

LA ENERGÍA, SUS INGENIERÍAS Y CIRCUNSTANCIAS^(*)

ROBERTO E. CUNNINGHAM

Es Doctor en Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de La Plata y Director General del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas desde 1992.

Es Académico Titular de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Argentina.

Es Presidente de FUNPRECIT.

Fue Profesor Titular de Industrias Químicas en el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de La Plata.

Entre 1975 y 1992 se desempeñó como Gerente de Desarrollo en Atanor S.A.

En 1966 fue Premio Dr. Jorge Magnin otorgado por el CONICET; en 1967 fue Premio Dr. Enrique Herrero Ducloux, otorgado por el Consejo Profesional de Química de la Provincia de Buenos Aires; en 1996 fue nominado Orador del Año por la Asociación Química Argentina y en el año 2001 fue Declarado Líder Tecnológico por FUNPRECIT.

Es Chartered Engineer del Engineering Council de Londres y Miembro por Concurso del Institution of Chemical Engineers de Gran Bretaña.

Ha dictado Cursos y Conferencias en el Exterior y en el país y es autor de varios libros en su especialidad, entre ellos, *Fundamento del diseño de reactores*, publicado por EUDEBA, *Diffusion in Gases and Porous Solids* publicado por Plenum Press y *La energía; historia de sus fuentes y transformación*, publicado por el IAPG.

PRIMERA PARTE

La Energía Historia de sus fuentes y transformación

Al hablar de evolución y energía, aparecen diferencias y semejanzas cuando comparamos al hombre con los animales. En efecto, por un lado el hombre, a

^(*) Conferencia pronunciada en la Sesión Plenaria del 1 de septiembre de 2007.

diferencia de los animales, modifica el ambiente. En cambio, a semejanza, ambos necesitan del alimento como combustible para sostener la química de la vida.

De esta semejanza surge un consumo energético por individuo que se mantiene constante a lo largo de la historia; en cambio, de la acción modificatoria sobre el ambiente el hombre va generando nuevas formas de producción y consumo de energía que serán crecientes con el correr de las civilizaciones.

Surgen así distintas etapas energéticas de la humanidad como mostramos seguidamente:

Preagrícola (Pleistoceno)

Fuego. Caza. Recolección.

Tracción a sangre humana.

Barrera: incremento del aprovechamiento de energía per cápita.

Neolítico

Asia Central.

Agrícola Pastoril.

Tracción a sangre animal.

Barcos a vela.

Barrera: incremento de la productividad.

Agrícola

Medio Oriente.

Herramientas, artefactos.

Madera.

Iguales fuentes, mayor productividad.

Barrera: gobernantes poco proclives al cambio.

Preindustrial

Europa feudal.

Agro dependencia.

Habilidad para importar tecnologías.

Molinos (agua).

Industria textil.

Barrera: escasez de madera.

- Hasta acá, en esencia, se tiene un único sistema en cuanto a fuentes primarias de energía.
- El único cambio es el aumento de productividad.

Llegamos así a la Revolución Industrial, llevada a cabo en Gran Bretaña en el S. XVIII, en donde por primera vez en la historia el producto crece en forma más rápida que la población; y además, lo hace en forma sostenida. Resulta interesante observar la cronología que sigue para mostrar quiénes fueron los verdaderos actores de esta revolución.

- 26/5/1733 Patente de lanzadera volante (John Kay, relojero de Bury).
 24/6/1738 Patente de huso de hilar lana y algodón (John Wyatt, *carpintero* de Lichfield y Lewis Paul, *hijo de un exiliado francés*).
 1764 Desarrollo en forma casual y sin patentamiento de la máquina de hilar promovida denominada *jenny* (James Hargreaves, *carpintero* en Blackburn).
 1768 Patente de hilar hilo de algodón para urdimbre en reemplazo del lino importado (Richard Arkwright, *peluquero analfabeto* de Preston) y denominada *water frame*.

LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL ES UN HECHO

- 1712 Diseño y construcción de la máquina atmosférica de Thomas Newcomen, herrero de Devonshire que se carteaba con Robert Hooke, secretario de la Royal Society, empleada en la extracción de aguas en minas, con alto consumo de energía.
 5/1/1769 Patente de la “máquina de vapor” del empresario James Watt, con reducción considerable del consumo de energía.

LA INDUSTRIA TEXTIL SE LIBERA DE LA ENERGÍA HUMANA

- 1709 Introducción del coque para producción de arrabio en un alto horno (Abraham Darby, Coalbrookdale).

