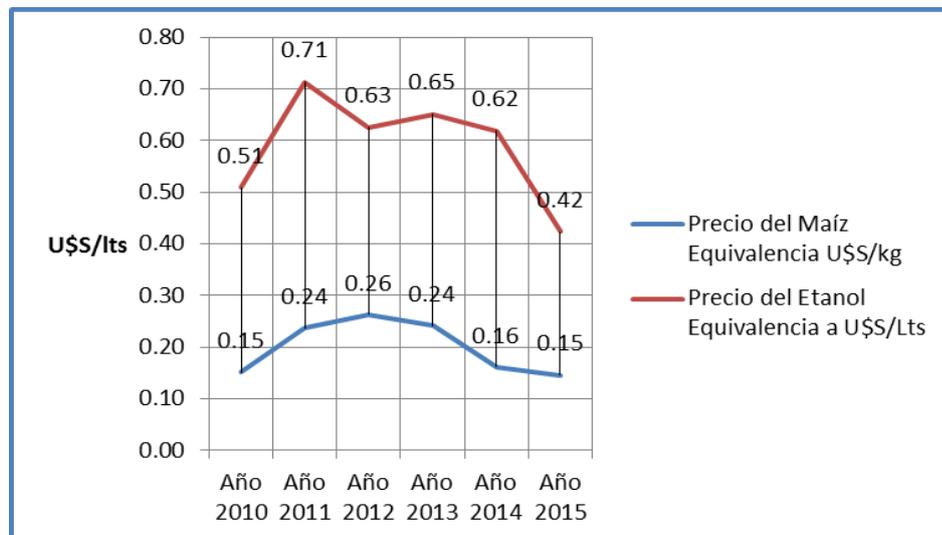


Fuente: Elaboración propia.

El precio de la gasolina fue creciendo desde el año 2010 hasta llegar a su pico más alto en el año 2011, alcanzando un valor de 0,77 U\$/lt, manteniéndose ese valor en forma constante por dos años. Luego comienza una caída hasta el año 2015, llegando a un valor de 0.50 U\$/lt, experimentando una baja del 12% en cinco años.

El comportamiento del etanol fue diferente, más volátil que la gasolina, con un pico en el año 2011 con un valor de 0.71 U\$/lt, recordando que la variación porcentual en el período considerado se tradujo en una caída del 18%. Esta variación se puede entender porque el precio de este combustible en los Estados Unidos depende del valor de la gasolina y de su materia prima, el grano de maíz.

Gráfico 9.2 Variación del precio del maíz y el etanol. Período 2010-2015

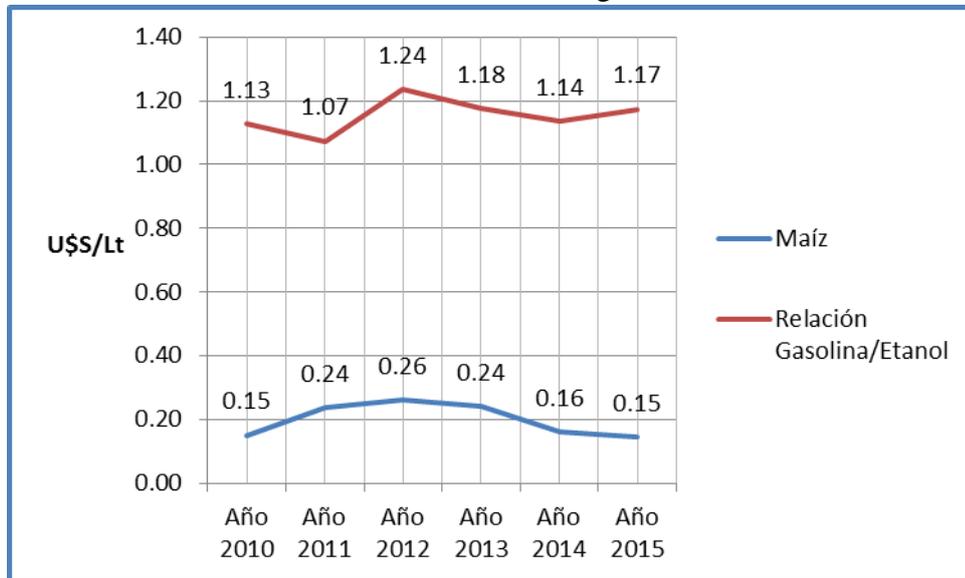


Fuente: Elaboración propia.



La variación del precio del maíz tuvo un salto muy importante entre los años 2010-2011, experimentando un crecimiento del orden del 60%; pero ese ascenso se mantuvo sólo un año. Luego empezó su descenso, llegando en el año 2015 a los mismos valores que en el 2010.

Gráfico 9.3 Relación maíz con gasolina/etanol



Fuente: Elaboración propia.

El gráfico nos demuestra las controversias de los precios; mientras que en el año 2011 el precio del maíz crecía, la relación gasolina/etanol caía. En ese mismo año coinciden en suba los dos datos considerados, y en el 2015 la tendencia del maíz fue en baja, mientras que la relación de combustibles crecía.

Al relacionar los tres gráficos tenemos una caída del precio del maíz, y el bajo costo de la gasolina haría pensar que los productores abandonarían la producción del etanol, pero el consumo del mercado del bioetanol aumentaba y, además, el RFS (Estándar de Combustible Renovable) de los Estados Unidos requiere el uso de más etanol del que se puede mezclar con gasolina. Es por eso que la relación gasolina/etanol aumentaba. Todas estas consideraciones incentivaron a las empresas a seguir produciendo, hasta el punto de abrir nuevas plantas para la obtención del biocombustible.

La evolución del precio del etanol en los Estados Unidos se demuestra en el gráfico siguiente, partiendo de un valor, a mayo de 2015, de 0.45 U\$S/lit, llegando a mayo del 2016 a un valor de 0.42 U\$S/lit, demostrando su tendencia a la baja.

Gráfico 9.4 Evolución del Precio de Etanol en los Estados Unidos



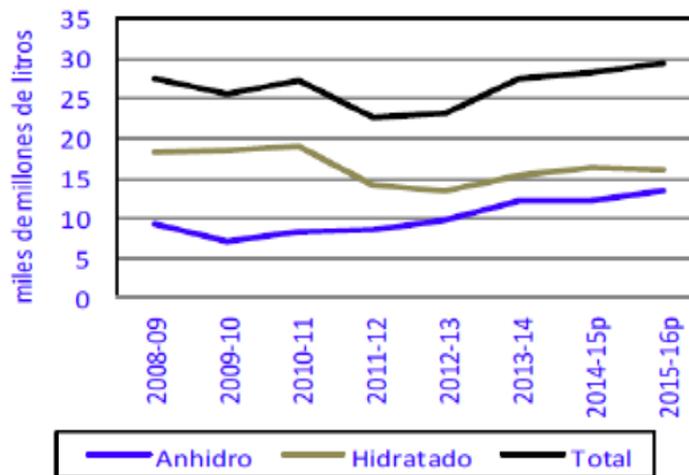
Fuente: Gráfico extraído de Trading Economics, Ethanol⁶².

9-2-1 Precio del etanol a base de caña de azúcar en Brasil

Brasil, mayor productor de etanol a base de caña de azúcar en el mundo, en forma conjunta con los Estados Unidos dominan el mercado de producción y del consumo.

En el país sudamericano recién mencionado, ya sean los precios del bioetanol anhidro como el hidratado, han sufrido variaciones desde el 2013, pero para el 2015 el valor aproximado estaba alrededor de los 0.40 U\$S/l.

Gráfico 9.5 Evolución de la producción de etanol anhidro e hidratado en Brasil.
 Períodos 2008/2009 a 2015/2016



Fuente: Máximos históricos para el bioetanol al 2015⁶³.

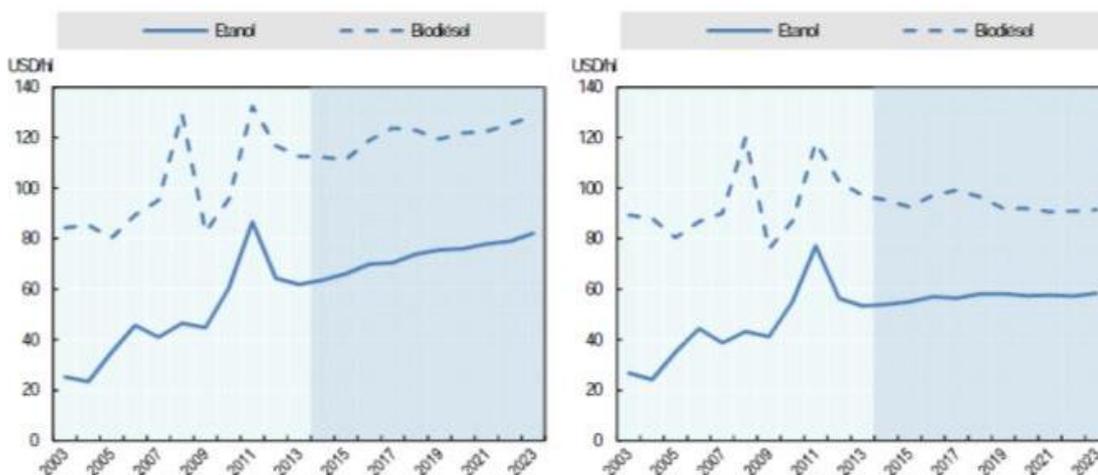
⁶² TRADING ECONOMICS [en línea]. 2016. Ethanol 2005-2016 [fecha de consulta: 10 enero 2016]. Disponible en: <http://www.tradingeconomics.com/commodity/ethanol>

⁶³ MALUENDA GARCÍA, M. J. [en línea]. s/f. Máximos históricos para el bioetanol en 2015. Agrodigital [fecha de consulta: 2 enero 2016].

Disponible en: <http://www.agrodigital.com/Documentos/etanolnv15.pdf>

La información suministrada por el informe OCDE-FAO, “Perspectivas Agrícolas 2014-2023”⁶⁴, en su capítulo 3 muestra un gráfico del precio del etanol en Brasil con proyección hasta el 2023.

Gráfico 9.6 Evolución de los precios del Etanol términos nominales (izquierda) y en términos reales (derecha)



Fuente: OCDE-FAO, Perspectivas Agrícolas 2014-2023.

De acuerdo a los gráficos se puede observar el cálculo de la variación de precio del etanol en Brasil desde el 2015 al 2023, cuya proyección de aumento está calculada en un 20%, pasando de los 0,40 U\$S/lit a 0.50 U\$S/lit.

9-2-2 Comparaciones de precio del Etanol Argentina-Estados Unidos-Brasil

Primeramente, para realizar una comparación de precios es necesario conocer el rendimiento que se obtiene de una tonelada de maíz equivalente en litros de etanol celulósico en nuestro país.

Según datos publicados por Maizar⁶⁵, de una tonelada de maíz, por intermedio del procedimiento de molienda húmeda, se obtienen 372 litros de etanol; y de la misma cantidad de maíz, pero con el proceso de molienda seca, se obtienen, aproximadamente, 405 litros de etanol. En los Estados Unidos el rendimiento promedio se encuentra en los 352 lts por tonelada de maíz.

⁶⁴ OCDE-FAO [en línea]. 2014. *Perspectivas Agrícolas 2014-2023*. Universidad Autónoma Chapingo, México: OECD Publishing, p. 116.

Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3818s.pdf>

⁶⁵ MAIZAR Asociación Maíz Argentino [en línea]. 2015. Argentina [fecha de consulta: 2 enero 2016].

Disponible en: <http://www.maizar.org.ar/>



Para establecer la diferencia de precios existente entre los tres países de interés, tomamos al mes de mayo de 2015 como año referencial, teniendo en cuenta la caída del biocombustible en el país del norte.

Como ya se expresó, en nuestro país la Secretaría de Energía de la Nación, a través de la resolución 44/2012, establece una metodología de cálculo para acordar el precio de venta del etanol a base del grano de maíz en planta de elaboración del bioetanol (la fórmula para aplicar la metodología se encuentra en el Anexo V).

De dicha fórmula se establece que el precio acordado para el mes de mayo de 2015 fue de 6,965 \$/lts y su equivalente en dólares corrientes fue de 0,78 U\$\$/lts (cotización 1U\$\$= \$8.9450 Banco de la Nación Argentina).

Para realizar una comparación de precios entre los dos mayores productores de este biocombustible en el mundo, podemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- diferencia de materia prima para la obtención del bioetanol entre Argentina y Brasil;
- Argentina y los Estados Unidos utilizan las mismas materias primas para la obtención del biocombustible;
- diferencia de procesos productivos de acuerdo a la materia prima a utilizar;
- los rendimientos varían de acuerdo al proceso adoptado;
- para el caso de Argentina y Brasil, tiene influencia la cotización del dólar respecto a nuestras monedas;
- las dos materias primas son commodities, y el precio no depende de los países sino del mercado;
- costos e impuestos internos de cada país;
- políticas de incentivos para la producción del bioetanol celulósico o lignocelulósico.

Las diferentes consideraciones que se nombraron dificultan poder realizar una comparación objetiva y así poder determinar las posibilidades que tiene nuestro país de insertar el producto en el mercado internacional.

Sin embargo, es necesario realizar la comparación de precios para tener una visión de la competitividad de nuestro país.



Tabla 9.2 Comparación de precios del Bioetanol

Precio en U\$S/lts a base de grano de maíz en Argentina Mayo 2015 (1)	Precio en U\$S/lts a base de grano de maíz en los EEUU Mayo 2015 (2)	Diferencia Porcentual del precio (2/1)
0,78 U\$S/lit	0.45 U\$S/lit	58%

Precio en U\$S/lts a base de grano de maíz en Argentina Año 2015 (1)	Precio en U\$S/lts a base de caña de azúcar en Brasil Año 2015 (2)	Diferencia Porcentual del precio (2/1)
0,78 U\$S/lit	0.40 U\$S/lit	51%

Fuente: Elaboración propia en base a datos calculados y publicados.

De las dos tablas la comparación más significativa es la realizada con los Estados Unidos por la similitud de utilizar la misma materia prima para la obtención del bioetanol.

Por otra parte, otra de las diferencias que tenemos con los Estados Unidos es la política de mercado de cada país. En el país del norte el precio de las naftas lo determina el mercado, mientras que el precio del bioetanol está subvencionado por los Estados donde se produce el biocombustible. En nuestro país, los precios de las naftas pueden variar de una petrolera a otra, pero el bioetanol está en la etapa de la implementación para las mezclas, y su precio es regulado por el Estado.

El valor del precio del bioetanol considerado del Brasil es una mera referencia dado que, como ya se mencionó, las materias primas utilizadas son diferentes.

De las comparaciones, resulta que Argentina tiene precios de ventas internos más elevados que los dos países más grandes de producción de etanol en el mundo. Son varias las consideraciones que se pueden tener en cuenta:

- inflación en el período considerado, de los tres países de interés;
- cotización del dólar en Brasil y Argentina en las fechas analizadas;
- economía de escala;
- costos de transformación, ya sea de las refinerías petroleras para la obtención de las naftas, como las biorrefinerías para la obtención del bioetanol de primera generación;
- madurez del mercado;
- reglamentaciones vigentes en cuanto al porcentaje de mezclas y, principalmente, los incentivos de los gobiernos para alentar a la producción de biocombustibles.



9-3 Datos comparativos de Etanol Lignocelulósico Argentina-EEUU

Como se mencionó en el capítulo 6, ya existen empresas produciendo etanol lignocelulósico, pero en la actualidad las estadísticas actuales, ya sea de producción o de precios, son presentadas en términos totales, sin diferenciar su origen.

La información publicada por NREL⁶⁶ en el año 2012, según sus cálculos, menciona que el rendimiento de tonelada de rastrojo de maíz/lts de bioetanol producido estaría dentro del orden de los 70,9 galones/ton de rastrojo o su equivalente de 268 lts/tn. Este valor no está muy lejos de los datos publicados por las empresas que ya incorporaron el rastrojo como materia prima para la obtención del etanol lignocelulósico, cuyos valores están dentro de los 71 a 77 galones/ton de rastrojo.

Continuando con las publicaciones de NREL, se había planteado como objetivo llegar al año 2012 con un precio mínimo de venta de 2.15 U\$\$/gal que equivale a 0,57 U\$\$/lt. Este valor estaba compuesto por la siguiente fórmula:

Precio mínimo de venta: Costo de rastrojo seco + Costo de Transformación + Costo de traslado + Otros costos.

Expresados en valores:

Precio mínimo de venta= 0,22 U\$\$/lt + 0,26 U\$\$/lt + 0,06 U\$\$/lt + 0,03 U\$\$/lt= 0,57 U\$\$/lt

Debido a que en este trabajo no se analizó el proceso de transformación, la única comparación que se puede realizar con respecto a los datos publicados por NREL son los costos del rastrojo de maíz y la logística, en base a los cálculos realizados en el capítulo 8 del presente trabajo. De dichos cálculos se llega a los valores representados en la siguiente tabla.

Tabla 9.3 Datos comparativos de costos de materia prima más transporte

Costo Objetivo por NREL con respecto a Materia Prima + Transporte	Zona de Junín Costo de Materia Prima + Transporte	Diferencia entre EEUU y Argentina	Diferencia Porcentual entre EEUU y Argentina
0,28 U\$\$/lt	0,27 U\$\$/lt	0,01 U\$\$/lt	4 %

Fuente: Elaboración propia en base a datos calculados y otros suministrados por NREL.

⁶⁶ NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, en español, Laboratorio Nacional de Energía Renovable [en línea]. Departamento de Energía, EEUU [fecha de consulta: 15 enero 2016]. Disponible en: <http://www.nrel.gov/>



La comparación establecida en la tabla nos demuestra que los costos calculados de la materia prima más la logística, para nuestro país, están dentro de los valores que ha calculado/proyectado NREL para lanzar al mercado el bioetanol-lignocelulósico en los Estados Unidos.

Instituyendo los estudios realizados por NREL para llegar al precio mínimo de venta del etanol lignocelulósico, y queriendo realizar una comparación con el precio de venta del bioetanol producido en la Argentina, se dificulta debido a factores fundamentales:

- a) Argentina aún no produce bioetanol lignocelulósico.
- b) Actualmente en los Estados Unidos hay un fuerte apoyo a la obtención del bioetanol lignocelulósico, con políticas de subsidio, debido a que hace más de 15 años que el Estado invierte en investigación, en los diferentes procesos y procedimientos industriales para llegar a un valor competitivo y así mejorar su matriz energética.
- c) Los precios publicados en Argentina están enunciados en función del maíz y son regulados por el Estado Nacional.
- d) Los precios de etanol publicados en los Estados Unidos no realizan una diferenciación de la procedencia de la materia prima utilizada.
- e) En nuestro país, las políticas de mezclas de combustible son muy recientes, y esto se traduce en un mercado joven, atravesando las diferentes etapas para llegar a la madurez del mercado.

Los cálculos establecidos para estimar un costo del bioetanol lignocelulósico en nuestro país estuvieron basados en datos hipotéticos, y sin considerar el costo de transformación.

Aun así, en una primera instancia como consecuencia de los cálculos realizados en el capítulo 8, tomando en cuenta la Ley de Biocombustibles y considerando la necesidad de modificar la matriz energética nacional, se puede establecer que existen posibilidades para motivar a los productores del grano de maíz a vender su rastrojo e incentivar a la generación de empresas productoras del etanol a base del rastrojo de maíz.

Si se lograra que se invierta en una planta de bioetanol lignocelulósico, con un precio de venta competitivo, se estarían resolviendo varios problemas actuales, tales como:



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

- a) La variación de precio del grano no influiría en los productores para vender el rastrojo.
- b) Las plantas procesadoras podrían proyectar, con mayor exactitud, el precio mínimo de venta, sin tener que sufrir los vaivenes del precio de la materia prima llamada grano de maíz.
- c) La Secretaría de Energía de la Nación no tendría que compensar los eventuales desequilibrios entre precios y costos de materia prima y producto terminado.



CAPÍTULO 10 - ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL LIGNOCELULÓSICO

10-1 Consideraciones generales

El valor y la competitividad del etanol no dependen, exclusivamente, del valor del petróleo; es importante tener en cuenta los precios relativos de la materia prima, del producto y sus cotizaciones en los diferentes períodos de tiempo. Se conoce que tanto el petróleo como los precios de los granos son commodities, que están directamente relacionados: sus variaciones de precios obedecen, en el caso del maíz, a la oferta y la demanda, mientras que el precio del petróleo depende de las reservas y sus proyecciones de demanda.

10-2 Variables a considerar para calcular el precio del bioetanol lignocelulósico

Para poder establecer el precio del bioetanol lignocelulósico, primero debemos conocer todo el proceso de decisión que la industria del etanol celulósico o lignocelulósico lleva adelante.

Las variables a considerar para determinar su precio son:

- precio internacional del petróleo;
- costo de transformación de la materia prima (grano de maíz o rastrojo de maíz) en biocombustible;
- costos/precios de los usos alterativos que se pueden obtener del cultivo y/o de su rastrojo;
- costo/precio de la materia prima (maíz- rastrojo de maíz).

10-3 Análisis de los precios de las materias primas: Precio del Petróleo-Tonelada de Maíz

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; ocurre exactamente lo mismo con las publicaciones de los costos, del precio del etanol, y no desagregan la 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.



Se toman estas dos variables en función de lo expresado en el punto 10-2, y poder obtener un precio de referencia, para luego incorporarlo en la tabla de Costos y Márgenes por hectárea, y con ese cálculo determinar si existe rentabilidad en la producción de bioetanol a través del rastrojo de maíz.

La referencia de tomar a estas dos materias primas primarias se basa, principalmente, en que los precios publicados son precios internacionales.

Con los datos suministrados por el Index Mundi⁶⁷, precios de mercado del barril de petróleo y tonelada de maíz, desde el año 2006 al 2015 (ver Anexo XI), se realiza un resumen de los valores al mes de mayo de cada año y se arma la tabla siguiente:

Tabla 10.1 Relación Precio del Crudo Brent–Precio del Maíz

Mes	Petróleo crudo Brent Price (Dólares americanos por barril)	Maíz Price (Dólares americanos por tonelada métrica)	Petróleo crudo Brent / Maíz Price Ratio
may. 2006	70.19	110,57	0,6348
may. 2007	67.48	156,44	0,4313
may. 2008	123.94	243,46	0,5091
may. 2009	57.94	180,31	0,3213
may. 2010	76.25	163,77	0,4656
may. 2011	114.46	308,47	0,3711
may. 2012	110.52	268,79	0,4112
may. 2013	103.03	295,29	0,3489
may. 2014	109.68	216,92	0,5056
may. 2015	64.56	166,30	0,3882

Fuente: Index Mundi

La variación del Precio Internacional del Petróleo Crudo Brent tuvo sus vaivenes; el barril de petróleo, en el año 2006, cotizaba a un valor de los 70 U\$\$, pero los países productores en el año 2008 decidieron elevar el valor del barril por encima de los 100 U\$\$. Su consecuencia se vio reflejada en una crisis económica mundial en el año 2009. Luego de un acuerdo entre los países productores de petróleo más importantes, los precios bajaron y, considerando la variación interanual, ésta llegó a una caída del 53%. Pero nuevamente en mayo del 2011, y todos los meses de mayo

⁶⁷ 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>



hasta el año 2014, el precio del barril de petróleo estuvo por encima de los 100 U\$\$/barril.

Recién en el año 2015 vuelve a caer el valor del barril, por debajo de los valores del año 2006.

Estos vaivenes demuestran que el precio del petróleo depende de una decisión política más que de un análisis de costos de producción.

Al analizar la columna referente al maíz, se observa que el valor de la tonelada va variando en el mercado en función de la demanda mundial, pero su valor siempre estuvo por encima de los 100 U\$\$/tn, llegando a su máximo valor en el año 2011 por encima de los 300 U\$\$.

La variación del precio del maíz está más relacionada con la cosecha mundial, la oferta y la demanda del grano.

Todas estas fluctuaciones impactan en el mercado del bioetanol, llevando incertidumbre a las inversiones de nuevas plantas de este combustible, ya sea por la vía del grano o por la de los rastrojos.

Si bien es cierto que la tabla parte del año 2006, y en nuestro país la Ley de Biocombustibles para el corte de las naftas con bioetanol se empezó a cumplir a partir del año 2012, los años anteriores nos permitirán observar mejor la evolución de los precios y las relaciones existentes entre las dos materias primas primarias.

Con el fin de realizar una comparación de los precios del litro de crudo con litros de etanol proveniente del grano de maíz, se consideran los datos de la tabla anterior para obtener sus equivalencias; esto nos establece que un barril de petróleo contiene 42 galones (159 litros) y con ese dato podemos estipular el valor por litro del crudo. Para el caso del maíz, tomamos un promedio de la obtención de etanol que se consigue del grano (molienda húmeda: 372 litros de etanol, molienda seca: 405 litros de etanol, datos publicados por la ya referenciada Maizar⁶⁸).

En virtud de los cálculos que se deben realizar, esta tesis trabaja con el valor promedio de los datos publicados por Maizar, cuyo valor obtenido es de 388 litros por tonelada de maíz.

⁶⁸ MAIZAR Asociación Maíz Argentino [en línea]. 2015. Argentina [fecha de consulta: 4 enero 2016].

