

## **UNA APROXIMACIÓN AL CÁLCULO DE LA TASA DE RETORNO ENERGÉTICO (TRE) DEL ETANOL DE MAÍZ EN ARGENTINA**

**Claudio A. Reineri (\*), Germán R. Zamanillo (\*), Hernán A. Rovere (\*) y Claudio A. Demo (\*\*).**

(\*)Instituto de Protecciones de Sistemas Eléctricos de Potencia (IPSEP), Facultad de Ingeniería.

(\*\*)Departamento de Estudios Básicos y Agropecuarios, Facultad de Agronomía y Veterinaria.

Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta 36, Km 603, Río Cuarto (CP: 5.800), Córdoba.

Tel.: 0358 4676171 e-mail: creineri@ing.unrc.edu.ar

*Recibido 10/08/16, aceptado 09/10/16*

**RESUMEN:** El trabajo presenta una evaluación energética del proceso de obtención de etanol de almidón de maíz en Argentina. Para ello utiliza la definición de Tasa de Retorno Energético (TRE o EROI de sus siglas en inglés), cuyo concepto es definido, conceptualizado y aplicado a la producción en el contexto geográfico donde se realiza su mayor producción. Se plantean los métodos y las energías involucradas en el propio cultivo del maíz y su posterior procesamiento industrial para la obtención del etanol. Los valores obtenidos son considerablemente bajos y coincidentes con los reportados en la bibliografía corriente de otros escenarios y contextos diferentes. Se concluye en que se trata de un proceso industrial cuestionable cuando se analiza la sustentabilidad del mismo.

**Palabras clave:** etanol de maíz, tasa de retorno energético (TRE), sustentabilidad de biocombustibles

### **INTRODUCCION**

#### *El desarrollo de la industria del Etanol de maíz – Estados Unidos*

La explotación en gran escala de etanol de maíz para ser mezclado con las gasolinas obtenidas del petróleo tuvo su origen en los EEUU. A principios de los 70 del siglo pasado surge la OPEP (Organization of the Petroleum Exporting Countries) que significó para ese entonces un hito histórico ya que constituyó un elemento determinante en la fijación del precio del petróleo y sus derivados. Durante la misma década se producen una sucesión de crisis políticas en los países árabes exportadores de petróleo y en consecuencia los precios del petróleo se incrementan considerablemente. A partir de esto surge un gran impulso al etanol de maíz aduciendo motivos de seguridad energética. Poco después el precio del petróleo cae y entonces los fundamentos de su desarrollo pasan a centrarse en la generación de fuentes propias de combustibles. Los objetivos medioambientales reemplazan a los de seguridad energética durante los años 90: los altos niveles de contaminación generados por los gases de escape de los vehículos requiere combustibles más “oxigenados” y el etanol cumple con este requerimiento. Sin embargo en muy poco tiempo la industria de los combustibles fósiles presenta un aditivo de bajo costo para tal fin: el Methyl Tertiary-Butyl Ether (MTBE). El nuevo gran impulso del desarrollo del etanol de maíz se produce a partir del 2005 cuando el MTBE es declarado ambientalmente peligroso y dañino para la salud (Tiffany, 2009). El estado de producción en USA a enero de 2015 es de más de 56 millones de metros cúbicos con 213 refinerías en marcha, para un corte del 10% de las gasolinas, lo que significa el procesamiento de más de 130 millones de tn de maíz (aprox. 1/3 de la producción de maíz en USA). (BCR, 2015)

#### *En etanol de maíz en argentina*

Sobre finales de la década de los 70 se da el primer impulso a los biocombustibles en Argentina mediante lo que se denominó Plan Alconafta que básicamente consistía de un corte del 15 % en las naftas de alcohol etílico anhidro. Este plan fracasó en un muy corto plazo debido a su alto costo fiscal y falta de actualización de precios. Durante los años 90 hubo diferentes emprendimientos de biodiesel que al no existir una obligatoriedad de mezcla con el gasoil o debieron cerrar sus puertas o reorientar su producción hacia la industria oleoquímica. (Di Paola, 2014).

