



Proyecto Final de  
Ingeniería Industrial

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS A LOS  
ALIMENTOS PARA LA PRODUCCIÓN DE  
BIOCOMBUSTIBLE

Autores:

Gonzalo Guastavino

Rodrigo Ayling

Docente Guía:

Juan Marcelo Lezama

2013



# Resumen Ejecutivo

---

A lo largo de esta tesis analizaremos las diferentes alternativas a los alimentos que pueden existir para la producción de biocombustibles. Se puede observar que si aumenta la demanda de alimentos para producir combustibles – al mismo nivel de oferta – el precio de los alimentos aumentará. Esto hará que los niveles de pobreza y de indigencia en todo el mundo se incrementen significativamente, sobre todo en los países en vías de desarrollo. De aquí nace la importancia de la investigación en este trabajo, y su resolución conlleva beneficios múltiples. En primer lugar, apunta a regular la demanda de alimentos y así disminuir los precios. En segundo lugar, se podría destruir paulatinamente la dependencia que existe actualmente para con los hidrocarburos.

Para cumplir nuestro objetivo analizaremos distintas propuestas que científicos, ingenieros y empresarios, han hecho en la actualidad. Se someterá a cada alternativa a un riguroso análisis para investigar y determinar si la opción es viable o no. El mismo abarcará, entre otros puntos, una breve descripción de cada alternativa, el proceso productivo del biocombustible, los beneficios y/o perjuicios asociados a la producción de biocombustible con la alternativa en cuestión, la situación actual de producción y una estimación de la cantidad producida de biocombustible en los años venideros.

Luego de este riguroso análisis se pudo determinar que, en el corto y mediano plazo, para poder cumplir las rigurosas normas impuestas principalmente por Estados Unidos y la Unión Europea, se seguirá dependiendo de fuentes de alimentos para suplir la creciente demanda de biocombustible. Numéricamente hablando, en la actualidad aproximadamente el 95% de la producción de biocombustible proviene de fuentes alimenticias. Sin embargo, a largo plazo, si se mantienen las inversiones en investigación y desarrollo, para el año 2050 se estima que el 85% de la producción de biocombustible será de segunda o tercera generación, es decir, a base de las alternativas estudiadas, que no compiten con la alimentación humana. A lo largo del análisis efectuado durante la investigación se estudiará con mayor detenimiento cuáles son las alternativas

que impulsarán la producción de biocombustibles para lograr la estimación realizada.

A su vez, en la última parte del escrito, se mencionan recomendaciones para lograr un avance más acelerado en la producción de biocombustibles no tradicionales y se propone un tema de tesis vinculante con el nuestro, que sería de interés investigar.

# Brief

---

Throughout this project, we will analyze the different alternatives to food products that may exist for the production of biofuels. We can observe that an increase in the food market demand, so as to produce biofuels, will trigger an increase in its price, considering the supply level remains the same. This will eventually lead to significantly higher levels of poverty worldwide, especially in developing countries. Hence the importance and relevance of this investigation, as its resolution involves multiple benefits. In the first place, it aims to control the food market demand and thus lower its prices. Secondly, it could lead to independence towards fossil fuels

In order to achieve our goals, we analyzed different proposals from scientists and experts until now. Each alternative will undergo a rigorous analysis to investigate and determine if the option is viable or not. This study will fulfill topics such as a description of the alternative, the biofuel productive process, the benefits or losses associated to the production of biofuel, the actual production situation, and an estimate of future production possibility curves.

After this rigorous analysis, it was determined that the dependence from food-based biofuels would still be an issue, in the short term. This is mainly due to US and EU energy dispositions and politics. We can assume that approximately a 95% of biofuels production will come from food basis. Nevertheless, in the long term, by 2050, we could estimate that 85% of production would be second or third generation biofuels, if investment in research and development maintain its actual level. Throughout the analysis, it will be studied in much more detail the options that has to be taken into account so as to accomplish the production goals.

The last part of the work we included recommendations in order to accomplish an accelerated production breakthrough, in the non traditional biofuel market. In addition, we propose an interesting investigation project that arises from this one.



# Tabla de Contenidos

---

Resumen Ejecutivo .....	iii
Brief .....	v
Tabla de Contenidos.....	i
1 Panorama del Biocombustible.....	4
2 Resumen del Proyecto.....	6
3 Impacto y Relevancia del Proyecto para los Interrogantes Mundiales Actuales – Sustainabilidad .....	8
4 Producción de Biocombustible con Alimentos .....	16
4.1 Estado Actual .....	16
4.2 Problemas y Desventajas.....	19
5 Alternativas más Prometedoras .....	21
6 Metodología de Análisis .....	23
7 Análisis de Alternativas.....	24
7.1 Compuestos con Biomasa.....	25
7.1.1 Jatropha .....	25
7.1.1.1 Cultivo – Datos Ambientales.....	25
7.1.1.2 Proceso Productivo .....	27
7.1.1.3 Ventajas y Desventajas .....	31
7.1.1.4 Situación Actual .....	32
7.1.2 Tártago .....	34
7.1.2.1 Cultivo – Principales Características .....	34

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible	
7.1.2.2	Proceso Productivo .....35
7.1.2.3	Beneficios del Tártago .....36
7.1.2.4	El Tártago en la Actualidad .....37
7.1.3	Algas .....38
7.1.3.1	Cutlivo – Cocecha – Estacionalidad.....39
7.1.3.2	Proceso Productivo del Biodiesel.....40
7.1.3.3	Beneficios de las Algas .....42
7.1.3.4	Viabilidad como alternativa .....42
7.1.4	Residuos Alimenticios .....45
7.1.4.1	Proceso Productivo del Biocombustible .....46
7.1.4.2	Situación Actual .....49
7.1.5	Jojoba .....50
7.1.5.1	La Planta: Siembra y Cultivo.....51
7.1.5.2	Obtención del Aceite y Biodiesel .....52
7.1.5.3	La Jojoba y sus Beneficios .....52
7.1.5.4	Estado Actual .....53
7.2	Compuestos Celulósicos .....54
7.2.1.1	Producción de Etanol.....55
7.2.1.2	Ventajas y Desventajas .....57
7.2.1.3	Situación Actual y Proyección .....59
8	El Biocombustible en el Futuro.....60
8.1	Producción con las Alternativas Propuestas.....60
8.2	Resultados .....63

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

9	Conclusiones y Recomendaciones .....	68
10	Bibliografía .....	71
10.1	Bibliografía consultada .....	71
10.2	Expertos encuestados .....	71

# 1 Panorama del Biocombustible

Los biocombustibles son aquellos combustibles que se obtienen a partir de productos agrícolas o forestales (biomasa), y se utilizan para distintos fines, ya sea medios de transporte, generación eléctrica o calefacción. Hay varios tipos de combustibles de esta categoría. Entre ellos se pueden destacar el bioetanol, el biogás y el bio dimetil-éter. Particularmente en este apartado nos concentramos en los dos más importantes en cuanto a consumo mundial. Éstos son el bioetanol y el biodiesel que, entre ambos, se llevan más del 90% del mercado de biocombustibles.

El **bioetanol** corresponde a un destilado líquido que se genera de la fermentación de los azúcares – que se encuentran en determinadas plantas – y cereales. Entre las materias primas más destacadas para la producción del bioetanol se pueden mencionar las siguientes:

- Caña de azúcar
- Maíz
- Remolacha
- Trigo
- Mandioca
- Sorgo

También se debe incluir una generación alternativa del bioetanol, utilizando materias primas forestales, tales como sotos de corta rotación y pastos energéticos (compuestos celulósicos).

El bioetanol se puede utilizar en forma pura en vehículos especialmente adaptados, o bien se mezcla con gasolina. Mezclas de hasta un 10% no requieren adaptación del motor.



Ilustración 1. Proceso Productivo del Bioetanol

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

El **biodiesel** resulta cuando un aceite vegetal reacciona con el etanol (o bioetanol) en presencia de un catalizador. El aceite se produce a partir de oleaginosas o árboles tales como:

- Colza (también conocido como Raps o Canola)
- Girasol
- Soja
- Palma
- Cocotero
- Jatropha

También se puede producir de grasas de animales, sebo y aceite para cocinar ya usado (residuos alimenticios).

De la misma forma que el bioetanol, el biodiesel se puede utilizar en forma pura para motores especialmente adaptados, o mezclado con diesel para automóviles, en relaciones similares al bioetanol (usualmente mezclas de 5% a 10%).



Ilustración 2. Proceso Productivo del Biodiesel

## 2 Resumen del Proyecto

---

Definitivamente se puede considerar que si se listan los principales problemas de índole mundial, cuestiones como la energía renovable, el desarrollo sustentable, las alternativas al petróleo, el hambre en el mundo y el eficiente alocado de recursos son todas cuestiones que aparecerían en los primeros puestos de discusión.

El estudio del biocombustible como alternativa energética es un tema de gran peso en la mirada de los líderes mundiales. Es información conocida que la pelea entre las diferentes fuentes de energía para sustituir al petróleo ya lleva algunos años, con posturas tan diversas como personas hay discutiendo. Este ensayo busca encontrar un enfoque para analizar las posibilidades de producción del biocombustible para encaminar una industria que sea rentable y competitiva, aprovechando todas las ventajas de las que goza este tipo de energía en comparación al combustible fósil, y así poder encontrar otro enfoque al problema que es de tal interés a nivel mundial.

De todas formas, el análisis busca superar la iniciativa de incentivar la industria biocombustible solamente. Un aspecto a tener en cuenta es que la producción de biocombustible requiere (frecuentemente) de la utilización de alimento como materia prima. Por lo que la disyuntiva llega a otro punto de inflexión: Qué tan eficiente y provechoso resulta intercambiar alimento por energía?, y cuáles serían las ventajas y desventajas de hacerlo? Éstas cuestiones resultan importantísimas a la hora de analizar la variación que produce la industria del biocombustible en la economía de alimentos, donde el precio sube, la pobreza aumenta, y el daño social es evidente.

Es por esto, que este debate está cobrando cada vez más importancia. Es evidente que en la situación actual es importante reducir la utilización de combustibles fósiles. El biocombustible pareciera ser una alternativa posible. Aunque, por otro lado, utilizar alimentos para esta industria trae problemas colaterales significativos, en un contexto en el cual los alimentos alcanzan

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible  
precios máximos históricos. Esto provoca un aumento en la indigencia y en la  
pobreza mundial, sobre todo en los países en desarrollo. Es por esto que nos  
preguntamos, ¿Existen otras formas para producir biocombustibles? A lo largo  
de esta investigación analizaremos las posibles alternativas para suplantar a los  
alimentos de esta industria.

## 3 Impacto y Relevancia del Proyecto para los Interrogantes Mundiales Actuales – Sustentabilidad

---

Si se desea analizar el impacto que tendría el impulso de una industria biocombustible en relación con el desarrollo sustentable, se pueden observar los diversos beneficios que trae aparejado el hecho de que dicha industria crezca significativamente en el futuro. En primera instancia, la industria creciente podría conllevar una mayor seguridad energética, ganancias económicas, un gran desarrollo rural, mayor eficiencia energética y reducidas emisiones de gases de efecto invernadero, comparado con los combustibles fósiles.

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

<b>Medioambientales</b>	Está libre de azufre y aromáticos
	No es tóxico
	Tiene un carácter renovable y es biodegradable. Se degrada cuatro veces más rápido que el diesel
	Reduce las emisiones de partículas, monóxido de carbono, óxidos de azufre, y los hidrocarburos aromáticos policíclicos; sin embargo, las emisiones de nitrógeno son superiores en comparación con el gasóleo
	Es posible fabricarlo a partir de aceite para freír ya usado
<b>Técnicas</b>	Contribuye a disminuir las emisiones de CO <sub>2</sub>
	Tiene un alto número de cetano, lo que mejora la combustión
	Tiene buena lubricidad
	Presenta un punto de ignición más alto que el diesel lo que le confiere mayor seguridad en el manejo y almacenamiento
	Se puede mezclar con el gasóleo en cualquier proporción y la mezcla se mantiene estable. Por otra parte la mezcla de biodiesel con gasóleo aumenta el rendimiento de los motores
	Es un combustible oxigenado lo que facilita la combustión, es decir, contribuye a una combustión limpia
	La densidad es ligeramente más alta que la del combustible diesel. Esta circunstancia, unida a que la viscosidad también es ligeramente superior, plantea problemas de utilización en climas muy fríos
	Problemas de congelación del combustible en invierno, ya que debido al alto punto de congelación (entre 0 y -5 °C), puede empezar a solidificar y formar cristales, que pueden obstruir los conductos y manguitos a través de los cuales fluye el combustible
	Por sus propiedades solventes, puede ablandar y degradar ciertos materiales
<b>Económicas</b>	Problemas de almacenamiento por la degradación del combustible en depósito si se deja durante un tiempo prolongado
	Permite reducir la dependencia del petróleo importado
	Permite el fortalecimiento de la agroindustria
	Induce a un desarrollo regional sostenible
	Generación de créditos de carbono a través de proyectos del mecanismo de desarrollo limpio
<b>Sociales</b>	Más caro debido a la menor producción de aceite vegetal
	Ligero descenso en la economía de combustible
	Genera empleos directos e indirectos en las zonas rurales
	Contribuye a la fijación del hombre en el campo
	Evita el abandono de tierras de cultivo

Tabla 3. Ventajas y Desventajas del Biodiesel

Una de las ventajas más destacables de su desarrollo es la que actualmente está generando una conciencia mundial como problema grave a solucionar: el calentamiento global y la polución ambiental. El biocombustible no altera el equilibrio de dióxido de carbono atmosférico. Esto evidentemente reduciría los gases de efecto invernadero producidos por el hombre y ayudaría a reducir el cambio climático. A su vez la degradabilidad del producto es de 30 días y su toxicidad es muy baja. La ausencia de azufre, además, contribuye a que se puedan cumplir las cada vez más estrictas metas impuestas a muchos países en

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible cuanto a las emisiones de  $\text{SO}_2$ . El azufre hace que el combustible tenga el efecto lubricante necesario para su utilización en motores de combustión interna. El biocombustible tiene la misma propiedad, por lo que si se quiere alcanzar las normas estrictas impuestas por los países en cuanto a la reducción de  $\text{SO}_2$  es esencial utilizar el biocombustible como aditivo. A estas ventajas se suman las reducciones significativas de componentes aromáticos en los gases de emisión de los motores que emplean aceites y metilesteres.

Sería interesante observar cual es la diferencia con los combustibles fósiles, que hace que el biocombustible sea más limpio y menos nocivo. El principio de entendimiento consiste en que para la elaboración del mismo, es decir, para los cultivos de donde se extrae el producto, es necesario como insumo, una cantidad de dióxido de carbono, por lo que cuando un auto emita el gas, por medio de la combustión, lo único que estará haciendo sería devolverlos a la atmósfera. Es decir, la diferencia no radica en la base que el biocombustible no emite, sino en la necesidad de utilizar el gas como insumo, transformando todo el proceso en un ciclo de carbono que se mantiene inalterado en la naturaleza. Esto no ocurre con el combustible fósil, ya que no utiliza insumos de  $\text{CO}_2$  para su producción, por lo que aumenta la emisión cuando se produce la combustión en el motor de una máquina. Éste principio está esquematizado en el diagrama siguiente:

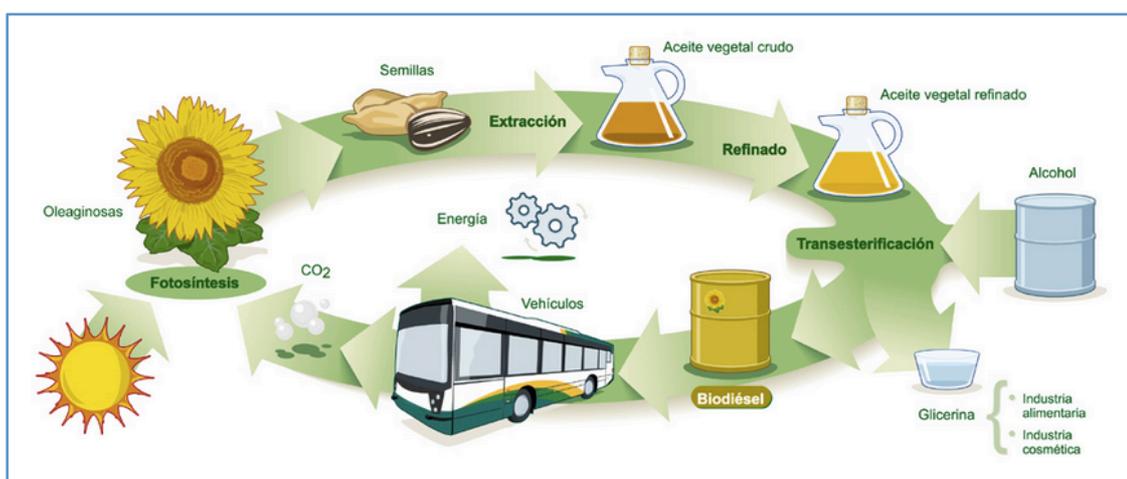


Ilustración 3. Ciclo del Biodiesel

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

Asimismo, se podría crear un proceso, bajando el diagrama anterior a la realidad. A modo de ejemplo, se busca ilustrar para comprender mejor lo anteriormente explicado, como funcionaría en la práctica un sistema de producción de biocombustible con el ciclo que se observa a continuación, donde se utilizan dos insumos para obtener el combustible, y se aprovechan todos los recursos posibles, para hacer de esta industria, una lo más eficiente posible. Se observa como los desperdicios pueden ser utilizados como materia prima para obtener más biocombustible (por ej., el residuo de alga como insumo para el cultivo de jatropha).

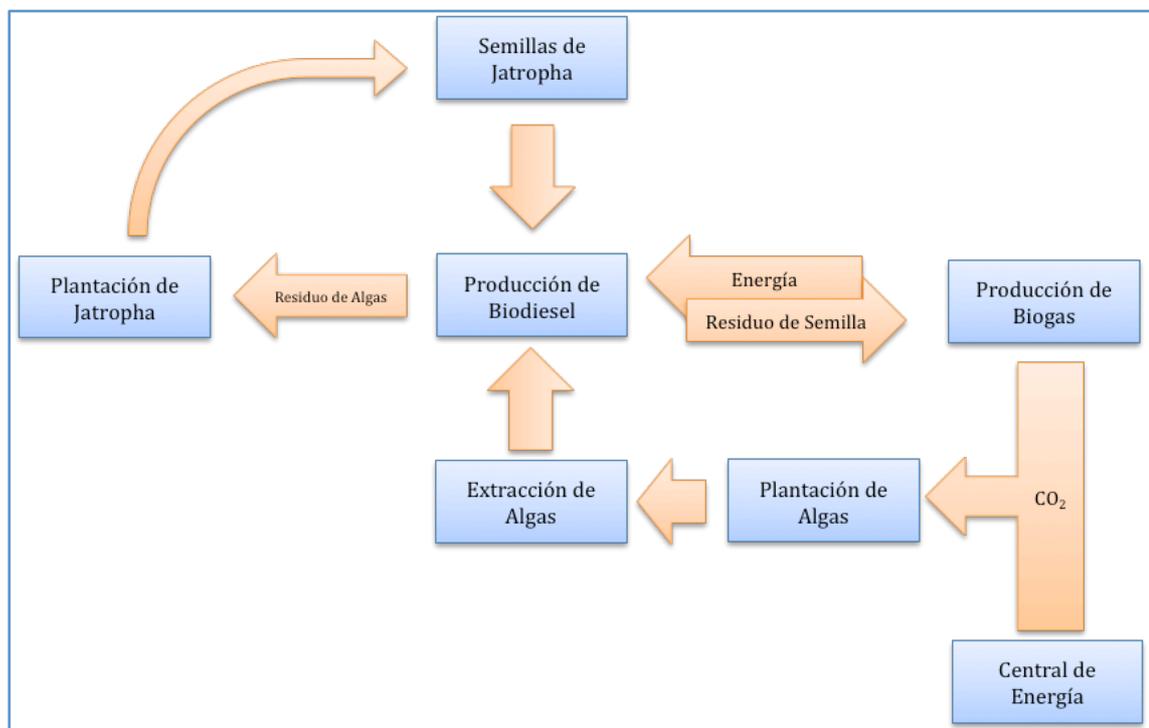


Ilustración 4. Ciclo Combinado del Biocombustible

Un objetivo estratégico clave asociado a los biocombustibles es la seguridad energética de los países, principalmente los países más vulnerables, que actualmente tienen riesgos por depender fuertemente de la importación de energía. Es bien conocido que tanto la volatilidad del precio del barril, como la desigualdad en la oferta mundial de combustible fósil, son factores que hacen preocupar a numerosos países constantemente. Se buscaría una producción

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible energética más diversificada para lograr una menor dependencia sobre las importaciones de petróleo. Lo anteriormente planteado fue la principal causa que llevó a los primeros países a experimentar con la producción de biocombustible (por ejemplo, Brasil y EEUU).