Disponible en: <http://www.maizar.org.ar/>



Las comparaciones nos permitirán analizar hasta qué valores es conveniente que cotice el litro de petróleo, para incentivar la producción del bioetanol en cualquiera de sus formas de obtención, ya sea de primera o segunda generación.

Con sus correspondientes equivalencias se construye la tabla de comparación de precios, entre el del petróleo crudo con respecto a litros equivalentes de tonelada de maíz.

Tabla 10.2 Comparación de Precios Litros de Petróleo Crudo vs Litros Equivalentes de Tonelada de Maíz

Meses -Año	Petróleo crudo Brent Price (Dólares americanos por litro)	Valor en Litros de Etanol equivalente a 1 Tn de maíz en U\$S
may. 2006	0.44	0.28
may. 2007	0.42	0.40
may. 2008	0.78	0.63
may. 2009	0.36	0.46
may. 2010	0.48	0.42
may. 2011	0.72	0.80
may. 2012	0.70	0.69
may. 2013	0.65	0.76
may. 2014	0.69	0.56
may. 2015	0.41	0.43

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los datos publicados por el antes referenciado Index Mundi.

Las primeras conclusiones que podemos obtener de la tabla es que durante los años 2006, 2008 y 2014 el precio del petróleo por litro estaba por encima del litro de etanol equivalente a 1 Tn de maíz, hecho que incentivaba la producción de etanol de primera generación.

La comparación interanual, tomando al mes de mayo como referencia, nos establece que en sólo 3 de los 9 años considerados el litro de petróleo estuvo por encima del litro de etanol; esto nos lleva a pensar hasta qué valor del litro de petróleo el sector del bioetanol puede soportar, y cuáles deben ser las políticas para mantener al sector activo.

La tabla publicada por el Index Mundi nos permite realizar una proyección para poder encontrar una relación óptima entre litros de petróleo y litros de etanol equivalentes a tonelada de maíz, y que el sector pueda continuar manteniendo rentabilidades acordes con el mercado. La publicación también nos posibilita analizar la evolución del mercado del bioetanol independientemente del valor del litro de



petróleo, en función de observar políticas activas para incentivar la producción del bioetanol de segunda generación.

Como la experiencia en el mundo para obtener bioetanol de segunda generación aún es escasa, y no existen publicaciones de costo, se hace dificultoso realizar una comparación con la experiencia de los países que están desarrollando este producto. En nuestro país todavía no existe, a la fecha, una planta procesadora de rastrojo de maíz para poder trabajar con datos fácticos y así llegar a obtener un valor de costo y su correspondiente precio mínimo de venta del etanol lignocelulósico.

Entonces, para encontrar un valor de precio mínimo de venta se ha empleado un método de simulación de valores proyectados: el método de Montecarlo.

10-4 El Método Montecarlo

La simulación Montecarlo utiliza muestras aleatorias repetidas con el fin de simular datos para un determinado modelo matemático y evaluar los resultados.

En la actualidad, los datos simulados se utilizan rutinariamente en condiciones en las que los recursos son limitados, o cuando la recolección de datos reales sería demasiado costosa o poco práctica. Con la capacidad de Minitab⁶⁹, para crear datos aleatorios fácilmente, es posible usar la simulación Montecarlo para:

- ✓ simular el rango de posibles resultados con la finalidad de ayudar en la toma de decisión;
- ✓ pronosticar resultados financieros o estimar los plazos de los proyectos;
- ✓ comprender la variabilidad en un proceso o sistema;
- ✓ detectar problemas dentro de un proceso o sistema;
- ✓ manejar el riesgo basándose en su comprensión de las relaciones costo-beneficio;
- ✓ pasos del enfoque Montecarlo.

Dependiendo del número de factores que intervienen, las simulaciones pueden ser muy complejas. Sin embargo, en un nivel básico, todas las simulaciones Montecarlo incluyen cuatro pasos sencillos, que abordaremos a continuación.

⁶⁹ MINITAB [en línea]. 2016. Minitab Statistical Software.
Disponible en: <https://www.minitab.com/es-mx/>



10-4-1 Identificar la ecuación de transferencia

Para realizar una simulación Montecarlo necesita un modelo cuantitativo de la actividad, plan o proceso empresarial que desea explorar. La expresión matemática de su proceso se denomina “ecuación de transferencia”. Puede ser una fórmula conocida de ingeniería o de negocios, o puede estar basada en un modelo creado a partir de un experimento diseñado (DOE) o análisis de regresión.

10-4-2 Definir los parámetros de entrada

Para cada factor de la ecuación de transferencia, determina cómo se distribuyen sus datos. Algunas entradas pueden seguir la distribución normal, mientras que otras siguen una distribución triangular o uniforme. Posteriormente, debe determinar los parámetros de distribución para cada entrada. Por ejemplo, debe especificar la media y la desviación estándar para las entradas que siguen una distribución normal.

10-4-3 Crear datos aleatorios

Para realizar una simulación válida, debe crear un conjunto muy grande de datos aleatorios para cada entrada: una cantidad por el orden de los 100.000 casos. Estos puntos de datos aleatorios simulan los valores que se observarían durante un período prolongado para cada entrada. Minitab puede crear fácilmente datos aleatorios que siguen casi cualquier distribución posible.

10-4-4 Simular y analizar la salida del proceso

Con los datos simulados, puede utilizar su ecuación de transferencia para calcular los resultados simulados. Realizando corridas con una cantidad suficientemente grande de datos simulados de entrada a través de su modelo, obtendrá una indicación fiable de lo que el proceso generará en el tiempo, dada la variación esperada en las entradas.

10-5 Aplicación del método en la tesis

Se toman, como muestra, los valores del precio del barril del petróleo y de la tonelada de maíz, y de la relación existente entre ellos el tamaño de la muestra es $n=120$, extraída de la ya referenciada US Energy Information Administration (EIA). Con esa muestra se obtienen los datos estadísticos, siendo las variables consideradas las que se observan en la tabla que sigue:

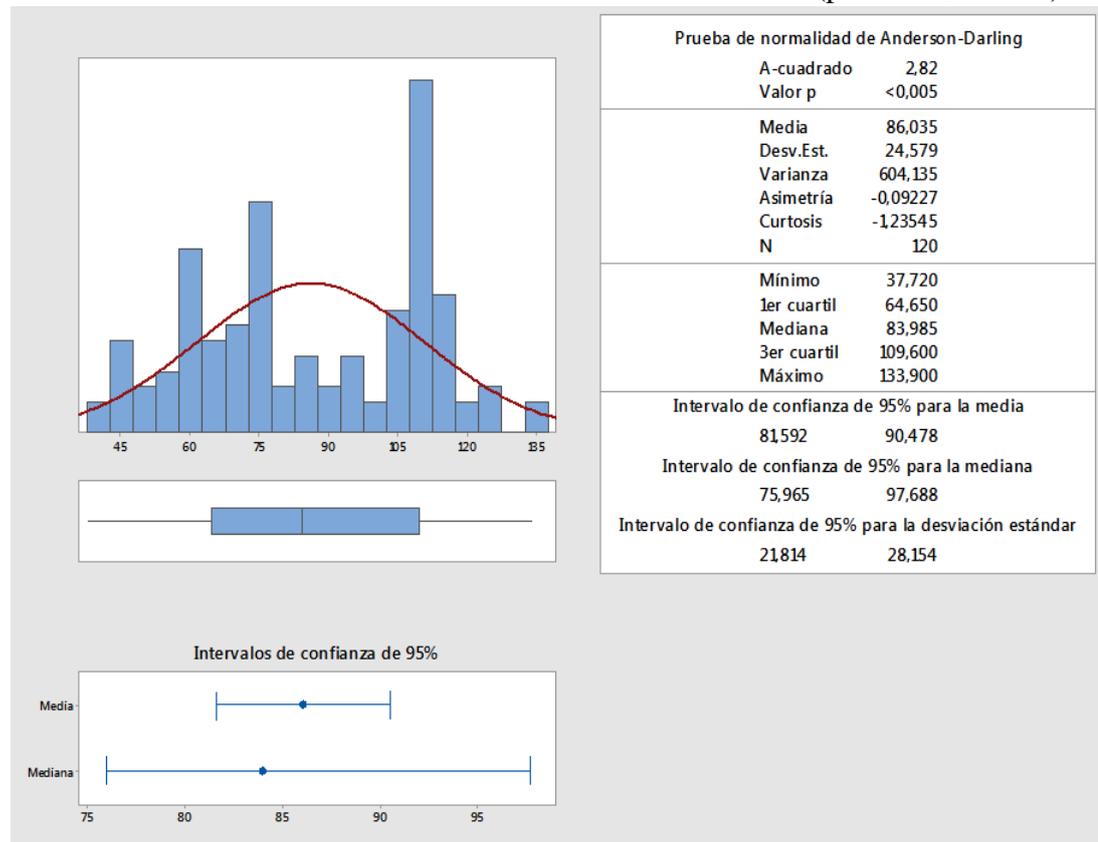


Tabla 10.3 Variables consideradas

<i>Variables</i>	Media	Mediana	Desvío estándar	Mínimo	Máximo	Modo
<i>Petróleo crudo Brent</i>	86,04	83,99	25,58	37,72	133,9	116,46
<i>Maíz</i>	207,15	179,22	62,02	102,7	332,95	178,67

Fuente: Datos publicados por Index Mundi.

Gráfico 10.1 Informe de resumen de Petróleo Crudo Brent (precio U\$\$/barril)



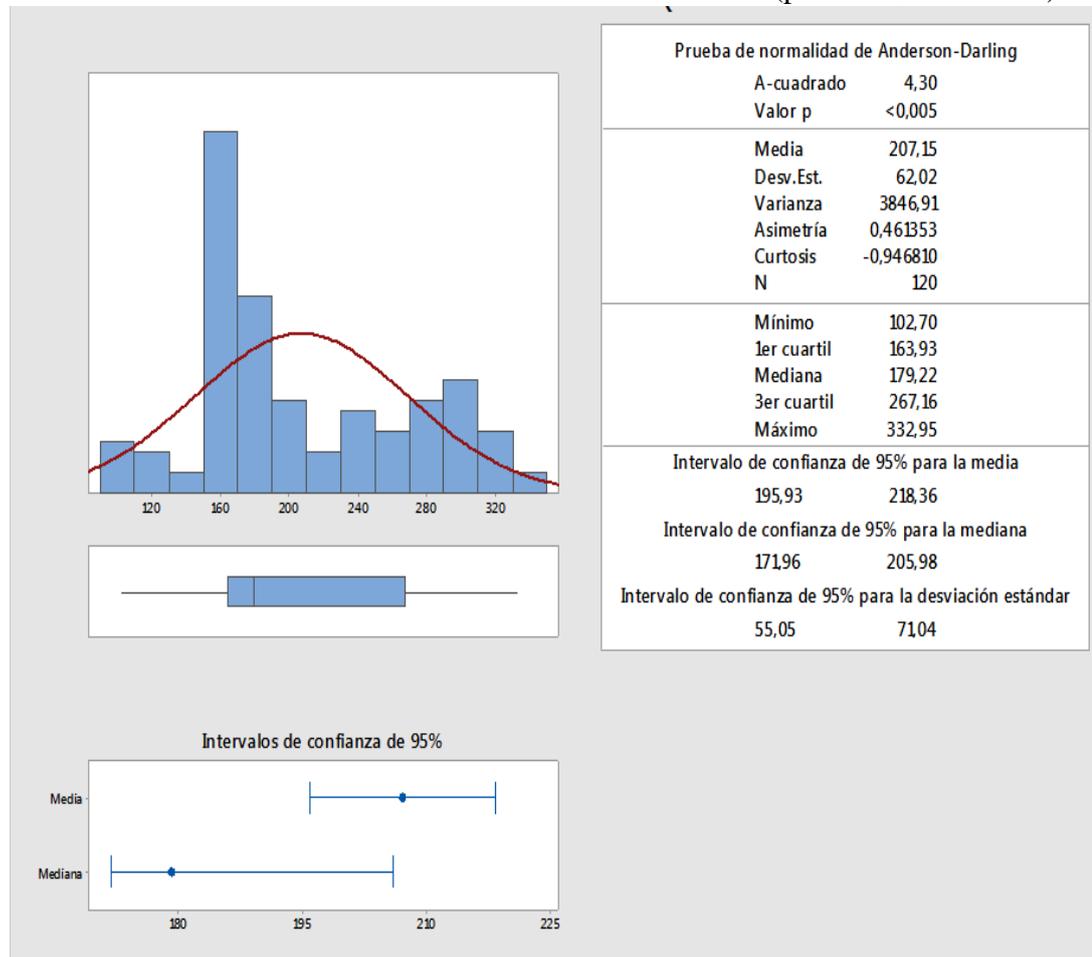
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados por Index Mundi.

Como vemos, con los datos publicados por Index Mundi se construye el anterior gráfico, en el que se combina el histograma y el ajuste a la distribución normal. La tabla descriptiva que se encuentra en el gráfico nos dice que los intervalos de confianza de 95% para la media, la mediana y para el desvío estándar son muy grandes, y teniendo en cuenta los conceptos de una distribución normal, donde nos expresa que dicha distribución es simétrica respecto de la mediana, podemos concluir que los datos del gráfico no se comportan como una distribución normal.

El valor mínimo de la variable es 37,72. El 25% de los valores es inferior a 64,65; el 50% inferior a 83,985 y el 75% inferior a 109,6. El valor máximo se alcanza para

133,90. Es posible observar estas medidas en el BoxPlot que se encuentra debajo del histograma.

Gráfico 10.2 Informe de resumen de Tonelada de Maíz (precio U\$\$/tonelada)



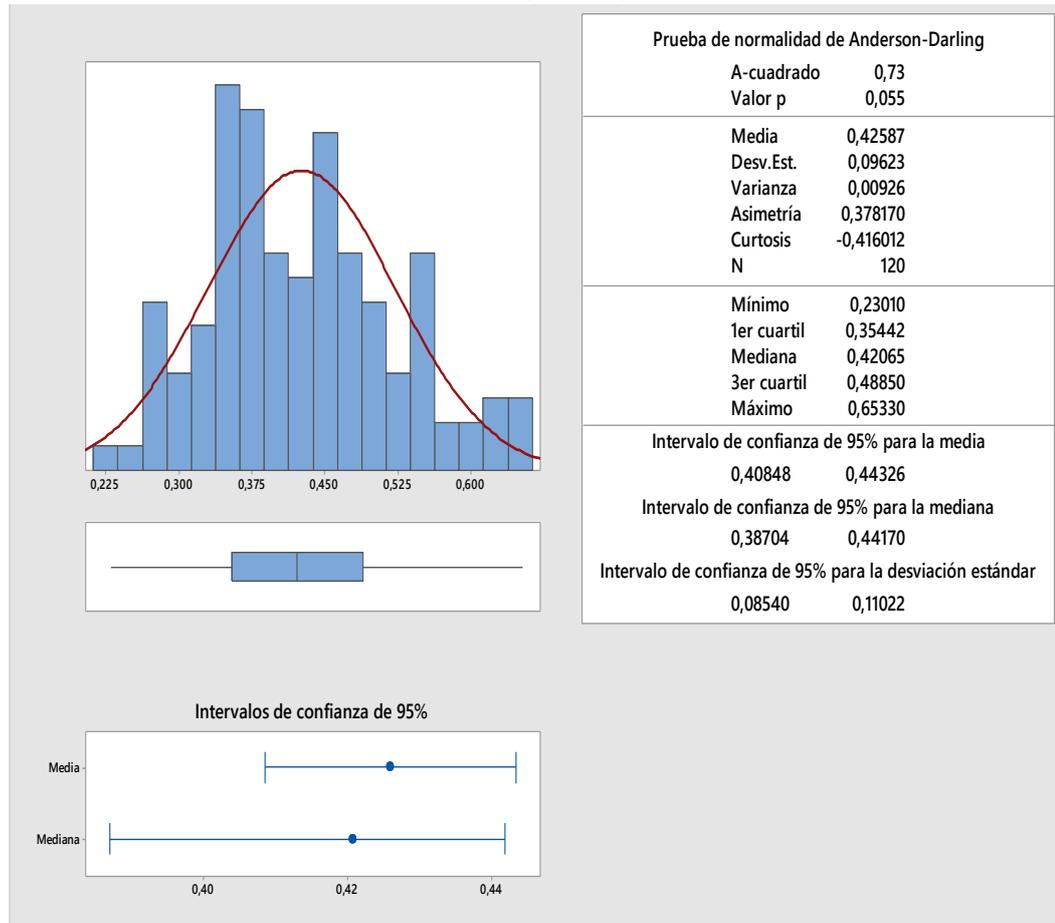
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados por Index Mundi.

Análogamente, se analizó la distribución del precio de la tonelada de maíz. En este caso, se acrecienta la distancia entre la media y la mediana en el gráfico; también crece más la distancia de la desviación estándar respecto del caso del petróleo.

Esta función es menos simétrica que la demostrada en el comportamiento del precio del petróleo. En consecuencia, podemos concluir, tomando los mismos conceptos anteriores, que esta distribución no cumple con las condiciones de una distribución normal.

El valor mínimo de la variable es 102,7. El 25% de los valores es inferior a 163,93; el 50% inferior a 179,22 y el 75% inferior a 267,16. El valor máximo se alcanza para 332,95. Es posible observar estas medidas en el BoxPlot que se encuentra debajo del histograma.

Gráfico 10.3 Relación de Precios Petróleo Crudo Brent (U\$S/barril) / Tonelada de Maíz (U\$S/tn)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados por Index Mundi.

De los tres gráficos presentados, esta distribución es la más cercana a una distribución normal; los valores de la media y la mediana no son tan distantes y, como consecuencia de la mediana, está cerca de la media y el desvío estándar es bajo.

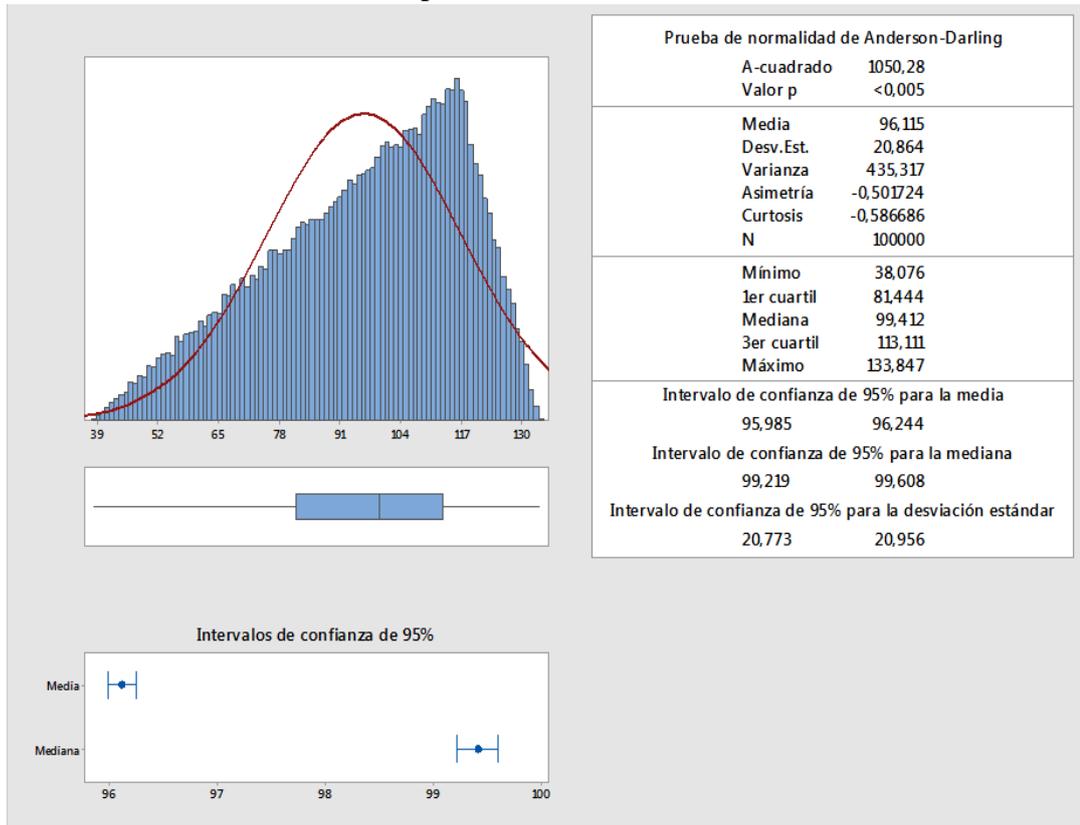
El valor mínimo de la variable es 0,23010. El 25% de los valores es inferior a 0,3544; el 50% inferior a 0,42065 y el 75% inferior a 0,48850. El valor máximo se alcanza para 0,6533. Es posible observar estas medidas en el BoxPlot que se encuentra debajo del histograma.

10-5-1 Simulación de Montecarlo

Se realiza una simulación tomando 100.000 valores aleatorios (ver Anexo XII) para las variables Precio del Petróleo Crudo Brent y Precio de la Tonelada de Maíz, 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.

Gráfico 10.4 Comportamiento triangular del Precio del Petróleo Crudo Brent expresado en U\$\$/barril



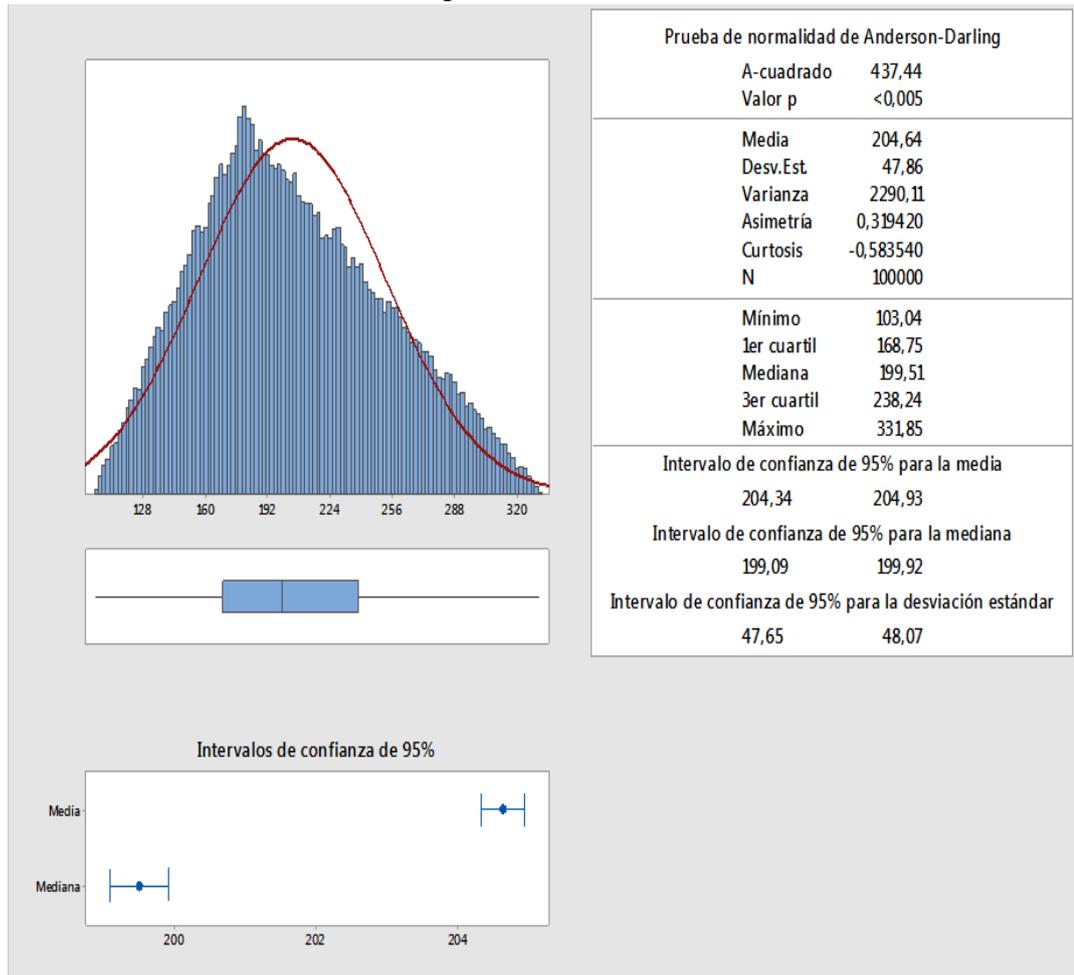
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la simulación Montecarlo.

Se utiliza este tipo de distribución debido a que la información es limitada y se conoce la relación entre las variables.

La distribución triangular utilizada en este análisis nos permite acotar los extremos de máximos y mínimos a una función de densidad de probabilidad cero. Esto está facilitado por el hecho que una distribución triangular se considera como una distribución de probabilidad continua.

Con los datos suministrados por el Gráfico se puede observar que el valor máximo se encuentra fuera de la campana, hecho que transforma que el triángulo logrado no sea equilátero. Aunque la media y la mediana se encuentran bastante separadas, la distribución tiende a ser una distribución normal para el comportamiento del precio del petróleo.