EL HIERRO SE LIBERA DEL BOSQUE

En todo caso, esta cronología muestra el qué y el cómo de la Revolución Industrial, pero no su porqué. En tal sentido, son muchas las explicaciones que se han intentado. La más conocida es la de carácter sociológico debida a Max Weber a comienzos del siglo pasado. En cambio, es poco conocida la explicación económica debida al profesor E. A. Wrigley de la escuela de economía de la Universidad de Londres. Esta explicación nos interesa porque muestra el rol decisivo que tuvo el cambio de una fuente primaria de energía en la concreción y el sostenimiento de la Revolución Industrial.

Hasta antes de la Revolución Industrial, la explicación económica estaba basada en el modelo energético preindustria, con los clásicos factores de la producción: capital, tierra y trabajo y el concepto de utilidades decrecientes.

Valga agregar, además, que las cuatro necesidades básicas del hombre: alimento, vestido, alojamiento e iluminación se satisfacían con productos provenientes en forma casi exclusiva del agro.

Como la extensión de la tierra es finita, lo mismo que su capacidad de producción, se generaba un sistema de economía de la producción con realimentación negativa. Ello daba lugar a la concepción, por otro lado válida, de que el progreso tenía un techo imposible de sobrepasar. Había evidencia experimental de ello.

La Revolución Industrial, más allá de los inventos de la lanzadera volante, el huso para hilar y la máquina de vapor, introduce una innovación de carácter energético basada en el empleo del carbón mineral en sustitución del vegetal. Ello, como consecuencia del cuello de botella anteriormente visto en la disponibilidad de madera.

La introducción del carbón mineral comienza a través de un maestro cervecero en la torrefacción de la cebada y es continuada por Abraham Darby I en el alto horno y pronto se extiende a otros sistemas de generación de calor.

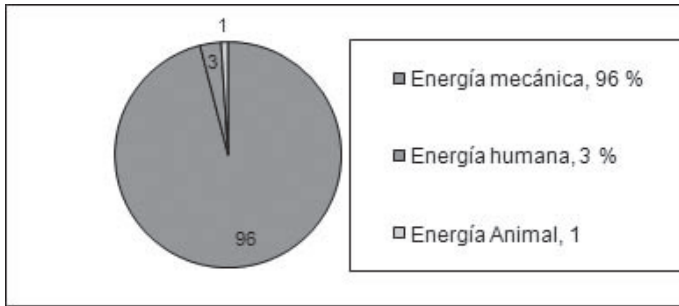
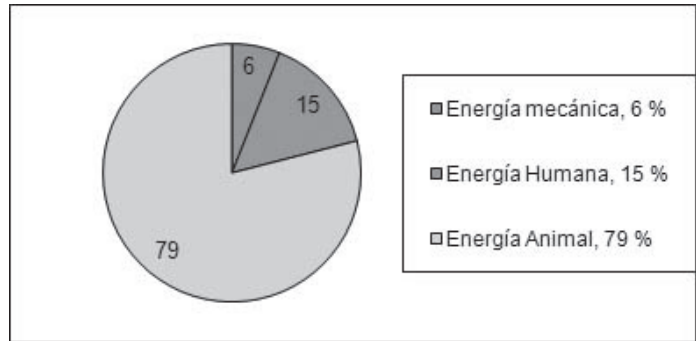
Esta innovación introducía el contrapunto entre los flujos de energías renovables (vigente hasta entonces) frente a las reservas de energías agotables (de reciente aparición).

La opinión de los economistas clásicos (Adam Smith, David Ricardo, John Stuart-Mill y el mismo Robert Malthus) basada en la concepción de los límites para el progreso no se hizo esperar: auguraron el pronto fracaso del nuevo modelo. No contaban con la consideración del consumo del carbón mineral comparado con sus reservas (lo que hoy llamamos horizonte de las mismas).

Dicho de otro modo, las reservas eran inconmensurablemente mayores que sus consumos. Los economistas del momento no contabilizaban que se estaba asistiendo a la confrontación de un sistema con realimentación negativa (el tradicional) frente a otro con realimentación positiva (el naciente). Por otro lado, el empleo del hierro, la máquina de vapor y la posterior aparición del ferrocarril en el siglo XIX generaron una inmensa demanda de hierro y acero que se extendió por casi todo el mundo, cimentando el sostenimiento del desarrollo de la Revolución Industrial.