En cuanto al balance energético, se debería calcular la cantidad de energía necesaria para producir una unidad de biocombustible y compararla con la energía que esa misma unidad generaría durante su utilización. Asimismo, dicha eficiencia energética se puede contrastar con otros combustibles alternativos (los combustibles fósiles, por ejemplo) para incluir en un análisis de ventajas y desventajas de las mismas. El debate de la superioridad energética entre las distintas alternativas de combustible radica en que, si bien se llega a la conclusión de que el biocombustible es más eficiente, existen enormes diferencias dependiendo del tipo de cultivo energético y método de conversión involucrados.

El cálculo de la eficiencia energética es un tema sumamente complejo, ya que no solo se deben tener en consideración numerosos factores que inciden en el proceso productivo, sino que además el cálculo depende de los supuestos relativos y las metodologías utilizadas por cada investigador. En definitiva lo que se obtiene es la superioridad en eficiencia que posee el bioetanol en base a caña de azúcar en Brasil, ya que las condiciones del suelo del país son óptimas, el riego se realiza mayoritariamente con agua de lluvia y el residuo que genera el proceso (bagazo) se utiliza para suplir las necesidades energéticas de la planta misma (no hay necesidad de energía de combustibles fósiles).

En cuanto a la agricultura y el desarrollo rural que puede traer aparejado el crecimiento de esta industria, se podría considerar el hecho de que una suba de precios del alimento puede proporcionar, más a largos plazos, oportunidades para que la industria alimenticia experimente una fuerte inversión para apoyar a los productores en cuanto a tecnologías y eficientizar las técnicas de producción. Sin embargo, es de conocimiento público que existen diversas barreras para impulsar la oferta agrícola, como lo son las barreras proteccionistas europeas y estadounidenses a los productos agrícolas

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible provenientes de países en desarrollo. Los subsidios que brindan estos países a la industria agropecuaria no permite a países en desarrollo, principalmente en África, competir.

Tal vez la característica más importante del biocombustible es que puede reemplazar en casi todos los usos a los combustibles fósiles. Esto sumado a que la producción de estos combustibles es escalable ha hecho que muchos gobiernos y empresas pongan sus ojos sobre esta industria. Otra característica importante es que los países que importan combustible dejarían de depender tan drásticamente del cartel de la OPEP. Esta fue una de las principales razones por la cual los Estados Unidos decidieron impulsar este tipo de combustible. En el siguiente gráfico se vislumbra cuáles son los países mas dependientes de energía importada.

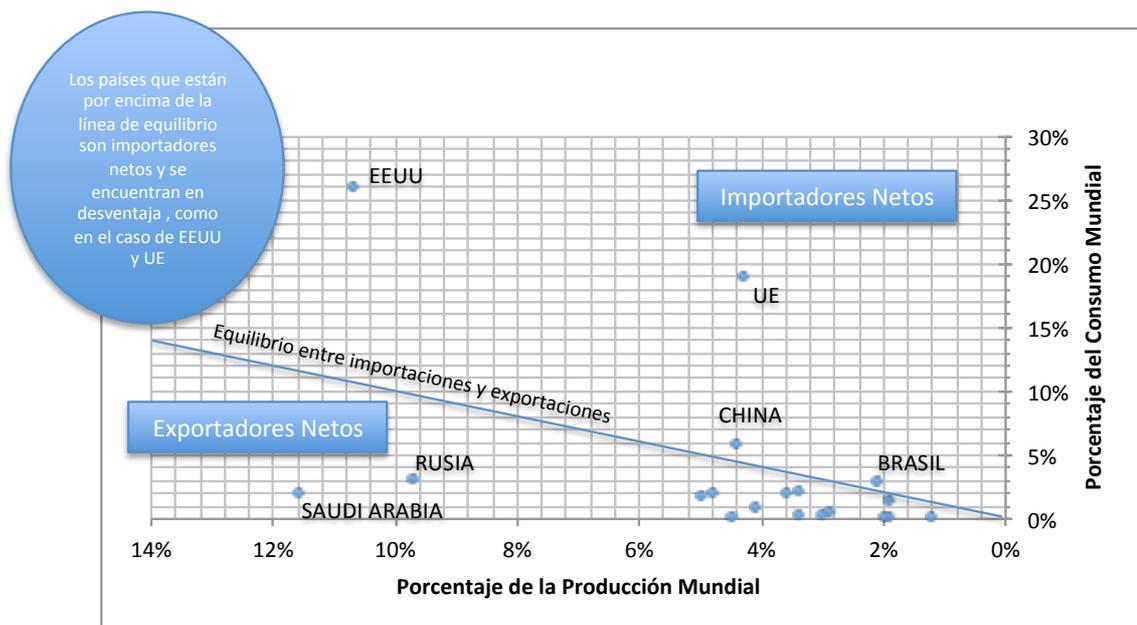


Gráfico 4. Los Países Según su Producción y Consumo de Biocombustible

Analizando el gráfico nos damos cuenta por qué países como Estados Unidos, la Unión Europea y Brasil se han esforzado tanto para impulsar esta industria a través de subsidios y recortes de impuestos.

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

Es por esto que en la actualidad muchos países, principalmente los desarrollados, han promulgado leyes y normas incentivando la producción de biocombustibles. En muchos países se ha regulado que el Diesel tiene que estar compuesto por un porcentaje mínimo de biocombustible.

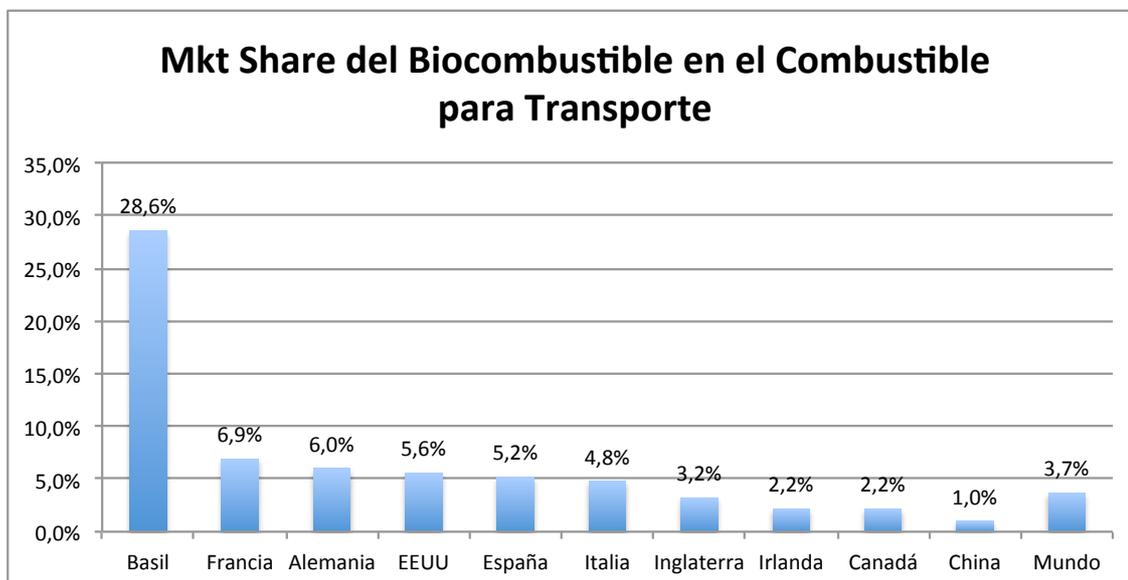


Gráfico 2. Porcentaje del Combustible para Transporte que se Produce con Biocombustibles

En países como Estados Unidos y Brasil los gobiernos también promovieron a la industria ofreciendo subsidios y recortes de impuestos. En Estados Unidos los subsidios llegan a U\$D1,9 por galón (3,78 litros) de biocombustible producido, equivalente a 7.000 millones de dólares anuales. Esto ha hecho que los países anteriormente mencionados se conviertan en los principales productores de biocombustibles del mundo.

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

Rank	Country	Million Liters	Million Gallons
1	United States	51,415.97	13,584.14
2	Brazil	26,887.52	7,103.70
3	China	2,699.48	713.20
4	France	1,821.03	481.12
5	Canada	1,494.50	394.85
6	India	1,420.92	375.41
7	Poland	1,079.00	285.07
8	Germany	916.97	242.26
9	Thailand	868.50	229.46
10	Jamaica	832.70	220.00
11	T & T	757.00	200.00
12	Indonesia	683.38	180.55
13	Spain	546.00	144.25
14	Austria	485.00	128.14
15	Belgium	485.00	128.14
16	Netherlands	480.00	126.82
17	United Kingdom	470.00	124.17
18	US Virgin Islands	387.50	102.38
19	Colombia	352.00	93.00
20	Vietnam	318.11	84.04
21	Australia	292.70	77.33
22	Czech Republic	280.00	73.98
23	El Salvador	247.10	65.28
24	Paraguay	237.25	62.68
25	Argentina	237.20	62.67
	<b>Total</b>	<b>95,694.83</b>	<b>25,282.65</b>

Source: Global Biofuels Center

Rank	Country	Million Liters	Million Gallons
1	United States	5,912.17	1,562.00
2	Germany	5,047.81	1,333.64
3	Spain	5,023.19	1,327.13
4	Indonesia	4,262.31	1,126.11
5	Brazil	4,160.28	1,099.15
6	Malaysia	4,091.18	1,080.89
7	China	3,906.09	1,031.99
8	Argentina	3,636.28	960.71
9	France	2,926.11	773.08
10	Thailand	2,771.00	732.10
11	Italy	2,749.99	726.55
12	India	1,715.64	453.27
13	Poland	1,505.05	397.64
14	Netherlands	1,124.09	296.99
15	Singapore	988.76	261.23
16	Austria	982.96	259.70
17	United Kingdom	970.00	256.27
18	Belgium	886.37	234.18
19	Greece	850.26	224.64
20	Australia	797.81	210.78
21	South Korea	762.91	201.56
22	Portugal	590.92	156.12
23	Colombia	584.82	154.51
24	Philippines	478.23	126.35
25	Czech Republic	459.77	121.47
	<b>Total</b>	<b>57,184.00</b>	<b>15,108.06</b>

Source: Global Biofuels Center

Tabla 2. Principales Países Productores de Biocombustible

Esto indefectiblemente ha impulsado la demanda de biocombustibles, lo que ha generado una incipiente industria que cada vez crece con más rapidez.

## 4 Producción de Biocombustible con Alimentos

---

### 4.1 Estado Actual

Esto nos lleva a analizar en más detalle cómo esta conformada la matriz productiva de los biocombustibles en la actualidad.

Hoy en día, se produce 105 mil millones de litros de biocombustibles por año, equivalente a 95 mil millones de dólares. El biocombustible se puede hacer utilizando diversas materias primas, entre las más utilizadas están la soja, el girasol, la colza y jatropha. El importante aumento en la producción de biocombustible ha afectado enormemente la demanda en los mercados agrícolas, en especial los granos y semillas de oleaginosas. En 2007 se utilizó un 5% de los cereales a nivel mundial, un 10% de la producción de azúcar, un 9% de la producción global de semillas oleaginosas para la producción de biocombustibles. El 30% de la producción de maíz en Estados Unidos, el 50% de la producción de azúcar brasilera y el 60% de la producción europea de colza también fueron destinadas a la producción de biocombustibles. A continuación veremos un diagrama de torta mostrando la importancia relativa de estas materias primas en la producción mundial de biodiesel.

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

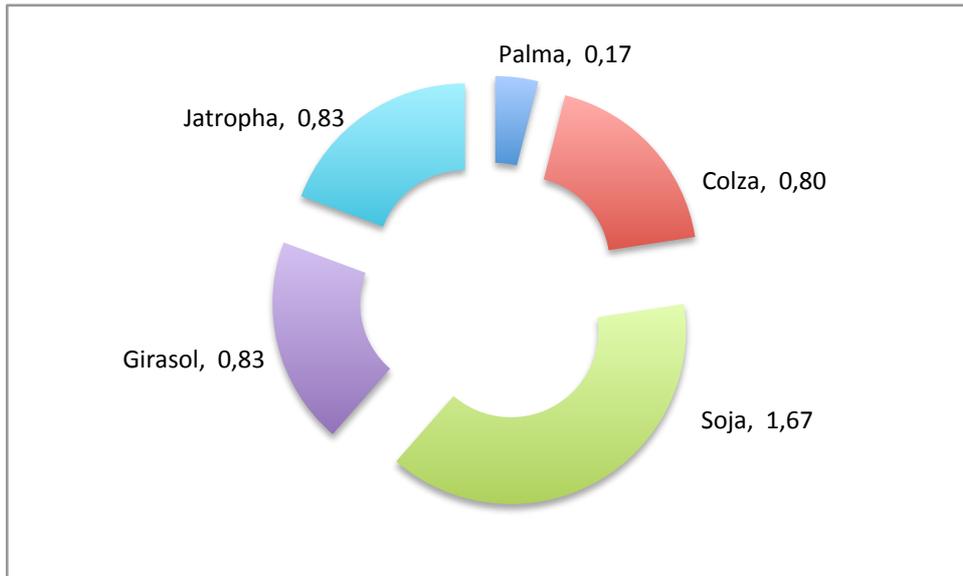


Gráfico 3. Importancia Relativa por Materia Prima en la Producción de Biocombustible

Como se puede ver, más del 70% de los biocombustibles en la actualidad están hechos a base de alimentos, con todas las desventajas que esto implica. Si se destinara esta cantidad de alimentos para dar de comer a la gente se podrían alimentar aproximadamente 800 millones de personas.

Si analizamos la producción de biocombustibles en los últimos 10 años veremos como dicha industria ha crecido dramáticamente. A continuación se ve un gráfico con la producción en toneladas de biocombustibles en los últimos 40 años y el estimativo hasta el año 2015. Como se puede ver la producción de biocombustible creció un 15% anual desde el 2000.

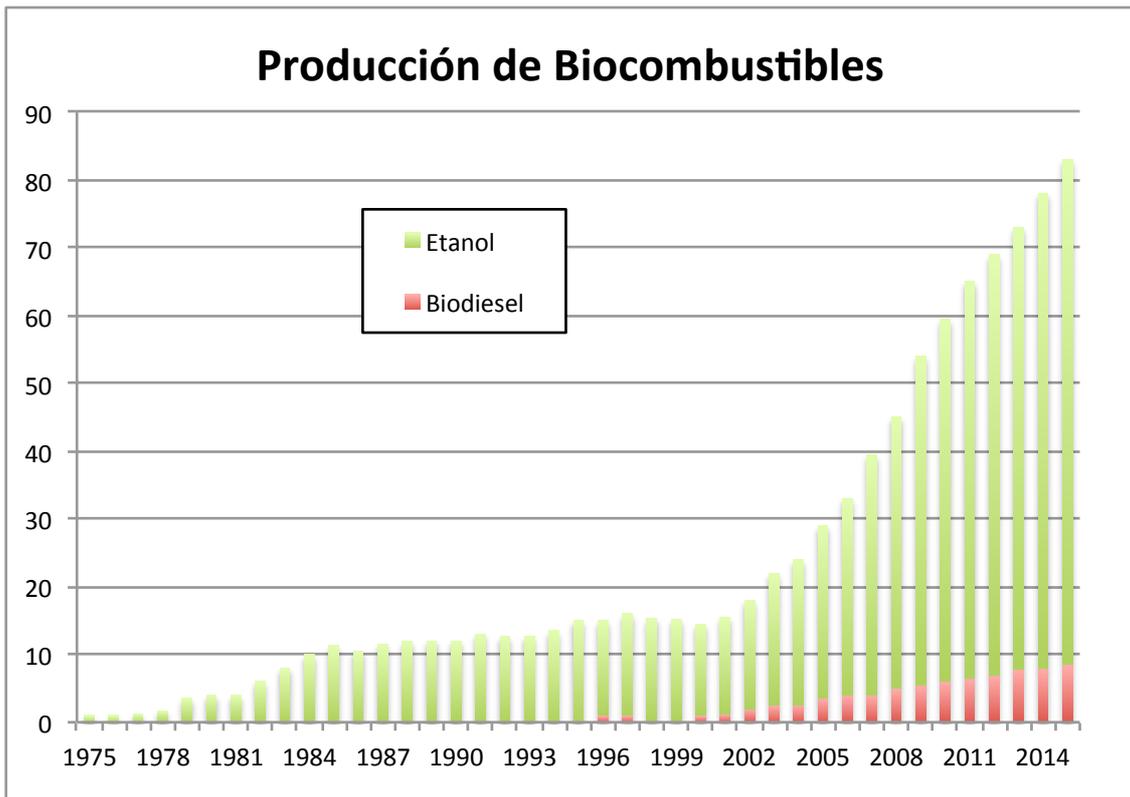


Gráfico 4. Producción de Biocombustible en los Últimos Años

## 4.2 Problemas y Desventajas

A pesar de las evidentes ventajas provenientes de los biocombustibles, es evidente que también este tipo de energía tiene muchas desventajas principalmente cuando se produce a base de alimentos. El destinar alimentos a la producción de biocombustibles, impulsará la demanda de dicho alimento por lo que, inevitablemente, su precio aumentará. Esto causaría que el costo de vida aumente en un momento donde los alimentos están alcanzando máximos históricos.

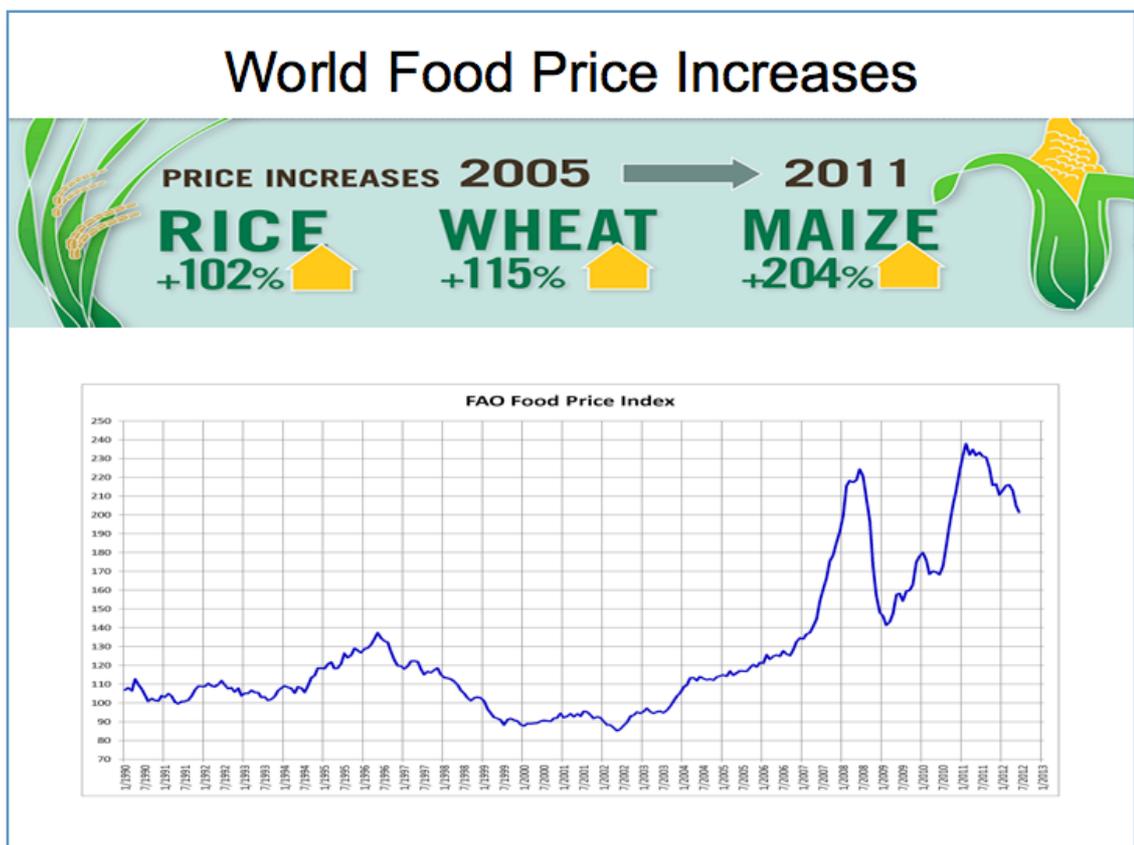


Gráfico 5. Evolución Anual en el Precio de los Alimentos

La producción de biocombustibles líquidos es la respuesta a una creciente demanda de productos agrícolas y podría ser un factor importante que afectaría

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible a los mercados en la próxima década, dependiendo del desarrollo actual de la producción de biocombustibles. La creciente demanda de materias primas influirá de manera directa o indirecta en los mercados de otros productos básicos agrícolas.