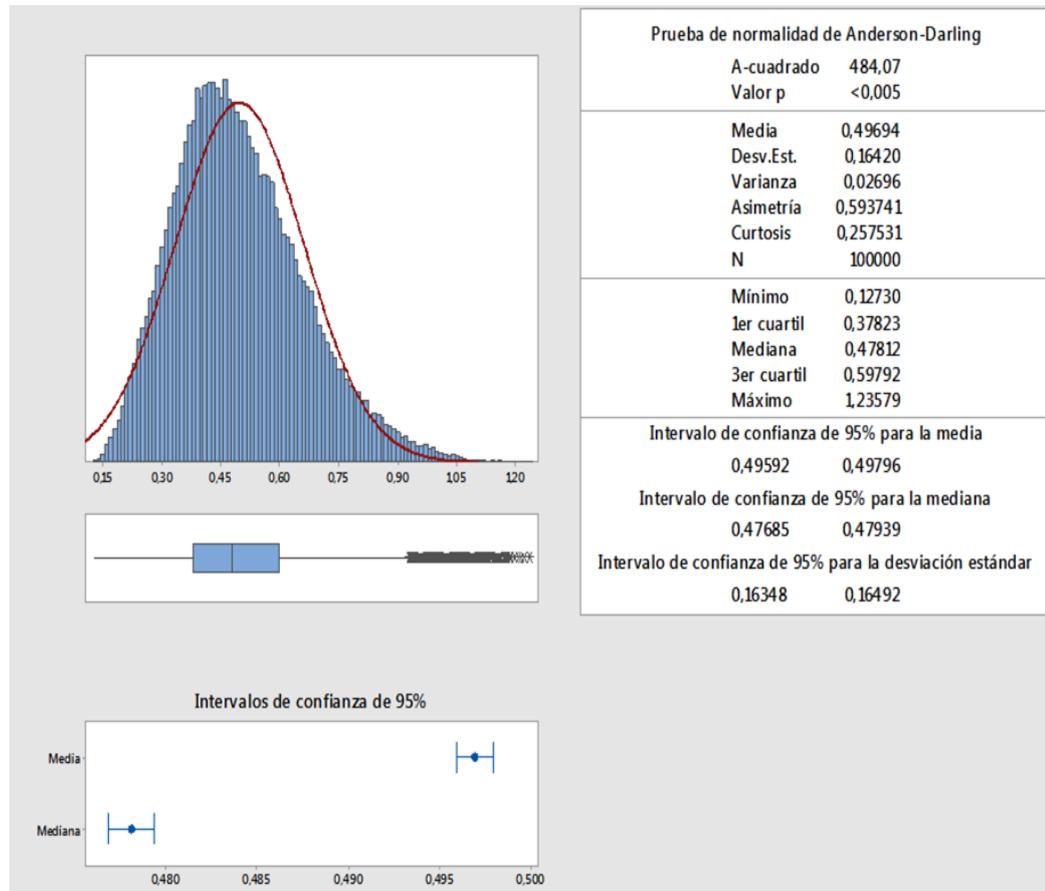
Gráfico 10.5 Comportamiento triangular del Precio de la Tonelada de Maíz expresado en U\$\$/tn



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la simulación Montecarlo.

Las consideraciones generales son iguales al gráfico del petróleo. El valor máximo del precio de la tonelada de maíz se encuentra fuera de la campana, hecho que transforma que el triángulo logrado no sea equilátero. La distribución obtenida tiende a ser una distribución normal. Del gráfico se puede observar que la diferencia, en el caso particular del maíz, es que la media se acerca más al valor máximo considerado.

Gráfico 10.6 Relación Petróleo Crudo-Tonelada de Maíz



Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de la relación entre el barril de petróleo y la tonelada de maíz, a partir de los datos podemos observar que el desvío estándar es pequeño con un nivel de confianza del 95%. Todos los valores y las distancias son pequeños, con lo que podemos asegurar que la distribución lograda es una distribución normal.

10-5-2 Simulación de escenarios con datos de la simulación Montecarlo

Con la distribución triangular aplicada se trabaja con los extremos de los triángulos, y se los utiliza con el fin de establecer dos escenarios posibles para la obtención de un precio mínimo de venta del etanol y, con ellos, introducirlo en el cuadro de Costos y Márgenes por hectárea, empleado en el capítulo 8 de la presente tesis, pudiendo observar si existe una rentabilidad para la producción del bioetanol lignocelulósico.



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
 Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

Tabla 10.4 Valores extremos: valores del Petróleo y Tonelada de Maíz

	Precio del barril de Petróleo expresado 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 10.5 Máximo valor del Maíz. Mínimo valor del Petróleo

	Máximo	Mínimo	Relación
Precio del barril de petróleo en U\$\$/lt		38.08	
Precio de la Tn de Maíz en U\$\$/tn	331.15		
Relación barril de Petróleo/Tonelada de maíz			0.11

Fuente: Elaboración propia.

Para poder hacer uso de los valores obtenidos en la simulación, e introducirlos en el cuadro de Costos y Márgenes por hectárea, con la finalidad de estimar cuáles serían los rendimientos económicos teóricos, es necesario hallar sus equivalencias en U\$\$/lt.

Se considera que un barril de petróleo contiene 159 litros, y la equivalencia de obtención de etanol por tonelada de rastrojo de maíz es equivalente a 388 litros (se toman, como promedio, los litros equivalentes a tonelada de maíz publicados por Maizar).

Tabla 10.6 Equivalencias de la tonelada de Maíz y el barril de Petróleo a litros

	Máximo	Mínimo	Relación
Precio del Petróleo equivalente a litros en U\$\$/lt		0.24	
U\$\$/Tn	0.85		
Relación barril de Petróleo /Tonelada de maíz			0.28

Fuente: Elaboración propia.

Escenario 2: su objetivo es similar al escenario 1, pero se cambian los valores. 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 10.7 Mínimo valor de la Tonelada de Maíz-Máximo valor del Petróleo

	Máximo	Mínimo	Relación
Precio del barril de Petróleo en U\$S/lt	133.85		
Precio de la Tn de Maíz en U\$S/tn		103.04	
Relación Barril de Petróleo/Tonelada de maíz			1.30

Fuente: Elaboración propia.

Se realizan los mismos cálculos de equivalencias para lograr obtener los litros de petróleo y los de etanol para este escenario.

Tabla 10.8 Equivalencias de la tonelada de Maíz y el barril de Petróleo a litros para el escenario 2

	Máximo	Mínimo	Relación
Precio del barril de Petróleo en U\$S/lt	0.84		
Precio de la Tn de Maíz en U\$S/tn		0.27	
Relación Barril de Petróleo/Tonelada de maíz			3.17

Fuente: Elaboración propia.

10-5-3 Análisis del Escenario 1

Con los costos del año 2015 se incorporan los valores equivalentes de tonelada de maíz/litro de etanol en la Tabla de Costos y Márgenes por hectárea, utilizando la metodología ya explicada en el capítulo 8, y se obtienen los siguientes valores:

Tabla 10.9 Resultados obtenidos en el Escenario 1

	Rendimiento Tn/ha	Precio de Venta U\$S/lt	Ingresos U\$S/ha	Margen U\$S/ha	Margen U\$S/tn	Margen U\$S/litro	Porcentaje de Utilidad
Escenario 1	Promedio	0.85	775	496	146	0.54	178%
	Máximo		852	547	146	0.55	179%
	Mínimo		713	455	145	0.54	176%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la simulación Montecarlo.

Los valores proyectados por la simulación Montecarlo nos indican que, a un valor del litro de bioetanol a 0,85 U\$S/lt, la rentabilidad que se obtiene, teniendo en cuenta los tres rendimientos de tonelada/hectárea, es un porcentaje alto. Este porcentaje de rentabilidad seguro que disminuirá cuando se tenga en cuenta el proceso de transformación. Pero hay que considerar que en este escenario el valor del litro de petróleo es menor que el litro de bioetanol y, según lo expresado en el punto 10-3, en la tabla de “Comparación de Precios Litros de Petróleo Crudo vs Litros Equivalentes de Tonelada de Maíz”, se expresó que es alentador para la producción del bioetanol cuando el precio del crudo está por encima del bioetanol.



10-5-4 Análisis del Escenario 2

Aplicando la misma metodología que se realizó para el escenario 1, con los costos del año 2015, se incorporan en la Tabla de Costos y Márgenes por hectárea utilizando la misma metodología ya explicada en el capítulo 8, y se obtienen los siguientes valores:

Tabla 10.10 Resultados obtenidos en el Escenario 2

	Rendimiento Tn/ha	Precio de Venta U\$\$/Its	Ingresos U\$\$/ha	Margen U\$\$/Ha	Margen U\$\$/tn	Margen U\$\$/litro	Porcentaje de Utilidad
Escenario 2	Promedio	0.27	246	-33	-10	-0.04	-12%
	Máximo		271	-34	-9	-0.03	-11%
	Mínimo		226	-32	-10	-0.04	-12%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la simulación Montecarlo.

En este escenario los márgenes y rentabilidades son negativas para los tres rendimientos de tn/ha, aunque cumple con la condición que el valor del petróleo está por encima del valor del bioetanol para alentar a la producción del biocombustible.

Otra deducción que se puede obtener con este escenario es que, si el valor de la tonelada de maíz se encuentra dentro de los 103 U\$\$/tn, el mismo no será rentable para la obtención de bioetanol lignocelulósico.

10-5-5 Consecuencia de los escenarios

Los valores tomados de la simulación, y contruidos sus respectivos escenarios, nos dan elementos para decir que el escenario 1 es el más aconsejado, debido a que se obtendría una rentabilidad positiva para producir bioetanol. 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 dos escenarios nos llevan a plantear un tercer escenario para encontrar un valor del petróleo que se ubique por encima del valor de la tonelada de maíz, y lograr una relación óptima entre estos valores con el fin de alcanzar un precio mínimo de



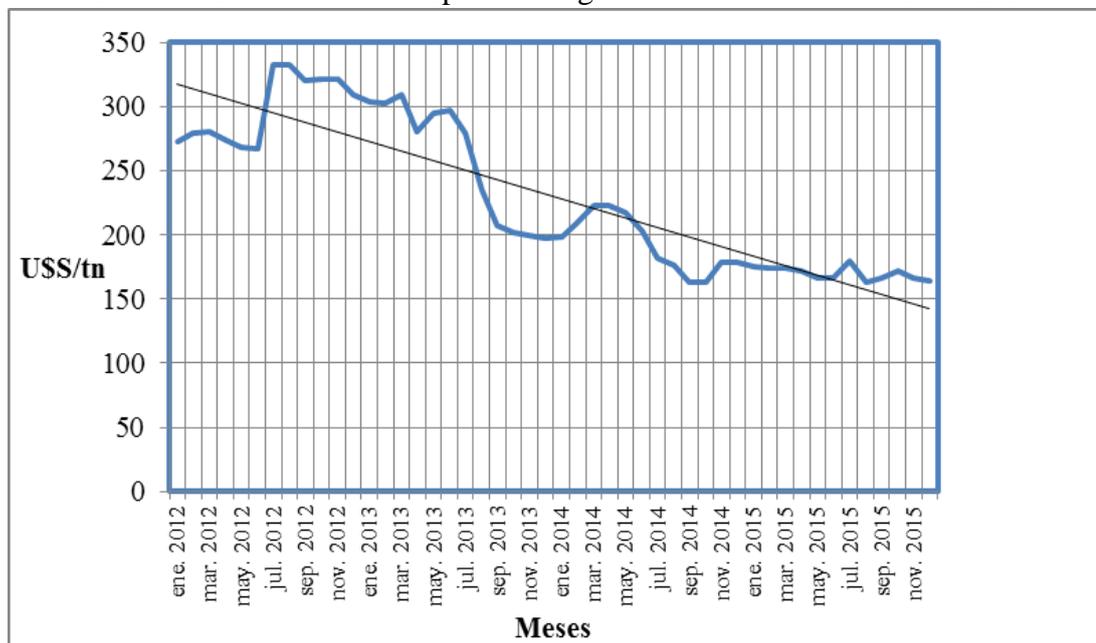
venta del biocombustible de segunda generación competitivo, sustentable en el tiempo, obteniendo una rentabilidad positiva.

En este nuevo escenario se debe considerar el crecimiento demográfico y el aumento de la demanda de las energías, como ya se expresó en el capítulo 5; según lo publicado por OCDE y FAO, se estima un aumento del precio del petróleo en forma paulatina hasta el año 2023, como también el grano de maíz depende mucho de la oferta y de la demanda que, año a año, por diferentes motivos, cambian no tan abruptamente pero sí en pequeños porcentajes existen variaciones.

Para el caso particular de nuestro país, la Ley de Biocombustibles, que se sancionó en el año 2006, y específicamente para el corte de naftas por vía del etanol, se hizo efectiva a partir del año 2012; esta consideración hace replantear el análisis de la variación de precio del grano de maíz a partir de ese año.

Para realizar el análisis a partir del año 2012 hasta el año 2015 se sigue manteniendo la misma base de datos (Index Mundi) para realizar las nuevas consideraciones de la variación del precio del barril de petróleo, la variación del precio de la tonelada de maíz, y cómo se comporta la relación entre ambas materias primas.

Gráfico 10.7 Variación del precio del grano de maíz. Período 2012-2015



Fuente: Tabla publicada por Index Mundi.

El gráfico nos muestra una tendencia a la baja de la tonelada de maíz y, considerando las publicaciones que proyectan aumento del barril de petróleo, es necesario obtener datos de comportamiento de los valores del precio de la tonelada de



maíz y del barril de petróleo. Para tal fin utilizamos la herramienta estadística del histograma con los datos obtenidos en la simulación Montecarlo.

A partir de dicho 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.

10-5-6 Planteamiento de un nuevo escenario

Para realizar el histograma nos basamos en el programa Excel. La metodología con la cual trabaja este programa es formar una tabla de datos que considera:

Tabla 10.11 Modelo para histograma

Datos	Promedio	Máximo	Mínimo	Cant de datos	Cálculo de n° de Intervalos	Redondeo de n° de Intervalos	Cálculo de los intervalos
Valores							

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular el número de intervalos se utiliza la Regla de Sturges:

$$\text{Cantidad de Intervalos} = 1 + 3,33 * \text{Log } n$$

Siendo n el número de la muestra. Con ese dato se construye la tabla de los límites superior e inferior. Esta tabla se incorpora al programa y el resultado obtenido construye los valores con mayor frecuencia y su gráfico correspondiente.

10-5-6-1 Análisis del Maíz y el Petróleo. Relación barril de petróleo/tonelada de maíz

10-5-6-1-1 Análisis del barril de petróleo

Se aplica la metodología explicada en el punto anterior, y se utiliza la simulación de Montecarlo como base de datos.

Los valores máximo y mínimo del precio del barril de petróleo se obtienen de dicha simulación.

El límite inferior es el valor mínimo del precio del barril del petróleo; a éste se le suma el valor de los intervalos para obtener el límite superior, y así se repite la operación durante los 17 intervalos calculados:



Tabla 10.12 Análisis del barril de petróleo

Datos	Promedio	Máximo	Mínimo	Cant de datos	Cálculo de n° de intervalos	Redondeo de n° de Intervalos	Cálculo de los Intervalos
Valores	96.11	133.85	38.08	100000	17.5	17.00	5.63

Fuente: Elaboración propia. Obtenido del Histograma.

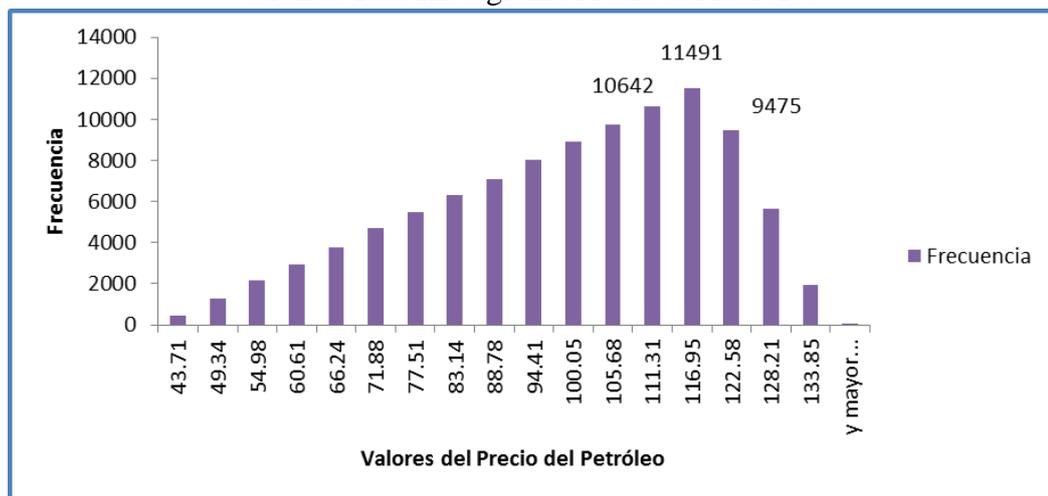
Con los datos de la tabla se obtiene la frecuencia de los precios del barril de petróleo:

Tabla 10.13 Frecuencia de los precios del barril de petróleo

Precio del Petróleo Crudo	43.71	49.34	54.98	60.61	66.24	71.88	77.51	83.14	88.78	94.41	100.05	105.68	111.31	116.95	122.58	128.21	133.85	y mayor...
Frecuencia	458	1285	2167	2928	3748	4700	5490	6294	7063	8029	8912	9749	10642	11491	9475	5653	1915	1

Fuente: Elaboración propia. Obtenido del Histograma

Gráfico 10.8 Histograma Precio del Petróleo



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

Los datos que podemos determinar de este histograma es que el precio del barril de petróleo de 116.95 U\$/barril es el valor con mayor frecuencia de ocurrencia, y los valores más cercanos en función de la frecuencia son por debajo; el valor más cercano es de 111,31 U\$/barril, y por encima se encuentra el valor del barril a 122,58 U\$.

10-5-6-1-2 Análisis de la tonelada de maíz

El mismo procedimiento que se utiliza para el petróleo lo aplicamos para el maíz. Con la metodología explicada en el punto anterior se construye el siguiente análisis:



Tabla 10.14 Análisis de la tonelada de maíz

Datos	Promedio	Máximo	Mínimo	Cant de datos	Cálculo de n° de Intervalos	Redondeo de n° de Intervalos	Cálculo de los intervalos
Valores	204.64	331.85	103.04	100000	17.50	17.00	13.46

Fuente: Elaboración propia. Obtenido del Histograma

La metodología para hallar los límites inferior y superior es igual a la aplicada con el petróleo.

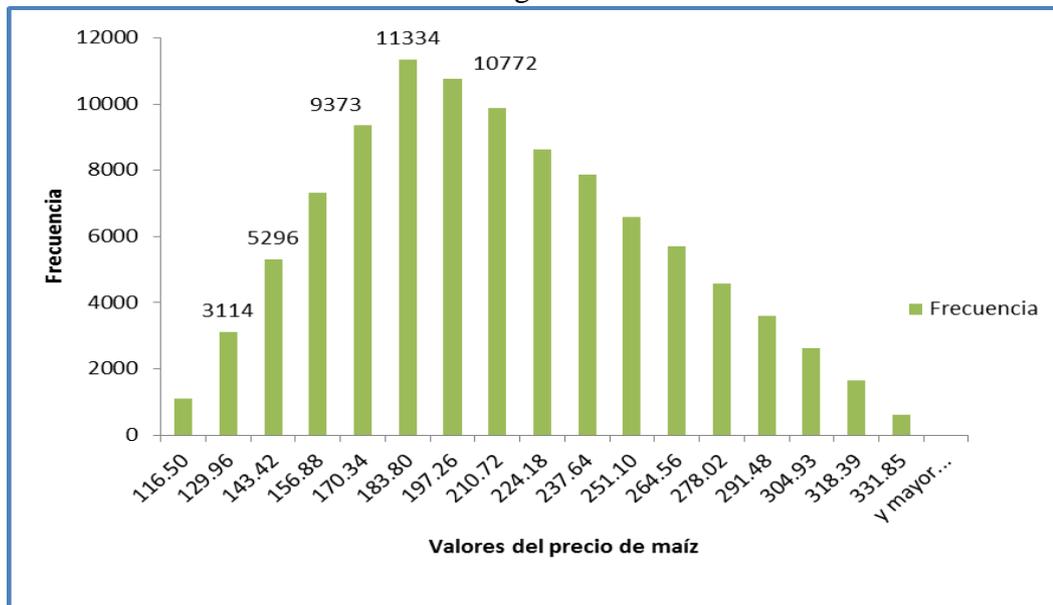
Con los valores de la tabla se calcula la frecuencia de los precios de la tonelada de maíz. Estos valores se introducen en el programa y se obtiene el histograma siguiente:

Tabla 10.15 Frecuencia de los precios de la tonelada de maíz

Precio de la Tn de Maíz	116.5	129.96	143.4	156.88	170.34	183.80	197.26	210.72	224.18	237.64	251.10	264.56	278.02	291.48	304.93	318.39	331.85	y mayor or...
Frecuencia	1087	3114	5296	7318	9373	11334	10772	9878	8633	7863	6588	5691	4575	3616	2616	1640	606	0

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10.9 Histograma Precio de Maíz



Fuente: Elaboración propia con datos de la simulación Montecarlo.

El histograma nos está mostrando con qué frecuencia se comporta el precio de la tonelada de maíz. Del mismo deducimos que las tres mayores frecuencias se dan con un precio de la tonelada de maíz entre 170,34 U\$\$/tn y 197,26 U\$\$/tn, siendo el de mayor frecuencia el precio de 183.80 U\$\$/tn.



10-5-6-1-3 Análisis de la relación Barril de Petróleo/Tonelada de Maíz

Análogamente se utiliza el mismo procedimiento para la relación de las materias primas. Como en los dos casos anteriores, el límite inferior de las relaciones de materia prima se obtiene de la simulación de Montecarlo.

Con el límite inferior, y tomando todos los valores de la muestra, se construye la tabla para confeccionar el histograma siguiente:

Tabla 10.16 Análisis de la relación Barril de Petróleo/Tonelada de Maíz

Datos	Promedio	Máximo	Mínimo	Cant de datos	Cálculo de n° de Intervalos	Redondeo de n° de Intervalos	Cáculo de los intervalos
Valores	0.50	1.24	0.13	100000	17.5	17.00	0.07

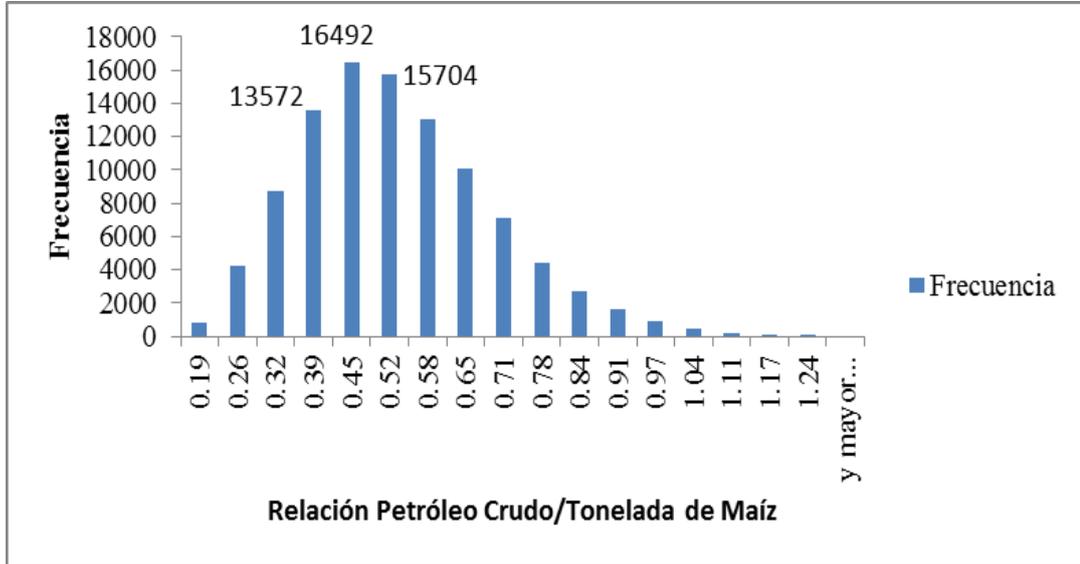
Fuente: Elaboración propia. Obtenido del Histograma

Tabla 10.17 Frecuencia de la relación Barril de Petróleo/Tonelada de Maíz

Relación Petróleo Crudo/Tn de Maíz	0.19	0.26	0.32	0.39	0.45	0.52	0.58	0.65	0.71	0.78	0.84	0.91	0.97	1.04	1.11	1.17	1.24	y mayor ...
Frecuencia	820	4196	8744	13572	16492	15704	13016	10035	7089	4390	2708	1643	877	456	181	63	14	0

Fuente: Elaboración propia. . Obtenido del Histograma

Gráfico 10.10 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.

Así, la relación de materias primas con mayor frecuencia se encuentra entre los valores de 0,39 a 0,58, según lo demostrado por el gráfico del histograma.