En realidad el auge actual para la producción de biocombustibles se origina en el año 2006 mediante la Ley de Promoción de Biocombustibles (Ley 26093/06) y en el 2007 el Régimen de Promoción de Bioetanol (Ley 26339/07). En la primera de ellas se estableció que para el 1 de enero de 2010 las naftas debían contener un 5 % de etanol creando de esta manera una demanda cautiva y estableciendo un régimen de promociones muy favorable. Mediante la Resolución N° 44 del 16 de septiembre de 2014 de la Secretaría de Energía del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios el corte se incrementó al 10% a partir del 1 de diciembre del mismo año. Finalmente mediante el decreto 543/2016 del 31 de marzo del corriente año se estableció un corte obligatorio del 12% de bioetanol en las naftas a partir del 1 de abril. Tal abastecimiento debe realizarse en forma equitativa, procurando que el volumen total se alcance por partes iguales entre el elaborado en base a caña de azúcar y maíz.

Durante el año 2014 la producción total de etanol de maíz habría sido muy próxima a los 400.000m<sup>3</sup> (con un total de etanol de maíz más etanol de caña próximo a los 800.000m<sup>3</sup>). Tal volumen de etanol representa un 3% del total del maíz producido en Argentina en la campaña 2013-2014. Existen 5 refinerías de etanol de maíz en Argentina con una capacidad técnica de producción de 485.000 m<sup>3</sup> de bioetanol. Aproximadamente el 85% del etanol de maíz se produce en la zona centro de Argentina en 4 plantas. El centro geográfico de tales 4 plantas es la ciudad de Río Cuarto donde se encuentra una de ellas; las otras 3 se localizan a una distancia de 100Km aproximadamente de la ciudad de Río Cuarto. (FADA, 2014).

#### *Tasa de Retorno Energético (TRE)*

Puede decirse que no existe un único motivo para que un país permita, establezca o estimule económicamente la producción de biocombustibles. Básicamente las razones son los altos precios de la energía, las necesidades de importación, seguridad energética, o los efectos perjudiciales para el medioambiente que causa el uso de los combustibles fósiles.

La viabilidad para el desarrollo de biocombustibles, como sustituto de los combustibles fósiles, debería ser el resultado de un análisis conjunto de al menos los siguientes elementos:

- Proporcionar una ganancia neta de energía sobre las fuentes de energía utilizadas para producirlo (este aspecto constituye el eje central del trabajo y será desarrollado más adelante)
- Capacidad técnica de volumen de producción para que se produzca un verdadero impacto sobre la demanda de energía
- Competitividad económica con los combustibles sustituidos
- Reducción efectiva de gases de efecto invernadero y otros efectos ambientales
- Impacto directo o indirecto sobre el cambio en el uso de suelos
- Efectos sobre la disponibilidad y los precios de los comestibles

Se pretende que el sistema de producción de biocombustibles sea “sustentable”, lo que básicamente representa la capacidad de una actividad para seguir manteniéndose en el corto plazo y para generaciones futuras. Es un concepto que depende de las condiciones de contorno, de las partes interesadas, del estado del conocimiento, de las prioridades, etc., lo que naturalmente hace que el significado de sustentabilidad tampoco sea estable en el tiempo. (Dale et.al., 2013; Hill et.al., 2006; Tiffany, 2009).

Las fluctuaciones de la economía mundial directa o indirectamente han estado vinculadas a la posibilidad de acceso a energía abundante y barata. Actualmente los combustibles fósiles siguen siendo uno de los commodities globales más importantes y esenciales para la producción y distribución de bienes y servicios, de hecho son el origen de más del 75% del total mundial de energía que se está demandando. Es evidente que la cantidad de combustibles fósiles se encuentra en disminución, o al menos el acceso a los mismos resulta más costoso, y que eso afectará el bienestar social y el crecimiento económico. Un razonamiento tradicional diría que la escasez incrementará los precios y que esto alentará su extracción y producción. Pero está claro que aparece un límite: la energía que hay que invertir para obtener energía. Esta idea define un concepto muy frecuente en el mundo de la energía en general y de los combustibles en particular y se trata del Energy Return on Invested (EROI) o Tasa de Retorno Energético (TRE). La TRE es una herramienta que permite evaluar a un combustible en términos de la relación entre la energía entregada por el mismo y la energía invertida en capturar y entregar esa energía. Esta alternativa de análisis permite una manera de evaluar distintas formas de energía que en principio el mercado no puede. Tampoco es la herramienta

determinante en las decisiones políticas; simplemente es una alternativa de análisis cuando compiten distintas fuentes de combustibles.