El aumento de la producción de biocombustibles afecta los precios de la materia prima agrícola utilizada en su producción, creando un posible vínculo entre la variación de los precios del petróleo y de las materias primas e, indirectamente, con otros productos básicos agrícolas. Dado el carácter internacional de estos alimentos, un aumento del precio del mismo afectaría a un gran número de países, constituyendo una amenaza para la seguridad alimentaria de los compradores de alimentos en diversas regiones.



Gráfico 6. Correlación Entre el Precio del Combustible y el Precio del Alimento

Los más afectados serán las poblaciones más vulnerables, ya que estos gastan un porcentaje mayor de sus ingresos en alimentos. Los países que no producen alimentos serían muy perjudicados, ya que conseguirán alimentos a precios más caros, aunque no reciban ningún beneficio por la industria de los biocombustibles.

## 5 Alternativas más Prometedoras

En un proceso completo de molienda y proceso químico, los litros de biodiesel que se obtienen por hectárea sembrada dependerán del cultivo que da origen al aceite vegetal.

Especie Oleaginosa	Productividad: aceite vegetal (lts/Ha)
Soja (Glicine max)	420 litros.
Arroz (Oriza sativa)	770 litros
Tung (Aleurites fordii)	880 litros
Girasol (Helianthus annuus)	890 litros
Maní (Arachis hipogaea)	990 litros
Colza (Brassica napus)	1100 litros
Ricino (tartago) (Ricinus communis).	1320 litros
Jatropha (Jatropha curcas)	1590 litros
Aguacate (palta) (Persea americana)	2460 litros
Coco (Cocos nucifera)	2510 litros
Cocotero (Acrocomia aculeata)	4200 litros
Palma (Elaeis guineensis)	5550 litros

Tabla 3. Productividad de los Cultivos Para la Obtención de Aceite

En la actualidad hay investigaciones y proyectos para empezar a producir biocombustible a partir plantas que no compiten con la comida. Estos nuevos biocombustibles se los denomina de **segunda generación**. Los cultivos no alimentarios como camelina, jatropha, pasto varilla y jojoba, utilizados para el biodiesel, pueden prosperar en tierras agrícolas marginales, donde muchos árboles y cultivos no crecen o se producen rendimientos de crecimiento lento.

El cultivo de jatropha ofrece beneficios para las comunidades locales. El cultivo y la recolección de frutas con la mano es mano de obra intensiva y necesita

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible alrededor de una persona por hectárea. En algunas zonas rurales de la India y África lo que proporciona puestos de trabajo muy necesarios - alrededor de 200.000 personas en el mundo a encontrar empleo a través de jatropha.

Otro cultivo a tener en cuenta es el cártamo ya que crece en zonas áridas por lo tanto no compite con los cereales tradicionales en cuestiones de territorio. Su semilla contiene desde un 30 a un 40% de aceites haciendo de este cultivo una alternativa muy interesante para la producción de biocombustibles.

Los residuos de alimentos también pueden procesarse para transformarlos en biocombustible. Hoy en día se utiliza el aceite usado, ya no apto para alimentación, para producir biodiesel. Aunque este proceso es sencillo y relativamente económico la industria no está muy desarrollada principalmente porque no hay una política para reciclar aceites usados provenientes de grandes industrias. Los carozos de las aceitunas también pueden ser utilizados como materia prima para la producción de biocombustible. Hoy en día las empresas en Argentina dedicadas al procesamiento de aceitunas tiran los carozos como residuo a pesar que aun sean de valor para la industria de los biocombustibles. A pesar de que los desperdicios de las cosechas del maíz, como las hojas y los troncos, tienen un rendimiento bajo a la hora de transformarlos en biocombustibles, la enorme producción de este cereal en la región pampeana hacen de estos residuos agrícolas una alternativa a analizar.

Las algas también pueden ser utilizadas para generar biocombustible. Entre las características más destacables de este cultivo se encuentra que puede ser cultivado con un impacto mínimo en los recursos de agua dulce. También pueden ser cultivados en océanos y aguas residuales, sin contar con el hecho de que son biodegradables y relativamente inertes para el medio ambiente si se derrama. Estas características hacen que tanto empresas como gobiernos hayan invertido para promover este cultivo.

## 6 Metodología de Análisis

---

Haremos un análisis detallado de cada alternativa tratando de concluir si, a mediano plazo, es una alternativa válida para reemplazar a los biocombustibles provenientes de alimentos. Analizaremos el estado actual de desarrollo de la alternativa. En este ítem nos fijaremos si el proyecto se encuentra en un nivel teórico, de laboratorio o ya esta escalado industrialmente.

Posteriormente analizaremos los beneficios y los problemas de cada alternativa. Aquí se tendrá en cuenta la eficiencia y el balance energético. Además se analizarán los impactos socioeconómicos de cada alternativa, incluyendo la cantidad de puestos de trabajo que la alternativa puede generar, los ingresos para los países y el desarrollo socioeconómico que puede ser consecuencia de producir a escala industrial biocombustible con cada alternativa. Luego nos centraremos en la capacidad productiva actual y proyectada. En este punto nos centraremos si cada alternativa, dada su capacidad de producción, puede reemplazar a los alimentos como materia prima para la elaboración de biocombustibles.

Posteriormente se medirá la viabilidad económica y en función de esto la necesidad del Estado a promover o subsidie dicha alternativa. A su vez determinaremos las barreras de ingreso a la industria. En este punto nos centraremos en las principales barreras de entrada que puede haber un mercado, estas son: Economías de escala, diferenciación del producto, inversiones de capital, desventaja en costos independientemente de la escala, acceso a los canales de distribución y la política gubernamental

Luego nos centraremos en analizar el mercado potencial, el mercado que dadas las cuestiones analizadas previamente, puede obtener cada alternativa y el tiempo requerido para que esto ocurra. Por último analizaremos la estabilidad y las posibles complicaciones.

## 7 Análisis de Alternativas

---

La clasificación de las fuentes de biocombustible se determinan principalmente en dos categorías.

- En primer lugar, el biocombustible de primera generación, que proviene de algún alimento.
- En segundo lugar, el de segunda generación, nace a partir de la necesidad de suplantar al alimento como materia prima.

Dentro de los biocombustibles de segunda generación, que serán los que abarcará este estudio, se encuentran, a su vez, diferentes denominaciones para clasificarlos según su composición.

- **Producción con biomasa:** son los materiales comunes y conocidos, como la jatropha o las algas, o los residuos alimenticios, que componen materia orgánica apta para la elaboración de combustible.
- **Producción con componentes celulósicos:** engloba los residuos que contienen celulosa, generalmente proveniente de las papeleras o residuos forestales. Actualmente son de menor importancia pero la oportunidad y prospecto de crecimiento es inmenso, superando incluso a los componentes tradicionales.
- **Otros:** opciones avanzadas no celulósicas que no son abarcadas por las anteriores.

En el siguiente estudio comenzaremos introduciendo las diferentes alternativas que corresponden al grupo biomasa, para luego analizar los componentes celulósicos como un todo, dado que son una novedad pero su ascenso y crecimiento es representativo.

## 7.1 Compuestos con Biomasa

### 7.1.1 Jatropha

El nombre del género *Jatropha* deriva del griego: *iatros* (doctor) y *trophé* (comida). Es decir, que implica usos medicinales. Perteneciendo a la familia de las Euphorbiaceae, es una oleaginosa de porte arbustivo que tiene más de 3500 especies agrupadas en 210 géneros.



Anteriormente era considerado un árbol aparentemente inútil, y bastante feo. Tal era su fama que llegó a estar en

peligro de extinción en algunos países como Nicaragua, porque nadie se tomaba el trabajo de sembrarlo o dejarlo crecer. Su única utilidad era la de cercado vivo, ya que sus frutos venenosos espantaba al ganado y se aseguraba de mantenerlo en los pastos. No sirve para leña porque no arde bien, ni para sombra, porque en el calor del verano se le caen las hojas. Por lo que era considerado inservible en todos los aspectos.

Es un arbusto o árbol pequeño, de 3 a 6mts. de altura, con una longevidad que supera los 50 años. Con una corteza blanco-grisácea, exuda látex translúcido, con hojas pecioladas, anchas y ovaladas. La semilla contiene un aceite viscoso que representa del 28 al 35% de su peso, que puede convertirse en biocombustible por un proceso de transesterificación, o ser utilizada para la producción de jabón.

#### 7.1.1.1 Cultivo - Datos Ambientales

Se desarrolla muy bien en climas tropicales, cálido húmedos y templados y sobrevive con un promedio de 250 mm de precipitaciones al año, con las temperaturas fluctuando entre los 18 y 28°C. Igualmente, si se desea obtener una estabilidad de producción de aceite óptima, proveniente de la semilla, se

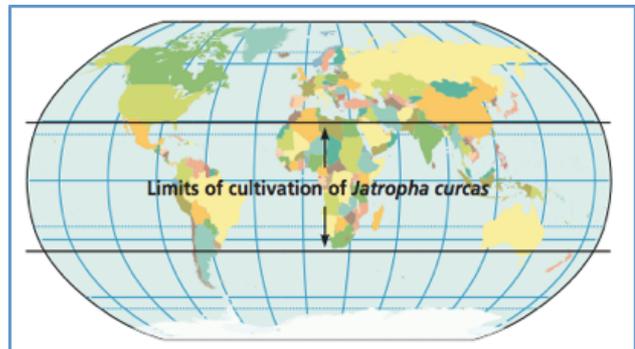
Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible necesitarían entre unos 900 y 1200 mm, bajo los mismos rangos de temperatura.

En cuanto al suelo, el cultivo se siembra en suelos franco-arenosos o arcillo-arenosos, profundos y bien drenados con abundante materia orgánica, y se puede sembrar en cualquier época del año.

Comparte el hábitat con especies tales como el jengibre, malva, cacao, guayusa, caimito, casho, chancapiedra, papaya, etc. por lo que se puede apreciar que no compite con las semillas icónicas alimenticias como el trigo, girasol, maíz, etc.

Es una planta que necesita poco cuidado, por lo que es relativamente fácil de gestionar. Requiere un deshierbe esporádico durante los primeros 6 meses de plantación, ya que la hierba puede comprometer los resultados productivos.

Por otro lado, para que alcance un correcto desarrollo necesita de 3 a 4 riegos al mes durante el verano. Por último, en cuanto a la fertilización,



la planta responde bien a pequeñas cantidades de calcio, magnesio y azufre, así como cuando se adicionan pequeños nutrientes orgánicos.

Esta planta se cosecha cuando su fruto está completamente maduro. Anualmente se obtienen generalmente 30 kg de fruto por planta, de los cuales 12 kg corresponden a la semilla.

La productividad en semilla de este cultivo es de aproximadamente (durante los primeros 6 años de vida):

Año	kg de semilla / hectárea	Equivalente en kg de aceite
1	250	120
2	1000	480
4	5000	2400
6	12000	5760

Tabla 4. Productividad de la Semilla de Jatropha a lo Largo de los Años

### 7.1.1.2 Proceso Productivo

El biodiesel elaborado a partir del aceite vegetal *Jatropha Curcas*, se caracteriza por tener un buen punto de ignición, lo que lo hace muy favorable para su combustión, ya que no contiene azufre y es así un combustible limpio.

La primera etapa en la producción de biodiesel es la extracción del aceite. Dependiendo de la escala de producción, la etapa de extracción se hace de la siguiente manera:

- **Pequeña escala:** por prensado en frío directamente en el campo o en cooperativas
- **Gran escala:** usando solventes, dentro de plantas industriales

A **pequeña escala** las frutas se limpian manualmente para retirarles materiales grandes como palos, tallos, hojas, basura, etc. Luego se descascara. La semilla puede ser calentada antes de prensada, y la prensa puede ser manual o de motor.

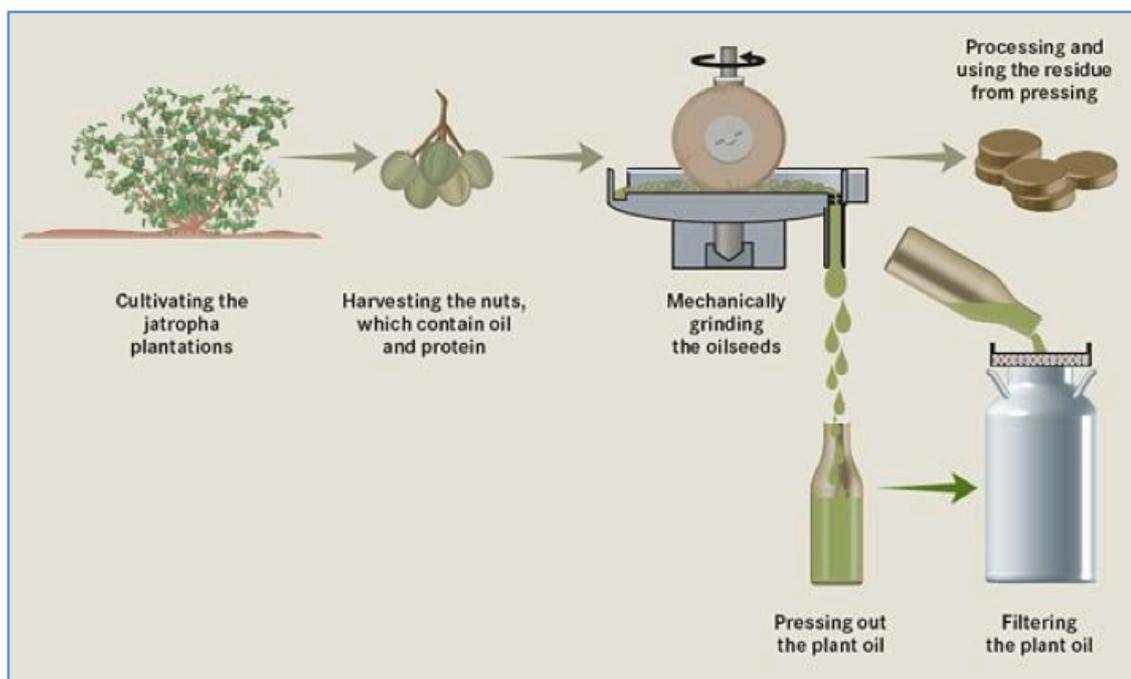


Ilustración 5. Proceso Productivo de la *Jatropha*

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

El aceite fresco que se obtiene del prensado puede estar contaminado con pequeñas partículas de pulpa, y hay que quitarlas ya sea esperando a que se asienten o filtrándolas.

El material que queda después del prensado, que todavía tiene entre 20% y 33% de aceite, puede ser utilizado como alimento para animales o como base para la producción de biogás.

La producción a pequeña escala es de interés para las granjas y cooperativas porque ofrece un medio sencillo de obtener aceite, gas y alimento para ganado.

A **gran escala** se extrae el aceite con solventes. Este proceso es más eficiente pero más costoso.

Primero los frutos de *Jatropha* se secan hasta tener un contenido de humedad de 5% a 7%. El ajuste de humedad es importante ya que si es más alta o baja de la que es óptima se dificulta la penetración del solvente con resultados bajos en la obtención de aceite.

Después las semillas se compactan y se calientan hasta 80° C agregándoles el solvente. El calentamiento es importante porque desactiva microorganismos presentes en el aceite y evita el coagulación de proteínas.

Normalmente se usa hexano como solvente por su disponibilidad y bajo precio. La solución con aceite y solvente se somete a un proceso de destilación para su separación. El solvente puede ser reutilizado en el proceso. La extracción con solvente produce un aceite con una pureza mayor, pero la extracción mecánica tiene un mayor rendimiento, como se muestra en la siguiente tabla.

Materia prima	Jatropha
<b>Eficiencia de extracción de aceite</b>	
Extracción mecánica	70%
Extracción por solventes	96%
<b>Rendimiento del aceite</b>	
Extracción mecánica:	4.1 kilos por litro 553 litros por hectárea
Extracción por solventes:	2.7 kilos por litro 730 litros por hectárea

Tabla 5. Índices de Eficiencia de la Semilla de Jatropha

Para obtener biodiesel del aceite se realiza mediante un proceso de transesterificación. Pero además, se recomienda realizar una etapa de esterificación para eliminar el alto contenido de ácidos grasos libres.

Los pasos para realizar una transesterificación son los siguientes:

- El **primer paso** es la remoción de fosfátidos o desgomado por la adición de ácido fosfórico o cítrico. Esto es necesario ya que los fosfátidos provocan turbidez y promueven la acumulación de agua.
- El **segundo paso** es la neutralización de los ácidos grasos libres con un catalizador básico (normalmente hidróxido de sodio). Esto produce jabón, que es insoluble con el aceite y es fácilmente separado por lavados con agua. En este paso también se remueven fenoles, compuestos grasos oxidados y metales pesados.
- El **tercer paso** es la remoción de colorantes que se hace por medio de materiales adsorbentes tales como: tierras diatomeas, sílica gel y carbón activado. Este paso mejora la capacidad de almacenamiento del biodiesel.
- En el **cuarto paso** se retiran sustancias tales como aldehídos y cetonas que provocan olores no deseados por medio de destilación con vapor.

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

- En el **último paso**, la deshidratación, se reduce el contenido de agua remanente en el biodiesel, a través de la destilación a baja presión o por absorción con nitrógeno.

Se puede observar a continuación el proceso completo de los biocombustibles en general. Se parte de un cultivo, de donde se obtiene un aceite vegetal. Éste mismo es obtenido manualmente o por medio de herramientas (solventes, prensas, etc.). Ésta primer parte se diferenciará entre todos los tipos de cultivos, ya que dependiendo del cultivo, puede variar la forma óptima de obtener el aceite.

El proceso de transesterificación puede variar. De todos modos, generalmente se utiliza una base como catalizador para eliminar los ácidos grasos.