10-6 Análisis complementario

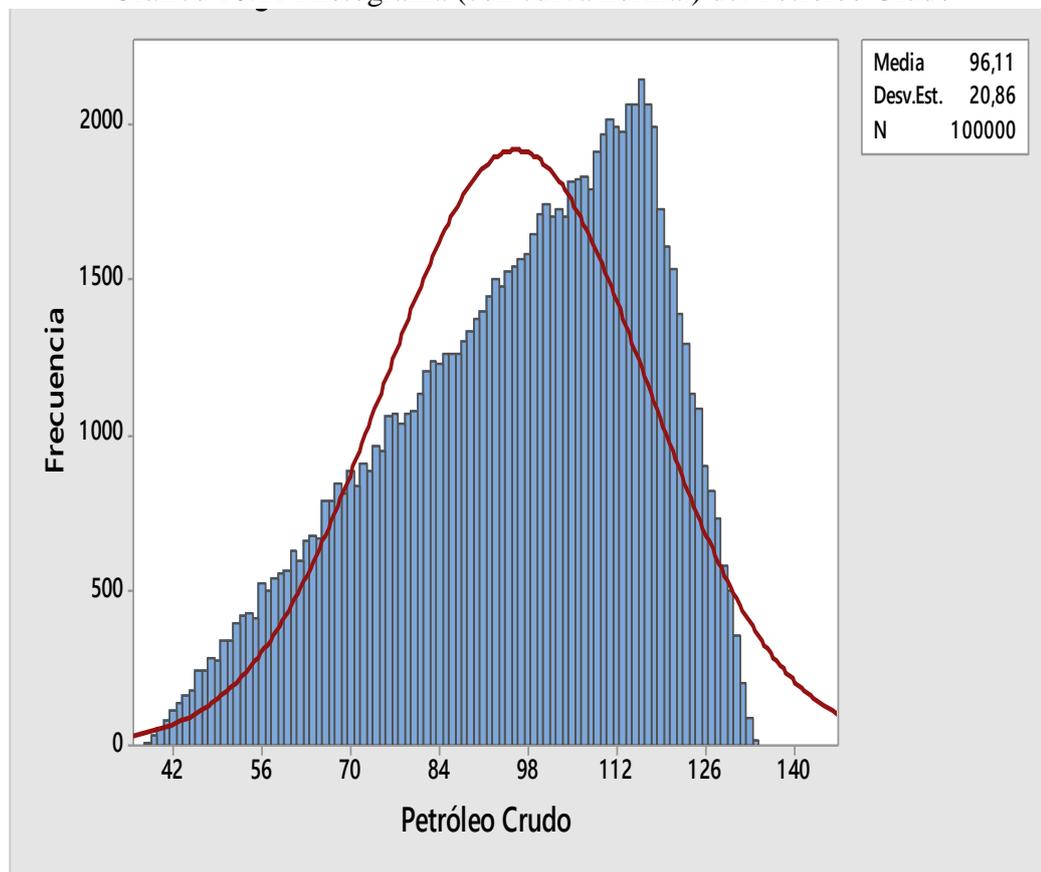
Es necesario realizar un ajuste a los valores obtenidos de las frecuencias halladas para el petróleo, el maíz y la relación entre ambos, con una distribución normal para acotar más los valores.

10-6-1 Análisis complementario del Petróleo Crudo

Con todos los datos de la muestra (100.000) se ajustan los precios del barril de petróleo 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\$\$/ barril. Se realiza un ajuste de los valores en función de la frecuencia de los mismos, aplicando una distribución normal:

Gráfico 10.11 Histograma (con curva normal) del Petróleo Crudo

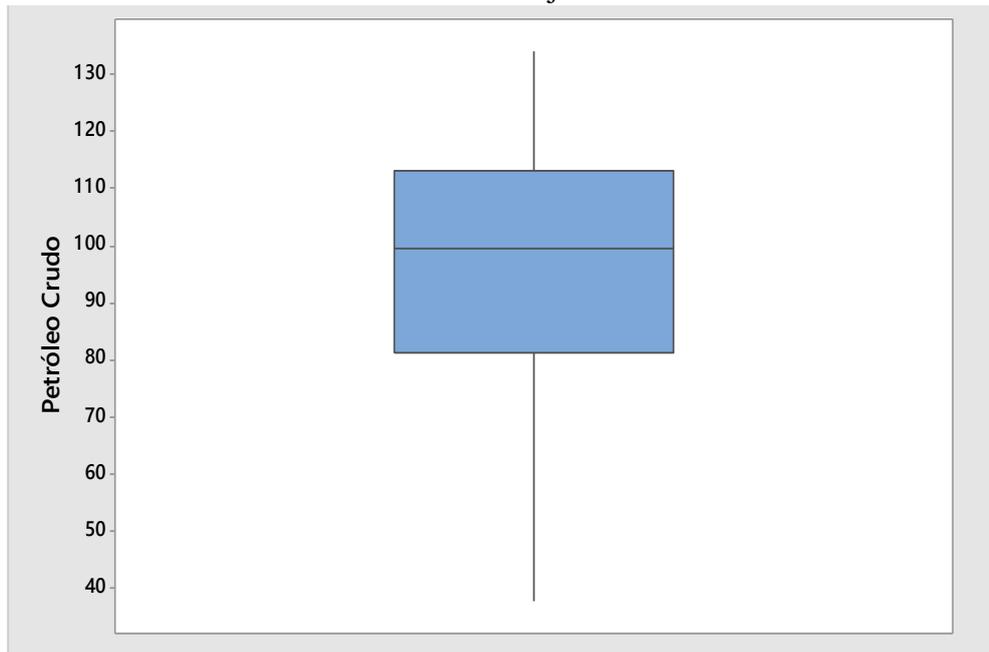


Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de interpretar la distribución normal, aplicamos la gráfica de caja (BoxPlot) para el petróleo crudo, y así poder apreciar la tendencia central y la variabilidad de los datos de la muestra:



Gráfico 10.12 Gráfica de Caja del Petróleo Crudo



Fuente: Elaboración propia.

La gráfica de BoxPlot demuestra que en el primer cuartil Q_1 los valores del petróleo de 81 U\$S/barril representan el 25% de la muestra; el segundo cuartil Q_2 representa el 50% de la variable y se encuentra dentro de los valores de 96 U\$S/barril; y el tercer cuartil Q_3 representa el 75% de los valores de la muestra, cuyo valor está por encima de los 110 U\$S/barril. El rango intercuartil nos da un valor de 29.

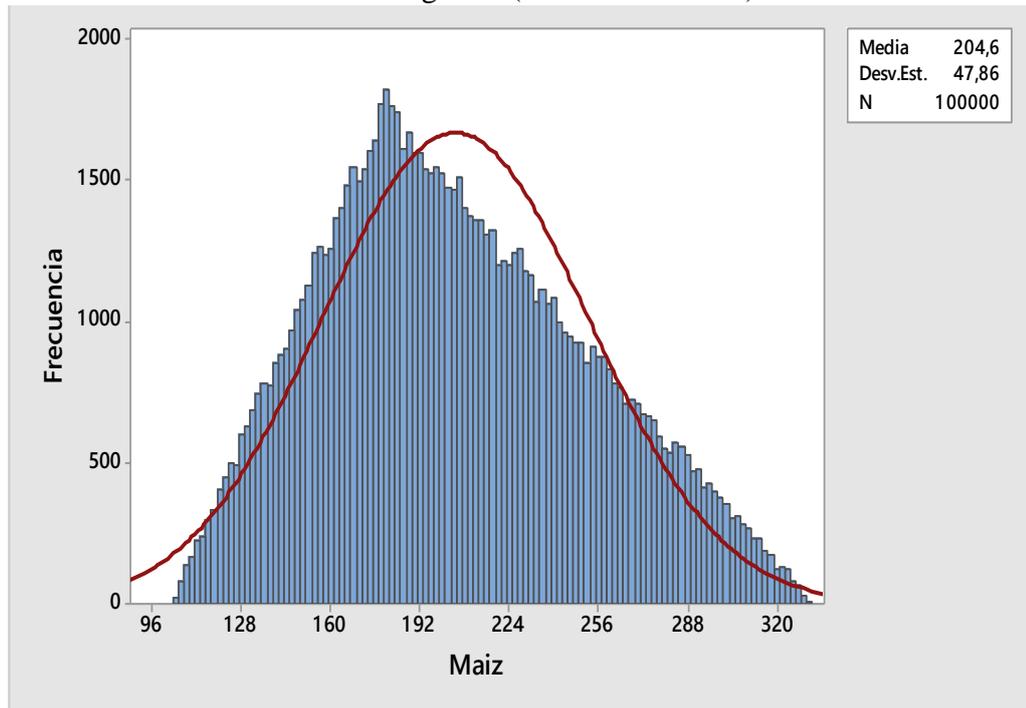
10-6-2 Análisis complementario del Maíz

Se aplica el mismo concepto que en el punto anterior, pero en este caso se toman las variaciones del maíz. La cantidad de la muestra es igual (100.000); se ajustan los precios de la tonelada de maíz que en el histograma demostró que oscilan entre 170,34 a 197,26 U\$S/tn.

Análogamente, como en el caso del petróleo, se realiza un ajuste de valores de la tonelada de maíz, aplicando una distribución normal:



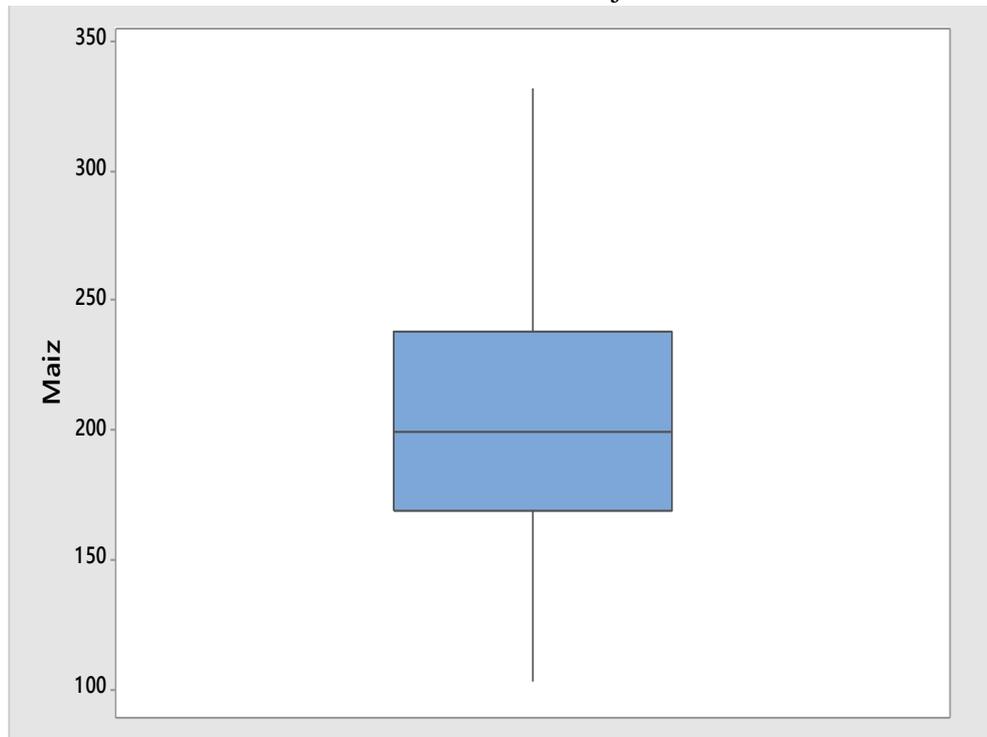
Gráfico 10.13 Histograma (con curva normal) del Maíz



Fuente: Elaboración propia.

Correlativamente, para interpretar la distribución normal de la tonelada de maíz, volvemos a apoyarnos en la gráfica de caja (BoxPlot), y así poder apreciar la tendencia central y la variabilidad de los datos de la muestra:

Gráfico 10.14 Gráfica de Caja del Maíz



Fuente: Elaboración propia.



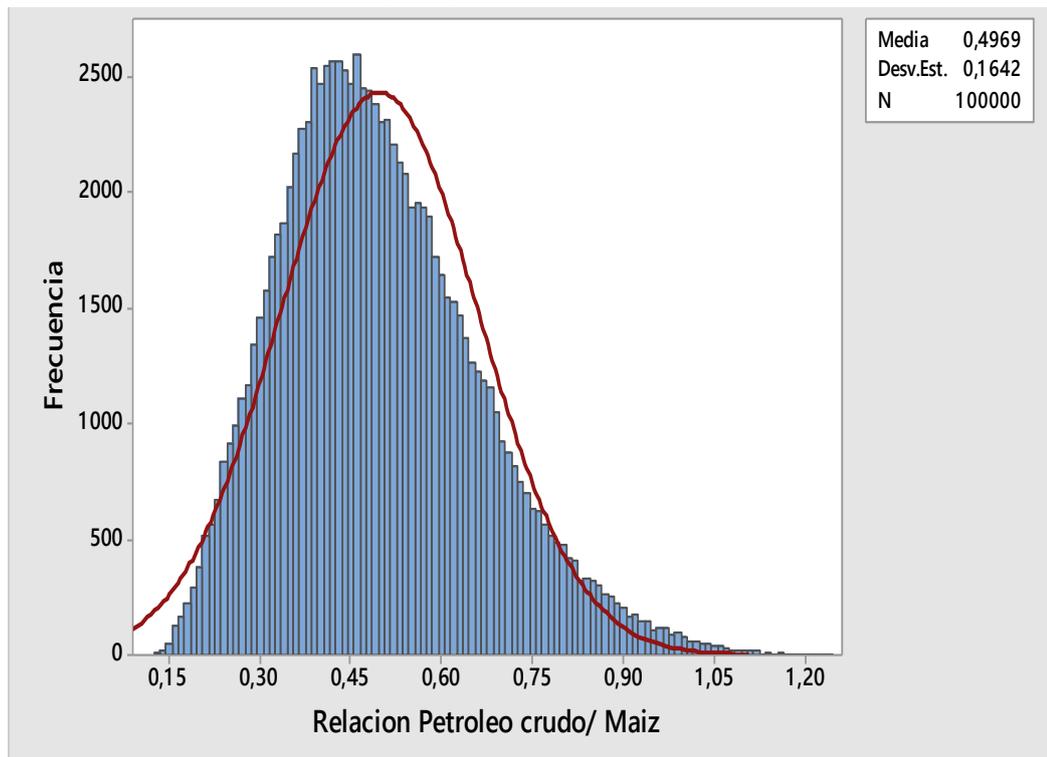
Se aplica el mismo análisis que el realizado para el petróleo; en este caso, la gráfica BoxPlot nos está demostrando que en el primer cuartil Q_1 los valores de la tonelada de maíz se encuentran en 168 U\$\$/tn representando el 25% de la muestra; el segundo cuartil Q_2 representa el 50% de la muestra, a 204 U\$\$/tn; y el tercer cuartil Q_3 representa el 75% de los valores de la muestra, cuyo valor de la tonelada se encuentra por encima de los 230 U\$\$/tn . El rango intercuartil nos da un valor de 62.

10-6-3 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. La cantidad de la muestra es igual (100.000), y 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 10.15 Histograma (con curva normal) de la relación Petróleo Crudo/Tonelada de maíz

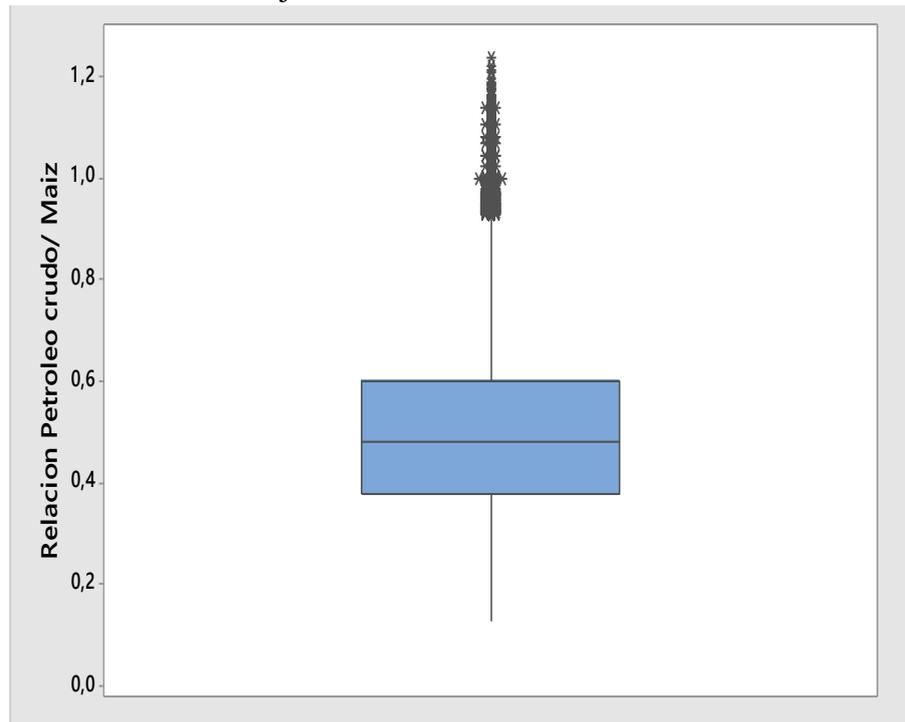


Fuente: Elaboración propia.

Como en los casos del petróleo y el maíz, el análisis de la distribución normal se realiza a través de la gráfica de caja para la relación entre las dos materias primas:



Gráfico 10.16 Caja Relación Petróleo Crudo/Tonelada de Maíz



Fuente: Elaboración propia.

Como en las gráficas anteriores, el BoxPlot 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. El rango intercuartil nos da un valor de 0,19.

10-6-4 Análisis complementario. Datos estadísticos descriptivos

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



Tabla 10.18 Datos estadísticos descriptivos: Petróleo Crudo-Maíz-Relación Petróleo Crudo/Maíz

<i>Variable</i>	Mínimo	Q1	N	N *	Media	Error Estándar de la Media	Desviación Estándar
<i>Petróleo Crudo</i>	38,076	81,444	100000	0	96,115	0,0660	20,864
<i>Maíz</i>	103,04	168,75	100000	0	204,64	0,151	47,86
<i>Relación Petróleo Crudo/ Tonelada de Maíz</i>	0,12730	0,37823	100000	0	0,49694	0,000519	0,16420

<i>Variable</i>	Mediana	Q3	Máximo	Error Estándar de la Media	Desviación Estándar	Modo	N para la Moda
<i>Petróleo Crudo</i>	99,412	113,11	133.847		92,382	114,224	10
<i>Maíz</i>	199,51	331.85	331.85	156,092	179,166	205,912	7
<i>Relación Petróleo Crudo/ Tonelada de Maíz</i>	0,47813	0,59792	1,23579			0,42843	11

Fuente: Elaboración propia.

10-6-4-1 Análisis complementario. Prueba de hipótesis

Con los datos estadísticos obtenidos del Matlab⁷⁰ se realiza una prueba de hipótesis ($\alpha = 0,05$) con un intervalo de confianza (IC del 95%) para cada una de las materias primas y para la relación entre ambas.

10-6-4-1-1 Para el Petróleo Crudo

Para realizar la prueba de hipótesis obtenemos los valores de los datos estadísticos descriptivos.

Prueba de $\mu = 133,8$ vs. $\neq 133,8$

⁷⁰ MATLAB [en línea]. 2016. Matlab Software.
 Disponible en: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>



La desviación estándar supuesta = 20,864

Tabla 10.19 Prueba de hipótesis para el Petróleo Crudo

<i>Cantidad de la Muestra N</i>	Media	Error estándar de la media	IC de 95%	Z	P
100.000	133,847	0,066	133,718- 133,976	0.71	0.476

Fuente: Elaboración propia.

Como $P = 0,476 > \alpha = 0,05$ se acepta la hipótesis nula $\mu = 133,8$

10-6-4-1-2 Para el Maíz

Prueba de $\mu = 103$ vs. $\neq 103$

La desviación estándar supuesta = 47,86

Tabla 10.20 Prueba de hipótesis para el Maíz

<i>Cantidad de la Muestra N</i>	Media	Error estándar de la media	IC de 95%	Z	P
100.000	103,040	0,151	102,743- 103,337	0.26	0.792

Fuente: Elaboración propia.

Como $P = 0,792 > \alpha = 0,05$ se acepta la hipótesis nula $\mu = 103$

10-6-4-1-3 Para la relación Petróleo Crudo/Maíz

Prueba de $\mu = 1,29$ vs. $\neq 1,29$

La desviación estándar supuesta = 0,1642

Tabla 10.21 Prueba de hipótesis para la relación Petróleo Crudo/Maíz

<i>Cantidad de la Muestra N</i>	Media	Error estándar de la media	IC de 95%	Z	P
100.000	1,29896	0,00052	1,29794- 1,29997	17,25	0.000

Fuente: Elaboración Propia

Como $P = 0,00 < \alpha = 0,05$ se rechaza la hipótesis nula $\mu = 1,29$

10-6-4-2 Análisis complementario. Diseño factorial completo

Diseño factorial completo:

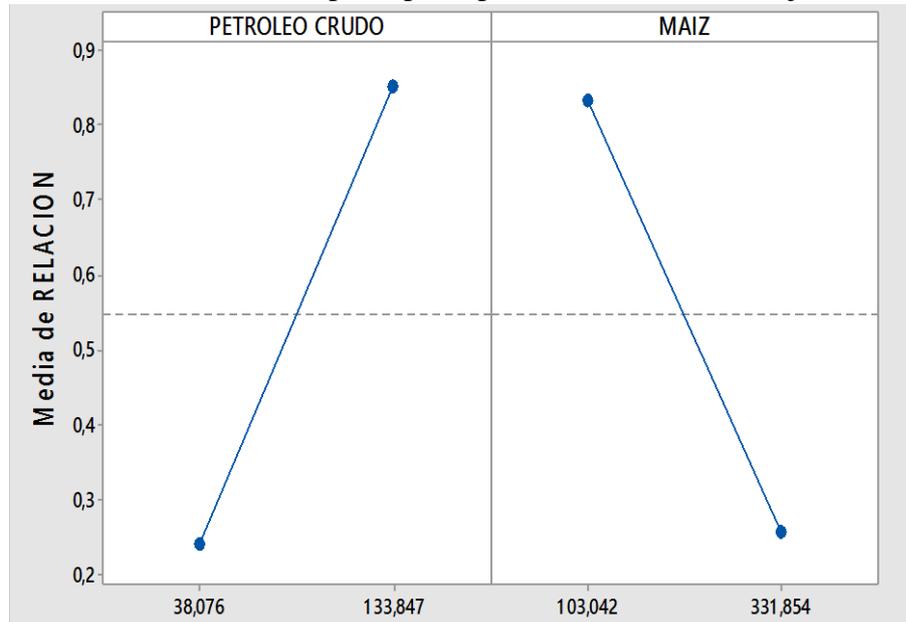
Factores: 2 Diseño de la base: 2.4

Corridas: 4 Réplicas: 1



Bloques: 1 Puntos centrales (total): 0

Gráfico 10.17 Efectos principales para Relación Medias Ajustadas

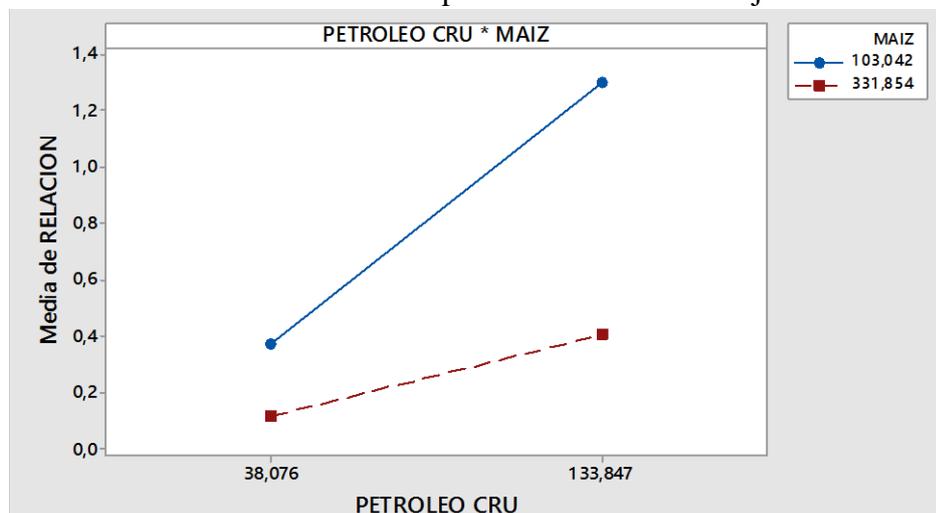


Fuente: Elaboración propia.

La mayor relación entre las materias primas se logra cuando el valor del precio del petróleo se encuentra en su valor máximo y el valor de la tonelada de maíz en su punto más bajo, y este valor fue rechazado en la prueba de hipótesis realizada en el punto anterior.

Hay una serie de combinaciones que se pueden encontrar con los valores extremos de cada una de las materias primas; alcanzar una relación que aliente a la producción del bioetanol es construir una interacción entre medias ajustadas con los valores extremos del valor de la tonelada de maíz.