Generalmente la TRE de un combustible o sistema resulta de un cociente que relaciona energías, pero que tiende a expresarse numéricamente como una proporcionalidad en la forma, por ejemplo, 10:1. Esto quiere decir que el combustible o sistema en cuestión es capaz de entregar 10 unidades de energía por cada unidad de energía invertida para su obtención.

Es un concepto originado por los años 70 pero que ha tomado gran interés nuevamente en los últimos 10 o 15 años, ya que expresa de manera clara la dificultad de obtener, por ejemplo, energías fósiles. Una TRE típica para un combustible fósil hace 70 años era de 80:1; para las nuevas explotaciones, debido a su calidad y a la dificultad para su acceso y obtención, una TRE típica puede ser de 6:1. Una amplia descripción conceptual, valores típicos e históricos y potenciales aplicaciones del concepto de TRE han sido descritos por Lambert (Lambert et al, 2013). Tal referencia también puede resultar útil para observar los órdenes de magnitud de la TRE de combustibles típicos para procesos actuales.

Los potenciales beneficios del uso de la TRE son varios: Una muestra cuantitativa clara de análisis económico costo beneficio, una medida útil de la calidad del recurso, una evaluación cuantitativa de la energía neta obtenida de un recurso energético, entre otros.

Un problema de la TRE y su aplicación surge al momento de considerar la “energía invertida” en la aplicación de su definición. Tal situación produce resultados numéricos distintos para un mismo proceso, sistema o combustible. En la medida que los valores de TRE son más bajos estas consideraciones pasan a ser críticas como es el caso de los biocombustibles donde se reportan valores que reflejan que la energía obtenida es menor que la invertida (por ejemplo, 0,8:1) o escasamente mayor (por ejemplo, 1,7:1) (Hall & Pimentel, 2011). Esta situación ha llevado a intentos por estandarizar la metodología de aplicación de la TRE (Murphy et al, 2011).

#### *TRE para el etanol de maíz*

A partir de la anterior definición de la TRE es natural pensar que el concepto puede ser aplicado a la producción de biocombustibles. Si bien el procedimiento a emplear para esto se describirá con mayor precisión más adelante, a los fines introductorios del tema que se aborda se describe conceptualmente el problema. Puede decirse que existen al menos dos etapas fundamentales: en primer lugar la producción del maíz, y posteriormente, un proceso industrial de fermentación del mismo a partir del cual se obtiene el etanol conjuntamente con un coproducto denominado “burlanda” (o Granos de Destilería – DG) cuya forma final pueden ser distintas pero que no es un producto con valor energético. Es fundamental entonces reconocer los aportes energéticos que requieren ambas instancias: *Energía en la producción del maíz*: La producción de maíz en nuestro país, como en la de los países de grandes producción, es típicamente la de los cultivos reconocidos como de tecnologías de producción intensiva. Es posible reconocer rápidamente entonces las actividades aquí encuadradas y que implican el empleo de combustibles fósiles: La producción de semillas para la siembra, las distintas labores propias del cultivo, maquinarias, fertilizantes (algunos de ellos cuya base de producción es netamente energética), pesticidas, eventualmente riego, labores de recolección, transporte, etc.

*Energía en el proceso de fermentación/destilación del maíz*: El maíz es finamente molido y mezclado con agua para producir la fermentación la cual es posteriormente destilada para obtener etanol con relativamente alto contenido de humedad. Un proceso posterior extrae el contenido de humedad restante para su uso final. Como se puede observar el procedimiento requiere de componentes y maquinarias cuya puesta en servicio han insumido distintas formas de energía y el propio proceso es fuertemente demandante de gas natural y energía eléctrica.