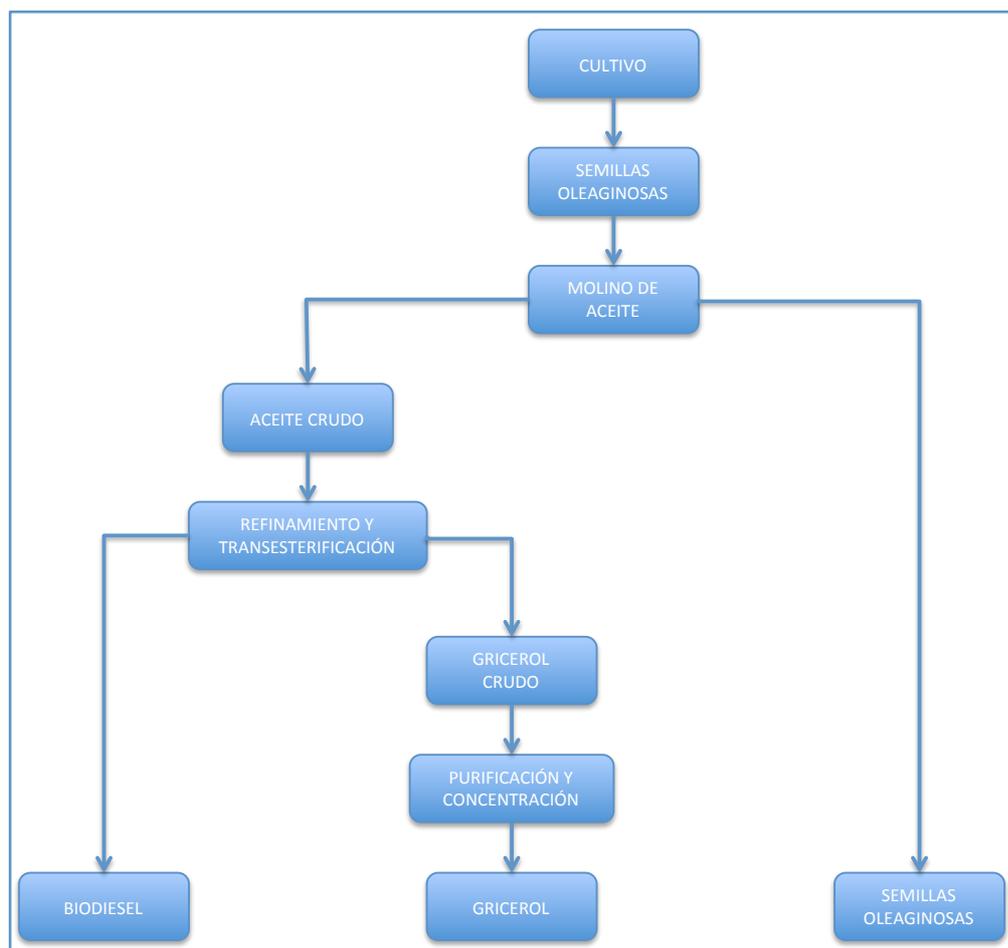


Ilustración 6. Obtención del Biodiesel

### 7.1.1.3 Ventajas y Desventajas

Se suele comparar el biodiesel con el combustible fósil para evaluar ventajas y desventajas de los mismos. El biocombustible proveniente del aceite de jatropha tiene una energía específica 5% menor a la del gasoil, pero la compensa con su elevada lubricidad, por lo que el rendimiento energético de ambos es esencialmente el mismo. Asimismo, dicha lubricidad duplica la vida útil del motor y mejora el índice de cetanos cuando se lo mezcla con el combustible fósil.

Se muestra una tabla en la que se compara el combustible a base de aceite de jatropha contra el combustible fósil, para contrastar propiedades y características principales.

Propiedades	DIESEL	JATROPHA
Densidad [kg/lts]	0,84 - 0,85	0,91 - 0,92
Punto de Solidificación [°C]	-14	2
Punto de Ebullición [°C]	80	110 - 240
Nro de Cetanos	47,8	51
% de Azufre	1,10%	0,13%

Tabla 6. Comparación del Combustible a Base de Aceite de Jatropha con el Combustible Fósil

Cuando se lo compara con aceites de otros cultivos, se suelen encontrar también diferencias. La especie *Jatropha curcas* es de rápido crecimiento, permite cosechar semilla a corto plazo, de tal manera que se cuenta con material vegetativo para reforestar nuevas áreas sin incurrir en costos adicionales por compra de semilla, además, los residuos de un futuro aprovechamiento de la especie para producción de biodiesel abren una puerta muy interesante para elaborar fertilizantes orgánicos.

Desde la perspectiva de finca, los procesos de reforestación con esta especie en sus diferentes modalidades: sistemas agroforestales, silvopastoriles y bloques de plantación, permiten generar una visión más integral en la unidad productiva, ordenan las actividades que se desarrollan y traen otros beneficios

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible indirectos como lo son mejoramiento de las condiciones del suelo, reducción de la erosión, conectividad biológica, entre otros.

También se tiene en cuenta que el cultivo no es exigente en cuanto a la calidad del suelo, por lo que no compite con los alimentos y presenta un gran aprovechamiento de terrenos improductivos, y evita la deforestación, degradación y desertificación de los suelos.

#### 7.1.1.4 Situación Actual

En la última década, la *Jatropha* fue plantada en millones de hectáreas desde Asia hasta el desierto del Sahara en África. Como podía sobrevivir climas extremos y suelos pobres, generando semillas de las cuales se producía un excelente biodiesel, los agricultores se vieron incentivados a su producción, sumado a que no compite por el terreno con las siembras de alimentos por lo que no debían dejar de producir lo que actualmente producían. Todas estas razones, sumado al énfasis con el que los gobiernos impulsaban mediante subsidios y premios hacia las energías renovables, el mercado de la *jatropha* se vio fuertemente propulsado.

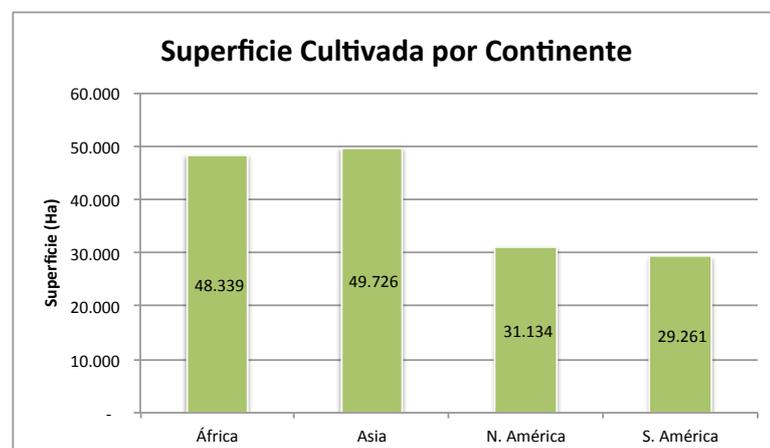


Gráfico 7. Superficie de *Jatropha* Cultivada, por Continente

De todos modos, hasta ahora los proyectos provenientes de dicho cultivo han visto más fracasos que éxitos. El motivo de dicho giro inesperado es que si bien la planta tiene las propiedades de vivir en suelos marginales y hostiles, cuando

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible se enfrenta a estas situaciones, falla en productividad. Esto se traduce que la cantidad de semillas producida, no se alineaba con la expectativa de producción pronosticada en un principio. Sin la humedad necesaria para desarrollar los frutos deseados, los inversionistas han abandonado su entusiasmo y el mercado ha enfrentado un abrupto freno en su crecimiento.

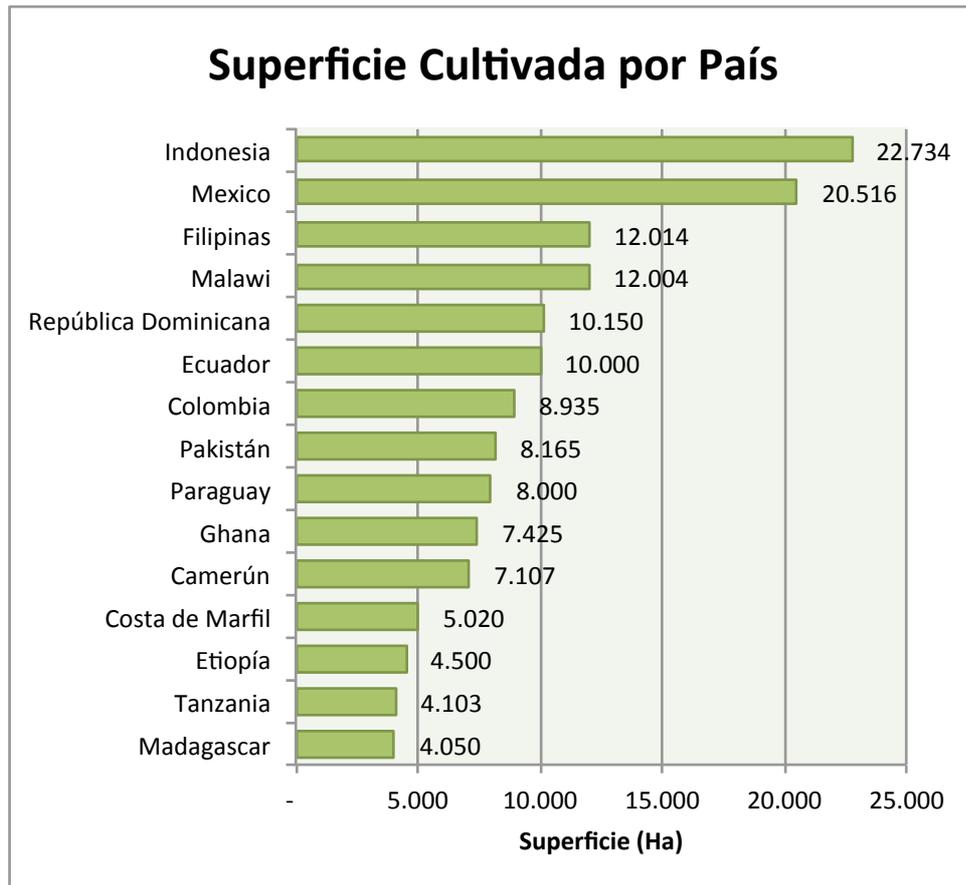


Gráfico 8. Superficie de Jatropha Cultivada, por País

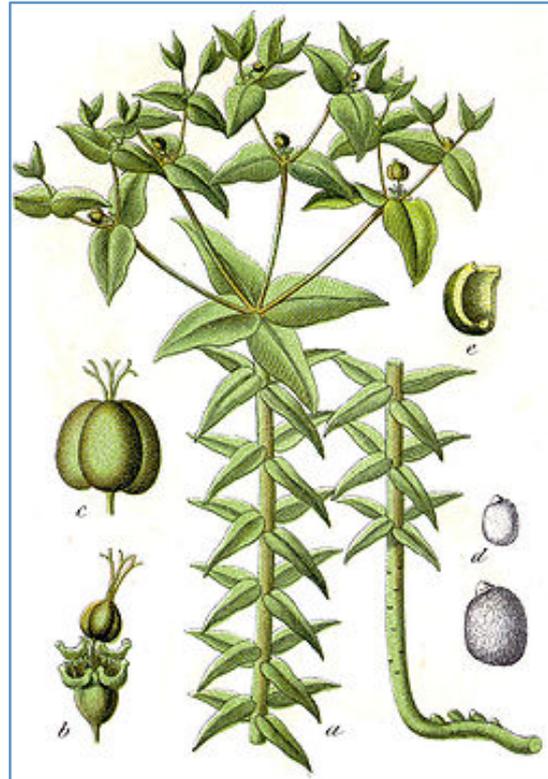
Sin embargo hay potenciales inversionistas que no pierden su interés y se espera encontrar una solución al problema para mejorar la productividad en suelos áridos de poca humedad, y al mismo tiempo mantener los costos para que el producto final no pierda competitividad.

### 7.1.2 Tártago

El tártago es una planta oleaginosa, de la familia de las Euforbiaceae. Su origen es incierto. Se cree que procede de África, de Abisinia (actual Etiopía), pero hay quienes creen que es una planta procedente del continente asiático. Puede crecer hasta 90cm, con hojas largas y estrechas. Se adapta fácilmente a diferentes ambientes debido a su gran rusticidad y resistencia a la sequía. Sobrevive en climas semiáridos y suelos de baja calidad.

Posiblemente originaria de la India o de África, se encuentra distribuida en diversas partes del mundo. Los tres mayores productores son China, India y Brasil.

El tártago es una planta cuya semilla contiene una gran proporción de aceite que puede ser utilizado en más de 400 aplicaciones industriales como pinturas, barnices cosméticos, lubricantes, etc. El aceite que se extrae de esta planta se conoce como aceite de ricino. Dicho aceite no es comestible, y es considerado una valiosa materia prima por poseer características químicas que lo categorizan como único en su naturaleza. Su composición hace que sea el único aceite soluble en alcohol a bajas temperaturas. Se lo utiliza para la química en muchos países desarrollados.



#### 7.1.2.1 Cultivo - Principales Características

Se desarrolla mucho mejor cuando el suelo está bien drenado y no tiene capas duras como tosca. No crece en suelos con pH extremo, sino que más bien debe rondar entre los 4 y 8 de pH.

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

Las temperaturas óptimas para el cultivo de esta planta son entre los 18 y los 32°C. Suele tardar entre 110 y 140 días para completar su desarrollo, dependiendo del tipo de variedad que se plante. Idealmente, debe recibir de 300 a 400mm de precipitaciones en los primeros 100 días, llegando a un total de 600 a más de 2500mm.

Se cultivaba principalmente en África y la India, pero con la creciente demanda del mismo se fue propagando para producirse en muchas regiones templadas de todo el mundo. Se suelen producir en países tropicales, donde las temperaturas se mantienen elevadas y no descienden mucho.

El árbol de ricino es exigente en los nutrientes que requiere para rendir mejor, por lo que es indispensable conocer el nivel nutricional del suelo para suplir lo que haga falta.

### 7.1.2.2 Proceso Productivo

El aceite de ricino posee características que cumplen con la mayoría de los requisitos para la obtención de biocombustible y biodiesel, logrando tener un buen rendimiento del mismo. Se deduce de esto que es la sustancia más adecuada para la producción de biocombustible, ya que su propiedad de solubilidad en alcohol a bajas temperaturas, posibilita que se obtenga el biocombustible sin necesidad de un aplicación de calor y su consiguiente demanda de energía en el proceso.

Para la obtención del aceite se procede a tratar la semilla de la siguiente manera:

- **Pre-tratamiento:** implica una esterilización y tratamiento térmico para inactivar las enzimas que producirían la degradación del aceite.
- **Descascarado:** pelado o descortezado que separa la porción portadora de aceite de la materia prima. Se pela mecánicamente con una peladora y, mediante una zaranda vibratoria, se separa la pepa de la cáscara.
- **Extracción del aceite:** las semillas molidas se mezclan con agua caliente y se hierven, para permitir que el aceite flote y sea recogido. Con las

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

semillas molidas y el agua caliente se hace una pasta que se prensa hasta que el aceite se separe en forma de emulsión.

Este aceite debe ser filtrado y llevado a un separador centrífugo para obtener así el aceite crudo.

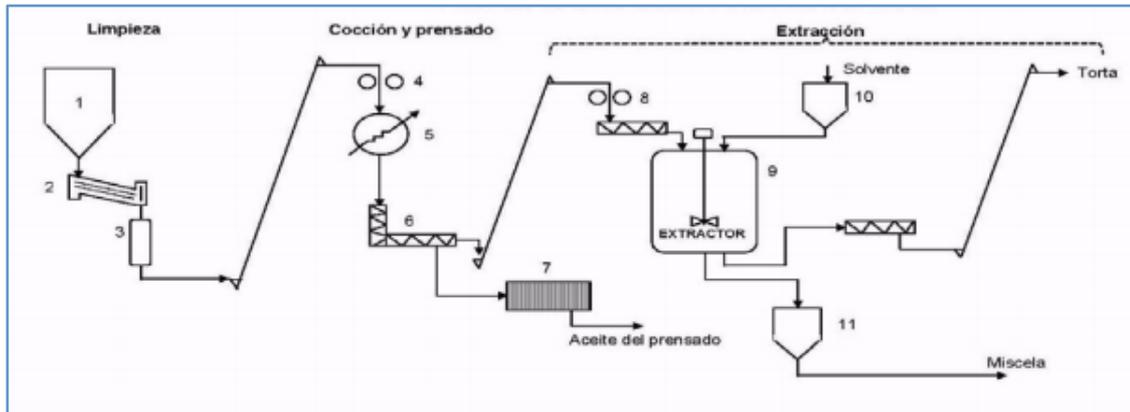


Ilustración 7. Obtención del Aceite de Tártago

### 7.1.2.3 Beneficios del Tártago

El tártago como cultivo tiene amplios beneficios en la protección y mejora productiva del suelo, evitando la erosión. Por otro lado, no tiene desperdicios, ya que todas sus partes pueden ser utilizadas por lo que la contaminación de la planta es nula.

Un dato no menor es que la propagación de este cultivo y el crecimiento de esta industria puede aumentar sustancialmente el empleo al crear puestos de trabajos donde otros cultivos menos amigables con suelos hostiles encontrarían innumerables dificultades para la supervivencia. Por lo que impulsa zonas marginales y teóricamente improductivas.

Ambientalmente hablando, tanto la ausencia de desperdicios como su falta de necesidad de energía para el proceso hacen de este cultivo uno de los más eficientes a la hora de producir biocombustible, por lo que el biocombustible obtenido se estima con un coste considerablemente inferior en relación a los obtenidos con otro aceite vegetal.

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

En cuanto a eficiencia, la semilla del ricino contienen entre un 40 y un 55% de aceite, cifra muy superior a la mayoría de sus competidoras oleaginosas. Con una media del 47% de aceite y una media estimada del rendimiento de la extracción en un 90%, este cultivo se vuelve una de las plantas con mayor potencial de rendimiento de aceite.

### **7.1.2.4 El Tártago en la Actualidad**

El área sembrada con este cultivo en el mundo está alrededor de 1,1 millones de hectáreas y 1,6 millones de toneladas producidas. Los tres principales países productores son responsables de cerca del 96% de la producción mundial. En América del Sur, Paraguay es un importante productor de tártago, y es responsable de cerca del 1% de la producción mundial.

La posibilidad de producción de biodiesel a partir del aceite de tártago generó un nuevo mercado para este producto, ya que sería capaz de absorber gran parte o la mayor parte de la producción actual de los países que lo cultivan. En todos los países productores de tártago, el cultivo tiene gran importancia social por emplear mucha mano de obra de trabajadores rurales, principalmente para la siembra, control de malezas y la cosecha.

Los principales productores de tártago se muestran a continuación:

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

Country	Number (tonnes)
India	1,150,000
China	180,000
Brazil	93,025
Mozambique	38,600
Paraguay	13,000
Thailand	12,197
Ethiopia	8,400
Angola	7,500
Viet Nam	6,000
South Africa	5,500
Kenya	3,000
United Republic of Tanzania	2,900
Madagascar	2,600
Ecuador	2,200
Indonesia	1,900
Cambodia	1,600
Syrian Arab Republic	1,500
Haiti	1,200
Uganda	1,000
Sudan	1,000
Pakistan	720
Benin	600
Russian Federation	290
Bangladesh	230
Mexico	150
Morocco	140
Togo	80
Philippines	77
Cape Verde	70

Tabla 7. Países Productores de Tártago

### 7.1.3 Algas

Se les dice algas a todos los protistas fotótrofos. Protistas son todos los microorganismos, generalmente unicelulares, que no pueden ser clasificados dentro del reino animal, vegetal o de los hongos. Fotótrofos se refiere a todos aquellos organismos que obtienen energía en base a la fotosíntesis. las algas pueden ser unicelulares o multicelulares y casi siempre viven en el agua, es por esto que se las denomina plantas inferiores, en contraposición con los hongos que al vivir en la tierra se los llama plantas superiores.

A las algas se las clasifica dentro de tres grupos dependiendo su pigmento que puede ser marrón, rojo y verde. Pueden vivir tanto en agua dulce o salada,

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible generalmente cerca de la tierra, ya que no pueden vivir en la profundidad por su dependencia a la luz solar para hacer fotosíntesis.

Según los expertos, las algas podrían ser una de las pocas alternativas para producir biocombustible con la habilidad de satisfacer la creciente demanda. Por este motivo, analizaremos esta alternativa en profundidad.