Gráfico 10.18 Interacción para Relación Medias Ajustadas

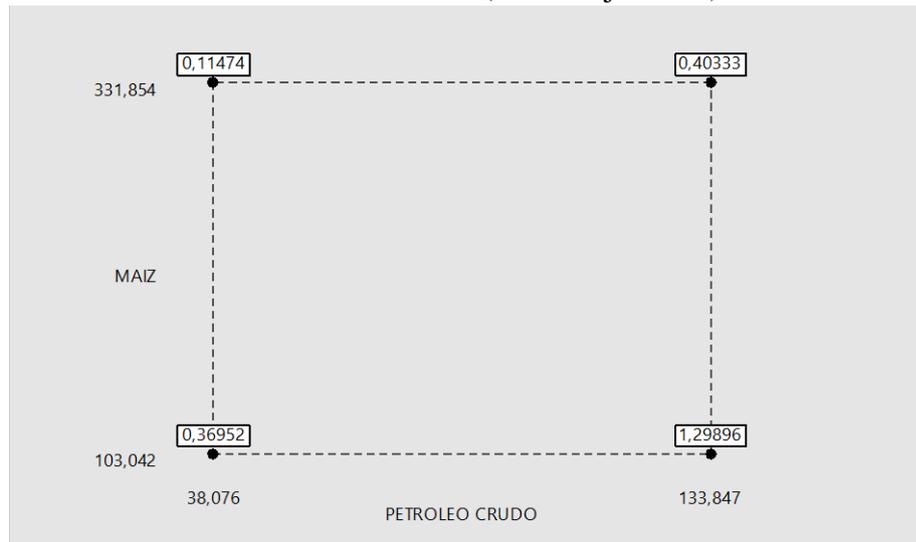


Fuente: Elaboración propia.



La gráfica nos demuestra que una relación de materias primas cercana a un valor de 0,40 se puede obtener con un valor del barril de petróleo a 38,076 U\$\$/barril y un valor de la tonelada de maíz a 103,042 U\$\$, como también se cumple con la misma relación de 0,40 a un valor del barril de petróleo a 133,847 y un valor de la tonelada de maíz a 331,854 U\$\$.

Gráfico 10.19 Gráfico de Cubos (medias ajustadas) de Relación



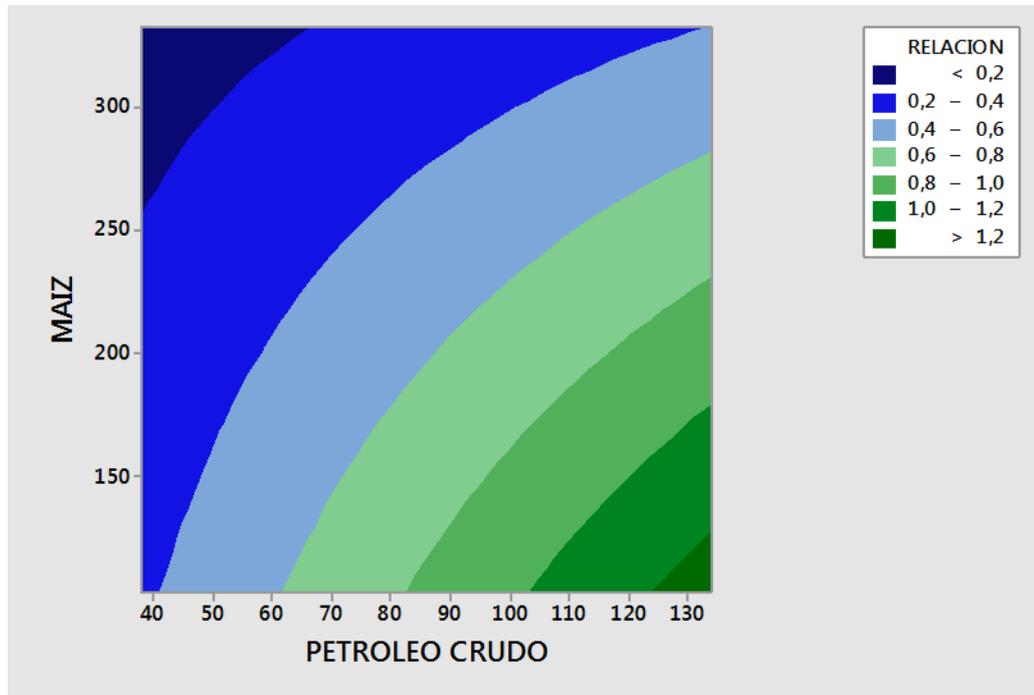
Fuente: Elaboración propia.

Considerando los cuatro vértices del cuadrado, para el menor valor del barril de petróleo con el menor valor de la tonelada de maíz la relación se encuentra en un valor de 0,36952 (vértice inferior izquierdo). Esta relación alentaría la producción del bioetanol de segunda generación dado que, si la traducimos en valores por litro de cada una de las materias primas, el valor del litro de petróleo casi es menor que el litro de bioetanol. Lo mismo ocurre con el vértice superior derecho con un valor de 0,40 y ese valor es muy cercano al primer cuartil $Q_1 = 0,37823$ obtenido de los datos estadísticos descriptivos.

Se descartan las relaciones que se encuentran en el vértice inferior derecho, como ya se demostró en el punto 10-6-4-1-3, donde se rechaza la hipótesis nula $\mu = 1,29$, y el vértice superior izquierdo con un valor de 0,11 ya que, si la traducimos en litros de petróleo y litros de etanol, el litro de petróleo está por debajo del valor del litro de bioetanol, y estos valores desalientan la producción del biocombustible.



Gráfico 10.20 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.

10-7 Construcción del Escenario 3

Para construir el escenario 3 se toma la relación que se encuentra entre los valores 0,4-0,6 calculada en el punto anterior. Específicamente los cálculos se realizan con la relación de 0,47. Para esta relación se toman los valores de la mediana 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 valor equivalente de la tonelada de maíz a etanol se introduce en el cuadro de Costos y Márgenes para observar su rendimiento económico, utilizando la misma metodología que para los dos escenarios anteriores, la cual ya fue explicada. El escenario sería el siguiente:



Tabla 10.22 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\$S/barril	99.412	Precio del Litro de Petróleo en U\$S/lit	0.62
Precio de la Tn de Maíz en U\$S/tn	199.51	Precio del Litro de Etanol en U\$S/lit	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. Estos valores se incorporan a la Tabla de Costos y Márgenes por hectárea, considerando los costos del año 2015, para calcular la rentabilidad posible.

Tabla 10.23 Resultados obtenidos en Escenario 3

	Rendimiento Tn/ha	Precio de Venta U\$S/lts	Ingresos U\$S/ha	Margen U\$S/ha	Margen U\$S/tn	Margen U\$S/litro	Porcentaje de Utilidad
Escenario 3	Promedio	0.51	465	186	55	0.20	67%
	Máximo		511	206	55	0.21	68%
	Mínimo		428	170	54	0.20	66%

Fuente: Elaboración propia sobre datos de la simulación Montecarlo.

El escenario 3 es bastante alentador, dado que se cumple con las condiciones que se proyectan: aumento del barril del petróleo, acomodamiento del valor de la tonelada de maíz, y existe rentabilidad bruta para considerar la posibilidad de obtener etanol de segunda generación.



10-8 Actualización de datos

Este trabajo se inició durante el año 2015. A fin de ese año nuestro país tuvo su período de elecciones nacionales. El partido electo efectuó una serie de cambios políticos, económicos y sociales.

En términos energéticos, el cambio de la política se ve reflejado en la desregulación energética, colocar a la industria petrolera en el centro de la escena, y convertir al sector energético en un elemento más del mercado, dejando de lado el concepto que nuestras energías primarias son un elemento estratégico para el desarrollo y crecimiento del país:

El Decreto 272/2015, firmado el 29 de diciembre de 2015 por el Presidente de la Nación, Mauricio Macri, disuelve la Comisión de Planificación y Coordinación Estratégica del Plan Nacional de Inversiones Hidrocarburíferas, trasladando el ejercicio de las competencias asignadas al nuevo Ministerio de Energía y Minería.⁷¹

Desde el punto de vista económico, los cambios efectuados por la nueva administración fue la devaluación de la moneda nacional, donde el dólar pasó de cotizar 1U\$S=\$9,70 a 1U\$S=\$13,85 (según datos del Banco Nación); esta devaluación representó un 40% y tuvo diferentes consecuencias, entre ellas, el reacomodamiento de precios en términos generales.

Otra de las medidas tomadas por el nuevo gobierno fue retirar las retenciones para el sector agro-exportador argentino. Con respecto al maíz, retiró la retención del 20% al grano, haciendo más beneficiosa la exportación del mismo.

Con la devaluación realizada y presentada es conveniente realizar una actualización de los valores calculados en el capítulo 8, llevando los costos al nuevo valor del dólar, y realizar una revisión con el modelo estadístico de Montecarlo.

Toda la metodología de cálculo para la actualización fue la misma que se utilizó y explicó en el referenciado capítulo 8 de la presente tesis. Las actualizaciones de los costos se realizaron a mayo de 2016, para poder realizar una comparación interanual.

⁷¹ OETEC-ID [en línea]. 2016. Decreto macrista pone en riesgo al federalismo y a la seguridad energética nacional, OETEC [fecha de consulta: 14 enero 2016]. Disponible en: <http://www.oetec.org/nota.php?id=1505&area=1>



Tabla 10.24 Comparación de Costos considerando los rendimientos promedios de los años 2015-2016

	may-15	may-16	Diferencia may-16 con respecto a may- 2015	Diferencia porcentual may2016/ may 2015
Costos enrollado del rastrojo en U\$\$/roll	25.17	23.2	1.97	-7.83%
Total costo en el Campo U\$\$/ha	207.92	186.29	-21.92	10.54%
Promedio Costo del Transporte U\$\$/Tn	20.83	16.41	-4.42	-21.22%
Total Costo puesto en la planta procesadora	279	242	-37	-13.26%

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla comparativa se puede observar que la devaluación de un 40% favoreció a los costos con una disminución del mismo del orden del 13,26%.

10-9 Actualización con el Método Montecarlo

Con los datos actualizados, y trabajando con los mismos tres escenarios que se presentaron para el año 2015, obtenidos de la simulación de Montecarlo, se renovaron los costos al año 2016.

Los nuevos datos se introdujeron en la tabla de Costos y Márgenes por hectárea, para calcular si existe rentabilidad para los tres rendimientos por hectárea considerados.

Además, se los compara con los obtenidos en el año 2015, con el objetivo de poder determinar el impacto de la devaluación, y así observar cómo influye en la rentabilidad de la producción del bioetanol de segunda generación.



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
 Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

Tabla 10.25 Márgenes de Utilidad considerando Montecarlo con costos 2016

	Rendimiento Tn/ha	Precio de Venta según Montecarlo U\$/ts	INGRESOS U\$/ha	MARGEN U\$/Ha	Margen U\$/tn	Margen U\$/litro	Porcentaje de Utilidad en U\$/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 Montecarlo.

Tabla 10.26 Comparación de Porcentajes de Utilidad en U\$/lt año 2015-2016

	Rendimiento Tn/ha	Precio de Venta U\$/ts	Ingresos U\$/ha	Margen U\$/Ha	Margen U\$/tn	Margen U\$/litro	Porcentaje de Utilidad
Año 2015 Escenario 1	Promedio	0.85	775	496	146	0.54	178%
	Máximo		852	547	146	0.55	179%
	Mínimo		713	455	145	0.54	176%
Año 2015 Escenario 2	Promedio	0.27	246	-33	-10	-0.04	-12%
	Máximo		271	-34	-9	-0.03	-11%
	Mínimo		226	-32	-10	-0.04	-12%
Año 2015 Escenario 3	Promedio	0.51	465	186	55	0.20	67%
	Máximo		511	206	55	0.21	68%
	Mínimo		428	170	54	0.20	66%
Año 2016 Escenario 1	Promedio	0.85	775	532	157	0.58	220%
	Máximo		852	587	157	0.59	221%
	Mínimo		713	489	156	0.58	219%
Año 2016 Escenario 2	Promedio	0.27	246	3.94	1.16	0.004	2%
	Máximo		271	5.44	1.45	0.01	2%
	Mínimo		226	2.75	0.88	0.00	1%
Año 2016 Escenario 3	Promedio	0.51	465	223	65	0.24	92%
	Máximo		511	246	66	0.25	93%
	Mínimo		428	204	65	0.24	91%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la simulación Montecarlo.

De la tabla comparativa se observa que la devaluación ha mejorado los porcentajes de utilidad para los tres escenarios. Sin embargo, en el escenario 2 la rentabilidad es muy baja, muy sensible a cualquier variación de costos y se convierte en más sensible teniendo en cuenta que no se han considerado los costos de transformación en dichos cálculos, determinando a este escenario como no aconsejable para la producción del bioetanol de segunda generación.



En función de los datos calculados en el análisis complementario, se puede afirmar que la rentabilidad no depende tanto del valor del dólar, sino específicamente de la relación de los precios de las materias primas.

10-10 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 10.27 Resumen de los valores que hacen rentable la producción del bioetanol lignocelulósico

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

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

De acuerdo a los cálculos realizados en función de la simulación de Montecarlo, corroborado con el análisis estadístico complementario efectuado y recordando que no se ha tenido en cuenta el proceso de transformación, 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.

Otro factor a tener en cuenta, que incide en la producción del biocombustible, está en función de las políticas fiscales que implemente el Estado, ya que las mismas muchas veces alteran la relación, convirtiéndose en un factor influyente en la toma de decisiones por parte de las empresas productoras.



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.

Además, otro factor que el mundo debe considerar con mayor énfasis está relacionado con los fenómenos del clima que se vienen suscitando en forma más frecuente debido al cambio climático; es necesario bajar la temperatura de la tierra y para ello es indispensable disminuir las emisiones de CO₂. Estos cambios están afectando la utilización de la tierra.

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.

Los países más desarrollados y con economías fuertes están impulsando la investigación del vector en función de un real crecimiento demográfico que se traducirá en un aumento de la demanda de alimentos y energía, y los compromisos firmados por estos países para mejorar el medio ambiente, según las publicaciones existentes.

Transitar por la vía de los biocombustibles puede ser una opción a la solución del problema de bajar la temperatura del planeta y la dependencia de los combustibles fósiles.



Pensar en biocombustible nos orienta al desarrollo de una nueva industria, la agro-energética. Esta nueva industria genera una cadena de valor que impactará directamente en los diferentes sectores de la economía de un país, especialmente en desarrollo agrícola, agroindustrial y generación de empleo.

Los países con gran poder económico, principalmente Estados Unidos y Europa, vienen desarrollando, desde hace varios años, el bioetanol denominado de primera generación, pero este desarrollo ha tenido un efecto no buscado que ha sido el aumento de los precios de los alimentos debido al uso de granos para la obtención de biocombustibles, impactando más fuertemente en aquellos sectores con menos recursos.

Considerando estos datos, este trabajo se centró en la investigación de los biocombustibles denominados de segunda generación, particularmente el etanol lignocelulósico.

Analizar el bioetanol de segunda generación tiene 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.

Con el análisis de la matriz energética realizada se ha demostrado que Argentina es muy dependiente de las energías no renovables, que se necesita importar petróleo para poder abastecer la demanda actual; el crecimiento proyectado del consumo de naftas hace necesario analizar la posibilidad de obtener etanol de segunda generación para las mezclas y así lograr una disminución de importación de combustibles fósiles, 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.

Del estudio realizado en forma exploratoria 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. Nuestro país, al no contar con la experiencia ni con la tecnología para la obtención del etanol lignocelulósico, el trabajo transitó por el camino exploratorio de datos que han experimentados otros países, principalmente Estados Unidos, que lleva más de una década investigando sobre este tema.



La Ley de Biocombustibles, ley 26.093, implementada en el año 2010, estableció un porcentaje de mezcla que debería ir aumentando año tras año, para llegar al año 2016 con un porcentaje de mezcla del orden del 12%. La ventaja de la promulgación de esta ley es que asegura a las plantas transformadoras una venta a las plantas mezcladoras con el fin de obtener una rentabilidad mínima asegurada.

Además, esta ley facilita para las consideraciones realizadas en este trabajo, dado que ya se cuenta con un precio mínimo de venta de referencia, que permite poder realizar una comparación con las diferentes materias primas.

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.

Del análisis se obtuvo entre qué valores se podría encuadrar el precio mínimo de venta del bioetanol de segunda generación, y su relación con el precio del petróleo, para incentivar la producción del mismo.

Con el precio mínimo de venta calculado también se pudieron obtener los posibles rendimientos económicos podría llegar a lograr el inversionista.

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\$S/lts, con un porcentaje de utilidad del orden del 92%, con costos referidos al año 2016. Para obtener estos valores se consideró el precio del barril de petróleo a un valor de 99,412 U\$S/barril, y la tonelada de maíz a 199,51 U\$S, con una relación entre las materias primas de 0,48.



La alta rentabilidad obtenida se debe a que en el proceso de análisis no se tuvieron en cuenta los costos de transformación de la materia prima, ni se ha analizado el tamaño óptimo de la planta para obtener una relación, inversión económica y capacidad de producción.

Los valores obtenidos, después del análisis efectuado, pueden establecer que la rentabilidad para un complejo productivo como se planteó depende de:

- ❖ relación de los precios de las materias primas;
- ❖ valor del precio internacional del barril de petróleo;
- ❖ intervención del estado en lo que respecta a políticas fiscales;
- ❖ intervención del estado en lo que respecta a la fomentación de generación de energías renovables;
- ❖ poco dependiente de la variación del valor del dólar.

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.

Recomendaciones:

- llevar a cabo estudios empíricos en zonas ricas en rastrojos;
- desarrollar estudios de los procesos productivos, para determinar cuál es el más aconsejable para nuestro país;
- realizar un estudio del tamaño de una planta óptima;
- implementar el análisis de instalar una planta multipropósito y observar la posibilidad de utilizar diferentes tipos de rastrojos de granos.



ANEXOS

Anexo I - Definiciones del Banco Mundial

Energía primaria: es aquella energía que se obtiene de la naturaleza y no ha sufrido ninguna transformación. Entre ellas se nombran a la hidro-energía, energía nuclear, hidrocarburos (petróleo crudo, gas natural y carbón mineral), leña, bagazo, eólica, solar, etc.

Energía secundaria: es aquella energía que no se obtienen directamente de la naturaleza, y que debe llevar un proceso de transformación realizado por los hombres con el objetivo de satisfacer al aparato productivo del país. Entre las energías secundarias se encuentran la electricidad, gas distribuido por redes, gas de refinería, gas licuado, motonaftas, kerosene y aerokerosene, diesel-oil, gas oil, fuel oil, carbón residual, gas de coquería, gas de alto horno, coque de carbón, carbón de leña, no energético (son aquellas fuentes de energía secundaria que tienen contenido energético pero no se utilizan con fines energéticos), etc.

Oferta energética disponible de un país: Producción, Importación, Exportación + Bunker (representa aquellos combustibles líquidos derivados del petróleo que abastecen a barcos y aeronaves fuera de las fronteras del país). Por tal motivo, al no ser una exportación, se le agrega junto a éstas, dado que desde el punto de vista energético es como si lo fuera, restando a la oferta interna (Secretaría de Energía de la Nación), Variación de Stock o Inventario y Energía no aprovechada.

Oferta total de energía: se entiende como la cantidad de energía primaria y secundaria existente para satisfacer las necesidades del país.

Transformación: se comprende como la cantidad de flujos energéticos primarios y secundarios que ingresa a los centros de transformación, y su resultado es una energía secundaria.

Consumo: se lo define como la energía utilizada tanto por el sector energético como por los diferentes sectores socioeconómicos con el fin de satisfacer sus requerimientos. Este consumo se divide en consumo propio y final.

Consumo propio: es la cantidad de energía utilizada en el sector energético.

Consumo final: son los flujos energéticos considerando los sectores socioeconómicos que consumen. Además, el consumo final es la suma de la energía entregada a los sectores para usos energéticos como no energéticos.



Anexo II - Oferta Interna de Energías Secundarias. Período 2004-2014

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Variación %
Energía Eléctrica	7,533	7,990	8,514	8,935	9,394	9,415	9,861	10,337	10,577	10,768	11,106	47.43%
Gas Distribuido por Redes	30,896	32,467	33,677	35,955	36,003	34,934	35,042	37,472	38,576	39,796	39,513	27.89%
Gas de Refinería	870	905	899	886	869	856	850	929	1,105	1,135	1,096	25.95%
Gas Licuado	2,805	2,584	1,859	1,866	1,765	1,580	2,514	2,001	2,157	2,220	2,174	-22.49%
Gasolina Natural	911	845	805	788	860	882	886	884	855	824	802	-12.01%
Otras Naftas	1,226	1,277	1,240	1,299	1,020	1,323	1,291	908	833	897	1,214	-1.00%
Motonafta Total	2,840	2,738	3,380	3,963	4,958	5,334	5,082	5,732	6,111	6,530	6,348	123.51%
Kerosene y Aeroerosene	500	481	463	484	492	550	580	573	560	562	551	10.17%
Diesel Oil + Gas Oil	10,705	11,312	12,142	12,860	12,465	12,306	13,915	14,540	13,756	15,151	13,818	29.08%
Fuel Oil	1,953	2,026	2,541	3,169	3,373	2,850	2,897	3,496	3,823	3,159	3,702	89.54%
Carbón Residual	1,236	1,339	1,215	1,177	1,146	1,124	1,091	1,087	1,149	1,084	1,010	-18.28%
No Energético	3,177	2,700	2,794	2,703	2,576	2,826	2,072	2,140	1,930	1,977	2,055	-35.33%
Gas de Coquería	229	193	183	223	228	121	196	232	172	178	205	-10.40%
Gas de Alto Horno	374	315	299	364	372	198	321	379	280	291	336	-10.40%
Coque	1,146	965	915	1,114	1,140	606	982	1,160	858	891	1,027	-10.40%
Carbón de Leña	395	260	260	254	271	284	282	304	271	257	245	-38.02%
Bioetanol	-	-	-	-	-	-	61	87	124	248	346	463.50%
Biodiesel	-	-	0	0	0	1	534	789	919	929	1,019	90.87%
TOTALES	66,798	68,399	71,184	76,040	76,931	75,191	78,455	83,049	84,057	86,898	86,566	29.59%

Fuente: Elaboración propia con datos de las planillas BEN de la SE de la Nación.



Anexo III - Análisis de la Oferta Total vs Oferta Interna de las Energías Secundarias

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Variación % desde el 2004 al 2014
Producción	80,297	90,273	84,815	87,315	87,206	82,430	84,262	84,518	87,556	85,702	85,660	6.68%
Importación	2,404	2,095	2,196	2,952	2,913	3,076	5,921	9,950	7,943	11,697	11,552	380.42%
Variación de Stock	1,292	-166	1,088	1,098	1,066	2,354	139	-583	232	-25	-46	-103.55%
Oferta Total	83,994	95,154	88,099	91,365	91,185	87,859	90,322	93,885	95,730	97,373	97,165	15.68%
Exportaciones y Bunker	-13,867	-10,871	-13,618	-11,192	-9,701	-8,807	-7,944	-7,598	-7,074	-6,482	-6,499	-53.13%
No Aprovechado	-152	-1,226	-104	-195	-198	-107	-128	-185	-223	-214	-107	-29.58%
Pérdidas	-3,259	-685	-3,153	-3,701	-4,101	-3,531	-3,862	-3,107	-4,437	-3,807	-4,020	23.34%
Ajuste	82	1,775	-40	-236	-255	-223	68	54	59	27	26	-68.18%
Oferta Interna	66,798	84,147	71,184	76,040	76,931	75,191	78,455	83,049	84,057	86,898	86,566	29.59%

Fuente: Elaboración propia con datos de las planillas BEN de la SE de la Nación.



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
 Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

Anexo IV - Consumo Totales por año y por energía

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Consumo Total	Participación porcentual sobre el Total de Consumo	Variación % 2014/2004
Energía Eléctrica	7269	7686.16	8198.62	8593.62	9041.92	9058.43	9509.32	9966.95	10178.26	10399.29	10727.17	100629	18%	48%
Gas Distribuido por Redes	18793	20079.68	20539.17	21762.00	21005.50	20108.19	20859.69	22076.71	22011.27	23226.83	22882.57	233345	41%	22%
Gas Licuado	2201.37	2579.46	2987.00	1854.89	1751.42	1561.83	2472.97	1978.08	2125.16	2177.46	2134.22	23824	4%	-3%
Motonafta Total	2840.50	2738.16	3380.00	3962.83	4957.67	5315.86	5082.24	5732.19	6111.04	6529.85	6347.78	52998	9%	123%
Kerosene y Aerokerosene	489.33	481.30	469.26	483.89	492.27	550.35	579.58	572.29	559.33	562.38	550.75	5791	1%	13%
Diesel Oil + Gas Oil	10357.14	11178.86	11685.00	12050.42	11562.64	11242.94	12358.34	12631.63	12017.55	12836.64	12093.48	130015	23%	17%
Fuel Oil	516.56	609.97	910.00	946.68	708.05	822.12	331.47	714.62	695.40	606.33	491.41	7353	1%	-5%
Carbón Residual	436.41	665.44	562.20	400.72	353.19	589.17	349.83	245.91	498.12	419.73	257.08	4778	1%	-41%
Gas de Coquería	209.76	179.11	163.40	205.63	209.46	111.74	187.39	221.27	161.50	168.61	195.82	2014	0.35%	-7%
Gas de Alto Horno	222.94	210.08	146.91	207.86	203.54	51.48	183.67	232.69	138.67	158.08	202.52	1958	0.34%	-9%
Coque	382.11	321.79	305.01	371.32	379.95	202.14	327.20	386.72	286.04	297.02	342.37	3602	1%	-10%
Carbón de Leña	245.00	259.66	259.66	254.04	270.97	284.11	281.60	304.19	270.99	257.44	244.57	2932	1%	-0.18%
Total consumo Energía Secundaria	43963.56	46989.67	49606.23	51093.91	50936.58	49898.36	52523.30	55063.26	55053.35	57639.68	56469.75	569238		
Primaria más secundaria	50303.00	531670.00	56041.00	59391.00	58767.00	57952.00	57766.00	60140.00	58964.00	61743.00	61285.00	1114022		

Fuente: Elaboración propia con datos de las planillas BEN de la SE de la Nación.