En función de la definición que se ha sugerido anteriormente para la determinación de la TRE, en este caso de un biocombustible, resulta muy evidente ya que solo se trata de relacionar la energía obtenida en una unidad de etanol producido con la invertida en todo el proceso para su obtención.

La aplicación de la TRE al etanol, particularmente de almidón de maíz, es uno de los tantos elementos que ponen en seria discusión la conveniencia de la implementación masiva de este proceso, más aun cuando el mismo es revisado desde el campo de las Energías Renovables. Independientemente de los criterios empleados para la determinación de la TRE, básicamente al momento de los ítems energéticos a incluir en el proceso de producción, es muy cierto que raramente la bibliografía reporte relaciones superiores a 2:1; esto es: se obtienen dos unidades de energía por cada unidad invertida. En tal sentido (Tiffany, 2009) reporta valores 1,24:1 adjudicándole crédito energético al coproducto. (Hall et al. 2011) plantea dos criterios de cálculo y según se considere o no el coproducto, los valores

obtenidos se encuentra entre 0,76:1 y 1,71:1. Una importante revisión estadística para Estados Unidos en el que también incluye, por ejemplo y entre otras variables, los rendimientos por hectárea para la producción de maíz para las distintas regiones, concluye en un valor medio 1,07±0,2:1 (Murphy et al (2) 2011).

De la simple observación de las cifras anteriores, y de la importancia creciente del desarrollo de la industrial del etanol de maíz en Argentina, surge la inquietud del presente artículo de realizar una aproximación a la determinación de la TRE de esta producción. Esto a pesar que no son de esperar ordenes de magnitudes muy diferentes ya que el proceso industrial es relativamente cerrado respecto del punto de vista energético y en todo caso las diferencias podrían surgir en la producción del maíz.

## DETERMINACIÓN DE LA TRE PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL DE MAÍZ

Se identifican las siguientes etapas o componentes sobre las que se cuantificara las energías involucradas:

1. Producción del maíz
2. Transporte: del cereal a la biodespelería, del etanol a las plantas de mezclado, del coproducto al punto de consumo
3. Producción del etanol
4. Créditos para el coproducto

### Producción de Maíz

En la Tabla 1 se muestran por un lado los volúmenes o cantidades estándares requeridas para el cultivo de una hectárea de maíz conjuntamente con los valores energéticos a considerar para cada componente. En cada caso se cita la referencia correspondiente.

Componentes	Volúmenes			Energías		
	Cantidad	Unidad	Referencia	Cantidad	Unidad	Referencia
1.- Semillas	18	Kg/ha	(Márgenes, 2014)	104	MJ/Kg	(Patzek, 2006)
2.- Fertilizantes						
2.1.- Urea	160	Kg/ha	(Márgenes, 2014)	56,8	MJ/Kg	(Shapouri et. al, 2010)
2.2.- Fósforo	60	Kg/ha	(Márgenes, 2014)	9,3	MJ/Kg	(Shapouri et. al, 2010)
3.- Herbicidas						
3.1.- Glifosato	5	Kg/ha	(Márgenes, 2014)	454	MJ/Kg	(Shapouri et. al, 2010)
3.2.- Otros	3,5	Kg/ha	(Márgenes, 2014)	418	MJ/kg	(Shapouri et. al, 2010)
4.- Insecticidas	0,125	Kg/ha	(Márgenes, 2014)	368	MJ/Kg	(Shapouri et. al, 2010)
5.- Maquinaria	3,5	Kg/ha	(*)	108,5	MJ/Kg	(Kraatz et al. 2008)
6.- Gasoil	46,7	l/ha	(Márgenes, 2014) (**)	36	MJ/l	(***)

(\*) Estimación propia en base a la maquinaria en el proceso empleada (sembradora, tractor, fertilizadora, pulverizador, cosechadora y tolva) para un uso anual de 1000 hs y 10 años de vida útil.

(\*\*) Se incrementa un 10% en lubricantes y neumáticos.

(\*\*\*) "Tabla de Conversiones Energéticas", Secretaría de Energía, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. WEB Secretaría.