### **7.1.3.1 Cultivo - Cocecha - Estacionalidad**

Las algas pueden ser cultivadas en su hábitat natural, como por ejemplo en lagunas ubicadas en climas calurosos, para maximizar su producción. Si bien esta alternativa es la menos invasiva tiene varias desventajas. En primer lugar, uno se expone a los riesgos que representa el clima. Un clima que no sea el óptimo, puede afectar significativamente la producción de la planta, tal como sucede con los cereales. Por otro lado, las algas están expuestas a bacterias que pueden enfermar a la colonia, lo que también representa un serio riesgo a la producción. Otra desventaja es que las algas necesitan, para crecer, un rango muy estrecho de temperatura, lo que en una laguna grande es muy difícil de controlar.

La producción vertical ha sido desarrollada por un número de empresas para solucionar los problemas que representa cultivar el alga en su entorno natural. Las algas son puestas en bolsas de plástico para que el sol pueda penetrar por sus dos lados. Estas bolsas son puestas en altura y se las protege de la lluvia utilizando techos que puedan dejar pasar la luz solar.

Este método tiene la ventaja que la alga recibe más horas de luz solar que en su hábitat natural, por lo que crece más, aumentando la producción del aceite que se le extrae para hacer el biocombustible. Por otro lado se está protegiendo a las algas de las bacterias que pueden afectar su crecimiento. Como la temperatura está artificialmente controlada en su punto ideal todo el año, se eliminan los problemas de estacionalidad. Ya que las algas tienden a crecer más en verano por el clima cálido y los días más largos. Tal vez el mayor beneficio, que este tipo de cultivo tiene es que puede ser cultivado en tierra, por lo que su

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible  
producción puede aumentar mucho al no tener que estar confinado a una laguna.

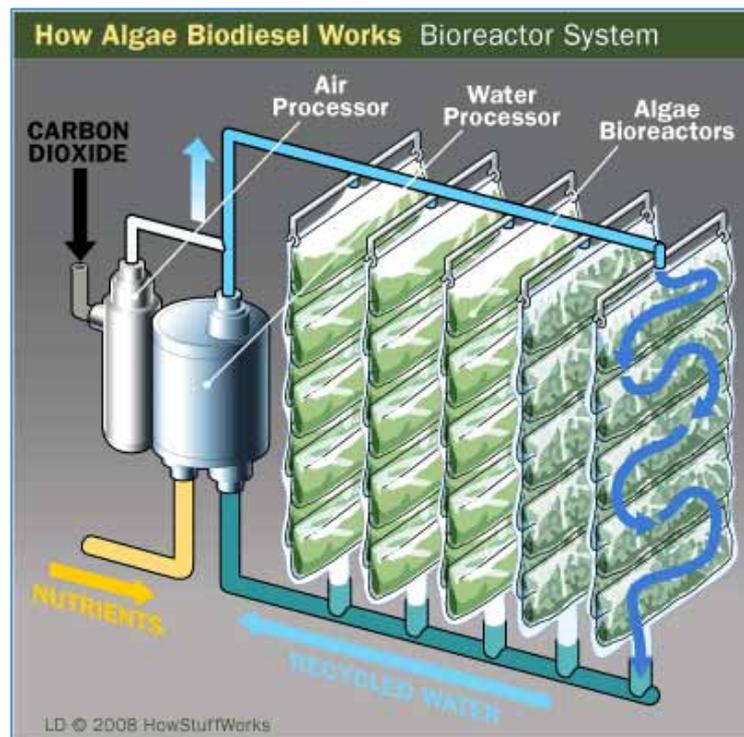


Ilustración 8. Cosecha de Algas

### 7.1.3.2 Proceso Productivo del Biodiesel

Una vez cultivado hay que extraer el aceite, a partir del cual se hace el biodiesel. Este proceso es fundamental, ya que es el proceso más costoso de la producción de biodiesel por esta alternativa. La viabilidad de la producción de biocombustible utilizando algas trascenderá si se encuentran métodos más económicos para extraer el aceite al cultivo. Hay dos métodos diferentes en la actualidad para extraerle el aceite. El más simple es utilizando medios mecánicos. El primer proceso consiste en secar la alga, para obtener algo parecido a un polvo, luego este polvo se aplasta con algún medio mecánico para poder extraerle el aceite. En el proceso se utilizan ciertos químicos que aumentan la productividad de extracción, logrando sacar una mayor cantidad de aceite utilizando la misma cantidad de polvo de alga.

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

El segundo método consiste en la utilización exclusivamente de químicos. Se utilizan solventes tales como ésteres, hexano u otros químicos con el objetivo que el aceite se disuelva en él. Aunque este proceso es más económico que el anterior, tiene varias desventajas ya que los solventes generalmente son sustancias peligrosas debido a su alta inflamabilidad. Por ejemplo hay estudios que muestran que la exposición al hexano aumenta las posibilidades de contraer cáncer.

A continuación se puede ver un esquema que refleja todo el proceso productivo del biocombustible a base de algas

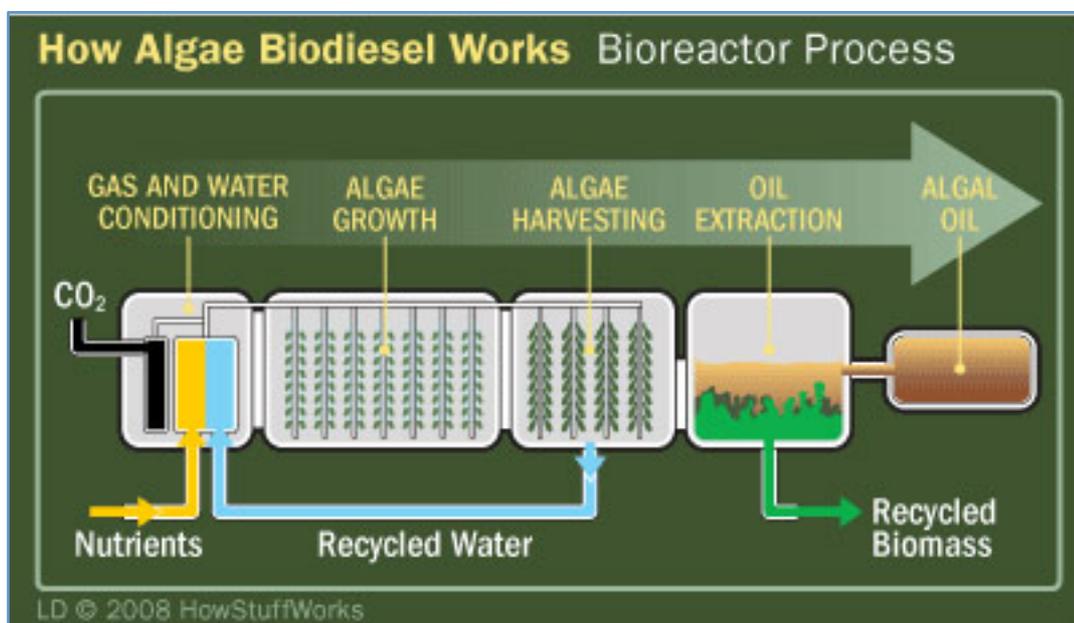


Ilustración 9. Obtención del Aceite de Algas

El aceite extraído no se puede usar directamente como combustible. La viscosidad del aceite es de 10 a 20 veces mayor al diesel proveniente de hidrocarburos. Esta propiedad hace que el bombeo, la combustión y la atomización que sufre el diesel en los inyectores sean deficientes. Por lo tanto hay que realizarle un proceso para reducir la viscosidad: proceso de transesterificación. Este proceso consiste en hacer reaccionar químicamente el aceite con el etanol, los productos de esta reacción son el biodiésel, etanolato y glicerol.

### **7.1.3.3 Beneficios de las Algas**

Las producción de biocombustible a base de algas tiene diversos beneficios.

En primer lugar las algas crecen mucho más rápido que cultivos generalmente utilizados, como la caña de azúcar. Tienen el beneficio adicional que pueden ser cosechados en forma diaria, por lo que tiene el potencial de crear un volumen de biomasa mucho mas grande que la de los cultivos tradicionales.

Las algas guardan la energía muy eficientemente en la forma de aceite, combinado con la necesidad reducida de terreno hacen que se puedan sacar de 20000 a 50000 litros anuales por cada hectárea cultivada.

Este organismo para poder crecer rápidamente consume cantidades considerables de dióxido de carbono convirtiéndolo en oxígeno. Por este motivo al plantarlo cerca de parques industriales, aumentaría su productividad y al mismo tiempo reduciría los efectos nocivos de la industria.

Las algas se desarrollan de muy buena forma en aguas provenientes de desagües cloacales y cierto tipo de desagües industriales. Por lo tanto en el proceso de cultivo además de estar creando biomasa estaríamos purificando el agua.

Luego de la extracción del aceite, los residuos sólidos pueden ser utilizados como combustible para fabricas.

Aunque tal vez su ventaja principal sea que el cultivo de las algas no compite con la agricultura tradicional. Ya que puede emplear suelos no aptos para la agricultura. Por este motivo, si se desarrollara esta industria ayudaría a bajar el precio de los alimentos.

### **7.1.3.4 Viabilidad como alternativa**

El biocombustible proveniente de las algas tiene la suficiente calidad como para reemplazar el combustible tradicional. La agencia oficial en la producción de combustibles en el estado de california determinó que cumple todos los requisitos técnicos para ser utilizados en motores de combustión interna. Como

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

resultado cuatro estaciones de servicio en ese estado americano venden diesel con un 20% de combustible proveniente de las algas. Aunque técnicamente es una alternativa viable, todavía no se han desarrollado tecnologías que puedan abaratar los costos de producción lo suficiente para hacer esta alternativa, una renovable.

A pesar que todavía no es rentable su comercialización, muchas empresas que administran capitales de riesgo están invirtiendo muy fuerte en tecnologías para poder bajar los precios de producción y así hacerla atractiva teniendo en cuenta los precios de la energía en la actualidad. Aun así diversos expertos en la industria de la energía como el CEO de Exxon Rex Tillerson aseguran que esta alternativa no sería viable económicamente por lo menos en los próximos 25 años. El precio por galón en los estados unidos del biocombustible a base de alga esta en 8 U\$D en contraposición al diesel convencional que se ubica en torno de los 3,20 U\$D por galón

Aunque en la actualidad no sea económicamente viable destinar el aceite de las algas a la producción de biocombustible, si es rentable producirlo y venderlo a la industria de los cosméticos. Empresas como la estadounidense Solazyme están produciendo a baja escala y vendiendo este aceite a la industria de los cosméticos y la industria alimentaria como saborizante mientras invierten en intentar bajar los precios de la producción para poder competir en el mercado de la energía. Es por esto que se espera que en los próximos años la producción de esta aceite se incremente, ya que su demanda sigue aumentando.

A continuación podremos ver un estimativo de la producción anual aceite de algas, asumiendo que el costo del petróleo siga aumentando y los costos de producción del aceite sigan bajando.

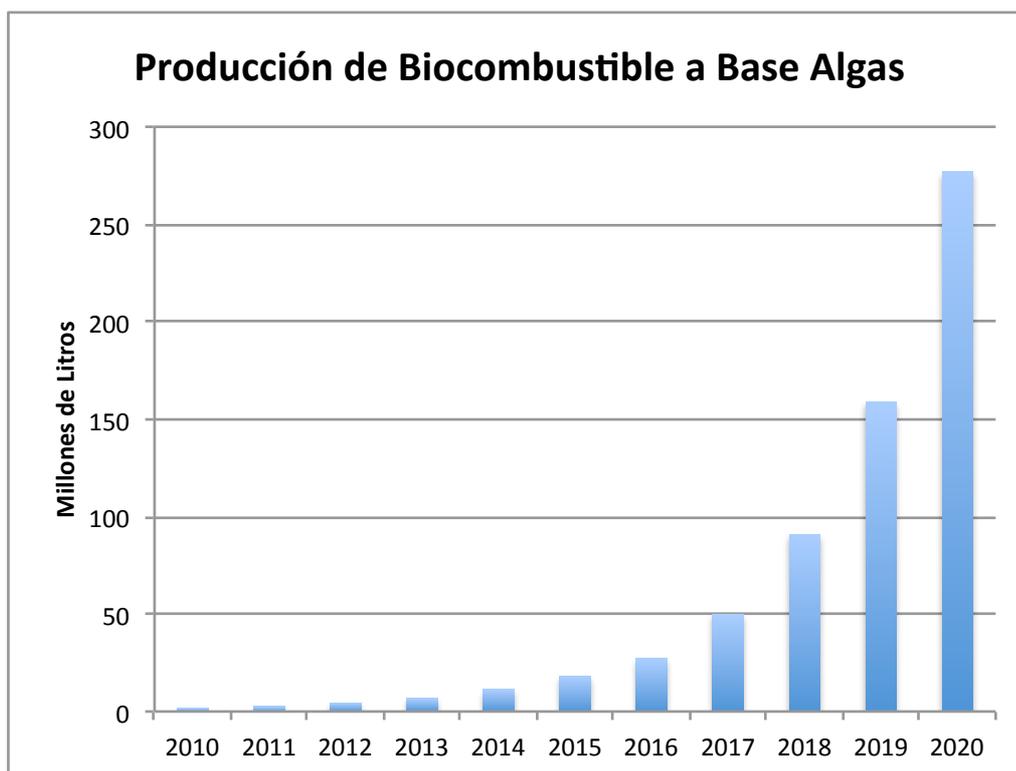


Gráfico 9. Proyección Productiva del Biocombustible a Base de Algas

En la actualidad diversas empresas como en Estados Unidos están produciendo aceite de algas a baja escala, pero como aun no es económicamente viable producir biodiesel a partir del aceite, lo están comercializando a la industria de los cosméticos.

El gran desafío de esta industria será poder si pueden escalar su producción, innovando en los procesos productivos para poder competir en costos con la producción de biodiesel proveniente de cultivos tradicionales. De esto dependerá el futuro del biodiesel proveniente de algas, una alternativa interesante ya que si su costo bajase se podría producir suficiente cantidad como para poder competir con el biodiesel tradicional y con el combustible fósil.

### 7.1.4 Residuos Alimenticios

Los residuos de alimentos tales como aceites usados, alimentos vencidos, carozos de aceitunas, productos no aptos para la venta y comida en buen estado tiradas por año viene creciendo a tasas importantes en los últimos años, especialmente en el mundo desarrollado. A continuación podremos ver un gráfico de la cantidad de kilos per cápita anuales que se tiran en las diferentes regiones del mundo.

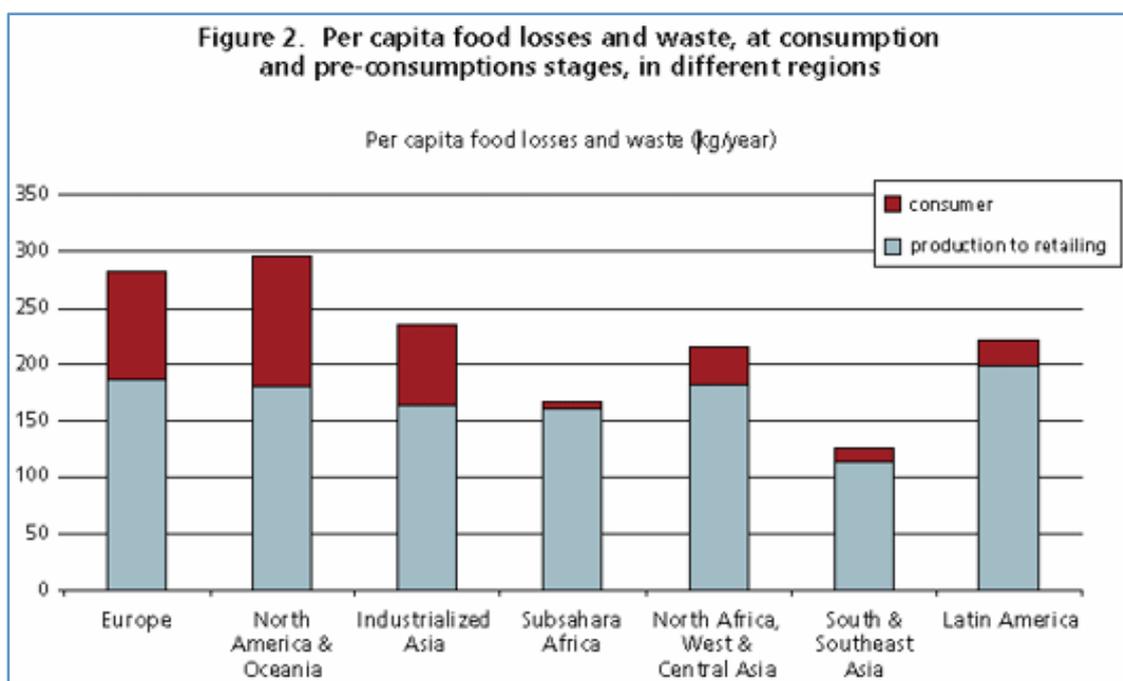


Gráfico 10. Cantidad de Residuo Anual Producido, por Región

En total mundialmente se desperdician 1300 millones de toneladas de comida anuales según las naciones unidas. Esto representa aproximadamente el 30% de la producción mundial de alimentos.

Parte de estos alimentos pueden ser redirigidos hacia banco de alimentos, para su posterior donación y consumo por personas carenciadas. Pero otro porcentaje considerable que ya no es apto para el consumo humano, como alimentos vencidos, aceites usados, carozos o las cáscaras de las frutas pueden ser convertidas en biocombustible en lugar de ser desperdiciadas como en la actualidad.

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

Dependiendo del tipo de basura a procesar es el tipo de combustible que se puede obtener. A continuación vemos una tabla con los principales residuos que se pueden procesar y el tipo de combustible que se puede obtener de cada uno.

Residuo	Biocombustible
<b>De la agricultura</b>	
- Paja - Cáscaras de cereales - Purín - Residuos vegetales	- Metanol, Etanol, Diesel y Gasolina
<b>Basura Verde</b>	
- Recortes de césped - Heno	- Biometano, Etanol - Biometano, Etanol, Metanol, Diesel y Gasolina
<b>Residuos de madera</b>	
- Residuos de madera no tratada - La madera de la conservación del paisaje - Residuos de aserrado	- Metanol, Etanol, Diesel y Gasolina
<b>Otros</b>	
- Los residuos de cocina - Los residuos de la elaboración de alimentos - Los residuos orgánicos domésticos - Residuos orgánicos en seco - Grasa o residuos de aceite - Residuos de mataderos	- Biometano - Biometano, Etanol - Biometano - Biometano, Etanol, Metanol, Diesel y Gasolina - Diesel - Biometano

Tabla 8. Diferentes Tipos de Biocombustible Según el Residuo Alimenticio

### 7.1.4.1 Proceso Productivo del Biocombustible

El proceso necesario para transformar los residuos en combustible dependerá del tipo de combustible que se quiere obtener. Para obtener biometano es necesario utilizar microbios que se alimenten del residuo y como resultado

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible obtendremos el biometano. Si necesitamos obtener etanol tendremos que utilizar la fermentación anaeróbica. Para obtener biodiesel hay que utilizar el proceso de transesterificación explicado con anterioridad. Finalmente para obtener gasolina y metanol hay que utilizar un proceso llamado gasificación y síntesis. A continuación daremos una explicación de en qué consiste cada proceso mencionado.

La digestión anaeróbica es un conjunto de procesos en los cuales ciertos microorganismos rompen los residuos biodegradables en la ausencia de oxígeno. La digestión consiste en cuatro etapas principales.

- La primera consiste en la hidrólisis de los compuestos de mayor peso molecular por medio de enzimas como las amilasas y las proteasas. En este proceso se rompen las grandes cadenas de lípidos, proteínas, ácidos nucleicos y polisacáridos obteniéndose azúcares, alcoholes, glicerol, ácidos grasos, aminoácidos y compuestos aromáticos.
- La segunda etapa la llevan a cabo bacterias acidogénicas que transforman los compuestos previamente mencionados en ácidos grasos volátiles.
- En la tercer etapa las mismas bacterias acidogénicas transforman los ácidos grasos volátiles en ácido acético.
- En la cuarta etapa en utilizan las bacterias hidrogenotróficas que transforman el ácido acético en metano y dióxido de carbono.