Esta Revolución le puso una bisagra a la historia, generando el mundo que hoy vivimos y la prueba más elocuente de ello es la comparación de las matrices de fuentes primarias de energía antes y después de la Revolución, como se ilustra seguidamente:

Matriz energética en Gran Bretaña, en años previos a la Revolución Industrial



Matriz energética en Gran Bretaña, en años posteriores a la Revolución Industrial

Como sabemos, al uso del carbón mineral le seguirían posteriormente en el siglo XX el petróleo y el Gas Natural.

SEGUNDA PARTE

Nuestro petróleo, mitos y realidades

En primer lugar, cabe señalar la singularidad del fenómeno petrolero basada en una serie de atributos que le son propios:

- Tecnología.
- Rol del Estado.
- Servicios.
- Productividad.

- Costos, precios.
- Volumen.
- Pronósticos.
- Riesgo.
- Influencia.
- Geopolítica.

De estos atributos, tal vez los más significativos sean los de la incertidumbre en cuanto a reservas y precios que se unen al concepto de riesgo inherente a todo proyecto petrolero.

Como muestra de lo que decimos, vayan estos dos ejemplos sobre predicciones petroleras:

- ✓ Matthew Simmons, "Twilight in the Desert: The Coming Saudi Oil Shock and the World Economy". Crepúsculo cercano.
- ✓ Michael J. Economides "The Color of Oil": Tres siglos. Gas natural: mucho más.

Y lo mismo en materia histórica de precios:

1859 Guerra de Secesión. 15 u\$s/bbl (1.000 u\$s de hoy).

1861 Pozo Empire 3.000 bbl/día. 0,10 u\$s/bbl (7 u\$s de hoy).

Lo dicho hasta acá vale para el denominado petróleo convencional. Pero cabe aclarar que el mismo no involucra a:

- Petróleo de carbón y pizarras.
- Bitúmenes.
- Petróleo extra pesado.
- Petróleo pesado (10-17,5° API).
- Petróleo y gas de aguas profundas.
- Petróleo y gas polares.
- Líquidos de gas natural de plantas de gas.
- Metano de yacimientos de carbón.

Ello hace que las proyecciones de consumo considerando uno y otro tipo de petróleo difieran considerablemente. En efecto, al tener en cuenta el petróleo no convencional, el horizonte se extiende por muchas décadas más.

Entre tanto, resulta importante destacar las características de la civilización del petróleo que hemos construido como para mostrar la solidez de la misma. En efecto: consideremos que: 1) cada uno de nosotros está rodeado de máquinas que consumen 100 veces más energía que la que incorporamos en nuestros alimentos, 2) estos últimos nos permiten devolver como trabajo útil mediante tracción a sangre sólo una quinta parte de lo ingerido. En consecuencia, en términos de equivalencia por tracción a sangre, todo ocurre como si cada uno de nosotros estuviera rodeado de un ejército de quinientos esclavos

cuya energía por tracción a sangre equivale a la de las citadas máquinas que nos rodean.

Por otro lado, teniendo en cuenta el trabajo que somos capaces de devolver al ambiente y considerando un salario de U\$D 1.000 por mes y un barril a U\$D 50, resulta sencillo mostrar que la caloría del petróleo es mil veces más barata que la de nuestra tracción a sangre.

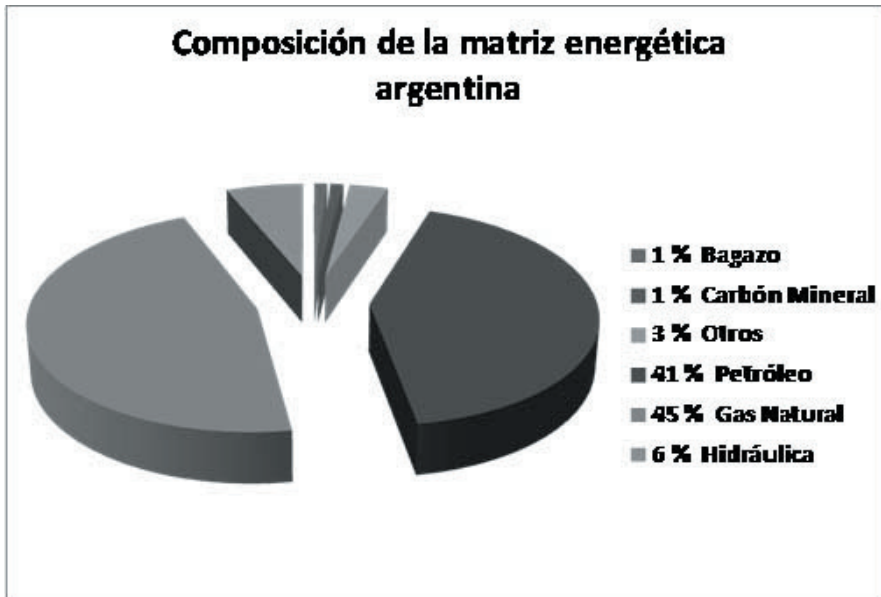
Estos dos ejemplos muestran claramente las características inéditas del fenómeno petrolero.