*Tabla 1: Volúmenes y energías de los insumos empleados en la producción de maíz*

(Márgenes, 2014) es una revista de circulación mensual generalmente empleado para la determinación de costos de distintos cultivos. Particularmente los valores que se muestran son los considerados típicos para la región de Río Cuarto.

### Rendimientos de la producción de maíz

Para la evaluación de los rendimientos de maíz se han tomado los períodos correspondientes a las campañas de los años 2011-2012, 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015. El periodo a considerar coincide con el inicio de producción de etanol de maíz en la región. Se han considerado los rendimientos de los departamentos de la provincia de Córdoba que geográficamente se ubiquen más próximos a las plantas de producción: General San Martín, Juárez Celman, Río Cuarto, Tercero Arriba y Unión. La información se ha obtenido de la Bolsa de Cereales de la Provincia de Córdoba (Bolsa, 2012; Bolsa, 2014). La Tabla 2 expresa tales valores en quintales por hectárea [qq/ha].

Departamento	Campaña y rendimientos en qq/ha			
	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015
Gral. San Martín	48	73	82	79,5
Juárez Celman	55	71	78	79,2
Río Cuarto	39	62	76	75
Tercero Arriba	45	66	78	79
Unión	53	89	88	96,4

*Tabla 2: Rendimientos de los cultivos de maíz en las 4 últimas campañas en los departamentos de interés de la provincia de Córdoba*

El rendimiento promedio que surge de estos datos es de 70,6 qq/ha y se considerará que un Kg de maíz “seco” contiene 16MJ.

### *Transporte*

*Campo-Planta:* Se adopta una distancia media de 100Km

*Coproducto (DG):* Si bien existen varias alternativas, se plantean para el coproducto dos opciones: el DG seco o DG húmedo. La diferencia esencial entre estas posibilidades es precisamente el contenido de humedad y a partir de ello la vida útil del producto. La versión húmeda debe ser consumida en muy pocos días (por ejemplo, menos de una semana). La opción seca tiene una vida útil mucho mayor (permitiendo, por ejemplo, la posibilidad de exportación) pero el secado a niveles estándares requiere un monto de energía de un orden aproximado al de procesamiento del etanol. Se adoptará una distancia media de entrega del DG seco de 400Km (basado en algunos puntos de entrega reconocidos en la provincia de Buenos Aires o exportación vía Chile) y del húmedo de 150Km.

*Planta-Unidades de Mezclado:* El etanol debe ser transportado desde la propia planta de producción hasta las entidades habilitadas para el mezclado. La Secretaria de Energía presenta un registro de 27 unidades mezcladoras dispersas a lo largo del país. A partir de tal registro, de la ubicación geográfica de las mismas y de los puntos de mayor demanda de combustibles se estima una distancia promedio hasta estas plantas de 600km.

Para los distintos insumos requeridos para el cultivo (semillas, fertilizantes, etc.) se ha considerado una distancia de transporte de 550 Km. Este valor surge de considerar las distancias promedios de las zonas de producción de semillas, de las distancias promedios de los puertos más próximos (Puerto Gral. San Martín en Santa Fe – Río Cuarto, Campana – Río Cuarto) y desde Río Cuarto al punto de producción. Sin embargo es de destacar que tal magnitud es prácticamente insignificante respecto de los valores energéticos de los insumos propiamente dichos.

En todos estos casos la carga energética adjudicada al transporte es de 0,000024 litros de Gasoil por Km y por Kg.

### *Producción de etanol*

*Rendimiento de la conversión del maíz en etanol:* A partir de la información reportada en (Patzek, 2006), son necesarios 2,44Kg de maíz para obtener 1 litro de etanol. Sin embargo esa base de cálculo es para maíz “seco” (0% de humedad). Para un maíz con 15%de humedad, valor más frecuente de entrega en planta, el rendimiento es de 0,338 litros por Kg o, en otros términos, 2,95 Kg de maíz para un litro de etanol.