A continuación podremos ver un esquema de los tanques donde estos procesos tienen lugar.

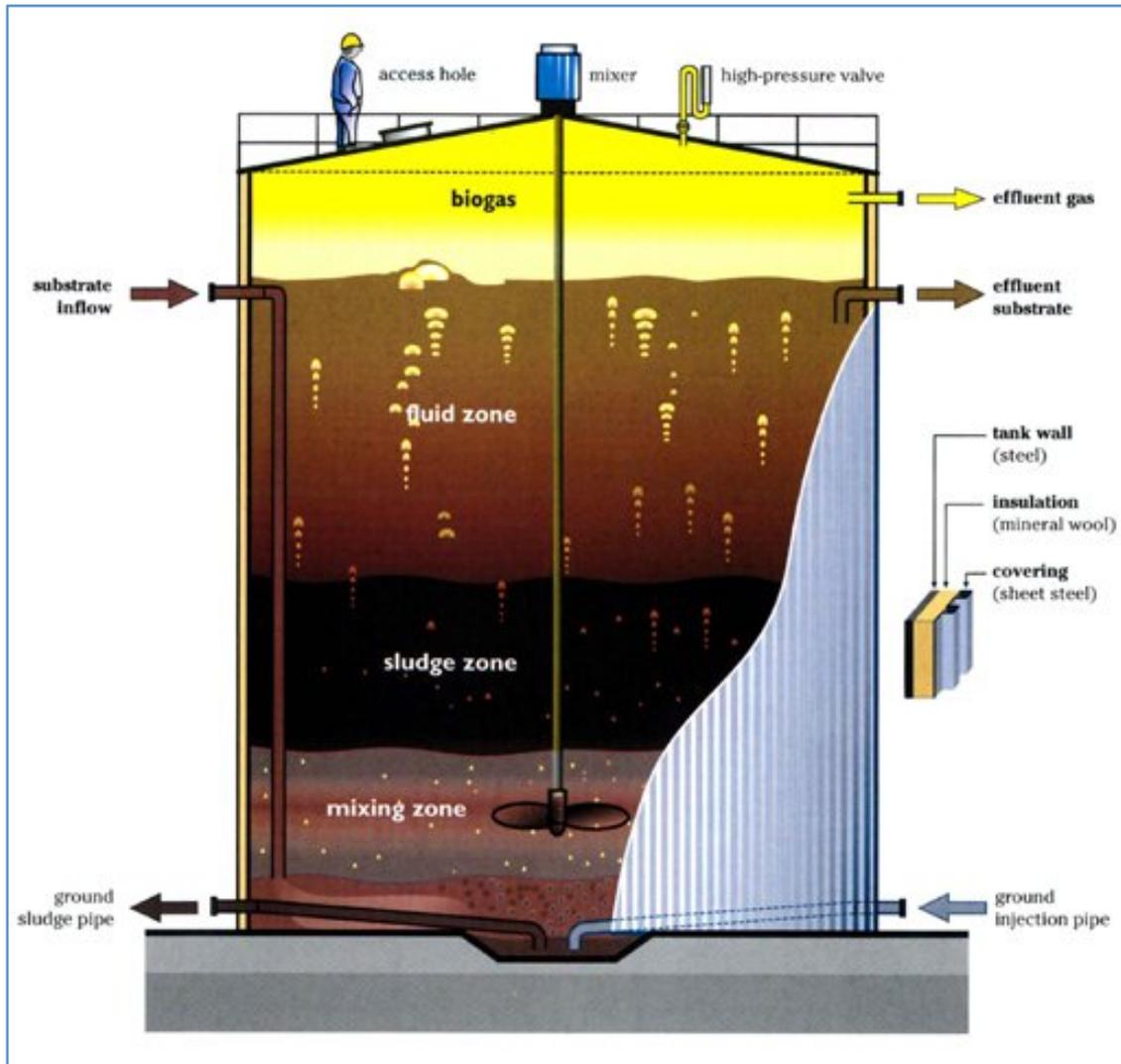


Ilustración 10. Proceso Productivo del Biometano a Partir de Residuos Alimenticios

Para obtener etanol hay que fermentar anaerómicamente los residuos. Esta es una tecnología muy antigua que se utilizó históricamente para la elaboración de bebidas alcohólicas. Las tecnologías usadas para mejorar la eficiencia dependen en gran medida del residuo a utilizar. A continuación explicaremos las tres etapas de este proceso, independientemente de las tecnologías utilizadas para lograrlo.

- Preparación de la materia prima. Los residuos pasan por una serie de procesos con el objetivo de liberar los azúcares y los almidones que después serán fermentados.

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

- El segundo paso es la fermentación en sí. Los microorganismos consumen los azúcares convirtiéndolos en etanol y dióxido de carbono.
- Se procede al destilado de la mezcla, para aumentar la concentración de etanol y hacerla más pura.

Finalmente dependiendo de su posterior uso, se pueden agregar aditivos para mejorar la performance del combustible. Generalmente también se le agregan pequeñas cantidades de sustancias nocivas para que no se lo utilice como bebida alcohólica.

Gasificación y síntesis son los procesos utilizados para la elaboración de Diesel y gasolina. El proceso comienza con la gasificación. Este proceso consiste en hacer reaccionar la biomasa a más de 700 grados celsius en presencia de oxígeno. El resultado es un gas llamado gas de síntesis compuesto por hidrógeno y monóxido de carbono. Aquí es donde el proceso cambia según se quiere producir Diesel o gasolina. Para la producción de gasolina se hace una síntesis de metanol. Luego se convierte este metanol en gasolina. Para la obtención de diesel al gas de síntesis se lo hace reaccionar con cobalto en un proceso llamado Fischer Tropsch síntesis.

### 7.1.4.2 Situación Actual

Existen varias fábricas alrededor del mundo que convierten la basura de la industria alimenticia en distintos tipos de biocombustible. Un ejemplo es la empresa Uptown Oil en el Reino Unido que le compra el aceite usado a los restaurant para su posterior procesamiento. La producción anual de este tipo de combustible se estima en 5 mil millones de litros para este año. Las proyecciones por la Unión Europea establecen que para el año 2020 la producción mundial alcanzará los 10 mil millones de litros. Es importante destacar que aunque el consumo de este tipo de biocombustibles viene en aumento, la razón por la cual se da esto es por los subsidios brindados por los estados. En la actualidad este tipo de combustible no puede competir en precio con el biodiesel tradicional y menos aún con los combustibles fósiles. Por este

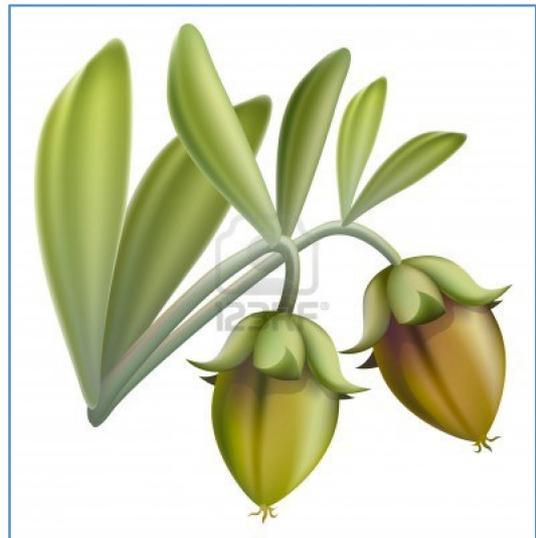
Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible  
motivo los países, generalmente los europeos brindan subsidios y les cobran menos impuestos a esta industria para incentivarla.

Es importante destacar que muchas de las tecnologías utilizadas en procesar los residuos alimenticios en biocombustibles son nuevas. Por esto motivo es probable que en un futuro la productividad vaya en aumento a medida que se invierta en investigación y en desarrollo para poder bajar los costos de producción y recolección de los residuos.

### 7.1.5 Jojoba

La Jojoba (*Simmondsia chinensis*) es un arbusto que se proviene del desierto de Sonora, (frontera entre México y Estados Unidos) y del desierto de Mojave (California, Arizona, Utah y Nevada en Estados Unidos).

Es el único vegetal que produce cera líquida (éster), con propiedades físicas y químicas de gran utilidad para una amplia variedad de industrias básicas, entre ellas cosmética, lubricantes, carburantes, ceras, plásticos, ordenadores y biodiesel. Para este último se prevé un paulatino incremento en la demanda. Es una planta dioica ya que existen plantas



macho, productoras de polen, y plantas hembras, que son las que producen los frutos, de donde se saca la semilla.

Esta especie despertó un gran interés mundial debido a las múltiples aplicaciones que de ella se obtienen. El aceite de jojoba puede reemplazar a los originados por los hidrocarburos con ventajas adicionales, siendo además un recurso renovable, a diferencia del petróleo. De acuerdo con la estructura química y características físicas de la molécula de este aceite o cera líquida, puede llegar a sustituir en un 80% a los derivados del petróleo.

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

El aceite de jojoba se extrae por el prensado de sus semillas (frutos secos) y este aceite se utiliza principalmente en productos cosméticos sin ningún tipo de refinado mezclado con otras sustancias o simplemente solo.

### 7.1.5.1 La Planta: Siembra y Cultivo

La joroba es una planta arbustiva, verde y perenne con una altura desde los 0,6 metros a un máximo de 3 metros. Pueden vivir hasta los 200 años. Es una planta sensible a las heladas. Una helada prolongada puede producir la muerte de una planta joven, y la de los frutos de las plantas maduras. Por lo que una helada prolongada en la época invernal se traduce en la pérdida de rentabilidad anual.

La especie se desarrolla con más rapidez en climas cálidos principalmente en verano, el rango de temperaturas óptimo varía dentro de los 24 grados y 35 grados centígrados, aunque puede sobrevivir temperaturas de más de 45. Es una especie que se puede adaptar a la mayoría de los suelos siempre y cuando la tierra cuenta con una adecuada aireación. A su vez el drenaje debe de ser correcto, ya que un mal drenaje puede provocar la muerte de la planta por asfixia reticular. Otro beneficio adicional es que la planta puede sobrevivir en regiones donde el agua disponible para el riego posee una gran salinidad. Lo que aumenta la cantidad de hectáreas donde la planta puede ser cultivada.

La siembra tanto en el hemisferio norte como sur tiene que ser a principios de la primavera. Esto se debe a que es conveniente que la planta llegue lo más desarrollada posible al primer invierno, ya que como v

imos anteriormente las plantas jóvenes son muy susceptibles a las heladas. A su vez la semilla para germinar necesita una temperatura mínima, por lo que no es recomendable plantarla antes de los primeros calores posteriores al invierno.

La forma de plantar la semilla óptima para el desarrollo de la planta es la siembra directa. Este método consiste en depositar la semilla directamente en contacto con la tierra en su lugar definitivo, ya sea manual o mecánicamente. Se planta con una cierta distancia entre sí, para poder remover algunas de las

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible planta macho, ya que hay que guardar una relación de 5 plantas hembra por cada planta macho para lograr un rinde óptimo.

El riesgo puede ser por surcos o por goteo. Se usará el riego por surcos cuando la cantidad de agua disponible es elevada ya que es un sistema más económico. Se prefiere el riego por goteo cuando el agua es un factor escaso, ya que este método utiliza el agua más eficientemente necesitando menores cantidades de agua. La jojoba requiere de 3000 a 4500 metros cúbicos de agua por hectárea al año. Esto es un tercio de lo que requiere un cultivo tradicional como el trigo o el maíz. Esta característica hace que se pueda cultivar esta planta en suelos donde el agua es escasa, utilizando tierras no aptas para cultivos tradicionales. La fertilización necesaria es la típica que para los cultivos tradicionales y depende de los minerales es que naturalmente se encuentran en el suelo al momento de plantar.

La cosecha es mano de obra intensiva, ya que se requiere recolectar del suelo las semillas. Para esto se barren las semillas hasta el centro de la entehilera y luego se las colectan manualmente. Es posible realizar la cosecha utilizando maquinaria si el campo es suficientemente grande para absorber tamaño inversión.

#### **7.1.5.2 Obtención del Aceite y Biodiesel**

El aceite se obtiene de la semilla a partir de un accionamiento mecánico que aplasta las semillas. En el proceso se agregan solventes como el benceno o el isopropanol para elevar el rinde. A continuación hay para acondicionar el aceite para que pueda ser utilizado en motores de combustión, por lo que se hace el proceso de transesterificación explicado con anterioridad.

#### **7.1.5.3 La Jojoba y sus Beneficios**

La utilización de la semilla de jojoba para la producción de biodiesel cuenta con varias ventajas por sobre otras alternativas. El rinde de aceite es aproximadamente del 50%, esto quiere decir que la mitad del peso de la semilla

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible es aceite. Esto es un rindo mucho más elevado que otras alternativas, lo que permite producir más aceite con la misma cantidad de semillas.

A su vez el cultivo es de mano de obra intensiva, esto puede generar muchos trabajos adicionales en países en desarrollo con un bajo PBI per cápita. En los países industrializados donde la mano de obra es cara, se puede recolectar las semillas utilizando maquinarias ya que en esta situación se justifica la inversión.

El resto de la semilla, una vez extraído el aceite, es rica en nutrientes por lo que se la puede utilizar para la alimentación de ganado o como fertilizante de la tierra. De esta manera se aprovecha la semilla al 100%.

El biodiesel proveniente de esta semilla larga menos contaminantes que el biodiesel tradicional. A su vez hace que el motor ande con menos ruido y también aumenta su durabilidad. Este combustible hace que los motores desarrollen la misma potencia que el diesel proveniente del petróleo y mayor potencia comparándolo con el biodiesel tradicional.

Se pueden utilizar suelos marginales, que por su salinidad o baja disponibilidad de agua no son aptos para cultivos tradicionales. Inclusive se puede cultivar en desiertos, como los que el país tiene en el sur, suelos que hoy son improductivos. Por este motivo este biocombustible no compite con las fuentes de alimentos por lo que no impulsaría su precio.

#### **7.1.5.4 Estado Actual**

Los principales países productores son Argentina (7000 Ha), Israel (700 Ha), Estados Unidos (2000 Ha), Australia (500 Ha), Perú (300 Ha), México, Egipto e India. Principalmente en la actualidad, el aceite se utiliza en 90% para la industria de los cosméticos. En la actualidad la producción de aceite de jobo se encuentra en 12 000 toneladas por año. La producción de biodiesel todavía no se encuentra en escala industrial. Si en el futuro la producción de biodiesel aumentara, la cantidad de hectáreas cultivadas debería aumentar también, ya que hoy en día la producción de aceite es muy limitada si se quiere competir con el biodiesel tradicional.

## 7.2 Compuestos Celulósicos

El etanol celulósico es un biocombustible producido a partir de madera, hierba, o las partes no comestibles de las plantas. Es un tipo de combustible producido a partir de lignocelulosa, un material que compone la estructura de gran parte de la masa de las plantas. La lignocelulosa se compone principalmente de celulosa, lignina y hemicelulosa. El pasto varilla, especies de pastos de *Miscanthus*, virutas de madera y los productos derivados del césped y el mantenimiento de los árboles son algunos de las materias primas mas comunes para la producción de etanol. La producción de etanol a partir de lignocelulosa tiene la ventaja de abundante y diversa materia prima en comparación con las fuentes tales como maíz y caña de azúcar, pero requiere una mayor cantidad de procesamiento para hacer que los monómeros de azúcar disponibles para los microorganismos normalmente utilizados para producir etanol por fermentación.

El pasto varilla, importante ejemplo de componente celulósico, es una especie nativa de Norteamérica, de estación cálida. Es una de las especies más importantes en la región central de Norteamérica y se la puede encontrar en praderas, pasturas nativas y a lo largo de las rutas.

Diversos estudios se están realizando para saber si se puede utilizar dicho cultivo para producir biocombustibles de manera eficiente y económica. Su principal beneficio es que no compite con tierras fértiles destinadas a la producción de alimentos. Pueden ser cultivadas al costado de las rutas, tierras actualmente sin uso.

Es una planta adaptable y de poco cuidado, puede desarrollarse en diversas situaciones climatológicas, distintos tipos de suelo y en condiciones extremas.



### 7.2.1.1 Producción de Etanol

Existen dos métodos productivos para elaborar biocombustible a partir de la celulosa: la hidrólisis y la gasificación. A continuación explicaremos las etapas del **primer método**:

1. Se realiza un pre tratamiento para hacer que el material lignocelulósico tales como la madera o la paja sean susceptibles a la hidrólisis
2. Se realiza la hidrólisis de la celulosa, para romper las moléculas en azúcares.
3. Se separa la solución de azúcar a partir de los materiales residuales, en particular la lignina.
4. Se fermenta la solución de azúcar con microorganismos
5. Se destila la solución para producir alcohol con una concentración del 95%
6. Se deshidrata por tamices moleculares para llevar la concentración de etanol a mas del 99,5%

La lignocelulosa es un recurso muy abundante pero su facilidad de uso se ve limitado por su rígida estructura. Es por esto que es necesario un tratamiento eficaz para liberar la celulosa de la junta de lignina y su estructura cristalina con el fin de hacerla accesible para una etapa de hidrólisis. Para lograr una mayor eficiencia se realizan tanto métodos químicos y físicos.

Las moléculas de celulosa están compuestas de cadenas largas de moléculas de azúcar. En el proceso de hidrólisis (segunda etapa del proceso), estas cadenas se rompen para liberar el azúcar antes de que se fermenta para la producción de alcohol. Hay dos principales métodos para la hidrólisis de la celulosa: se puede utilizar una reacción química utilizando ácidos, o una reacción

Hay dos principales hidrólisis de la celulosa procesos: una reacción química utilizando ácidos, o una reacción enzimática. Luego se separa esta solución de azúcar

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

Debido a la naturaleza compleja de los hidratos de carbono presentes en la biomasa lignocelulósica , una cantidad significativa de xilosa y arabinosa ( azúcares de cinco carbonos derivados de la porción de hemicelulosa de la lignocelulosa ) también está presente en el hidrolizado . Por ejemplo , en el hidrolizado de rastrojo de maíz , aproximadamente el 30 % del total de los azúcares fermentables es xilosa Como resultado , la capacidad de los microorganismos fermentativos para utilizar toda la gama de azúcares disponibles a partir del hidrolizado es vital para aumentar la competitividad económica de etanol de celulosa y proteínas potencialmente base biológica .

En los últimos años , la ingeniería metabólica de los microorganismos utilizados en la producción de etanol combustible ha demostrado un progreso significativo. Además de *Saccharomyces cerevisiae* , los microorganismos tales como *Zymomonas mobilis* y *Escherichia Coli* han sido objeto a través de ingeniería metabólica para la producción de etanol celulósico .

Luego se procede a la destilación para alcanzar una pureza de etanol del 99,5%.

El **segundo método** de producción del biocombustible a partir de la celulosa es la gasificación.