Ahora bien, el mundo actual asiste a regiones diferentes con preocupaciones diferentes.

Así pues tenemos:

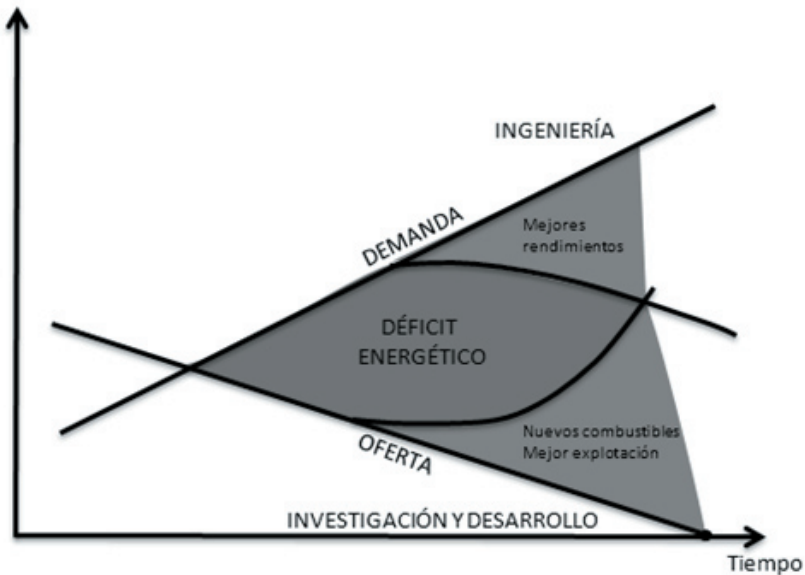
- ✓ Países productores de petróleo, cuyo interés es el mantenimiento del negocio.
- ✓ Países desarrollados con escasez de fuentes primarias de energía y dependencia energética de regiones inestables
- ✓ Países emergentes no productores de petróleo con fuga de divisas y dependencia energética.

Entre ellos, estamos nosotros, los argentinos, con nuestra matriz de fuentes primarias de energía:



Hacia el futuro

Por otro lado, si pensamos en el futuro, podemos tomar como referencia el gráfico que sigue:



Ello nos lleva a observar que hablar de petróleo es hablar de energía; sin embargo, las dos grandes áreas de la energía son:

Electricidad: “molinos”, combustibles fósiles, nuclear, geotérmica, solar.

Transporte: combustibles, electricidad.

Por lo tanto, encender menos la lamparita no es sinónimo de ahorro de petróleo.

Usar menos el automóvil, sí.

Pero es interesante observar que no hay una correlación sencilla entre el crecimiento del producto y el consumo de energía. Baste para ello recordar el reciente ejemplo de Dinamarca, cuyo producto en los últimos años creció un 50% pero el consumo de energía se mantuvo constante gracias a la innovación tecnológica y a los programas de uso racional de la energía.

La Innovación Tecnológica es, pues, uno de los actores principales. El otro actor surge de lo que decíamos anteriormente en cuanto a electricidad y transporte. En efecto, para fabricar electricidad se puede recurrir a muy distintas

fuentes. En cambio, en la actualidad, automóviles, camiones, ómnibus, tractores, barcos y aviones están todos movidos por combustibles líquidos derivados del petróleo: motonaftas y gasoil.

En el intento de buscar un sustituto para éstos, la primera opción que surge es la de biocombustibles, dado que se trata de portadores energéticos que pueden aprovechar la infraestructura de almacenamiento, transporte, distribución y despacho preexistente para los combustibles derivados del petróleo. En tal sentido, los biocombustibles actualmente en uso en el mercado, son los siguientes:

Bioetanol (de caña de azúcar, maíz, sorgo, madera) para motores de combustión interna.