*Energía térmica y eléctrica:* El procedimiento tecnológico sobre el que se realiza este estudio es el denominado de “molienda seca”, que es el propio de las plantas de la región. Los requerimientos energéticos para este proceso se basan en un relevamiento estadístico de distintas plantas en USA (Shapoury et.al., 2010). Ha sido posible verificar que no se producen mejoras sustanciales en el rendimiento del proceso en los últimos años (Mueller & Kwit, 2013).

La energía eléctrica ha sido debidamente ajustada según la componente térmicas de origen fósil del sistema de generación eléctrica argentino para el año 2013 (Graboski, 2002). Esto representa una componente de energía térmica por energía eléctrica de 5.206 MJ/MWh.

Los valores adoptados son:

*Energía requerida para el proceso con DG seco:*

- Energía térmica: 8,208 MJ por litro de etanol
- Energía eléctrica: 1,198 MJ por litro de etanol
- Energía total con DG seco: 9,406 MJ/l

*Energía requerida para el proceso con DG húmedo:*

- Energía térmica: 4,598MJ por litro de etanol
- Energía eléctrica: 0,915 MJ por litro de etanol
- Energía total con DG húmedo: 5,513 MJ/l

El poder calorífico inferior adoptado para el etanol de maíz es 21,273 MJ/l (Shapouri, 2002).

#### *Adjudicación de créditos energético al coproducto*

Si bien la adjudicación de créditos energéticos al coproducto es objeto de grandes debates (Patzek, 2006), en el presente trabajo se ha planteado tal alternativa. El criterio empleado es que el mismo se corresponda con el valor de reposición del coproducto. En tal sentido se asigna un crédito de energía que es igual a la energía requerida para producir un sustituto del DG. Para ello se plantea la harina de soja como su sustituto. Según tal criterio, aproximadamente el 18 % de la energía utilizada para producir etanol se le asigna al coproducto (Shapoury et. al., 2002).

Por otro lado, y a los fines de su cuantificación, se adopta por cada litro de etanol, 0,750 Kg de DG seco (10 % de humedad) o 1,5 Kg para el DG húmedo (60 % de humedad).

## **RESULTADOS**

Para la evaluación de la TRE, en función de los datos precedentes, se toma la producción de una hectárea para la región definida. Esto supone los insumos energéticos requeridos para: el cultivo de una hectárea de maíz, el traslado y la conversión de tal producción en etanol y el transporte del mismo a las unidades de mezclado para su posterior distribución. También se consideran las opciones de asignación de créditos energéticos a los coproductos (en las opciones seco y húmedo como se describieron anteriormente) y el transporte hasta el punto de consumo o entrega de los mismos.

La Tabla 3 muestra los contenidos energéticos por cada ítem considerado.

Componente por hectárea	[MJ]	
1.- Semillas	1.872	
2.- Fertilizantes	9.750	
3.- Insecticidas, herbicidas y otros	3.779	
4.-Maquinarias	380	
5.- Combustible	1.681	
6.- Energía invertida en campo	17.462	
7.- Energía total obtenida en campo (7.060Kg x 16MJ/Kg)	112.960	
8.- Transporte campo-planta	610	
	DG seco [MJ]	DG húmedo [MJ]
9.- Energía empleada en proceso industrial	22.511	13.893
10.- Energía obtenida en proceso industrial (2393lx21,27MJ/l) (*)	50.911	50.911
11.- Transporte planta-mezcladora	985	985

(\*) para 2,95 Kg de maíz para un litro de etanol y para 7.060Kg por ha, el rendimiento es de 2.393 litros de etanol por ha.

*Tabla 3: Componentes energéticos considerados para la producción de etanol de maíz*

La energía total invertida en el proceso es la suma de: invertida en campo (ítem6) + transporte campo-planta (ítem 8) + empleada en proceso industrial (ítem 9) + transporte planta-mezcladora (ítem 11).

La energía obtenida es la contenida en el etanol (ítem 10).

A partir de lo anterior, la TRE del proceso de obtención de etanol con DG seco es 1,22:1.

La TRE del proceso de etanol con DG húmedo es 1,54:1.

Según el criterio establecido para asignar crédito al coproducto, este tendrá un valor equivalente al 18% de la energía empleada en el proceso industrial. La Tabla 4 muestra las energías asignadas, el peso, y la energía en transporte hasta el punto de consumo para ambas posibilidades.