Anexo V - Aspectos destacables de la Ley de Biocombustibles (Ley N° 26.093) y la Resolución 44/2014

V-1 Ley de Biocombustibles⁷²

Capítulo I - Crea incentivos para la producción y uso de biocombustibles en el mercado nacional con una duración de 15 años (a partir de la fecha de la promulgación de la ley).

Establece que la Secretaría de Energía será la autoridad de control. La supervisión de las rebajas de impuestos estará bajo el control del Ministerio de Economía (cada año este Ministerio fijará el importe global máximo de los incentivos fiscales dirigidos a los biocombustibles, y el porcentaje de este total que se acumularán a las empresas que participan en el mercado interno). Algunas de las responsabilidades de la autoridad de control, en general, son para establecer los niveles de calidad, condiciones de seguridad, el registro de las empresas participantes, de aprobación de los proyectos que se benefician de incentivos, y la mezcla porcentaje de biodiesel con diesel y etanol con las naftas para el mercado interno. Cada año, la Secretaría de Energía establecerá los volúmenes de biocombustibles necesarios para cumplir con la ley, determinar y modificar las mezclas porcentuales, fijar los precios de los biocombustibles para el mercado interno, establecer volúmenes, términos y condiciones para las que producen para su propio consumo, y aprobar las exportaciones.

Capítulo II - Proporciona detalles sobre los incentivos del régimen de promoción de biocombustibles para uso doméstico. Para tener derecho a los incentivos, las empresas tienen que operar en la Argentina y se dedica exclusivamente a la producción de biocombustibles, con la mayoría del capital de la empresa en manos del gobierno (es decir, el gobierno ya sea a nivel nacional, provincial o municipal) o productores agrícolas (y cooperativas de productores). Las empresas tienen que operar bajo las normas y especificaciones anteriores, y se les asignará un porcentaje de la rebaja de impuestos total concedido por el Gobierno de la República Argentina (GOA).

⁷² MINISTERIO DE JUSTICIA Y DERECHOS HUMANOS. INFORMACIÓN LEGISLATIVA [en línea]. Biocombustibles, Ley 26.093. Buenos Aires. Sanc. Abril 19 de 2006. Promul. Mayo 12 de 2006. Disponible en:
<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/115000-119999/116299/norma.htm>



La ley da prioridad a las pequeñas y medianas empresas, agricultores y entidades que operan en zonas de producción no tradicionales.

*V-2 Resolución 44/2014*⁷³

Artículo 1: La mezcla no podrá ser menor al 8,5% y a 9% a partir del mes de octubre de 2014, a 9,5% a partir del 1° de noviembre de 2014 y a 10% a partir del 1° de diciembre de 2014.

Artículo 3: Sustituye a la Resolución N°1294/2008 por el Art 1° donde se determinan los procedimientos para establecer los precios de adquisición del bioetanol, según sean elaborados en base a utilización de caña de azúcar o de maíz como materia prima, de conformidad con lo dispuesto en los Anexos I y II que forman parte de la presente resolución.

Artículo 5: Los precios deben ser publicados entre el día 1 y el día 5 de cada mes en la página WEB de la SECRETARÍA DE ENERGÍA, como valores de transferencia fijos a salida de planta para todo el mes.

Artículo 6: Los precios no podrán tener una variación intermensual superior del 5%. En el caso de que los hubiere, el excedente de dicho porcentaje en valor absoluto será adicionado a la fórmula, quedando la sub-secretaría de combustible facultada para establecer los mecanismos alternativos de corrección en los casos en que situaciones lo requieran.

Artículo 7: La sub-secretaría de combustible está autorizada a que una vez por año revise los procedimientos para establecer los precios de adquisición del bioetanol.

Artículo 8: La sub-secretaría de combustible es la encargada de diseñar los procedimientos adecuados para evitar diferencias económicas que pudieran haber entre las empresas encargadas de realizar las mezclas de bioetanol con naftas, como consecuencia de la adquisición de dicho combustible.

En el ANEXO I se establece el procedimiento para la determinación del precio de adquisición del bioetanol a partir de la caña de azúcar.

La fórmula está basada en función de un litro de caña de azúcar.

⁷³ MINISTERIO DE JUSTICIA Y DERECHOS HUMANOS. INFORMACIÓN LEGISLATIVA [en línea]. Secretaría de Energía, Biocombustibles, Resolución 44/2014. Buenos Aires, 16/9/2014.

Disponible en:

<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/235000-239999/235362/norma.htm>



Precio = (COSTO DE COMBUSTIBLE + COSTO DE MANO DE OBRA + COSTO DE GAS NATURAL + RESTO DE COSTOS) * (1 + FACTOR DE CORRELACIÓN)

ANEXO II: PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PRECIO DE ADQUISICIÓN DEL BIOETANOL A PARTIR DEL MAÍZ

La fórmula es en base a obtener el costo más la rentabilidad de un litro de bioetanol a partir de maíz o cualquier otra materia prima distinta de la caña de azúcar.

PRECIO: (COSTO DEL MAÍZ + COSTO DE MANO DE OBRA + COSTO DEL VAPOR + COSTO DE ELECTRICIDAD + RESTO DE COSTOS) * (1 + FACTOR DE CORRELACIÓN)

Las definiciones de los factores que intervienen en la fórmula de costos son:

Costo de Maíz: Precio FAS (precio más bajo que el FOB) teórico promedio del mes anterior para la tonelada de maíz publicado por la Dirección de Mercados Agrícolas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, multiplicado por el consumo específico de maíz para producir un litro de Bioetanol, el cual se establece en CERO COMA VEINTICUATRO DIEZMILÉSIMAS DE TONELADA POR LITRO DE BIOETANOL (0,0024 ton/l).

Costo de Mano de Obra: Se establece en DOCE CENTAVOS DE PESO (\$ 0,12) por cada litro de Bioetanol producido, actualizable de acuerdo al promedio de la variación del costo salarial establecido en los convenios colectivos de trabajo en los cuales se encuadren las plantas que producen bioetanol a partir de maíz y/o de la documentación que requiera la SECRETARÍA DE ENERGÍA a los efectos de verificar dicho valor.

Costo del Vapor: Se calcula a partir del promedio de los últimos DOCE (12) meses de los precios del gas en boca de pozo establecido en contratos para industrias que será informado mensualmente por la COMISIÓN DE PLANIFICACIÓN Y COORDINACIÓN ESTRATÉGICA DEL PLAN NACIONAL DE INVERSIONES HIDROCARBURÍFERAS creada por el Decreto N° 1.725 de fecha 25 de julio de 2012, sumado al costo de transporte vigente para la Recepción Neuquén y Despacho Central, a lo que se adiciona el costo de distribución de la Distribuidora de Gas del Centro para Grandes Usuarios Interrumpibles de acuerdo a la normativa establecida por el ENTE NACIONAL REGULADOR DEL GAS (ENARGAS), a lo cual se suma el cargo establecido por el Decreto N° 2.067 de fecha 3 de diciembre de 2008 para un



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

Gran Usuario con subsidios. Todo lo anterior valorizado para un consumo de CERO COMA TRESCIENTOS SESENTA Y DOS METROS CUBICOS (0,362 m³). El costo resultante se multiplica por el factor de uso de otros combustibles establecido en UNO COMA TREINTA Y SEIS (1,36).

Costo Electricidad: Se considera el Precio Medio Monómico Mensual informado a la SECRETARÍA DE ENERGÍA por el ORGANISMO ENCARGADO DEL DESPACHO (OED) para la Transacción Económica Mensual del Mercado Eléctrico Mayorista con vencimiento en el mes anterior, y valorizado para un consumo de CERO CON DOSCIENTOS TREINTA Y TRES KILOVATIOS HORA (0,233 KWh).

Resto Costos: Se establece en el CERO COMA NUEVE CENTÉSIMAS (0,09%) del Precio FAS teórico promedio del mes anterior para la tonelada de maíz publicado por la Dirección de Mercados Agrícolas del MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA.

Factor de Correlación: se establece en CERO COMA TRESCIENTOS TRECE (0,313), correspondiendo al recupero de la inversión, el pago de los impuestos correspondientes y la rentabilidad considerada.



Anexo VI - Producción de Maíz en el período 2004-2015 en las localidades en estudio

Cultivo	Provincia	Departamento	Campaña	Sembrado (ha)	Cosechado (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
MAIZ	BUENOS AIRES	BRAGADO	2003/04	15.000	14.750	110.630	7.500
MAIZ	BUENOS AIRES	BRAGADO	2004/05	20.000	19.750	167.880	8.500
MAIZ	BUENOS AIRES	BRAGADO	2005/06	16.000	15.700	125.600	8.000
MAIZ	BUENOS AIRES	BRAGADO	2006/07	16.500	16.200	153.900	9.500
MAIZ	BUENOS AIRES	BRAGADO	2007/08	20.000	19.700	145.780	7.400
MAIZ	BUENOS AIRES	BRAGADO	2008/09	16.000	14.000	80.280	5.734
MAIZ	BUENOS AIRES	BRAGADO	2009/10	25.000	23.500	188.000	8.000
MAIZ	BUENOS AIRES	BRAGADO	2010/11	25.000	23.500	170.260	7.245
MAIZ	BUENOS AIRES	BRAGADO	2011/12	27.000	25.110	170.750	6.800
MAIZ	BUENOS AIRES	BRAGADO	2012/13	26.000	21.860	174.880	8.000
MAIZ	BUENOS AIRES	BRAGADO	2013/14	18.350	17.950	143.600	8.000
MAIZ	BUENOS AIRES	BRAGADO	2014/15	25.000	23.900	215.100	9.000
MAIZ	BUENOS AIRES	CHACABUCO	2003/04	22.000	22.000	184.800	8.400
MAIZ	BUENOS AIRES	CHACABUCO	2004/05	26.000	26.000	231.400	8.900
MAIZ	BUENOS AIRES	CHACABUCO	2005/06	22.000	21.000	157.500	7.500
MAIZ	BUENOS AIRES	CHACABUCO	2006/07	25.500	24.800	248.000	10.000
MAIZ	BUENOS AIRES	CHACABUCO	2007/08	30.000	29.200	248.200	8.500
MAIZ	BUENOS AIRES	CHACABUCO	2008/09	25.000	24.000	120.000	5.000
MAIZ	BUENOS AIRES	CHACABUCO	2009/10	20.000	19.200	192.000	10.000
MAIZ	BUENOS AIRES	CHACABUCO	2010/11	24.000	22.800	212.380	9.315
MAIZ	BUENOS AIRES	CHACABUCO	2011/12	27.000	23.000	147.200	6.400
MAIZ	BUENOS AIRES	CHACABUCO	2012/13	21.500	17.000	161.500	9.500
MAIZ	BUENOS AIRES	CHACABUCO	2013/14	22.000	17.000	166.600	9.800
MAIZ	BUENOS AIRES	CHACABUCO	2014/15	15.000	9.500	95.000	10.000
MAIZ	BUENOS AIRES	GENERAL ARENALES	2003/04	18.000	18.000	156.600	8.700
MAIZ	BUENOS AIRES	GENERAL ARENALES	2004/05	22.000	22.000	209.000	9.500
MAIZ	BUENOS AIRES	GENERAL ARENALES	2005/06	18.000	18.000	126.000	7.000
MAIZ	BUENOS AIRES	GENERAL ARENALES	2006/07	20.000	20.000	220.000	11.000
MAIZ	BUENOS AIRES	GENERAL ARENALES	2007/08	23.500	23.500	211.500	9.000
MAIZ	BUENOS AIRES	GENERAL ARENALES	2008/09	20.000	20.000	138.000	6.900



UNLZ - Facultad de Ingeniería
Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

MAIZ	BUENOS AIRES	GENERAL ARENALES	2009/10	16.000	16.000	176.000	11.000
MAIZ	BUENOS AIRES	GENERAL ARENALES	2010/11	20.000	20.000	196.650	9.833
MAIZ	BUENOS AIRES	GENERAL ARENALES	2011/12	22.000	19.000	125.400	6.600
MAIZ	BUENOS AIRES	GENERAL ARENALES	2012/13	17.500	13.500	132.300	9.800
MAIZ	BUENOS AIRES	GENERAL ARENALES	2013/14	18.000	13.800	138.000	10.000
MAIZ	BUENOS AIRES	GENERAL ARENALES	2014/15	14.500	9.500	102.600	10.800
MAIZ	BUENOS AIRES	JUNIN	2003/04	20.000	20.000	168.000	8.400
MAIZ	BUENOS AIRES	JUNIN	2004/05	25.000	25.000	212.500	8.500
MAIZ	BUENOS AIRES	JUNIN	2005/06	21.000	20.200	137.360	6.800
MAIZ	BUENOS AIRES	JUNIN	2006/07	25.000	24.200	242.000	10.000
MAIZ	BUENOS AIRES	JUNIN	2007/08	28.000	27.100	230.350	8.500
MAIZ	BUENOS AIRES	JUNIN	2008/09	25.000	24.000	119.280	4.970
MAIZ	BUENOS AIRES	JUNIN	2009/10	20.000	19.200	192.000	10.000
MAIZ	BUENOS AIRES	JUNIN	2010/11	23.000	22.000	200.380	9.108
MAIZ	BUENOS AIRES	JUNIN	2011/12	25.000	22.200	139.860	6.300
MAIZ	BUENOS AIRES	JUNIN	2012/13	20.000	16.500	161.700	9.800
MAIZ	BUENOS AIRES	JUNIN	2013/14	20.000	16.000	153.600	9.600
MAIZ	BUENOS AIRES	JUNIN	2014/15	18.000	13.500	132.300	9.800
MAIZ	BUENOS AIRES	LEANDRO N ALEM	2003/04	14.000	13.000	119.600	9.200
MAIZ	BUENOS AIRES	LEANDRO N ALEM	2004/05	22.000	20.500	194.750	9.500
MAIZ	BUENOS AIRES	LEANDRO N ALEM	2005/06	14.500	12.500	105.000	8.400
MAIZ	BUENOS AIRES	LEANDRO N ALEM	2006/07	12.600	12.600	120.960	9.600
MAIZ	BUENOS AIRES	LEANDRO N ALEM	2007/08	15.490	14.490	127.510	8.800
MAIZ	BUENOS AIRES	LEANDRO N ALEM	2008/09	14.000	12.050	78.570	6.520
MAIZ	BUENOS AIRES	LEANDRO N ALEM	2009/10	14.000	13.000	143.000	11.000
MAIZ	BUENOS AIRES	LEANDRO N ALEM	2010/11	16.100	15.100	131.280	8.694
MAIZ	BUENOS AIRES	LEANDRO N ALEM	2011/12	34.900	30.890	157.540	5.100
MAIZ	BUENOS AIRES	LEANDRO N ALEM	2012/13	31.800	28.600	254.540	8.900
MAIZ	BUENOS AIRES	LEANDRO N ALEM	2013/14	22.000	19.400	194.000	10.000



UNLZ - Facultad de Ingeniería
Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

MAIZ	BUENOS AIRES	LEANDRO N ALEM	2014/15	22.000	19.500	200.850	10.300
MAIZ	BUENOS AIRES	PERGAMINO	2003/04	17.500	17.250	153.530	8.900
MAIZ	BUENOS AIRES	PERGAMINO	2004/05	18.300	17.950	165.140	9.200
MAIZ	BUENOS AIRES	PERGAMINO	2005/06	17.450	15.600	117.000	7.500
MAIZ	BUENOS AIRES	PERGAMINO	2006/07	18.600	18.150	177.870	9.800
MAIZ	BUENOS AIRES	PERGAMINO	2007/08	20.500	20.100	190.950	9.500
MAIZ	BUENOS AIRES	PERGAMINO	2008/09	15.150	14.300	95.810	6.700
MAIZ	BUENOS AIRES	PERGAMINO	2009/10	12.500	12.100	135.520	11.200
MAIZ	BUENOS AIRES	PERGAMINO	2010/11	12.900	12.600	91.290	7.245
MAIZ	BUENOS AIRES	PERGAMINO	2011/12	13.800	13.450	86.080	6.400
MAIZ	BUENOS AIRES	PERGAMINO	2012/13	11.800	11.550	116.660	10.100
MAIZ	BUENOS AIRES	PERGAMINO	2013/14	12.850	12.650	113.850	9.000
MAIZ	BUENOS AIRES	PERGAMINO	2014/15	28.000	27.800	291.900	10.500
MAIZ	BUENOS AIRES	ROJAS	2003/04	18.800	18.800	157.920	8.400
MAIZ	BUENOS AIRES	ROJAS	2004/05	22.000	22.000	198.000	9.000
MAIZ	BUENOS AIRES	ROJAS	2005/06	18.000	16.800	109.200	6.500
MAIZ	BUENOS AIRES	ROJAS	2006/07	19.800	18.900	189.000	10.000
MAIZ	BUENOS AIRES	ROJAS	2007/08	23.400	22.400	201.600	9.000
MAIZ	BUENOS AIRES	ROJAS	2008/09	19.000	17.500	103.250	5.900
MAIZ	BUENOS AIRES	ROJAS	2009/10	16.000	15.000	165.000	11.000
MAIZ	BUENOS AIRES	ROJAS	2010/11	20.000	18.600	182.890	9.833
MAIZ	BUENOS AIRES	ROJAS	2011/12	23.000	19.000	125.400	6.600
MAIZ	BUENOS AIRES	ROJAS	2012/13	18.500	14.000	140.000	10.000
MAIZ	BUENOS AIRES	ROJAS	2013/14	19.000	14.300	143.000	10.000
MAIZ	BUENOS AIRES	ROJAS	2014/15	18.000	12.500	135.000	10.800
MAIZ	BUENOS AIRES	SALTO	2003/04	15.900	15.550	139.950	9.000
MAIZ	BUENOS AIRES	SALTO	2004/05	16.400	16.000	148.800	9.300
MAIZ	BUENOS AIRES	SALTO	2005/06	15.200	14.000	106.400	7.600
MAIZ	BUENOS AIRES	SALTO	2006/07	16.100	15.750	157.500	10.000
MAIZ	BUENOS AIRES	SALTO	2007/08	18.200	17.800	167.320	9.400
MAIZ	BUENOS AIRES	SALTO	2008/09	13.200	12.550	81.580	6.500
MAIZ	BUENOS AIRES	SALTO	2009/10	10.650	10.250	117.880	11.500
MAIZ	BUENOS AIRES	SALTO	2010/11	11.200	11.000	79.700	7.245
MAIZ	BUENOS AIRES	SALTO	2011/12	12.100	11.750	75.200	6.400
MAIZ	BUENOS AIRES	SALTO	2012/13	10.450	10.250	104.550	10.200
MAIZ	BUENOS AIRES	SALTO	2013/14	11.500	11.350	104.420	9.200
MAIZ	BUENOS AIRES	SALTO	2014/15	15.000	14.850	155.925	10.500

Fuente: Datos de la Dirección de Información Agrícola y Forestal.



UNLZ - Facultad de Ingeniería
 Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
 Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

Anexo VII - Valores de Tn/km



CONFEDERACIÓN ARGENTINA
DEL TRANSPORTE DE CARGAS



Centro de Estudios de Movilidad Sustentable

1	\$ 69,98	51	\$ 133,78	101	\$ 193,89	151	\$ 249,56	201	\$ 302,23
2	\$ 69,98	52	\$ 134,95	102	\$ 195,08	152	\$ 251,22	202	\$ 303,48
3	\$ 69,98	53	\$ 136,11	103	\$ 196,27	153	\$ 252,86	203	\$ 304,74
4	\$ 69,98	54	\$ 137,27	104	\$ 197,46	154	\$ 254,51	204	\$ 305,99
5	\$ 69,98	55	\$ 138,43	105	\$ 198,64	155	\$ 256,17	205	\$ 307,23
6	\$ 69,98	56	\$ 139,65	106	\$ 199,81	156	\$ 257,83	206	\$ 308,48
7	\$ 69,98	57	\$ 140,84	107	\$ 201,00	157	\$ 259,47	207	\$ 309,72
8	\$ 69,98	58	\$ 142,05	108	\$ 202,18	158	\$ 261,13	208	\$ 310,97
9	\$ 69,98	59	\$ 143,27	109	\$ 203,37	159	\$ 262,78	209	\$ 312,21
10	\$ 69,98	60	\$ 144,49	110	\$ 204,54	160	\$ 264,44	210	\$ 313,46
11	\$ 71,44	61	\$ 145,79	111	\$ 205,67	161	\$ 266,08	211	\$ 314,73
12	\$ 72,88	62	\$ 147,09	112	\$ 206,80	162	\$ 267,74	212	\$ 315,97
13	\$ 74,35	63	\$ 148,36	113	\$ 207,94	163	\$ 269,40	213	\$ 317,22
14	\$ 75,81	64	\$ 149,66	114	\$ 209,07	164	\$ 271,05	214	\$ 318,46
15	\$ 77,28	65	\$ 150,96	115	\$ 210,21	165	\$ 272,69	215	\$ 319,73
16	\$ 78,85	66	\$ 152,23	116	\$ 211,34	166	\$ 274,35	216	\$ 320,95
17	\$ 80,43	67	\$ 153,51	117	\$ 212,47	167	\$ 276,01	217	\$ 322,20
18	\$ 82,04	68	\$ 154,75	118	\$ 213,61	168	\$ 277,67	218	\$ 323,44
19	\$ 83,61	69	\$ 156,02	119	\$ 214,74	169	\$ 279,30	219	\$ 324,71
20	\$ 85,19	70	\$ 157,29	120	\$ 215,88	170	\$ 280,96	220	\$ 325,96
21	\$ 86,77	71	\$ 158,46	121	\$ 217,67	171	\$ 282,62	221	\$ 327,20
22	\$ 88,31	72	\$ 159,62	122	\$ 219,47	172	\$ 284,28	222	\$ 328,45
23	\$ 89,86	73	\$ 160,75	123	\$ 221,27	173	\$ 285,91	223	\$ 329,69
24	\$ 91,44	74	\$ 161,91	124	\$ 223,09	174	\$ 287,57	224	\$ 330,94
25	\$ 92,99	75	\$ 163,08	125	\$ 224,89	175	\$ 289,23	225	\$ 332,18
26	\$ 94,62	76	\$ 164,26	126	\$ 225,81	176	\$ 289,70	226	\$ 333,34
27	\$ 96,25	77	\$ 165,45	127	\$ 226,72	177	\$ 290,17	227	\$ 334,50
28	\$ 97,91	78	\$ 166,64	128	\$ 227,63	178	\$ 290,64	228	\$ 335,67
29	\$ 99,54	79	\$ 167,83	129	\$ 228,57	179	\$ 291,11	229	\$ 336,83
30	\$ 101,18	80	\$ 169,02	130	\$ 229,48	180	\$ 291,58	230	\$ 337,96
31	\$ 102,70	81	\$ 170,24	131	\$ 230,40	181	\$ 292,05	231	\$ 339,12
32	\$ 104,19	82	\$ 171,43	132	\$ 231,32	182	\$ 292,52	232	\$ 340,28
33	\$ 105,71	83	\$ 172,65	133	\$ 232,25	183	\$ 292,99	233	\$ 341,45
34	\$ 107,20	84	\$ 173,86	134	\$ 233,16	184	\$ 293,46	234	\$ 342,61
35	\$ 108,73	85	\$ 175,05	135	\$ 234,10	185	\$ 293,93	235	\$ 343,77
36	\$ 110,30	86	\$ 176,27	136	\$ 235,02	186	\$ 294,40	236	\$ 344,90
37	\$ 111,85	87	\$ 177,49	137	\$ 235,93	187	\$ 294,87	237	\$ 346,07
38	\$ 113,43	88	\$ 178,70	138	\$ 236,84	188	\$ 295,34	238	\$ 347,23
39	\$ 115,00	89	\$ 179,92	139	\$ 237,78	189	\$ 295,81	239	\$ 348,39
40	\$ 116,58	90	\$ 181,14	140	\$ 238,69	190	\$ 296,28	240	\$ 349,55
41	\$ 118,21	91	\$ 182,30	141	\$ 239,61	191	\$ 296,75	241	\$ 350,71
42	\$ 119,87	92	\$ 183,46	142	\$ 240,55	192	\$ 297,22	242	\$ 351,85
43	\$ 121,53	93	\$ 184,62	143	\$ 241,46	193	\$ 297,69	243	\$ 353,01
44	\$ 123,19	94	\$ 185,78	144	\$ 242,37	194	\$ 298,16	244	\$ 354,17
45	\$ 124,85	95	\$ 186,94	145	\$ 243,31	195	\$ 298,63	245	\$ 355,33
46	\$ 126,40	96	\$ 188,08	146	\$ 244,23	196	\$ 299,10	246	\$ 356,49
47	\$ 127,95	97	\$ 189,24	147	\$ 245,14	197	\$ 299,57	247	\$ 357,65
48	\$ 129,50	98	\$ 190,40	148	\$ 246,05	198	\$ 300,04	248	\$ 358,82
49	\$ 131,07	99	\$ 191,56	149	\$ 246,99	199	\$ 300,51	249	\$ 359,95
50	\$ 132,62	100	\$ 192,73	150	\$ 247,90	200	\$ 300,98	250	\$ 361,11

Fuente: Tarifas CATAAC.