Biooil (de madera) para turbinas.

Biodiesel (de oleaginosas) para motores diesel.

Como fuentes de materias primas surgen entonces los universos del petróleo y de la biomasa que, además de distintos, curiosamente son antagónicos.

En efecto, por un lado la composición química del petróleo es la misma, cualquiera sea su origen geográfico; además, su carácter líquido lo hace fácilmente transportable. Con ello, las industrias del petróleo y de la petroquímica son prácticamente universales; un país sin petróleo puede tener petroquímica.

Por otro lado, la composición química de un vegetal varía enormemente de una especie a otra; no es lo mismo un vegetal oleaginoso que uno sacárido, amiláceo, celulósico, terpénico, etc. Además, el transporte del vegetal requiere etapas como la de la selección y recolección, haciendo muy costoso el proceso del mismo.

Por ello, la industrialización de la biomasa, salvo casos excepcionales, es de carácter regional.

Valga además agregar las siguientes sentencias:

El problema con el petróleo no es la disminución de sus reservas.

El problema es el aumento de su precio

El problema con la biomasa no es su abundancia.

El problema es su disponibilidad y accesibilidad.

El problema con los biocombustibles no es de tecnología o mercado.

El problema es su capacidad de sustitución.

Por otro lado, el caso de los biocombustibles representa el desarrollo de un producto alternativo al que impera en el mercado con determinadas singula-

ridades. Dos de ellas son importantes: 1) la gran diversidad de rendimientos para una dada especie según región geográfica; 2) el hecho de que en su proceso de producción se emplee el combustible que se pretende reemplazar. Esto nos lleva a dos formas de analizar la viabilidad de la producción de un biocombustible: 1) la comparación de la energía consumida en el proceso de producción con relación a la contenida en el producto (biocombustible); 2) la comparación de la masa de combustible fósil consumida en el proceso comparada con la que se pretende reemplazar.

Con relación al primer criterio, es frecuente encontrar en la literatura descalificación de un determinado biocombustible por el hecho de que su contenido energético es menor que el gastado en su proceso de producción. Sin embargo, este criterio no tiene en cuenta la facilidad de manipuleo y uso como portador energético de la materia prima comparada con el biocombustible. Dicho de otro modo (y a título meramente figurativo): ¿emplearíamos paja de rastrojo en lugar de etanol como combustible en un automóvil porque la primera contiene más energía que el segundo?

Por otro lado, este razonamiento no contempla el hecho de que el avance de la civilización paga tributo al inmenso incremento de sus volúmenes de producción y productividad con una ineficiencia termodinámica cada vez mayor. En tal sentido, hoy somos del orden del 100 veces más ineficientes que en la edad media.

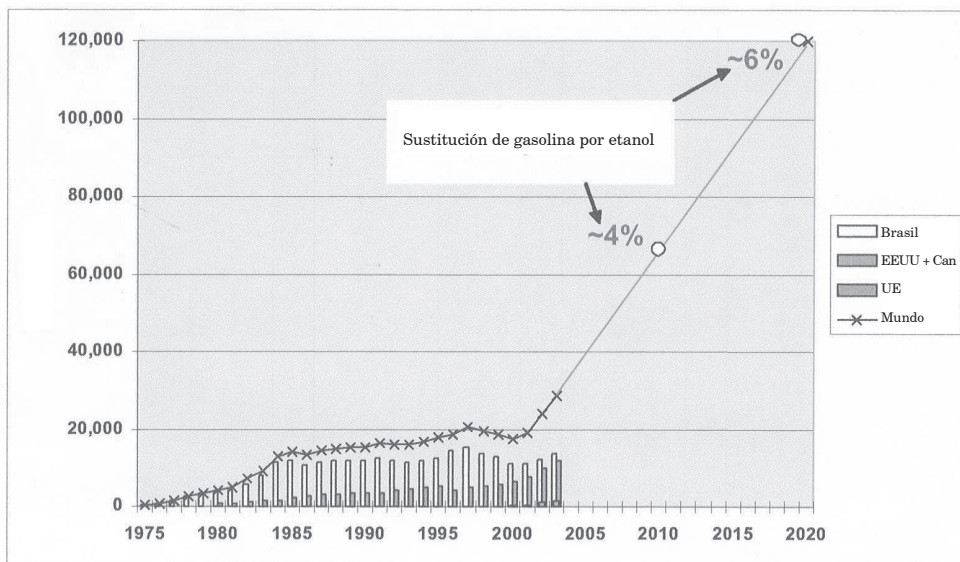
Ahora bien, volviendo a lo nuestro, digamos que las dos ideas fuerza que soportan el aliento a los biocombustibles son: 1) sustituir un recurso agotable por otro renovable (curiosamente volvemos al dilema de la Revolución Industrial); 2) reducir el efecto invernadero.