	DG seco	DG húmedo
12.- Asignación energética [MJ]	4.052	2.501
Peso [Kg]	1.795	3.590
13.- Energía en transporte [MJ]	620	465

Tabla 4: Energía asignada, peso y energía en transporte hasta el punto de entrega del coproducto

La determinación de la TRE en estas condiciones considerará la misma cantidad de energía obtenida y a la invertida se adicionará la del transporte del DG (ítem 13) y se sustraerá la asignada al DG (ítem 12) (Shapouri, 2010).

Frecuentemente se aduce como motivo de los relativamente bajos márgenes de rendimiento en el cultivo, no solo el hecho que la región como productora es considerada semi-marginal, sino también que los requerimientos de fertilizantes que se emplean no son los recomendados. En virtud de ellos se han recalculado todas las TRE suponiendo que el contenido de urea se ha reducido a la mitad (80 kg/ha) y manteniendo los rendimientos.

La Tabla 5 muestra un resumen de las TRE obtenidas para las diferentes situaciones planteadas

	Escenario	DG seco	DG húmedo
Total de urea recomendada 160 Kg	Sin crédito al DG	1,22:1	1,54:1
	Con crédito al DG	1,33:1	1,65:1
Mitad de urea recomendada 80 Kg	Sin crédito al DG	1,38:1	1,79:1
	Con crédito al DG	1,52:1	1,93:1

Tabla 5: Tasas de Retorno Energético (TRE) obtenidas según las distintas condiciones planteadas

## CONCLUSIONES

Ciertamente la TRE constituye un elemento clave en la evaluación de sustentabilidad de cualquier modo de utilización o conversión energética. Como era de esperar, ya que el procedimiento de producción involucra un conjunto de procesos que no admiten muchas posibilidades de variación en los valores energéticos que se requieren, el índice obtenido es muy bajo. Se trata de un orden de magnitud que la bibliografía clásica sobre el tema tiende a considerar como inadmisibles (Murphy & Hall, 2010). Tal referencia introduce el concepto de TRE mínimo sustentable que una sociedad puede admitir. En tal sentido se considera que la sociedad necesita de combustibles con una TRE de al menos 3:1 para pagar su infraestructura metabólica, tales como la construcción y el mantenimiento de puentes y carreteras.

Los argumentos que sostiene su explotación, en Argentina y muchos otros países, se basan en que es una opción de combustible renovable líquido, almacenable y perteneciente al campo de la Energías Renovables. Por otro lado, desde el punto de vista regional, se presenta como una manera de agregar valor a una producción primaria en la misma zona de producción, lo que incidiría en la generación de puestos de trabajo locales.

Otro elemento importante a considerar es el hecho que gran parte de la producción este este cereal tiene como destino la exportación la cual se realiza principalmente a través de los puertos de Rosario en la provincia de Santa Fe. Esto requiere, en promedio, 400 km de transporte mediante camiones constituyendo una seria limitación a los márgenes de ganancia de los productores. Este último elemento constituye tal vez la razón fundamental que viabiliza desde el punto de vista económico esta producción.

Otros conocidos dilemas que se plantean son los referidos al uso de las tierras (cuyo destino principal, según lo social y culturalmente admitido es la producción de alimentos) y particularmente que se trate de un insumo que constituye buena parte de la base proteica de la alimentación humana y que la competencia en su uso energético pueda incrementar los precios de los alimentos. Esto resulta más inadmisibles aun cuando se trata de una forma de energía que compite o complementa a los combustibles fósiles, un sector en el cual los subsidios directos e indirectos son determinantes en la formación de sus precios.

Ciertamente se trata de un proceso industrial sobre el que la sociedad actual debe mantener plena atención ya que su sustentabilidad reviste características de suma fragilidad.

## REFERENCIAS

- BCR (2015). Bolsa de Comercio de Rosario, Informativo semanal 1725, 18 de septiembre de 2015, Rosario, Argentina.
- Bolsa, (2012). Bolsa de Cereales de Córdoba y Cámara de Cereales y Afines de Córdoba, Tribunal Arbitral, Departamento de Información Agroeconómica (DIA), Informe Especial N° 53, Cultivo de Maíz – Córdoba.
- Bolsa, (2014). Bolsa de Cereales de Córdoba y Cámara de Cereales y Afines de Córdoba, Tribunal Arbitral, Departamento de Información Agroeconómica (DIA), Informe Especial N° 74, Cultivo de Maíz – Córdoba.
- Dale V., Efroymson R., Kline K., Langholtz M., Leiby P., Oladosu G., Davis M. Dowing M., Hilliard M. (2013). Indicators for assessing socioeconomic sustainability of bioenergy systems: A short list of practical measures, *Ecological Indicators*, Elsevier, 26, 87-102
- FADA. (2014). Bioetanol a base de maíz, Contribución impositiva, económica y social de la cadena de valor. Fundación Agropecuaria para el Desarrollo de Argentina (FADA).
- Graboski M., (2002), Fossil Energy Use in the Manufacture of Corn Ethanol. National Corn Growers Association, USA.
- Hall C., Dale B. & Pimentel D., (2011). Seeking to Understand the Reasons for Different Energy Return on Investment (EROI) Estimates for Biofuels. *Sustainability*. 3. 2413-2432.
- Hall C., Lambert J. & Balogh S. (2014). EROI of different fuels and the implications for society. *Energy Policy* 64, Elsevier, 141-152.
- Hill J., Nelson E., Tilman D., Polasky S. & Tiffany D., (2006). Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*. 30. 11206 –11210
- Kraatz S. Reinemann D. & Berg W., (2008). Energy Inputs for Corn Production in Wisconsin and Germany. *American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)*.
- Lambert J., Hall C., Balogh S., Poisson A. & Gupta A. (2013). EROI of Global Energy Resources, United Kingdom Department for International Development. UK.
- Márgenes Agropecuarios. N 347. Mayo 2014. Bs As.
- María Marta Di Paola. (2014). Los Biocombustibles en Argentina. *Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN)*, 1-24.
- Mueller S. & Kwit J., (2013). *Emerging Plant Energy and Environmental Technologies*. University of Illinois at Chicago. Energy Resources Center. USA.
- Murphy D. & Hall C. (2010). Year in Review – EROI or Energy Return on (Energy) Invested. *Annals of the New York Academy of Sciences. Ecological Economics Reviews*. USA.
- Murphy D., Hall C. & Powers B. (2), (2011). New perspectives on the energy return on (energy) investment (EROI) of corn ethanol. *Environment, Development and Sustainability*. 13. 1. 179-202
- Murphy D., Hall C., Dale M. & Cleveland C. (2011). Order from Chaos: A Preliminary Protocol for Determining the EROI of Fuels. *Sustainability*. 3(10). 1888-1907
- Patzek T. (2006). Thermodynamics of the Corn-Ethanol Biofuel Cycle. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 23. 6. 519-567.
- Shapouri H., Duffield J. & Wang M., (2002). *The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update*. United States Department of Agriculture (USDA). USA.
- Shapouri H., Gallagher P., Nefstead W., Schwartz R., Noe S. & Conway R., (2010). *Energy balance for the corn ethanol industry for the corn ethanol industry*. United States Department of Agriculture (USDA). USA.
- Tiffany, Douglas G. (2009). *Economic and Environmental Impacts of U.S. Corn Ethanol Production and Use*, Federal Reserve Bank of St. Louis Regional Economic Development, 5(1), pp. 42-58.

**ABSTRACT:** The paper presents an energy assessment of the process for obtaining ethanol from corn starch in Argentina. The definition of Energy Returned On Energy Invested (EROI) is used, concept that is defined, conceptualized and applied to production in the geographical context where production is mostly done. Methods and energies involved in the growing of corn and subsequent industrial processing for obtaining ethanol are presented. The values obtained are considerably low and consistent with those reported in the current literature of other scenarios and different contexts. It is concluded that this industrial process is questionable when its sustainability is analyzed.

**Keywords:** ethanol from corn starch, Energy Returned On Energy Invested, sustainability of biofuels