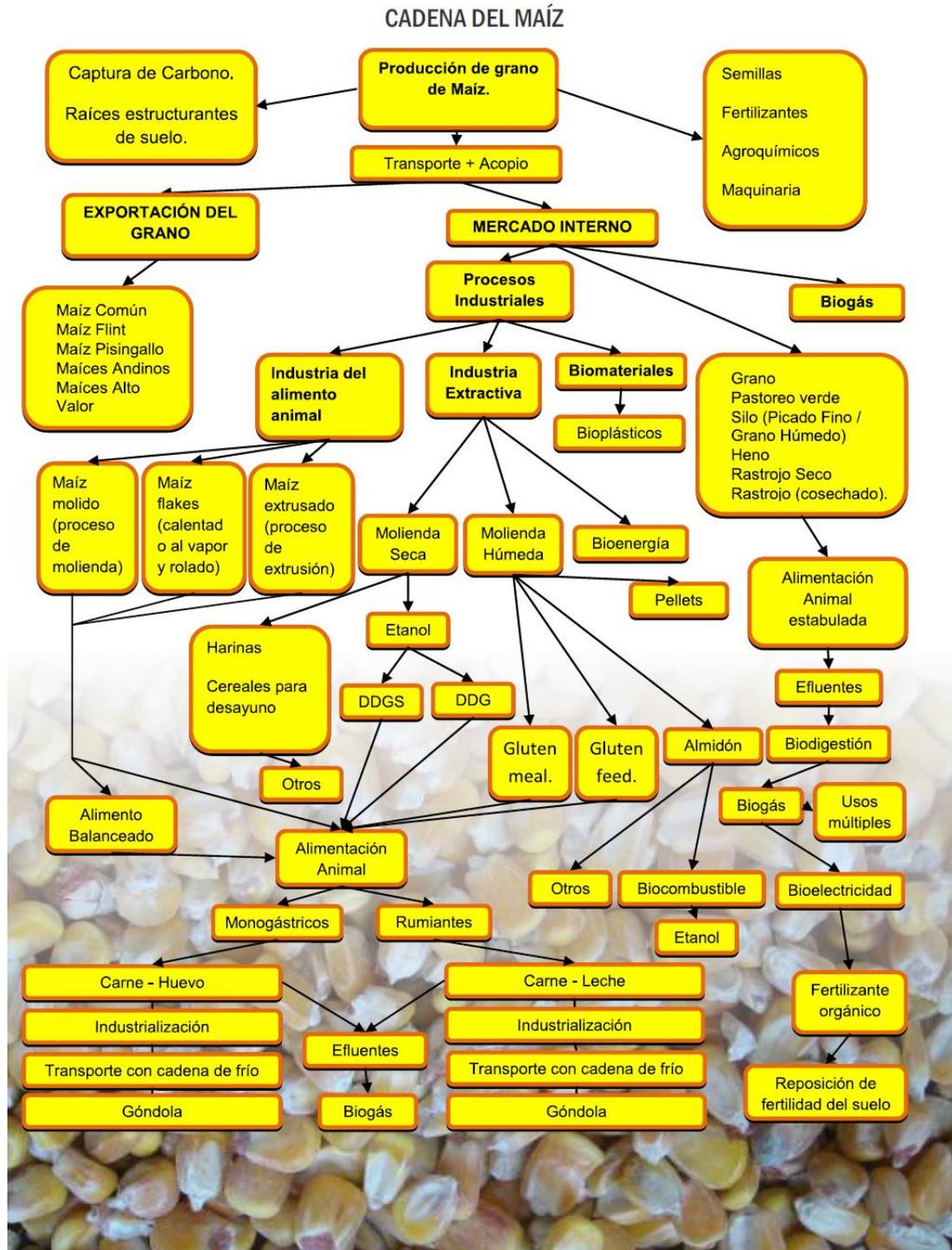
Anexo VIII - Índice de Cosecha

Valores desde el año 1991 al 2014; conforman 3511 datos. Dado que son muy extensivos, sólo se muestran los datos del año inicial y el año final.

Año	Índice de Cosecha						
1991	0.51	1991	0.45	2014	0.61	2014	0.65
1991	0.54	1991	0.45	2014	0.66	2014	0.6
1991	0.56	1991	0.55	2014	0.63	2014	0.63
1991	0.53	1991	0.59	2014	0.61	2014	0.55
1991	0.54	1991	0.49	2014	0.6	2014	0.56
1991	0.57	1991	0.5	2014	0.69	2014	0.51
1991	0.56	1991	0.58	2014	0.68	2014	0.51
1991	0.51	1991	0.44	2014	0.62	2014	0.54
1991	0.52	1991	0.56	2014	0.64	2014	0.63
1991	0.56	1991	0.53	2014	0.62	2014	0.59
1991	0.48	1991	0.5	2014	0.59	2014	0.6
1991	0.55	1991	0.55	2014	0.63	2014	0.53
1991	0.51	1991	0.53	2014	0.61	2014	0.53
1991	0.51	1991	0.55	2014	0.63	2014	0.57
1991	0.48	1991	0.53	2014	0.61	2014	0.58
1991	0.58	1991	0.51	2014	0.66	2014	0.58
1991	0.48	1991	0.54	2014	0.63	2014	0.47
1991	0.55	1991	0.51	2014	0.49	2014	0.55
1991	0.54	1991	0.48	2014	0.6	2014	0.63
1991	0.52	1991	0.55	2014	0.64	2014	0.64
1991	0.54	1991	0.53	2014	0.59	2014	0.54
1991	0.54	1991	0.48	2014	0.6	2014	0.51
1991	0.56	1991	0.51	2014	0.59	2014	0.59
1991	0.53	1991	0.57	2014	0.66	2014	0.6
				2014	0.63	2014	0.57
				2014	0.61	2014	0.57

Fuente: Facultad de Ciencias Agrarias-UNLZ.

Anexo IX - Cadena de Valor del Maíz



Fuente: Maíz-Cadena de valor agregado. Proyecto Eficiencia de Cosecha y Postcosecha de Granos (PRECOP II). INTA.



Anexo X - Precio del Maíz-Precio del Etanol-Precio de la Gasolina

Fecha	Precio del Maíz Equivalencia US\$/kg	Precio del Etanol Equivalencia a US\$/Lts	Gasolina US\$/lt	Precio del maíz por litro de Etanol US\$/lt	Fecha	Precio del Maíz Equivalencia US\$/kg	Precio del Etanol Equivalencia a US\$/Lts	Gasolina US\$/lt	Precio del maíz por litro de Etanol US\$/lt	Fecha	Precio del Maíz Equivalencia US\$/kg	Precio del Etanol Equivalencia a US\$/Lts	Gasolina US\$/lt	Precio del maíz por litro de Etanol US\$/lt
ene-10	0.14	0.52	0.56	0.36	ene-12	0.24	0.58	0.71	0.59	Jan-14	0.17	0.55	0.72	0.43
feb-10	0.14	0.48	0.54	0.35	feb-12	0.25	0.58	0.79	0.61	Feb-14	0.17	0.53	0.74	0.43
mar-10	0.14	0.45	0.59	0.35	mar-12	0.25	0.60	0.86	0.62	Mar-14	0.18	0.71	0.78	0.44
abr-10	0.13	0.42	0.61	0.33	abr-12	0.25	0.60	0.83	0.62	Apr-14	0.19	0.83	0.78	0.46
may-10	0.14	0.44	0.57	0.34	may-12	0.25	0.59	0.78	0.62	May-14	0.19	0.64	0.76	0.46
jun-10	0.13	0.43	0.56	0.33	jun-12	0.25	0.56	0.75	0.62	Jun-14	0.18	0.62	0.78	0.44
jul-10	0.14	0.43	0.56	0.34	jul-12	0.28	0.67	0.76	0.70	Jul-14	0.16	0.60	0.74	0.40
ago-10	0.14	0.49	0.55	0.36	ago-12	0.30	0.72	0.76	0.75	Aug-14	0.14	0.59	0.73	0.36
sep-10	0.16	0.58	0.56	0.40	sep-12	0.27	0.67	0.76	0.67	Sep-14	0.14	0.58	0.71	0.34
oct-10	0.17	0.62	0.58	0.42	oct-12	0.27	0.66	0.76	0.66	Oct-14	0.14	0.51	0.65	0.35
nov-10	0.18	0.65	0.58	0.45	nov-12	0.28	0.64	0.76	0.69	Nov-14	0.14	0.63	0.59	0.35
dic-10	0.19	0.60	0.64	0.47	dic-12	0.27	0.63	0.76	0.67	Dec-14	0.15	0.63	0.46	0.37
ene-11	0.19	0.63	0.68	0.48	ene-13	0.27	0.61	0.70	0.68	Jan-15	0.15	0.42	0.38	0.37
feb-11	0.22	0.64	0.70	0.55	feb-13	0.28	0.65	0.83	0.69	Feb-15	0.15	0.40	0.46	0.37
mar-11	0.22	0.68	0.79	0.54	mar-13	0.28	0.67	0.81	0.70	Mar-15	0.15	0.40	0.51	0.37
abr-11	0.25	0.72	0.86	0.62	abr-13	0.27	0.67	0.76	0.68	Apr-15	0.15	0.44	0.50	0.37
may-11	0.25	0.72	0.86	0.62	may-13	0.27	0.70	0.85	0.68	May-15	0.14	0.45	0.55	0.35
jun-11	0.25	0.73	0.78	0.62	jun-13	0.27	0.71	0.77	0.68	June-15	0.14	0.43	0.60	0.35
jul-11	0.25	0.77	0.82	0.62	jul-13	0.27	0.68	0.79	0.66	Jul-15	0.15	0.44	0.60	0.37
ago-11	0.27	0.78	0.78	0.67	ago-13	0.24	0.65	0.80	0.59	Aug-15	0.14	0.43	0.60	0.36
sep-11	0.25	0.76	0.77	0.62	Sep-13	0.21	0.68	0.77	0.53	Sep-15	0.14	0.43	0.49	0.36
oct-11	0.22	0.72	0.75	0.56	Oct-13	0.18	0.57	0.74	0.45	Oct-15	0.14	0.44	0.50	0.36
nov-11	0.23	0.76	0.71	0.57	Nov-13	0.17	0.58	0.69	0.43	Nov-15	0.14	0.41	0.40	0.35
dic-11	0.23	0.66	0.69	0.57	Dec-13	0.17	0.64	0.68	0.42	Dec-15	0.14	0.40	0.36	0.36

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los datos del National Agricultural Statistics Service, Quick Stats Database.



Anexo XI - Comparación mensual entre la tasa de variación en el precio del Petróleo crudo Brent vs la tasa de cambio en el precio del Maíz

Mes	Petróleo crudo Brent Price (Dólares americanos por barril)	Maíz Price (Dólares americanos por tonelada métrica)	Petróleo crudo Brent ROC	Maíz ROC	Petróleo crudo Brent / Maíz Price Ratio
ene. 2006	63.57	102,70	-	-	0,6190
feb. 2006	59.92	106,92	-5,74 %	4,11 %	0,5604
mar. 2006	62.25	104,89	3,89 %	-1,90 %	0,5935
abr. 2006	70.44	107,82	13,16 %	2,79 %	0,6533
may. 2006	70.19	110,57	-0,35 %	2,55 %	0,6348
jun. 2006	68.86	109,55	-1,89 %	-0,92 %	0,6286
jul. 2006	73.9	114,24	7,32 %	4,28 %	0,6469
ago. 2006	73.61	115,21	-0,39 %	0,85 %	0,6389
sep. 2006	62.77	120,26	-14,73 %	4,38 %	0,5220
oct. 2006	58.38	142,17	-6,99 %	18,22 %	0,4106
nov. 2006	58.48	164,08	0,17 %	15,41 %	0,3564
dic. 2006	62.31	160,66	6,55 %	-2,08 %	0,3878
ene. 2007	54.3	165,10	-12,86 %	2,76 %	0,3289
feb. 2007	57.76	177,35	6,37 %	7,42 %	0,3257
mar. 2007	62.14	169,52	7,58 %	-4,41 %	0,3666
abr. 2007	67.4	152,58	8,46 %	-9,99 %	0,4417
may. 2007	67.48	156,44	0,12 %	2,53 %	0,4313
jun. 2007	71.32	164,50	5,69 %	5,15 %	0,4336
jul. 2007	77.2	147,13	8,24 %	-10,30 %	0,5247
ago. 2007	70.8	151,01	-8,29 %	2,64 %	0,4688
sep. 2007	77.13	160,05	8,94 %	5,99 %	0,4819
oct. 2007	83.04	164,09	7,66 %	2,52 %	0,5061
nov. 2007	92.53	171,06	11,43 %	4,25 %	0,5409
dic. 2007	91.45	180,25	-1,17 %	5,37 %	0,5074
ene. 2008	91.92	206,53	0,51 %	14,58 %	0,4451
feb. 2008	94.82	219,95	3,15 %	6,50 %	0,4311
mar. 2008	103.28	233,85	8,92 %	6,32 %	0,4417
abr. 2008	110.44	246,67	6,93 %	5,48 %	0,4477
may. 2008	123.94	243,46	12,22 %	-1,30 %	0,5091
jun. 2008	133.05	287,11	7,35 %	17,93 %	0,4634
jul. 2008	133.9	266,94	0,64 %	-7,03 %	0,5016
ago. 2008	113.85	235,16	-14,97 %	-11,91 %	0,4841
sep. 2008	99.06	233,91	-12,99 %	-0,53 %	0,4235
oct. 2008	72.84	182,96	-26,47 %	-21,78 %	0,3981
nov. 2008	53.24	164,27	-26,91 %	-10,22 %	0,3241
dic. 2008	41.58	158,16	-21,90 %	-3,72 %	0,2629
ene. 2009	44.86	173,24	7,89 %	9,53 %	0,2589
feb. 2009	43.24	163,13	-3,61 %	-5,84 %	0,2651
mar. 2009	46.84	164,52	8,33 %	0,85 %	0,2847
abr. 2009	50.85	168,72	8,56 %	2,55 %	0,3014
may. 2009	57.94	180,31	13,94 %	6,87 %	0,3213
jun. 2009	68.59	178,83	18,38 %	-0,82 %	0,3835
jul. 2009	64.92	151,76	-5,35 %	-13,14 %	0,4278
ago. 2009	72.5	152,01	11,68 %	0,16 %	0,4769
sep. 2009	67.69	150,57	-6,63 %	-0,95 %	0,4496
oct. 2009	73.19	167,22	8,13 %	11,06 %	0,4377
nov. 2009	77.04	171,61	5,26 %	2,63 %	0,4489
dic. 2009	74.67	164,58	-3,08 %	-4,10 %	0,4537
ene. 2010	76.37	167,21	2,28 %	1,60 %	0,4567
feb. 2010	74.31	161,63	-2,70 %	-3,34 %	0,4598
mar. 2010	79.27	159,01	6,67 %	-1,62 %	0,4985
abr. 2010	84.93	157,66	7,14 %	-0,85 %	0,5387
may. 2010	76.25	163,77	-10,22 %	3,88 %	0,4656
jun. 2010	74.84	152,87	-1,85 %	-6,66 %	0,4896
jul. 2010	74.74	163,92	-0,13 %	7,23 %	0,4560
ago. 2010	76.69	175,60	2,61 %	7,13 %	0,4367
sep. 2010	77.79	205,84	1,43 %	17,22 %	0,3779
oct. 2010	82.92	235,70	6,59 %	14,51 %	0,3518
nov. 2010	85.67	238,24	3,32 %	1,08 %	0,3596
dic. 2010	91.8	250,63	7,16 %	5,20 %	0,3663
ene. 2011	96.29	265,29	4,89 %	5,85 %	0,3630
feb. 2011	103.96	293,40	7,97 %	10,60 %	0,3543
mar. 2011	114.44	290,36	10,08 %	-1,04 %	0,3941
abr. 2011	123.15	318,70	7,61 %	9,76 %	0,3864
may. 2011	114.46	308,47	-7,06 %	-3,21 %	0,3711
jun. 2011	113.76	310,46	-0,61 %	0,65 %	0,3664
jul. 2011	116.46	300,80	2,37 %	-3,11 %	0,3872
ago. 2011	110.08	310,24	-5,48 %	3,14 %	0,3548
sep. 2011	110.88	296,21	0,73 %	-4,52 %	0,3743
oct. 2011	109.47	274,78	-1,27 %	-7,23 %	0,3984
nov. 2011	110.5	274,23	0,94 %	-0,20 %	0,4029
dic. 2011	107.97	258,44	-2,29 %	-5,76 %	0,4178
ene. 2012	110.99	272,85	2,80 %	5,58 %	0,4068
feb. 2012	119.7	279,46	7,85 %	2,42 %	0,4283
mar. 2012	124.93	280,66	4,37 %	0,43 %	0,4451
abr. 2012	120.59	274,21	-3,47 %	-2,30 %	0,4398
may. 2012	110.52	268,79	-8,35 %	-1,98 %	0,4112
jun. 2012	95.59	267,23	-13,51 %	-0,58 %	0,3577
jul. 2012	103.14	332,95	7,90 %	24,59 %	0,3098
ago. 2012	113.34	332,17	9,89 %	-0,23 %	0,3412
sep. 2012	113.38	320,72	0,04 %	-3,45 %	0,3535
oct. 2012	111.97	321,63	-1,24 %	0,28 %	0,3481
nov. 2012	109.71	321,54	-2,02 %	-0,03 %	0,3412
dic. 2012	109.64	308,72	-0,06 %	-3,99 %	0,3551
ene. 2013	112.93	303,29	3,00 %	-1,76 %	0,3723
feb. 2013	116.46	302,50	3,13 %	-0,26 %	0,3850
mar. 2013	109.24	309,49	-6,20 %	2,31 %	0,3530
abr. 2013	102.88	280,27	-5,82 %	-9,44 %	0,3671
may. 2013	103.03	295,29	0,15 %	5,36 %	0,3489
jun. 2013	103.11	297,06	0,08 %	0,60 %	0,3471
jul. 2013	107.72	278,93	4,47 %	-6,10 %	0,3862
ago. 2013	110.96	234,89	3,01 %	-13,79 %	0,4724
sep. 2013	111.62	207,41	0,59 %	-17,70 %	0,5382
oct. 2013	109.48	201,73	-1,92 %	-2,74 %	0,5427
nov. 2013	108.08	199,14	-1,28 %	-1,28 %	0,5427
dic. 2013	110.63	197,50	2,36 %	-0,82 %	0,5602
ene. 2014	107.57	198,72	-2,77 %	0,62 %	0,5413
feb. 2014	108.81	209,32	1,15 %	5,33 %	0,5198
mar. 2014	107.41	222,33	-1,29 %	6,22 %	0,4831
abr. 2014	107.88	222,36	0,44 %	0,01 %	0,4852
may. 2014	109.68	216,92	1,67 %	-2,45 %	0,5056
jun. 2014	111.87	202,56	2,00 %	-6,62 %	0,5523
jul. 2014	106.98	182,23	-4,37 %	-10,04 %	0,5871
ago. 2014	101.92	176,43	-4,73 %	-3,18 %	0,5777
sep. 2014	97.34	163,06	-4,49 %	-7,58 %	0,5970
oct. 2014	87.27	163,31	-10,35 %	0,15 %	0,5344
nov. 2014	78.44	178,67	-10,12 %	9,41 %	0,4390
dic. 2014	62.16	178,67	-20,75 %	0,00 %	0,3479
ene. 2015	48.42	174,71	-22,10 %	-2,22 %	0,2771
feb. 2015	57.93	173,70	19,64 %	-0,58 %	0,3335
mar. 2015	55.79	174,23	-3,69 %	0,31 %	0,3202
abr. 2015	59.39	172,05	6,45 %	-1,25 %	0,3452
may. 2015	64.56	166,30	8,71 %	-3,34 %	0,3882
jun. 2015	62.35	166,72	-3,42 %	0,25 %	0,3740
jul. 2015	55.87	179,60	-10,39 %	7,73 %	0,3111
ago. 2015	46.99	162,74	-15,89 %	-9,39 %	0,2887
sep. 2015	47.23	166,01	0,51 %	2,01 %	0,2845
oct. 2015	48.12	171,39	1,88 %	3,24 %	0,2808
nov. 2015	44.42	166,03	-7,69 %	-3,13 %	0,2675
dic. 2015	37.72	163,95	-15,08 %	-1,25 %	0,2301

Fuente: Index Mundi.



Anexo XII - Muestra de 100.000 valores aleatorios obtenidos en la simulación Montecarlo

Como la simulación de Montecarlo es muy amplia, a continuación sólo se presenta una muestra de 100.000 valores aleatorios obtenidos:

Petróleo crudo Brent Price (Dólares americanos por barril)	Maíz Price (Dólares americanos por tonelada métrica)	Petróleo crudo Brent / Maíz Price Ratio	Petróleo crudo Brent Price (Dólares americanos por barril)	Maíz Price (Dólares americanos por tonelada métrica)	Petróleo crudo Brent / Maíz Price Ratio	Petróleo crudo Brent Price (Dólares americanos por barril)	Maíz Price (Dólares americanos por tonelada métrica)	Petróleo crudo Brent / Maíz Price Ratio
110.327	169.149	0.65225	121.63	186.424	0.65244	64.613	143.14	0.4514
128.157	197.234	0.64977	99.216	172.997	0.57351	133.002	280.91	0.47347
112.298	177.889	0.63128	114.076	201.761	0.5654	101.582	187.985	0.54037
84.917	119.065	0.7132	111.362	263.131	0.42322	117.631	155.956	0.75426
93.218	139.101	0.67014	66.885	212.034	0.31544	108.267	207.438	0.52193
122.464	173.8	0.70463	96.467	220.599	0.4373	89.536	198.672	0.45067
77.142	170.464	0.45254	79.054	253.118	0.31232	107.537	135.241	0.79515
81.605	167.532	0.4871	112.888	238.338	0.47364	75.039	207.957	0.36084
124.784	194.619	0.64117	95.994	237.448	0.40427	95.8	147.385	0.65
108.554	271.982	0.39912	107.629	185.5	0.58021	90.966	229.852	0.39576
85.043	162.312	0.52395	52.711	166.887	0.31585	113.867	208.542	0.54602
92.149	179.162	0.51433	68.065	131.785	0.51649	86.459	173.182	0.49924
73.8	305.325	0.24171	99.845	172.822	0.57773	101.095	220.385	0.45872
49.764	236.868	0.21009	99.453	141.66	0.70205	59.934	322.54	0.18582
69.727	232.711	0.29963	85.914	209.193	0.41069	101.422	173.394	0.58492
122.807	209.136	0.58721	112.902	262.38	0.4303	91.656	208.406	0.4398
111.359	250.267	0.44496	78.33	159.154	0.49216	66.861	210.443	0.31772
63.729	140.462	0.45371	115.521	265.718	0.43475	72.153	204.953	0.35204
92.143	134.352	0.68583	79.376	280.533	0.28295	100.112	171.412	0.58404
119.557	228.926	0.52225	117.112	166.31	0.70418	120.064	191.093	0.6283
85.892	299.238	0.28704	49.881	177.997	0.28024	100.679	243.722	0.41309
109.098	189.271	0.57641	121.126	265.052	0.45699	110.072	175.769	0.62623
121.961	218.44	0.55833	99.628	172.964	0.576	93.285	259.068	0.36008
123.481	277.817	0.44447	118.606	147.341	0.80497	93.671	271.633	0.34484
115.128	160.286	0.71826	94.589	257.924	0.36673	90.009	283.581	0.3174
80.909	227.09	0.35628	106.467	244.457	0.43552	83.041	247.28	0.33582

Fuente: Datos obtenidos de la simulación Montecarlo.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABENGOA BIOENERGÍA. 2011. Informe Anual 2011.

Disponible en: <http://www.abengoabioenergy.com/web/es/index.html>

ABRIL, A.; NAVARRO, E. A. 2012. *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica*. Sevilla, España: Aleta Ediciones.

Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/241216642_Etanol_a_partir_de_biomasa_lignocelulosica

ALMADA, M. 2011. *Estado del Arte y Novedades de la Bioenergía en Argentina*. Argentina: FAO.

Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/as423s/as423s.pdf>

ALMÓN, G. E. P.; MUÑOZ, J. M.; DÁVILA, E. O. A. 2015. Aplicación de modelos mediante simulación para la comprensión de propiedades de materiales en la educación superior. TECTZAPIC.

APPENZELLER, L.; DOBLIN, M.; BARREIRO, R. [et al.]. 2004. Cellulose synthesis in maize: Isolation and expression analysis of the cellulose synthase (CesA) gene family. *Cellulose* 11:287–299.