En respuesta a ello, caben las siguientes dos reflexiones: 1) en virtud del volumen existente o eventualmente cultivable de biomasa, la capacidad de sustitución de los combustibles fósiles por parte de los biocombustibles es muy escasa a nivel mundial. Sólo en determinadas regiones, como por ejemplo, América Central, este volumen de sustitución puede ser significativo. Valgan para ello los siguientes datos:

- ✓ La producción conjunta de etanol de Brasil y EE.UU. equivale a 2,6% del consumo mundial de gasolina
- ✓ La producción de caña de azúcar en Brasil de 46 millones ton/año (un tercio de la producción mundial) equivalente a 34 millones m³ de etanol y representa el 2,9% del consumo mundial de gasolina.
- ✓ La producción de maíz en EE.UU. de 300 millones ton/año (41% de la producción mundial) equivalente a 112 millones m³ de etanol representa el 9,7%

del consumo mundial de gasolina y se consume un 52% del combustible que se pretende sustituir

- ✓ Toda la producción mundial de aceites vegetales equivale a 98,7 millones ton biodiesel (15,5% consumo mundial gas oil). Para generar un B10 mundial sería necesario incrementar la producción aceitera mundial en un 65% .



2) Dado lo escaso de este impacto, ello se refleja igualmente en la incidencia del efecto invernadero.

Y para complicar el panorama, no debemos olvidar la irrupción de China, caracterizada por lo siguiente:

- Hoy: el doble de carne que EE.UU. y más del doble de acero.
- Si crece al 8% anual, en 2031 alcanza el PBI per cápita norteamericano actual.
- Si el consumo per cápita igualara al actual de EE.UU., el consumo equivaldría a 2/3 de las cosechas actuales mundiales.
- Si 3 de cada 4 chinos tuviera un automóvil, ellos tendrían 1.100 millones de coches contra 800 millones totales actuales y requerirían 99 millones bbl/día contra 88 millones totales de hoy.

Volviendo a nuestro país, la tabla que sigue ilustra el impacto de la Ley de Biocombustibles recientemente sancionada sobre el desarrollo de los biocombustibles,

Biocombustibles en la Argentina: Impacto de la Ley

Items	Biodiesel	Bioetanol
Consumo proyectado en 2010 (gasoil y naftas respectivamente)	13.700 millones de litros gasoil	4.600 millones de litros nafta
Cantidad requerida con 5 % mezcla B5/E5	600.000 toneladas (o 685 millones de litros)	180.000 toneladas (o 200 millones de litros)
Hectáreas requeridas	Soja equivalente = 1.300.000 has. 625.000 ton de aceite. <i>9 % del área sembrada actual</i> Girasol equivalente = 900.000 has	Maíz equivalente = 106.000 has <i>3,2 % del área actual.</i>
Volumen de cultivo equivalente	Soja equivalente = 3.500.000 ton. <i>9 % de la producción actual</i> Girasol equivalente = 1.600.000 ton	Maíz equivalente = 550.000 toneladas <i>2,8 % de la producción actual</i>
Número de plantas necesarias en el primer año	18 (capacidad de producción de 40.000 ton anuales)	6 (capacidad de producción de 30.000 ton anuales)
Inversión estimada por planta (millones de u\$s)	10	20
Inversión total estimada (millones u\$s)	180	120

Conclusiones

Por último, caben las siguientes reflexiones finales:

Los Biocombustibles

- Materias primas que, salvo madera, son fuentes de alimentos.
- Consumo, durante el proceso de fabricación, del mismo combustible que se pretende sustituir.

-
- Capacidad pequeña de sustitución.
 - El desarrollo exagerado de un biocombustible frente al otro generaría desbalances de refinación.
 - El aliento de los biocombustibles se basa en dos argumentos:
 - ◆ Reducción del efecto invernadero
 - ◆ Sustitución de combustibles no renovablesNinguno de los dos se satisfacen, ésta es la realidad.