El proceso de gasificación no se basa en la descomposición química de la cadena de celulosa. En vez de romper la celulosa en moléculas de azúcar , el carbono en la materia prima se convierte en gas de síntesis , a través de una combustión parcial . El monóxido de carbono , dióxido de carbono y el hidrógeno pueden ser alimentados a continuación, en un tipo especial de fermentador . En lugar de la fermentación de azúcar con la levadura , este proceso utiliza bacterias *Clostridium Ljungdahlii* . Este microorganismo se ingiere el monóxido de carbono , dióxido de carbono y el hidrógeno y produce agua y etanol . El proceso por lo tanto se puede dividir en tres pasos:

1. Gasificación: Moléculas complejas basadas en el carbono se descomponen para formar monóxido de carbono, dióxido de carbono e

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

2. Fermentación: Se utiliza el microorganismo *Clostridium Ljungdahlii* para convertir el monóxido de carbono, el dióxido de carbono y el hidrogeno en etanol y agua.
3. Destilación: El etanol se separa del agua

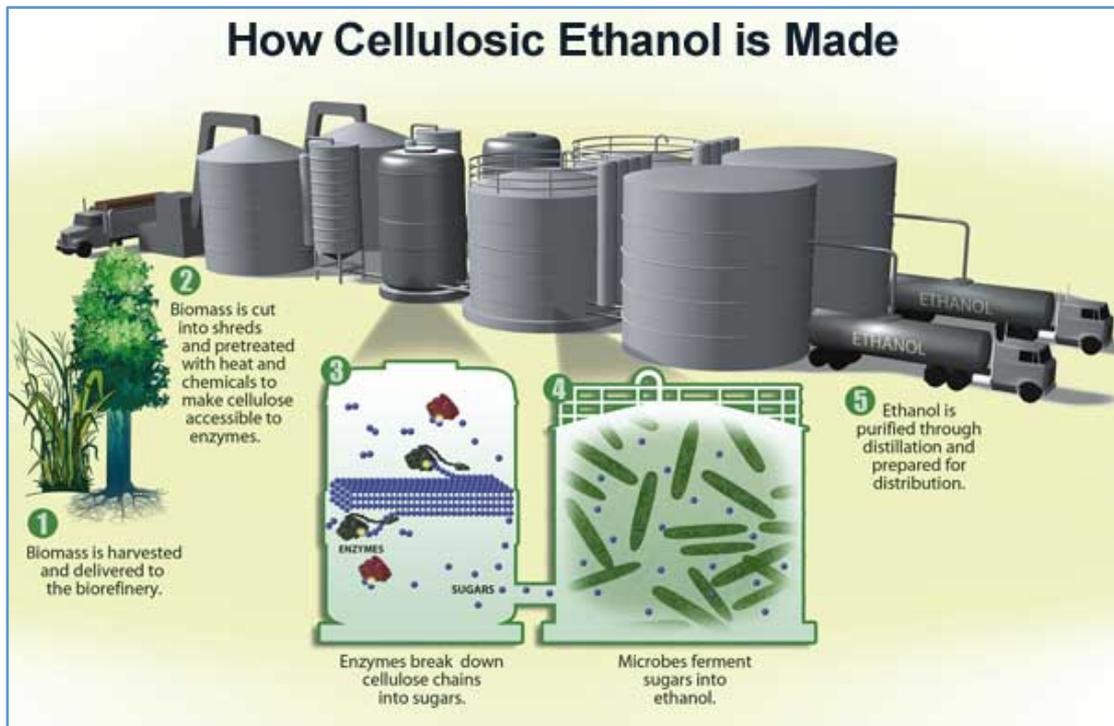


Ilustración 11. Proceso Productivo del Bioetanol a Partir de Compuestos Celulósicos

### 7.2.1.2 Ventajas y Desventajas

El biocombustible producido por la celulosa tiene varios beneficios comparados con los combustibles tradicionales. En primer lugar, se puede utilizar los residuos biológicos, como el césped cortado, desperdicios de las cosechas de cereales y las virutas de madera. Por otro lado también se pueden cosechar en campos no aptos para la producción de alimentos, diferente especies de pastos como el pasto varilla que son ricas en celulosa. Por estos motivos el biocombustible producido por celulosa no compite con la elaboración de alimentos. Por otro lado, estudios realizados por los entidades gubernamentales de los Estados Unidos demuestran que se puede bajar hasta el 88% de la emisión de gases de efecto invernadero utilizando la celulosa. A su vez, se

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible estaría utilizando grandes cantidades de basura orgánica que hoy de desperdicia, lo que reduciría la cantidad de material enviados a los rellenos sanitarios.

El pasto proporciona un etanol de alta calidad que se puede usar en los motores de combustión interna de ciclo Otto. A su vez se puede usar suelos marginales no aptos para el cultivo tradicional, por lo que no compite con la producción de alimentos. Es un cultivo de mano de obra no intensiva, ya que crece fuertemente sin necesitar mucho cuidado. Su cultivo mucho más económica al demandar suelos de menor valor, no necesitar mucho cuidado y tampoco necesita fertilizantes.

El pasto varilla a su vez tiene un muy buen índice de balance de energía. El output de energía es 10 veces mayor que el input de energía necesario para su cultivo y refinamiento.

Como desventajas La producción de biocombustibles a través de la celulosa es mas costosa que a partir de los métodos tradicionales. Esto se debe principalmente a que el precio de las encimas que fermentan la celulosa son hasta 10 veces más caro de las encimas que se requieren para fermentar cultivos tradicionales como el maíz. A pesar de esto, diferente países como los Estados Unidos ven en la celulosa la mejor opción en el mediano plazo para producir biocombustibles de segunda generación. Es por esto que Estados Unidos por un lado subsidia la producción de celulosa y por el otro invierte fuertemente en investigación y desarrollo para poder bajar los costos.

En 2010, ingenieros pudieron modificar genéticamente una levadura que desarrolla sus propias encimas que digieren la celulosa. Suponiendo que esta tecnología se pueda escalar a nivel industrial, se podrían eliminar varios pasos del proceso de producción reduciendo el tiempo requerido y los gastos de producción.

Los Estados Unidos pretenden reducir el costo de producir el biocombustible a partir de la celulosa, para que en un mediano plazo sea económicamente competitiva y por lo tanto se requiera menos subsidios.

### **7.2.1.3 Situación Actual y Proyección**

En la actualidad, a pesar de la falta de competitividad económica existen 15 plantas de producción de biocombustible a partir de la celulosa debido a los subsidios que estas empresas reciben. La producción viene en fuerte aumento, en el año 2010 se produjo 100 millones de galones, en el 2011 se produjeron 200 millones de galones y se espera producir este año 500 millones de galones, según la secretaria de energía de los Estados Unidos.

Es una alternativa con mucho potencial, porque hay abundancia de materia prima, que en la actualidad se desperdicia. A su vez países de la importancia de Estados Unidos y China están invirtiendo 1500 millones de dólares anuales en investigación y desarrollo para bajar los gastos de producción.

## 8 El Biocombustible en el Futuro

---

Luego de observadas todas las alternativas dispuestas en el párrafo anterior, se procede a analizar las viabilidades y el impacto total que pueden tener las distintas oleaginosas, para finalmente determinar si se puede suplir, o abarcar en una medida considerable, la demanda de biodiesel actual.

Será propicio analizar si la capacidad de producción de las alternativas está a la altura de suplir la demanda actual y la futura, o hasta que punto podría reemplazar la actual producción con cultivos alimenticios.

### 8.1 Producción con las Alternativas Propuestas

Basándose en la demanda proyectada de biocombustibles, sería correcto asumir que la demanda se suplirá, mediante aumentos productivos o de capacidad. Es decir, que la demanda de biocombustible será satisfecha, o por semillas de alimentos, o bien, por las alternativas propuestas en el apartado anterior. Es decir que habrá que calcular cual va a ser la oferta posible de las distintas alternativas para asociar una matriz productiva emergente.

Si se analiza el estado actual de las distintas alternativas que corresponden al grupo de producción con biomasa y se lo lleva a números, se puede obtener un gráfico de producción que responde a la siguiente forma

Para realizar este gráfico se deben tener en consideración los supuesto que se utilizan para proyectar la capacidad productiva.

Un cultivo prometedor que no solo sirve para suplantar al alimento sino que se empapa de problemáticas actuales de tratamiento de desperdicios es la incineración de **Residuos Alimenticios**. Es similar a los compuestos celulósicos en el hecho de los altos costos de producción y los incentivos para mejorar la industria, tecnológicamente.

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

Por otro lado, la **Jatropha** se encuentra estancada por el problema de la productividad en tierras hostiles, y hará falta avances tecnológicos para que esta alternativa genere un incremento sostenido en los próximos años.

Las **Algas** tienen el problema de el costo de producción, por lo que no podría alcanzar todo su potencial si no se resuelve esta cuestión. Es importante tener en cuenta que en un análisis a diez años no se espera solucionar el tema del costo, pero si se extiende el plazo a unos cincuenta años, se podría observar un crecimiento acelerado ya que, de invertirse en investigación y desarrollo para resolver las complicaciones que se presentan ahora, sería una excelente alternativa. De todos modos, en el análisis a diez años, se observa una producción considerable, lo suficiente como para no ser despreciada.

La **Jojoba** es otro cultivo. Cuando se analizó el mismo, se observó que tiene un desarrollo muy limitado en cuanto a producción del cultivo y no presenta grandes evoluciones a lo largo del tiempo. Por este motivo se decidió obviarlo del análisis por no ser lo suficientemente representativo para el estudio.

Si se tiene todo en consideración se puede lograr entender la proyección estimada de crecimiento sostenido, pero considerablemente lineal, observando una tendencia del 10% anual aproximadamente.

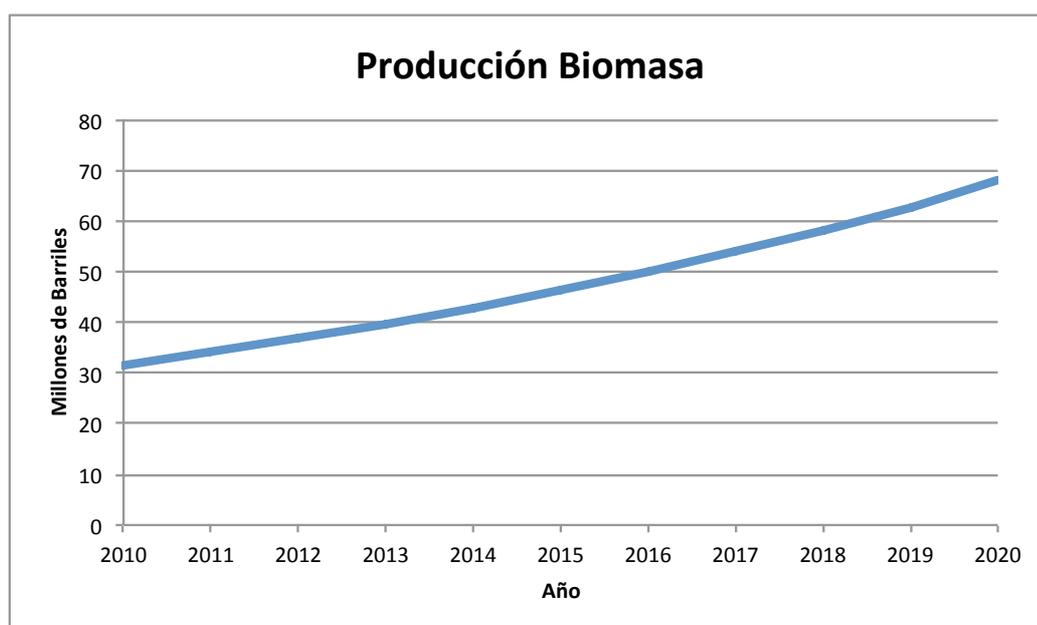


Gráfico 11. Proyección Evolutiva de la Producción de Biocombustible a Partir de la Biomasa

Esto representa un 4% en promedio de la cantidad demandada del combustible, por lo que sería propicio analizar las demás y así comprender mejor, con un panorama más completo, acerca de la posibilidad de dichos combustibles de ganar posicionamiento en el mercado.

En la misma medida, se puede observar la producción de biocombustible con base de Celulosa para los próximos años. Para la misma se estiman diferentes hipótesis que pueden ayudar a entender el gráfico.

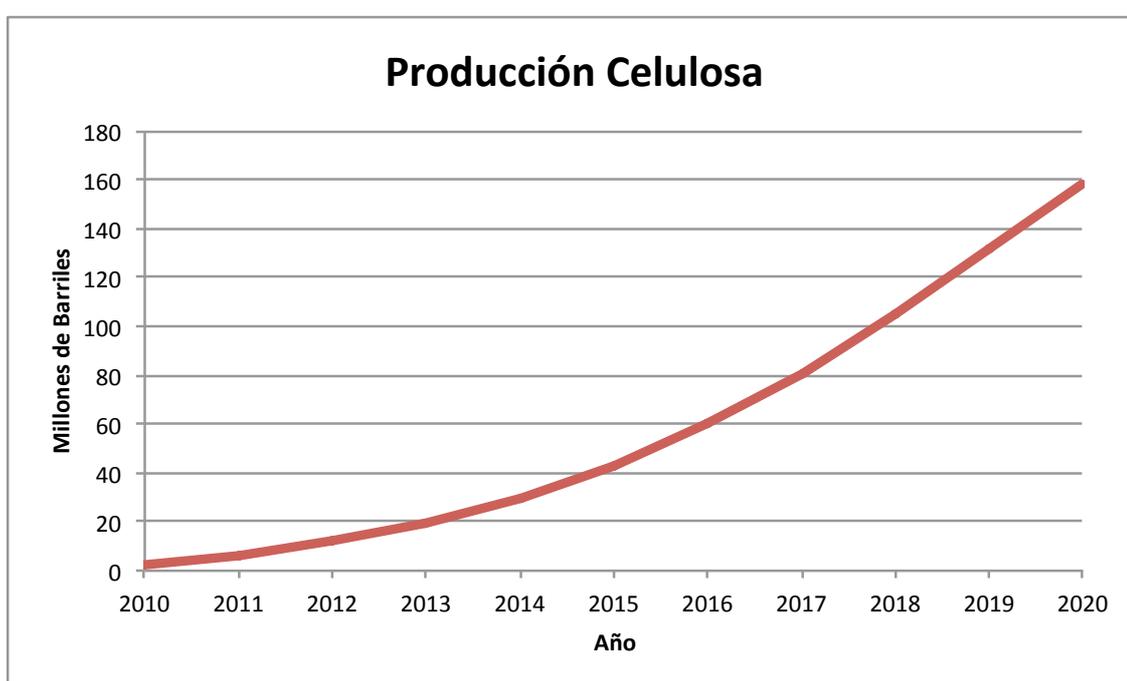


Gráfico 12. Proyección Evolutiva de la Producción de Biocombustible a Partir de la Celulosa

Cuando tenemos en cuenta las diferentes palancas que entran en juego a la hora de considerar estos cultivos como potenciales sustitutos del alimento, se puede destacar que son una novedad que se está explotando rápidamente. Es decir, el crecimiento es más marcado y exponencial dado las ventajas que presenta y las inversiones en tecnologías para poder combatir las ineficiencias del proceso. Al estar íntimamente ligado con el tratamiento de desperdicios, el reciclaje y demás, toma la misma vía que los residuos alimenticios, pero mejorando la calidad del combustible y logrando tratar con eficiencia los

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible procesos papeleros y forestales a un nivel supremo. Es por eso que se puede comprender el crecimiento que se observa, dados los esfuerzos de los EEUU en disparar este insumo hacia una zona mucho más competitiva.

Por último se agregan las proyecciones de producción de otros compuestos no alimenticios que pertenecen a los biocombustibles de segunda generación y son compuestos no celulósicos.

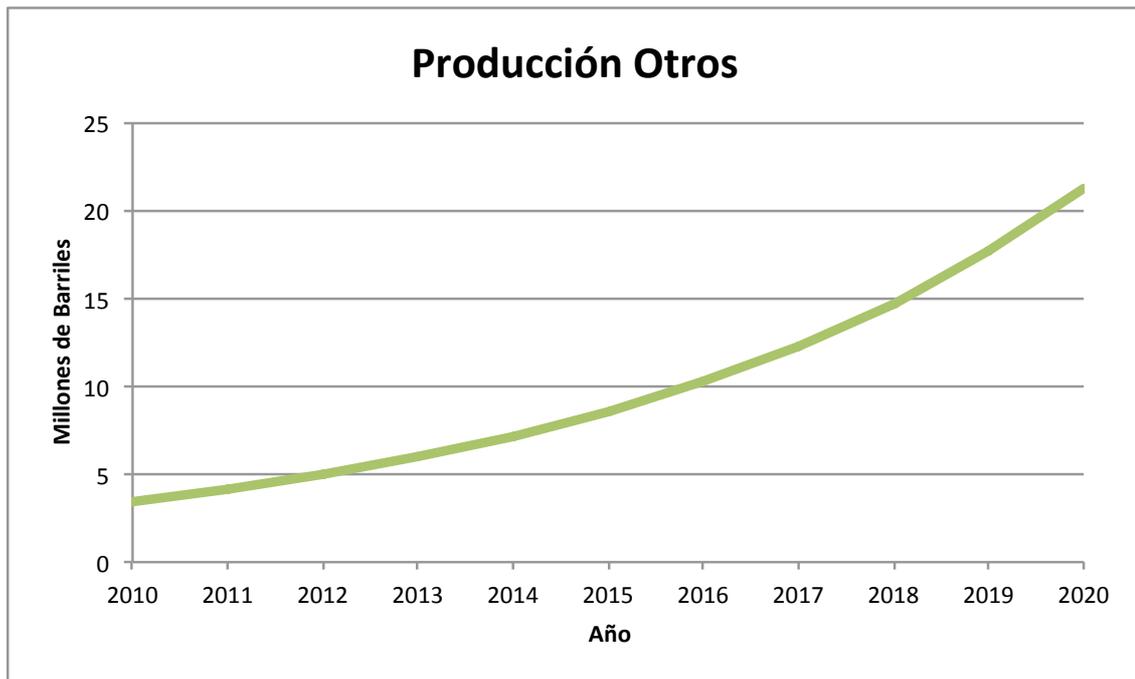


Gráfico 13. Proyección Evolutiva de la Producción de Biocombustible a Partir de Otros Compuestos

Se observa un crecimiento moderado, en línea con el crecimiento del total de los biocombustibles de segunda generación, trayendo a conclusiones que no son determinantes a la hora de representar el cambio, pero que se mueven con el mercado.

## 8.2 Resultados

Luego de analizadas todas las alternativas y comprendido las palancas que se manifiestan en la evolución de las mismas a lo largo del tiempo, se juntan todas con el fin de obtener el siguiente gráfico.

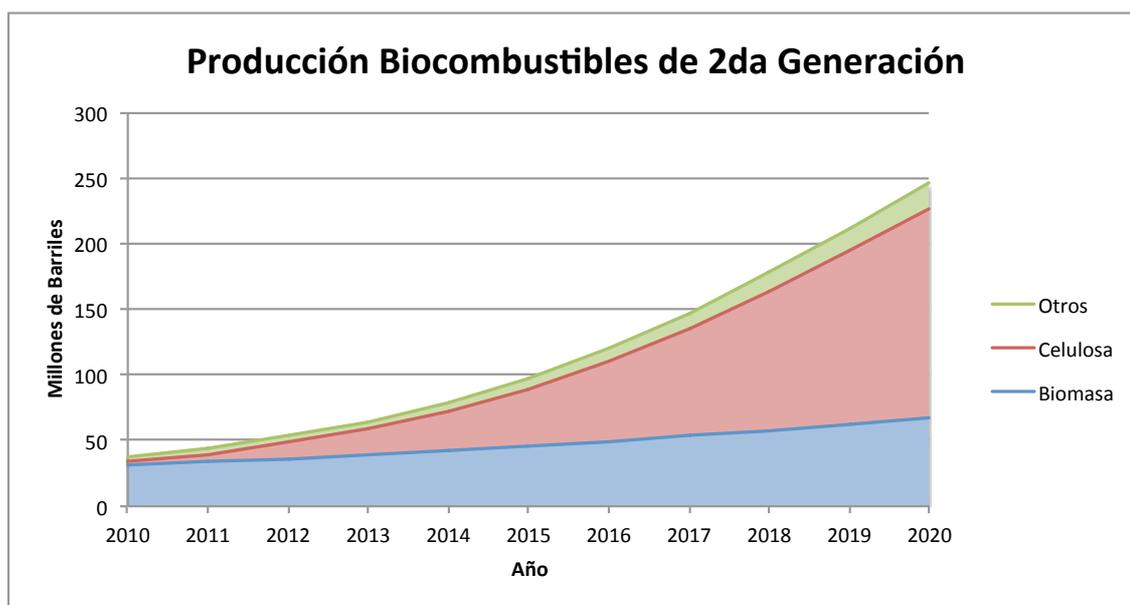


Gráfico 14. Proyección Evolutiva de la Producción de Biocombustible de 2<sup>da</sup> Generación

Esto nos da la perspectiva de asumir que en los próximos años, la producción de biocombustible de segunda generación va a seguir los pasos de los compuestos celulósicos. Esto responde a la premisa de que es un método novedoso y está altamente subvencionado por los diferentes países. El único componente que parece seguir sus pasos sería la incineración de residuos, pero se necesitan lograr los desarrollos tecnológicos para que su precio sea competitivo. Una vez que se logre eso, que probablemente ocurra pasados los próximos diez años, se podrá apreciar una forma rentable y ecológicamente sustentable del manejo de la basura, por lo que es de esperar que sea el proceso de producción de biocombustibles por excelencia. Mientras tanto, a corto plazo, el protagonismo se lo llevan los compuestos celulósicos.