AROCA, G. 2009. Estado del Arte de la Producción de Etanol LC. *Seminario Internacional "Impacto de la Producción de Biocombustibles"*, 15-17 de abril, 2009. Itajubá, SP, Brasil: Red Temática CYTED BIALEMA.

Disponible en:

http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/novidades/seminario_internacional_2009/files/Bioetanol_LC_CYTED.pdf

ARZUBI, A.; CALONGE P. 2009. Evaluación económica de rotaciones agrícolas. Comparación con el monocultivo de soja. *XV Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria*. Octubre 8 y 9, 2009. Bahía Blanca, Argentina.

ASCHER, M. [et al.] (coords.). 2010. *América Latina y el Caribe. Mapeo político-institucional y análisis de la competencia entre producción de alimentos y bioenergía*. San José, Costa Rica: IICA. ISBN13: 978-92-9248-252-7.

Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/B1683e/B1683e.pdf>

BALANCE ENERGÉTICO. Metodología BEN.

Disponible en:



http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/contenidos_didacticos/BalanceEnergeticoMetodologia_BEN.pdf

BALLESTEROS PERDICES, M. 2006. Carburantes sin petróleo: Bioetanol. *Revista Investigación y Ciencia*, nov. 06, pp. 78-85.

BANCO MUNDIAL. Argentina: Datos Energía y Minería.

Disponible en:

http://datos.bancomundial.org/tema/energia-y-mineria?cid=EXT_BoletinES_W_EXT

_____. Energía: Panorama general.

Disponible en: <http://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview>

BARBERIS, N.; SÁNCHEZ, C. 2013. Informe de cultivo de sorgo: evolución y perspectivas. Un análisis de las estadísticas. Cartilla Digital Manfredi. ISSN Online 1851-7994. Estación Experimental Agropecuaria Manfredi: INTA EEA.

Disponible en: www.inta.gov.ar

BERTOIA L. M. 2002. Análisis de la interacción genotipo-ambiental de la aptitud forrajera en maíz (*Zea mays* L.). Tesis de titulación (Doctor en Ciencias Agrarias). Buenos Aires: Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.

Disponible en:

<http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/18154/tesis+de+doctorado+Luis+Bertoia.pdf;jsessionid=C8390901FB325555A80BF8EDFDFDD8B2?sequence=1>

BURASCHI, M. 2014. *Biocombustibles argentinos: ¿oportunidad o amenaza? La exportación de biocombustibles y sus implicancias políticas, económicas y sociales. El caso argentino*, Córdoba, Argentina: Edit. CEA Colección Tesis.

Disponible en: http://209.177.156.169/libreria_cm/archivos/pdf_1176.pdf

CÁMARA ARGENTINA DE ENERGÍAS RENOVABLES. 2012/2013. 4ta Edición.

Disponible en: www.cader.org.ar

CARDONA, C.; SÁNCHEZ, O.; MONTROYA, M. I [et al.]. 2005. Simulación de los Procesos de obtención de Etanol a Partir de Caña de Azúcar y Maíz. *Scientia et Technica*. Año XI, No 28. ISSN 0122-1701 187.

Disponible en:

<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6859/4011>



- CASAS, R. 2003. La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Disertación. Dpto. de Suelos. Castelar: INTA.
- CASTILLO-VÁZQUEZ, N.; SIQUEIROS CENDÓN, T.; RASCÓN-CRUZ, Q. 2011. Biocombustibles: Estrategias limpias para combatir la crisis energética. *Revista Tecnociencia*. México, Vol. V, N°2.
Disponible en:
http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v5n2/data/Biocombustibles_estrategias_limpias_para_combatir_la_crisis_energetica.pdf
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). 2014. *Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de la República Argentina*, Santiago de Chile: Naciones Unidas.
Disponible en:
http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37142/S1420670_es.pdf?sequence=4
- CONFEDERACIÓN ARGENTINA DEL TRANSPORTE AUTOMOTOR DE CARGAS – CATAAC. Argentina.
Disponible en: <http://www.cataac.org.ar/tarifas.aspx>
- CORDONE, G.; MARTÍNEZ, F. s/f. Nuevos indicadores para caracterizar modelos productivos predominantes en el Centro Sur de Santa Fe. AER Casilda: INTA.
- CUERVO, L.; FOLCH, J. L.; QUIROZ, R. E. 2009. Lignocelulosa como fuente de azúcares para la producción de etanol. Centro de Investigación en Biotecnología, Vol 13, N°3, UAEM. Instituto de Biotecnología. México: UNAM.
Disponible en:
http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_2009_3/Lignocelulosa.pdf
- DATOS DE LA DIRECCIÓN DE INFORMACIÓN AGRÍCOLA Y FORESTAL, Argentina.
Disponible en: http://www.siiia.gob.ar/sst_pcias/estima/estima.php
- DE DICCO, R. A. 2006. Estudio sobre el agotamiento de las reservas hidrocarburíferas de Argentina, período 1980-2005. Buenos Aires: IDICSO (Universidad del Salvador).
Disponible en: <http://www.usal.edu.ar/archivos/csoc/docs/idicso-sdti038.pdf>
- DHUGGAK, S. 2007. Maize biomass yield and composition for biofuels. *Crop Sci.* 47: 2211-2227.



DI PAOLA, M. M. 2013. La producción de biocombustibles en Argentina. Informe Ambiental Anual, Organización no Gubernamental FARN.

Disponible en:

<http://www.farn.org.ar/wp-content/uploads/2014/07/La-producci%C3%B3n-de-biocombustibles-en-Argentina-por-Mar%C3%ADa-Marta-Di-Paola.pdf>

DÍAZ CH, J. O; HERRERA, F. s/f. Producción de etanol combustible a partir de lignocelulosas. Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Cuba.

Disponible en: www.unicauca.edu.co/ai/publicaciones/Fiet_40_Jaime.pdf

DICCIONARIO GLOSARIO DE COMERCIO EXTERIOR. 2016. **Incoterms, International Commerce Terms. Colombia.**

Disponible en: <http://www.businesscol.com/comex/incoterms.htm>

DIEN, B. S.; JUNG, H. J. G.; VOGEL, K. P. [et al.]. 2006. Chemical composition and response to dilute-acid pretreatment and enzymatic saccharification of alfalfa, reed canary grass, and switchgrass. *Biomass & Bioenergy* 30:880-891.

DOWE, N.; McMillan, J. 2008. SSF experimental protocols: lignocellulosic biomass hydrolysis and fermentation. National Renewable Energy Laboratory (NREL) Analytical Procedures 2001.

EIA. U.S. Energy Information Administration. Washington, Estados Unidos.

Disponible en: <http://www.eia.gov/>

ENERGÍAS EFICIENTES Y RENOVABLES DEL GOBIERNO DE LOS ESTADOS UNIDOS.

Disponible en: <http://energy.gov/>

F.O. LICHT. *Congreso F.O. Licht's Ethanol Latin America. December 3-5, 2012.* Piura, Perú.

Disponible en: http://praj.net/p-media/ethanol_latin_america.pdf

FAO. 2015. Estadísticas sobre seguridad alimentaria.

Disponible en: <http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/es/>

_____. s/f. Oferta y demanda de Energía: Tendencias y Perspectivas.

Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0139s/i0139s03.pdf>

GALLAGHER, P. W.; YEE, W. C.; BAUMES, H. S. 2016. 2015 Energy Balance for the Corn-Ethanol Industry.

Disponible en:



<https://www.usda.gov/oce/reports/energy/2015EnergyBalanceCornEthanol.pdf>

GHIDA DAZA, C. 2014. Resultados económicos de maíz. Campaña 2014/15.
Argentina: EEA INTA Marcos Juárez.

Disponible en:

http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_economia_maiz14.pdf

GOLDSTEIN, E.; GUTMAN, G. E. 2010. Biocombustibles y Biotecnología. Contexto internacional, situación en Argentina

Disponible en: <http://www.ceur-conicet.gov.ar/imagenes/biocombustibles2.pdf>

GRAHAM, R. L.; NELSON, R.; SHEEHAN, J. [et al.]. 2007. Current and potential U.S. corn stover supplies. *Agron. Journal* 99:1-11.

GUTMAN, G.; LAVARELLO, P. 2014. Biotecnología industrial en Argentina: estrategias empresariales frente al nuevo paradigma. Buenos Aires: Gran Aldea Editores.

Disponible en: <http://www.ceur-conicet.gov.ar/imagenes/B.pdf>

HARWOOD, J. R.; HEIFNER, K.; COBLE, J. [et al.] 1999. *Managing risk in farming: concepts, research and analysis*. Agricultural Economic Report 744. Economic Research Service: USDA.

ILSI ARGENTINA. 2006. Maíz y Nutrición. Informes Especiales de ILSI Argentina. Volumen II.

Disponible en:

<http://www.ilsa.org.ar/index.php?com=publicaciones&seccion=1>

INDEC. 2015. Biocombustibles. Argentina. ISSN 0327-7968.

Disponible en:

www.indec.gov.ar/uploads/informesdeprensa/biocombustibles_08_15.pdf

INDEX MUNDI. Índices de precios.

Disponible en:

<http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=petroleo-crudo-brent&meses=120&mercancia=maiz>

INSTITUTO ARGENTINO DE LA ENERGÍA “GENERAL MOSCONI”. 2012. Informe de Tendencias del Sector Energético Argentino.

Disponible en: www.iae.org.ar

INTA. 2007. Series de Cuadernos de Desarrollo. Perspectivas de los biocombustibles en Argentina con énfasis en el etanol de base celulósica.



Disponible en: www.inta.gob.ar/

_____. 2012. ¿Por qué Sorgo Para Bioenergía en Argentina? Estación Experimental Agropecuaria Manfredi. Reuniones y Congresos: ISSN on line 1851-4987.

Disponible en: www.inta.gob.ar

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2015. *Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas*, Francia: OCDE/AIE.

Disponible en:

https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyEfficiencyVespagnol_epdf.pdf

_____. s/f. Estadísticas de la AIE. OCDE/AIE.

Disponible en: <http://www.iea.org/statistics/>

JOHNSON J. M. F.; REICOSKY, D.; SHARRATT, B. [et al.]. 2004. Characterization of Soil Amended with the By-Product of Corn Stover Fermentation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:139–147.

LAW, A.; KELTON, W. 2000. *Simulation modeling and analysis*. Mc Graw-Hill.

LÓPEZ, G.; OLIVERIO, G. 2008. Sustentabilidad de la agricultura en la próxima década. Potencial uso de fertilizantes al 2015.

Disponible en:

http://producirconservando.org.ar//intercambio/docs/fert_122_millones.pdf

LYND, L. [et al.]. s/f. El Sevier. *Bioresource Technology*. Consolidated bioprocessing of cellulosic biomass: an update. ISSN: 0960-8524.

Disponible en: www.elsevier.com/locate/biortech

MACHADO, C. M. M. 2010. Situación de los Biocombustibles de 2da y 3era Generación en América Latina y Caribe. IICA-OLADE.

Disponible en:

<http://www.bivica.org/upload/biocombustibles-situacion.pdf>

MADRIGAL, F.; AYALA, S.; CHÁVEZ, L. 2014. Evaluación de proyectos de inversión en incertidumbre, comparando los métodos de “escenarios”, Números borrosos y Monte Carlo. In *Ciencias Administrativas y Sociales, Handbook T-IV: Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos*, pp. 8-26. ECORFAN.

MAIZAR Asociación Maíz Argentino. 2015. Argentina.



Disponible en: <http://www.maizar.org.ar/>

MALUENDA GARCÍA, M. J. s/f. Máximos históricos para el bioetanol en 2015. Agrodigital.

Disponible en: <http://www.agrodigital.com/Documentos/etanolv15.pdf>

_____. s/f. Perspectivas del bioetanol en la UE hasta el 2020.

Disponible en: <http://www.agrodigital.com/Documentos/bioetanolab13.pdf>

MARTÍN, G. O. Cátedra de Forrajes y Cereales - FAZ - UNT. Cultivo del maíz.

Disponible en: <http://ecaths1.s3.amazonaws.com/forrajicultura/CultivoMaiz.pdf>

MATLAB. 2016. Matlab Software.

Disponible en: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

MC CARL, B. 1984. *Model validation: an overview with some emphasis on risk models*. Review of Marketing and Agricultural Economics 52 (3): 153-173.

MENÉNDEZ, J. 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.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-cuantificacion_y_uso_de_biomasa_de_residuos_de_c.pdf

MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA. 2010. Maíz. Cadena de Valor Agregado. Alternativas de transformación e industrialización. Argentina: INTA.

Disponible en:

<http://www.cosechaypostcosecha.org/data/folletos/FolletoMaizConValorAgregado.pdf>

_____. 2010. Proyecto de Eficiencia de Cosecha y Postcosecha e Industrialización de los granos. Maíz-Cadena de Valor Agregado. Alternativas de transformación e industrialización. Actualización Técnica N° 54.

Disponible en: <http://www.cosechaypostcosecha.org>

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA. Balances Energéticos Disponible en:

<http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>

MINISTERIO DE JUSTICIA Y DERECHOS HUMANOS. INFORMACIÓN LEGISLATIVA. Secretaría de Energía, Biocombustibles, Resolución 44/2014. Buenos Aires, 16/9/2014.

Disponible en:



<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/235000-239999/235362/norma.htm>

MINITAB. 2016. Minitab Statistical Software.

Disponible en: <https://www.minitab.com/es-mx/>

MONTOYA, M. I.; QUINTERO, J. A. 2005. Evaluación económica del proceso de obtención de alcohol carburante a partir de caña de azúcar y maíz. *Revista Universidad EAFIT*, Universidad Nacional de Colombia, Vol 41, N° 139, pp. 78-87.

Disponible en: www.manizales.unal.edu.co

MORALES RODRIGUEZ, R.; MEYER, A. S.; GERNAEY, K. [et al.]. 2011. Dynamic model-based evaluation of process configurations for integrated operation of hydrolysis and co-fermentation for bioethanol production from lignocellulose. *Bioresource Technology*, 102, pp. 1174–1184.

Disponible en:

http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/41578054/Dynamic_model-based_evaluation_of_proces20160126-22617-1gftvyb.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1482802851&Signature=8dO%2BGM4j7VuZcP%2FoULbtK2Q976o%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DDynamic_model-based_evaluation_of_proces.pdf

_____. 2012. A framework for model-based optimization of bioprocesses under uncertainty: Lignocellulosic ethanol production case. *Computers & Chemical Engineering*, 42, 115-129. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2011.12.004.

Disponible en: <http://orbit.dtu.dk/files/6379717/pec11-54.pdf>

MUN, J. 2004. *Applied risk analysis: Moving beyond uncertainty in business*. New Jersey, USA: John Wiley and Sons.

MUNDACA, L. 2015. Indicadores energéticos internacionales evalúan a la Argentina de manera positiva", *OETEC-ID*.

Disponible en: <http://www.oetec.org/nota.php?id=1082&area=1>

MUTH, D. J; LANGHOLTZ, M. H.; TAN E. C. D. [et al.]. 2014. Investigation of thermochemical biorefinery sizing and environmental sustainability impacts for conventional supply system and distributed pre-processing supply system



designs. USA: Biofuels, Bioproducts, Biorefining published by Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons, Ltd.

Disponible en:

http://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1086&context=nrm_fac

NACIONES UNIDAS. 2007. Producción de biomasa para biocombustibles líquidos: el potencial de América Latina y el Caribe. Chile: CEPAL. ISBN: 978-92-1323127-2.

Disponible en:

<http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/Biocomustibles/CEPAL/produccion%20de%20biomasa.pdf>

_____. s/f. New York: World Population Prospects: The 2015 Revision.

Disponible en:

http://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. Departamento de Energía, EEUU.

Disponible en: <http://www.nrel.gov/>

NREL. 2000. Determining the cost of producing Ethanol from Corn Starch and lignocellulosic feedstock. NREL/TP-580-28893. U.S. Department of Energy Laboratory. Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy01osti/28893.pdf>

_____. 2002. Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover. NREL/TP-510-32438. U.S. Department of Energy Laboratory. Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy02osti/32438.pdf>

_____. 2008. Biochemical Production of Ethanol from Corn Stover: 2007 State of Technology Model Technical Report. NREL/TP-510-43205. U.S. Department of Energy Laboratory.

Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43205.pdf>

_____. 2014. 2012 Achievement of Ethanol Cost Targets: Biochemical Ethanol Fermentation via Dilute-Acid Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Corn Stover. NREL/TP-5100-61563. U.S. Department of Energy Laboratory. Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/61563.pdf>



OCDE-FAO. 2014. *Perspectivas Agrícolas 2014-2023*. Universidad Autónoma Chapingo, México: OECD Publishing.

Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3818s.pdf>

OCEBA. 2007. El etanol ¿La energía del futuro? Ministerio de Infraestructura Vivienda y Servicios Públicos. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires.

OETEC. Indicadores Energéticos de Argentina, Enero de 2014.

Disponible en:

<http://www.oetec.org/informes/indicadoresenergeticos250114.pdf>

OETEC-ID. 2016. Decreto macrista pone en riesgo al federalismo y a la seguridad energética nacional, OETEC.

Disponible en: <http://www.oetec.org/nota.php?id=1505&area=1>

OFFICE OF SCIENCE AND OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. 2006. Breaking The biological Barriers to cellulosic Ethanol. U.S. Department of Energy. Doe/SC-0098.

Disponible en: <http://genomicscience.energy.gov/biofuels/b2bworkshop.shtml>

_____. 2015. Lignocellulosic Biomass for Advanced Biofuels and Bioproducts: Workshop Report. Genomic Science Program. Systems Biology for Energy and Environment.

Disponible en: <http://genomicscience.energy.gov/biofuels/lignocellulose/>

OLADE. 2016. *Cambia la energía cambia el clima. Cambio climático y su impacto en el sector energético*. Ecuador: OLADE.

Disponible en: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0357.pdf>

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE LAS NACIONES UNIDAS, AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA, EUROSTAT, Y AGENCIA EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE. 2008. *Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías*, Austria: OIEA.

Disponible en:

http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222s_web.pdf

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. 2010. Bioenergía y Seguridad Alimentaria. El Marco analítico BEFS. Roma, Italia. ISSN 2071-0992.



Disponible en: <http://www.fao.org>

PALMIERI, V.; ALARCÓN, E.; RODRÍGUEZ, D. 2009. *Situación y desempeño de la agricultura en ALC desde la perspectiva tecnológica1 Informe de 2008*. San José, Costa Rica: IICA.

Disponible en: <http://www.sidalc.net/repdoc/A5296e/A5296e.pdf>

PATROUILLEAU, R.; LACOSTE, C.; YAPURA, P. [et al.]. 2006. *Perspectivas de los biocombustibles en Argentina, con énfasis en el etanol de base celulósica. Unidad de coyuntura y prospectiva*. Fundación ArgenINTA.

Disponible en:

http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-serie_cuadernos_del_desarrollo_-_1_-_perspectivas_de_.pdf

PECAR, M. 2009. *Utilización de simulaciones para evaluar los riesgos agropecuarios*. Oficina de Riesgos Agropecuarios: SAGPyA.

PÉREZ, F. A. B.; DIOSDADO, D. M. 2013. *Técnicas Monte Carlo para la enseñanza de la estadística. Probabilidad Condicionada. Revista de didáctica de la Estadística*, (2), pp. 579-585.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W. 2003. *Perry's Chemical Engineers Handbook*. Ed. McGraw-Hill.

PINDYCK, R. 2000. *Microeconomía*. Ed. Prentice Hall.

POVEDA, M. 2014. *Energy Efficiency and Renewable Energy Perspectives in Latin America and Caribbean. Sustainable Energy for Latin America. Santiago de Chile: OLADE*.

Disponible en:

https://www.iea.org/media/training/presentations/latinamerica2014/2_Regional_Energy_Perspectives_OLADE.pdf

PULIDO, A.; LÓPEZ, A. 1999. *Predicción y simulación aplicada a la economía y gestión de empresas*. Ediciones Pirámide.

REPÚBLICA ARGENTINA SECRETARÍA DE ENERGÍA. *Balance Energético Nacional*.

Disponible en:

http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/publicaciones/energia_en_gral/balancesenergeticos2007/Texto/BEN.pdf



- REY PÉREZ, M. A. 2014. Estado del arte de la producción de biocombustibles avanzados en la Unión Europea. Tesis de titulación (Máster de Ingeniería Ambiental). Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Disponible en:
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70579/fichero/Estado+del+arte+de+la+producci%C3%B3n+de+biocombustibles+avanzados+en+la+Uni%C3%B3n+Europea.pdf>
- REYES MURO, L.; CAMALLO VILLA, T.; GUEVARA HERNÁNDEZ, F. (coords). *Rastrojos. Manejo, uso y mercado en el centro y sur de México*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 7, ISBN: 978-607-37-0170-9. Disponible en:
http://conservacion.cimmyt.org/index.php/es/component/docman/doc_view/1169-rastrojos
- RIGGS, J. 2000. *Sistemas de Producción, Planeación, Análisis y Control*. Ed. Limusa Wiley.
- ROZEMBERG, R.; SASLAVSKY, D.; SVARZMAN, G. 2008. La Industria de Biocombustibles en Argentina. Disponible en: <http://www19.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2009/02810a03.pdf>
- SAGPyA. 2009. Modelos económicos de cultivos agrícolas pampeanos. Dirección de Economía Agropecuaria.
- SÁNCHEZ, M.; LOZANO, C. A.; MANOTAS, D. 2014. Modelo de valoración de riesgo financiero en la gestión de contratos de suministro de energía eléctrica. *Tecnura*, 18 (39), pp. 110-127.
- SAS BRUNSER, S. M. 2012. Análisis Económico-Energético de la Biomasa Lignocelulósica en Chile. Tesis de titulación (Magíster en Ciencias de la Ingeniería). Pontificia Universidad católica de Chile, Escuela de Ingeniería. Disponible en:
<https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/1899/598280.pdf?sequence=1>
- SAVAL, S. 2012. Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *BioTecnología*, Vol 16, N°2. Instituto de Ingeniería, UNAM. Disponible en:



www.smbb.com.mx/revista/Revista_2012_2/Saval_Residuosagroindustriales.pdf

SHINNERS, K. J.; Adsit, G. S.; Binversie, B. N. [et al.]. 2007. Single-pass, split-stream harvest of corn grain and stover American Society of Agricultural and Biological Engineers. Vol. 50(2): 355–363.

SLUITER, J. B.; RUIZ, R. O.; SCARLATA, C. [et al.]. 2010. Compositional Analysis of Lignocellulosic Feedstocks. *Journal Agricultura and Food Chemistry*, 58, 9043–9053 9043 DOI:10.1021/jf1008023

Disponible en: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf1008023@proofing>

SOLANA, R. F. 1995. *Producción, su organización y administración en el umbral del Tercer Milenio*. Ed. Interoceánica.

STICKLEN, M. B. 2007. Feedstock crop genetic engineering for alcohol fuels. *Crop Sci*. 47:2238-2248.

SUN, Y.; Cheng, J. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology*, vol.83, Elsevier Press.

TORO SÁNCHEZ, O. J. 2008. Síntesis de Esquemas Tecnológicos Integrados Para La Producción Biotecnológica de Alcohol Carburante a partir de Tres Materias Primas Colombianas. Tesis de titulación (Doctor en Ingeniería). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Disponible en:

http://www.bdigital.unal.edu.co/3539/1/oscarjuliansancheztoro.2008_Parte1.pdf

TRADING ECONOMICS. 2016. Ethanol 2005-2016.

Disponible en: <http://www.tradingeconomics.com/commodity/ethanol>

TRIGO, E. [et al.]. 2015. La bioeconomía argentina: alcances, situación actual y oportunidades para el desarrollo sustentable. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Bolsa de Cereales de Buenos Aires. ISBN 978-987-97337-6-9

Disponible en:

<http://bolsadecereales.com.ar/greenstone/collect/bolcer/index/assoc/HASH016b.dir/La%20bioeconomia%20argentina.pdf>

TROSSERO, M. (coord.). 2009. *Análisis del balance de energía derivada de biomasa en Argentina – Wisdom Argentina Informe Final*, Roma: FAO.

Disponible en:



UNLZ - Facultad de Ingeniería

Maestrando: Especialista Ingeniero Ascurra, Adalberto Mario
Maestría: Producción e Industrialización de Cereales y Oleaginosas

https://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/probiomasa/WISDOM_Arg_Informe_Final.pdf

USDA. 2015. Argentina Biofuels Annual 2015. Estados Unidos: Gain Report.

Disponible en:

http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Buenos%20Aires_Argentina_7-1-2015.pdf

_____. s/f. National Agricultural Statistics Service, Quick Stats Database. Estados Unidos.

Disponible en:

<https://quickstats.nass.usda.gov/,%20Fuel%20prices:%20Nebraska>

VICARI, K. J. [et al.]. 2012. Uncertainty in techno-economic estimates of cellulosic ethanol production due to experimental measurement uncertainty. Biotechnology for Biofuels. DOI: 10.1186/1754-6834-5-23.

Disponible en: <http://www.biotechnologyforbiofuels.com/content/5/1/23>

WORLDWATCH INSTITUTE. 2006. Biofuels for Transportation: Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st. Century. Worldwatch Institute / BMLEV – GTZ – FNR, Washington DC.