Si se compara la evolución analizada con los componentes de primera generación, se observa que aún falta un gran camino por recorrer, pero que el cambio es apreciable.

Se puede concluir que la producción de biocombustibles tendrá un incremento a lo largo de los años que se corresponde con el siguiente gráfico.

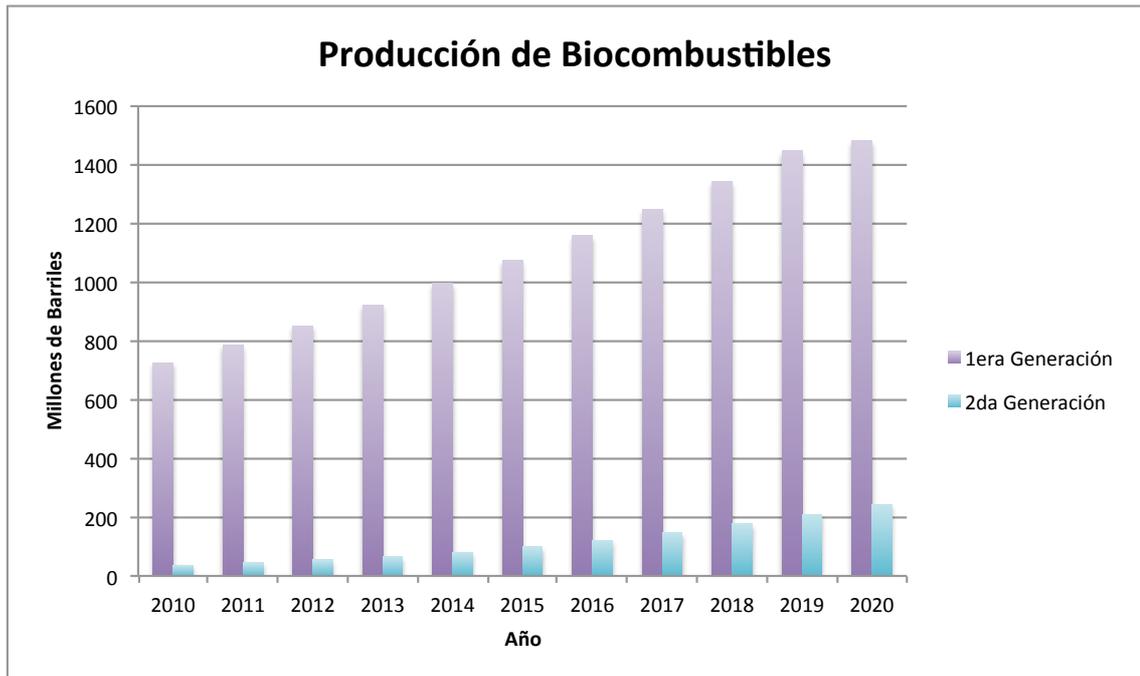


Gráfico 15. Proyección Evolutiva de la Producción de Biocombustible de 1<sup>era</sup> y 2<sup>da</sup> Generación

Esto muestra, en un pantallazo general, el desarrollo de los biocombustibles de segunda categoría, y el estancamiento de los primeros. Si los combustibles de segunda generación suplantarán a los de primera es incierto. Pero las perspectivas de evolución del mercado son alentadoras. En ambos sentidos, si bien la producción crece para ambos, es mucho más pronunciada para los componentes alternativos.

Esto se puede plasmar en un gráfico para observar los cambios. Inicialmente se observa un claro predominio.

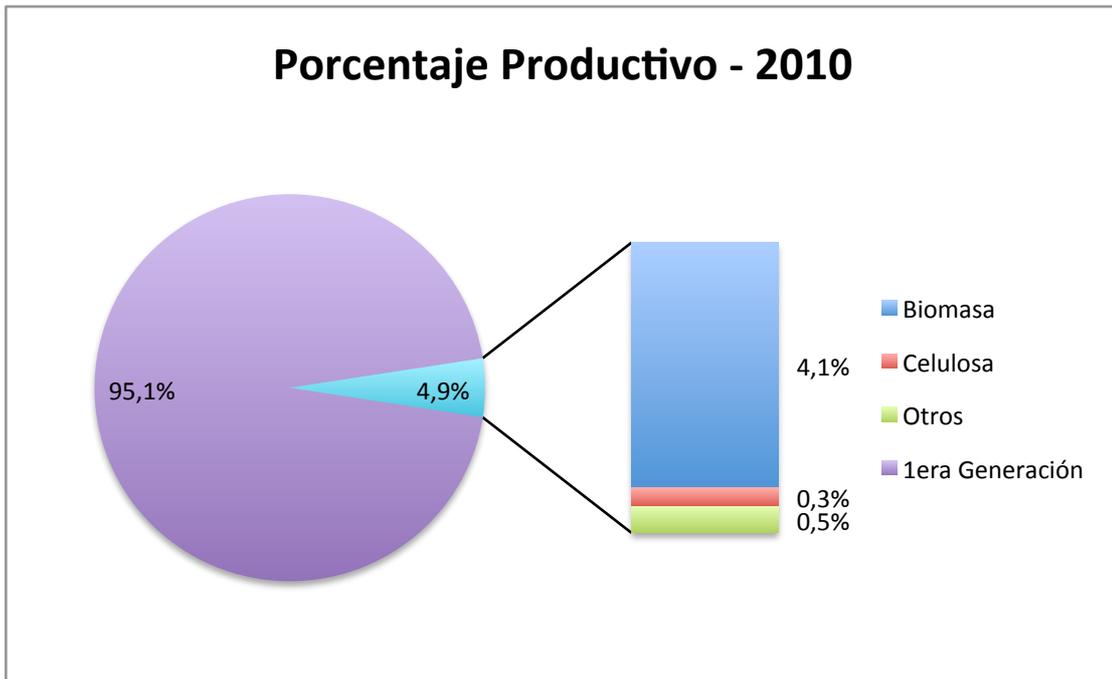


Gráfico 16. Market Share de Biocombustibles – 2010

Para luego ir perdiendo paulatinamente el predominio con el correr de los años.

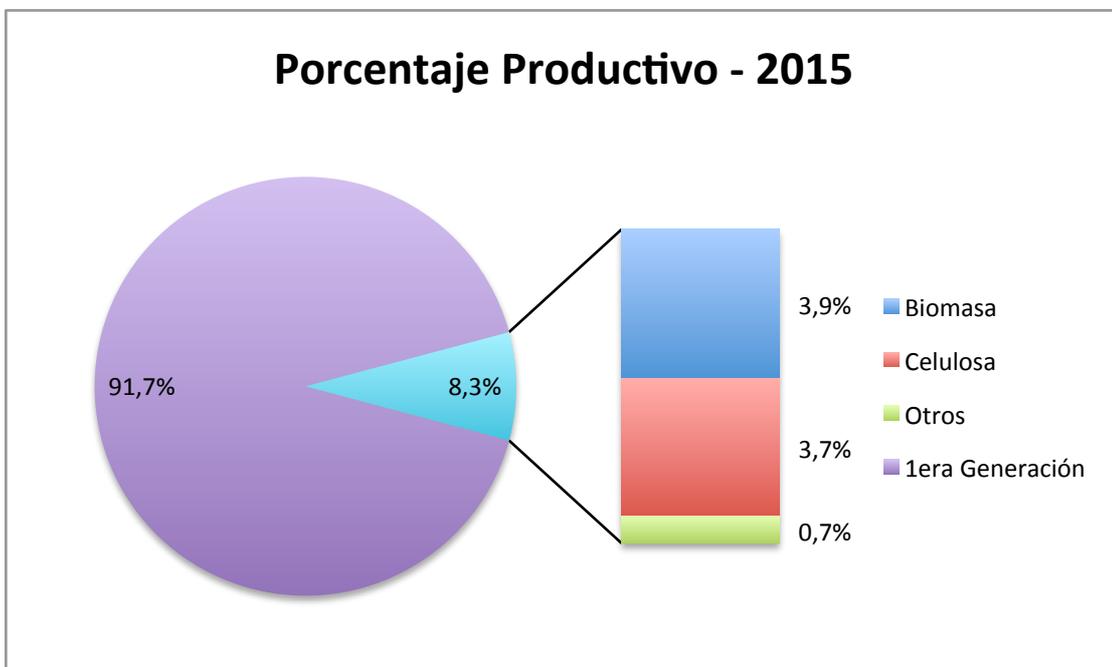


Gráfico 17. Market Share de Biocombustibles – Proyección 2015

Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

Y si bien en 2020 los biocombustibles de primera generación siguen siendo superiores, por amplia mayoría, se puede apreciar el declive.

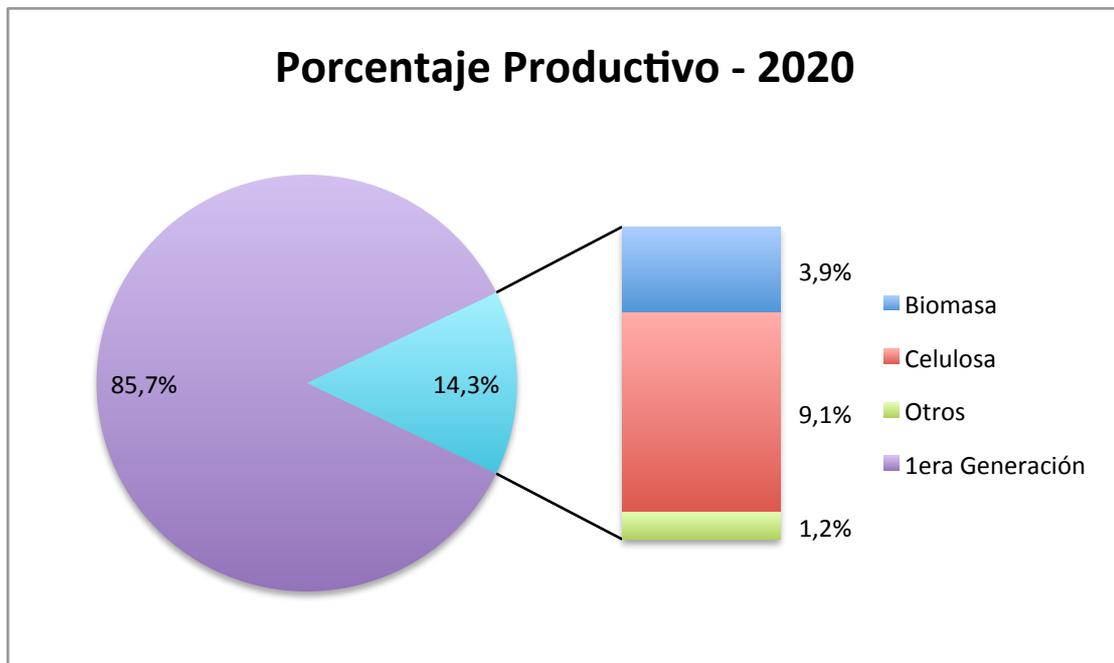


Gráfico 18. Market Share de Biocombustibles – Proyección 2020

## 9 Conclusiones y Recomendaciones

---

A la luz de toda la información relevada en el apartado se pueden concluir diversos supuestos que podrían generar hipótesis acerca de las oportunidades que se presenten de aquí al futuro. De más está decir que las proyecciones y derivaciones que se tratan, responden a una serie de supuestos que pueden, o no, cumplirse en el corto o mediano plazo.

En primer lugar, se puede apreciar que los biocombustibles de primera generación tienen una vida útil considerablemente larga, dado que, en contra de lo que se podría esperar, siguen siendo la manera más rentable y efectiva de producir dicho combustible. Y lo seguirá siendo por los próximos años. Esto supone que los avances tecnológicos para los productos se darán en el tiempo, fomentando aún más la producción de los combustibles de segunda generación. Se puede aclarar también, que las inversiones en los diferentes productos responde a una curva proporcional con la rentabilidad y la oferta de dicho producto. Es decir, cuanto más creciente se torna la curva de producción, se pueden asumir cambios tecnológicos significativos en la industria que permita a los nuevos productos sustituir a los actuales.

Otro factor importante que se deduce del análisis es el papel que tomarán dichas alternativas en el liderazgo del mercado. En primer lugar, cultivos como la *Jatropha* quedan relegados dado la improductividad que presenta en terrenos hostiles. Por este asunto, es lógico suponer que las palancas cruciales en el futuro serán aquellas alternativas que no solo reemplacen a los actuales, sino que también sigan una postura ambiental adecuada. Es decir, se puede pensar a aquellas alternativas de trata de residuos, ya sean alimenticios o celulósicos, los que generen el mayor impacto y comiencen a tomar un mayor papel en el desarrollo de dicha industria. Es por esto que recomendamos invertir fuertemente, como lo vienen haciendo diversos países en bajar los costos asociados a esta alternativa.

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

A su vez, en el mediano plazo los biocombustibles de base celulósicos, como los distintos tipos de pasto, incluyendo al pasto varilla, son los que pueden empezar a marcar tendencia con el aumento de producción. Seguramente el aumento en la producción de biocombustibles de segunda generación vendrá con esta alternativa en un mediano plazo. Al largo plazo a su vez cobrará también importancia la producción de biocombustibles a base de residuos.

No es impensable asumir que las dos alternativas anteriormente mencionadas serán las dos palancas clave en la evolución oferente de biocombustible de segunda generación. El resto de los cultivos requieren un salto tecnológico importante para poder desarrollar el producto, como es el caso de las Algas y de la *Jatropha*. Sin este salto, es altamente probable que queden relegadas, y que su contribución sea meramente marginal.

Por lo que en principio, los supuestos que se manejan es que la industria va a evolucionar a los productos que sean más rentables en el futuro y que generen mayor impacto en el ambiente como un todo. Tan bien responde en los productos de primera generación, donde es más que probable que predomine la caña brasilera, dado su superior rendimiento energético y su alto margen de producción, sumado a su eficiencia en el terreno.

Si se observa el siguiente gráfico, se puede observar como se proyecta la evolución energética en los próximos cuarenta años, asumiendo cambios radicales en la oferta de biocombustible. Tanto es así que se pueden obviar ciertos cultivos cuyo aporte es despreciable, y dejar visibles únicamente los que generarán una contribución vital en el desarrollo del mediano plazo.

## Análisis de alternativas a los alimentos para la producción de biocombustible

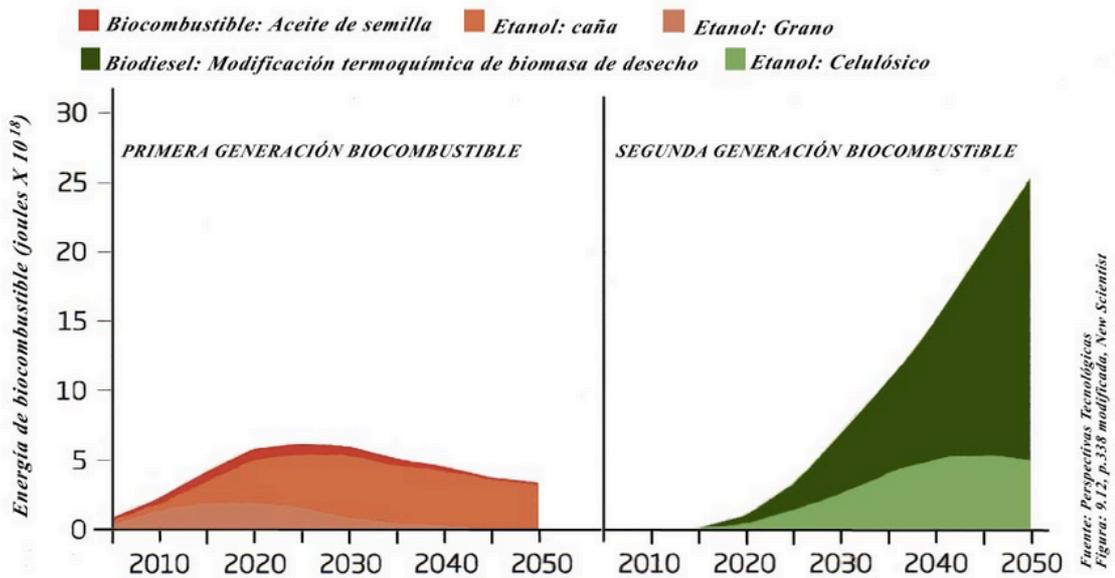


Gráfico 19. Proyección de la Producción de Biocombustibles para 1<sup>era</sup> y 2<sup>da</sup> Generación

Estos pronósticos se cumplirán siempre y cuando, se siga invirtiendo fuertemente en investigación y desarrollo, principalmente de las grandes potencias económicas. Es importante, unir los esfuerzos económicos y tecnológicos de los principales estados, como Estados Unidos, la Unión Europea y China.

Es por esto sería propicio que los actores principales, que cuentan con el dinero para invertir, se enfoquen en las dos alternativas propuestas (residuos y celulósica), ya que son las mas viables tanto ambiental como económicamente.

A su vez estos esfuerzos deberían estar en consonancia con las distintas ONG que apoyan estas causas y los privados que invierten en emprendimientos de capitales ángeles de alto riesgo. Es, quizás este, otro interesante proyecto de tesis para investigar, que podría llevar beneficios a todos los actores en juego.

# 10 Bibliografía

---

## 10.1 Bibliografía consultada

- Texo, Juan Pablo; Betancur, Carlos y Duque Juan Pablo (2009). Perspectivas Generales de Desarrollo de la Industria de los Biocombustibles en Uruguay. Trabajo de Investigación Monográfica. Montevideo: Universidad de la Republica.  
<http://www.alur.com.uy/articulos/2009/biocombustibles-liquidos-en-uruguay-perspectivas-generales-de-desarrollo.pdf>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (2006). Perspectivas de los Biocombustibles en Argentina. Seminario de Agroenergía – Biocombustibles. Chile: Santiago de Chile
- Hecho en Argentina. La energía que viene de los granos. Debate sobre los biocombustibles
- Ing. Werner Casotti y Lic. Fabián Font. Las especies de Jathropa de la Argentina. Paper sobre cultivos alternativos en zonas áridas.
- Ing. Agr. Jorge Hillbert. El combustible vegetal específico para el agro. Paper sobre el Biodiesel.
- Annie Dufey. Producción y Comercio de Biocombustibles y Desarrollo Sustentable: Los Grandes Temas. Documento de Discusión. Instituto Internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo (IIED)  
<http://pubs.iied.org/pdfs/15504SIIED.pdf>
- Análisis IBEPA. Evolución de Producción de Biocombustibles, Mercados y la Seguridad Alimentaria  
[http://www.ibepa.org/index\\_files/v1n3-2009\\_FAO.pdf](http://www.ibepa.org/index_files/v1n3-2009_FAO.pdf)
- Wikipedia. Biocombustible  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Biocombustible>
- Wikipedia. Etanol (combustible)  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Etanol\\_\(combustible\)#Bioetanol](http://es.wikipedia.org/wiki/Etanol_(combustible)#Bioetanol)

## 10.2 Expertos encuestados

- Ing. Arg. MSc. Jorge Antonio Hilbert – Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca