

**FACULTAD LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES
SEDE ECUADOR
PROGRAMA ECONOMÍA
CONVOCATORIA 2007 – 2009**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRÍA EN ECONOMIA ECOLÓGICA

**ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN EL
ECUADOR**

CAMILO PÉREZ FERNÁNDEZ

ASESOR DE TESIS: RAFAEL BURBANO

DICIEMBRE 2011

AGRADECIMIENTO

El Presente trabajo es producto de varios meses de estudio en los que se recopilaron y estandarizaron varias fuentes estadísticas y de la misma manera se realizó un exhaustivo estudio de la Economía Ecológica y de las leyes de la Termodinámica aplicadas a la Economía. Fruto de este trabajo se presentan varias conclusiones acerca de la factibilidad de la producción de biodiesel en el Ecuador como alternativa al consumo de los combustibles fósiles.

Agradezco sinceramente a todos quienes participaron en este proyecto. A Dios, a mi esposa, a mis padres y a la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, especialmente a Juan Ponce, Arturo Villavicencio, Joseph Vogel y a mi asesor Rafael Burbano por apoyarme a seguir siempre adelante.

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre, Armando E, Pérez Vinuesa.

TABLA DE CONTENIDOS

Capítulo I. La Ciencia Normal, el Modelo Neoclásico de Crecimiento y las leyes de la Termodinámica

1.1	Introducción.....	1
1.2	La ciencia normal.....	4
1.3	La consultoría profesional: Hacia la ciencia Post-Normal.....	9
1.4	La ciencia Post-Normal.....	11
1.5	La Economía Ecológica como Ciencia Post-Normal.....	13
1.6	El Modelo de Crecimiento Neoclásico.....	18
1.7	El sistema abierto, la termodinámica y sus implicaciones en el sistema económico.....	22

Capítulo II. La realidad energética y las energías alternativas: Una visión mundial y el caso ecuatoriano

2.1	Introducción.....	30
2.2	Las dimensiones de la realidad energética.....	33
2.3	La matriz energética global.....	45
2.4	Las tecnologías hacia una energía sustentable.....	57
2.5	La realidad energética del Ecuador.....	69

Capítulo III. Análisis de los Biocombustibles

3.1	Introducción.....	79
3.2	Definición y características de los biocombustibles.....	81
3.3	El mercado de los biocombustibles.....	85
3.4	Políticas de apoyo a los biocombustibles.....	94
3.5	Dimensiones de la sostenibilidad de la producción de biodiesel.....	101

Capítulo IV. Aplicación del Modelo Multicriterio: Conclusiones

4.1	Introducción.....	125
4.2	El Análisis Multicriterio.....	126

4.3 El Método Analítico Jerárquico.....	133
4.4 Una valoración multicriterio para el caso de la producción de Biodiesel en el Ecuador.....	136
4.5 Criterios.....	138
4.6 Objetivos y Criterios del análisis.....	145
4.7 Escenario alternativo.....	154
4.8 Desempeño de las alternativas.....	157
4.9 Análisis de Sensibilidad.....	161
4.10 Conclusiones.....	164
4.11 Lineamientos para una política de Estado.....	171
Anexos.....	176
Referencias.....	177

INDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

GRÁFICOS

Gráfico 1. Dominio de la Ciencia Aplicada.....	9
Gráfico 2. La consultoría profesional.....	11
Gráfico 3. La ciencia Post-Normal.....	12
Gráfico 4. El Sistema económico cerrado.....	19
Gráfico 5. Capital físico y Productividad.....	20
Gráfico 6. Progreso Tecnológico y Crecimiento en la Productividad.....	21
Gráfico 7. El Sistema económico abierto.....	23
Gráfico 8. El flujo de la Renta y el flujo termodinámico de la energía.....	25
Gráfico 9. PIB Regional.....	36
Gráfico 10. Tasas de Crecimiento PIB.....	37
Gráfico 11. Peso regional sobre el PIB mundial.....	38
Gráfico 12. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.....	44
Gráfico 13. Emisiones mundiales per cápita de CO2.....	45
Gráfico 14. Relación PIB/Energía Primaria.....	46
Gráfico 15. Demanda Mundial de energía.....	47
Gráfico 16. Variación de la demanda de energía primaria y aporte a la demanda de energía.....	49
Gráfico 17. Intensidad energética.....	50
Gráfico 18. Evolución de los precios y la producción de petróleo.....	52
Gráfico 18. Evolución de los precios y la producción de petróleo.....	55
Gráfico 19. Capacidad instalada mundial de energía eólica.....	63
Gráfico 20. Capacidad instalada mundial de energía fotovoltaica.....	65
Gráfico 21. Capacidad instalada de energía hidroeléctrica.....	68
Gráfico 22. Evolución del PIB sectorial.....	70
Gráfico 23. Evolución de la Oferta energética en el Ecuador.....	71
Gráfico 24. Evolución de la oferta energética total.....	72
Gráfico 25. Demanda energética por sectores económicos.....	73
Gráfico 26. Demanda e intensidad energética del sector transporte.....	74
Gráfico 27. Demanda e intensidad energética del sector industrial.....	75
Gráfico 28. Demanda e intensidad energética del sector comercial.....	76
Gráfico 29. Producción de derivados.....	77
Gráfico 30. Producción, Consumo e Importación de Diesel.....	78

Gráfico 31. Producción mundial de etanol.....	88
Gráfico 32. Precios nacionales del aceite de palma.....	109
Gráfico 33. Dinámica de la producción de biodiesel.....	136
Gráfico 34. Cobertura de Objetivos de la alternativa Diesel Fósil.....	149
Gráfico 35. Cobertura de Objetivos de la alternativa Palma Africana.....	150
Gráfico 36. Cobertura de Objetivos de la alternativa Piñón.....	151
Gráfico 37. Desempeño de alternativas.....	163
Gráfico 38. Ordenación de las alternativas.....	164

TABLAS

Tabla 1: La economía ecológica como ciencia post-normal.....	17
Tabla 2. Aporte al crecimiento mundial por países y bloques económicos.....	39
Tabla 3. Consumo energético per cápita.....	41
Tabla 4. Elasticidad Ingreso de la demanda de energía primaria.....	55
Tabla 5. Producción, Usos y Proveniencia de los biocombustibles.....	92
Tabla 6. Políticas para el desarrollo de los biocombustibles.....	98
Tabla 7. Producción e Importación ecuatoriana de derivados.....	105
Tabla 8. Composición de Costos del biodiesel.....	107
Tabla 9. Comparación de las emisiones por etapa del bioetanol y la gasolina fósil.....	111
Tabla 10. Comparación de las emisiones del biodiesel y el diesel fósil.....	112
Tabla 11. Emisiones de CO2 por cultivo y etapa de procesamiento.....	113
Tabla 12. Rendimiento de la palma africana y el piñón.....	119
Tabla 13. Criterios económicos para la Matriz de Decisión.....	139
Tabla 14. Costo de Producción.....	140
Tabla 15. Subsidios a la producción de biodiesel.....	140
Tabla 16. Diversificación Energética.....	140
Tabla 17. Ahorro de divisas.....	141
Tabla 18. Industria de la glicerina.....	141
Tabla 19. Matriz de Decisión: Dimensión Ambiental.....	141
Tabla 20. Balance energético.....	142
Tabla 21. Reducción de emisiones.....	142
Tabla 22. Expansión de la frontera agrícola.....	143
Tabla 23. Requerimiento de tierra.....	143

Tabla 24. Requerimiento de agua.....	144
Tabla 25. Matriz de decisión social.....	144
Tabla 26. Competencia en el uso de la tierra.....	144
Tabla 27. Desarrollo Rural.....	145
Tabla 28. Generación de empleo.....	145
Tabla 29. Criterios y Pesos.....	146
Tabla 30. Criterios de evaluación.....	147
Tabla 31. Matriz de prioridades.....	152
Tabla 32. Especificaciones de los modelos analizados.....	154
Tabla 33. Matriz de prioridades para la dimensión económica.....	155
Tabla 34. Matriz de prioridades para la dimensión ambiental.....	155
Tabla 35. Matriz de prioridades para la dimensión social.....	156
Tabla 36. Ranking de las alternativas: Especificación 1.....	158
Tabla 37. Ranking de las alternativas: Especificación 2.....	160
Tabla 38. Comparación por pares de alternativas.....	161
Tabla 39. Matriz de Impacto.....	162
Tabla 40. Ranking de Alternativas.....	163
Tabla 41. Beneficios e impactos de la producción de biodiesel.....	170

FIGURAS

Figura 1. Proceso de transesterificación.....	85
---	----

Capítulo I

La Ciencia Normal, el Modelo Neoclásico de Crecimiento y las leyes de la Termodinámica

1.1 Introducción

Los procesos económicos, la intensificación energética de la economía mundial así como los cambios en el uso de la tierra y la creciente extracción de recursos naturales han aumentado los problemas ambientales relacionados a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera. Los efectos que se pueden dar a largo plazo producidos por esta presión al medioambiente son desconocidos y la incertidumbre en cuanto al resultado de las medidas que se deben adoptar son aspectos centrales de esta nueva problemática.

Sin duda existen evidencias que señalan de manera casi inequívoca que la intervención humana está cambiando el medioambiente, y conforme la contaminación y los daños ambientales se acumulen, se incrementan las posibilidades de que en un futuro existan potenciales catástrofes naturales. Estos efectos adversos tendrán consecuencias globales y sin duda afectarán también a la economía, siendo la población más pobre y con menos capacidades y recursos para adaptarse a estos cambios, la que lleve la peor parte (Spash, 2007).

Un hecho sorprendente alrededor de esta problemática es el de que, a pesar del reconocimiento de que los sistemas son mucho más complejos de lo que aparecen en los modelos que explican al mercado y las relaciones económicas, la teoría neoclásica parece insistir en simplificaciones y modelizaciones matemáticas para encontrar los costos que tendrán estos efectos sobre la economía. Un ejemplo de lo anotado es el informe Stern (Stern, 2006) sobre el medioambiente que realiza una crítica a los mecanismos de valoración utilizados; sin embargo mientras por un lado menciona que no es necesario

realizar agregaciones monetarias para conocer que la intervención humana será altamente costosa, termina por utilizar modelos que simplifican en extremo la realidad como mecanismos de evaluación.

A pesar de que las valoraciones monetarias del medioambiente y de los recursos utilizados son herramientas valiosas que permiten asignar recursos para la restauración de los impactos negativos sobre los ecosistemas, no se debe olvidar que tales valoraciones asumen una tasa de descuento arbitraria que refleja el costo de utilización de los recursos en el tiempo y tampoco se debe pasar por alto el hecho de que no se toma en cuenta las diversas funciones de los ecosistemas (p. ej. proveedor de recursos, sumidero de desechos y sostén de la vida y el equilibrio natural). A pesar de este hecho y asumiendo que los datos de las valoraciones son correctos, estos valores no permitirán la recuperación del equilibrio natural ni reemplazar un ecosistema perdido.

El aspecto clave se centra en si el conocimiento actual es válido para encontrar una respuesta y una política que ayude a mitigar los impactos en el medioambiente. ¿Es posible que la ciencia que conocemos, y cuyas teorías han llevado a la sobreexplotación, presente una solución para una problemática creada desde sus conceptos? La incertidumbre es alta y las consecuencias de actuar erróneamente o de no considerar todos los aspectos y las afectaciones sobre el sistema tendrán implicaciones no sólo sobre la economía sino sobre todo el equilibrio entre la sociedad y la biosfera.

En estos momentos el mundo se recupera de una grave crisis económica y financiera lo que puede causar que las políticas para el ahorro energético y las inversiones en tecnología para la reducción de emisiones y para investigación y desarrollo de tecnologías limpias se dejen de lado (De la Torre et al, 2009). El reto de la actual crisis es solucionar la problemática económica, pero no a costa de una mayor explotación y un incremento del uso energético dado que una vez se supere la crisis sólo implicará un agravamiento de la problemática.

Es necesario comprender que los sistemas económicos, sociales y culturales evolucionan en el tiempo, sin embargo tienen una dimensión temporal muy distinta de los sistemas

naturales (Gual, 2008) por lo que solucionar una crisis económica a corto e inclusive a mediano plazo no debe comprometer los esfuerzos por alcanzar un desarrollo sostenible a largo plazo. Un ejemplo de esto se presenta en el caso del petróleo. Actualmente las economías tienen como objetivo recuperarse de la crisis y ese es un objetivo a corto plazo. Para alcanzarlo deben proveer a su economía de la energía más rentable en términos económicos, es decir que se abastecerán de crudo, relegando la inversión y desarrollo de las energías renovables. Una vez superada la crisis, el efecto será de un evidente retraso en la implementación de un sistema energético sustentable a favor de una recuperación económica. A más largo plazo, tanto la recuperación de la crisis como el vertiginoso crecimiento de China e India, traerá como resultado una mayor concentración de GEIs en la atmósfera y un mayor desequilibrio con el medioambiente.

En relación al modelo económico actual debemos preguntarnos si la actual crisis se debe en realidad a problemas estrictamente financieros, o si es una evidencia del fallo del actual sistema y de las concepciones erróneas sobre su funcionamiento y sobre nuestra relación con el medioambiente. Si esto último es cierto, entonces es necesario que se desarrollen nuevas maneras de pensamiento que permitan el crecimiento armónico y que contemplen las leyes que rigen a los procesos productivos y que éstas no sean sólo variables dadas en los análisis económicos.

Este nuevo marco científico debe tener en cuenta la incertidumbre, la imposibilidad de valorar el entorno monetariamente y debe promover una discusión democrática que tome en cuenta los diferentes actores y sus objetivos e intereses particulares. Esto permitirá encontrar opciones y campos de acción antes que soluciones mágicas provenientes de datos considerados como absolutos e irrefutables.

En este sentido, la problemática energética debe analizarse desde una perspectiva amplia que recoja todos los factores y actores involucrados y que tome en cuenta que la discusión y las políticas a definir se dan en un marco de incertidumbre ya que se desconocen los efectos de nuestras acciones sobre el mundo físico y la manera en que esos cambios influirán sobre el sistema social, económico e institucional.

El presente capítulo aborda la teoría que permitirá la posterior discusión de la problemática energética, así como el planteamiento de una metodología adecuada para el análisis en un marco democrático, participativo y con un enfoque sistémico, sintético y humanístico (Funtowicz y Ravetz, 1993)

1.2 La ciencia normal

El mundo se caracteriza por tener relaciones complejas que la ciencia y el conocimiento tratan de explicar para así ordenar y entender el medio en el que nos desarrollamos (Munda, 2002). En la actualidad existe una supremacía de los paradigmas de la ciencia normal a la que Kuhn define como una rutina anti intelectual que se limita a la resolución de rompecabezas y que mantiene un progreso constante dentro de sus revoluciones conceptuales. De acuerdo a Van Hauwermeiren “la ciencia moderna occidental, se basa en el supuesto de la existencia de una racionalidad única, que permite establecer los hechos, eliminar la incertidumbre y deducir acciones concretas” (Van Hauwermeiren, 1999: 251).

Lo anterior se posibilita debido a la descomposición de la realidad en sus elementos y a la reproducción de éstos en un laboratorio, mientras que su comprensión se da gracias a la especialización de las diversas disciplinas y al dominio de la técnica; no obstante es necesario señalar que una vez que una parte del sistema ha sido aislada, pierde mucho de su naturaleza ya que al cercar este elemento para su análisis se malentiende su comportamiento (Funtowicz y Ravetz, 1993). A partir de este análisis reduccionista y analítico se proponen leyes generales para explicar la complejidad de un sistema.

El sustento de la ciencia normal se basa en los siguientes supuestos: i) La incertidumbre puede ser eliminada debido a que se comprenden los elementos que conforman el sistema; ii) Este sistema puede ser dividido para obtener elementos de estudio cada vez más pequeños; y, iii) estos objetos pueden ser analizados objetivamente y no ser influenciados por quien los estudia (Van Hauwermeiren, 1999). Estos supuestos conforman la racionalidad de las diversas disciplinas y especialidades que permiten explicar la realidad.

En el marco de la ciencia normal el desarrollo de la ciencia económica ha significado un continuo alejamiento de elementos que son determinantes del crecimiento así como otros que presentan restricciones para alcanzarlo indefinidamente como se propone. Es así que Walras, el mayor de los economistas neoclásicos, habla de una necesaria reducción en los objetos de estudio (de la economía), desde todos los componentes de la biosfera y los recursos naturales, hacia aquellos objetos apropiados y valorados que se consideran producibles (Naredo, 1996). Así, dice el autor, es como aparece un medioambiente inestudiado y compuesto por recursos naturales no valorados y por residuos que, por definición, han perdido su valor.

En el siglo XVIII, los fisiócratas plantearon los problemas del crecimiento y la producción y consideraban que los recursos naturales aumentaban, lo que suponía a escala agregada que la tierra misma aumentaba su tamaño. Quesnay propone entonces que si se quería alcanzar el crecimiento, la misión de la economía era aumentar las riquezas de la tierra sin afectar su capacidad regeneradora¹. En la concepción de Quesnay se hace implícita la idea de un necesario crecimiento físico (de los recursos) y no sólo la obtención de un beneficio obtenido por la venta de los bienes producidos.

Los fisiócratas incluso dirigieron duras críticas a la industria debido a que (para ellos) esa actividad económica era incapaz de generar riqueza al no poder incrementar el producto físico, o lo mismo, al ser incapaz de crear materia. De esta manera, la economía de la época conciliaba los conceptos de crecimiento económico y físico, y de hecho, el primero estaba supeditado al del segundo. Esta concepción incluía, a pesar de la equivocada unión entre crecimiento económico y físico, al sistema natural como un elemento del proceso económico² (Naredo, 2006).

Posteriormente el vínculo entre la naturaleza y el sistema económico fue desvaneciéndose y los economistas clásicos (Smith, Malthus y Ricardo) centraron su atención en el

¹ Esto muestra que el concepto de desarrollo sostenible no es tan novedoso y que se comprendía que nuestra frenética carrera por el enriquecimiento (a costa del empobrecimiento) no puede ir más rápido que la capacidad de la naturaleza para regenerarse.

² Equivocada no por considerar que el crecimiento económico está supeditado al mundo físico, sino porque se consideró que dado que el mundo físico crecía se podía así mismo crecer económicamente de manera ilimitada.

crecimiento poblacional como el límite al crecimiento económico. Para estos economistas, una vez que se vincula la producción al trabajo y a la escasez de la tierra, el crecimiento solo podría estancarse debido a los rendimientos decrecientes del capital en relación a los salarios del trabajador. La cuestión del crecimiento pasa entonces desde un sistema que contemplaba los recursos naturales y el mundo físico como motor del crecimiento hacia una concepción enfocada en el crecimiento poblacional y una marginalización de la importancia de la tierra a la que (los economistas clásicos) consideraban como un elemento incómodo que frenaría el crecimiento y llevaría a un estado estacionario de la economía (Spash, 1999).

Mill, Jevons y Marshall continúan con el análisis de las restricciones, que podrían representar la disminución y la extinción de los recursos no renovables, al crecimiento económico. Al respecto Mill consideró que alcanzar un estado estacionario era de hecho deseable y que el crecimiento debería darse en las zonas pobres, mientras que las economías ricas deberían recurrir a la redistribución de la riqueza. Sin embargo en un intento por evitar la incomodidad de la escasez de la tierra como restricción del crecimiento, señaló que la tecnología podía mitigar de cierta manera la disminución de los recursos no renovables.

Jevons fue menos optimista que Mill al referirse a los límites al crecimiento de Inglaterra. Al estudiar a la economía inglesa y su dependencia del carbón, anotó que en efecto con ayuda de la tecnología, el rendimiento energético del carbón aumentaría pero que paradójicamente ese incremento en el rendimiento no significaría un ahorro, o una tasa de explotación inferior del mineral, sino que al aumentar el rendimiento bajarían los costos relativos del carbón lo que llevaría a un uso más intensivo del combustible fósil precipitando más la disminución de las reservas (Naredo, 2006)

La relación entre la economía y el mundo físico y el stock de recursos naturales fue una preocupación y un reto teórico para los economistas de la época. Sería Leon Walras quien señale que no importa que un determinado capital disminuya, sino que lo importante es que a nivel agregado la suma de ellos aumente o se mantenga en el nivel inicial. Con esta

noción, Leon Walras cimentó, si es que no el mayor, si uno de los grandes pilares del crecimiento ilimitado: el supuesto neoclásico de la sustitución de factores. Precisamente uno de los supuestos que defiende la explotación de los recursos naturales y permite que el sistema económico se abstraiga de su disminución³ es la sustitución de tales recursos por capital y a partir de esto le permite al razonamiento económico centrarse en lo estrictamente monetario (Naredo, 2006).

Con los economistas neoclásicos se pondría igualmente un énfasis cada vez más importante en la modelización matemática, la cual ha ido ganando terreno en la ciencia económica, convirtiéndose en una herramienta que quizás no toma en cuenta los procesos, los propósitos y las personas debido a su extrema simplificación de la realidad. A la modelización y a la tecnología, se les exige respuestas más rápidas; sin embargo estas respuestas no pueden ser consideradas necesariamente científicas o adecuadas para la definición de políticas debido a que los datos obtenidos pueden no provenir de estudios experimentales o de campo, sino de la comunidad extendida de pares⁴ quienes han utilizado técnicas que no consideran aspectos como los costos ambientales y energéticos, los flujos de materiales o las disminuciones en las reservas de los recursos agotables (Funtowicz y Ravetz, 1993)

Tanto los modelos matemáticos, como la técnica y la estadística son herramientas valiosas si la información que proveen se utiliza no para aseverar verdades absolutas, sino como un elemento que debe sumarse a la discusión democrática e inclusiva. Estas herramientas y estos datos pocas veces consideran la incertidumbre en cuanto a los problemas ambientales como por ejemplo los efectos a largo plazo de las emisiones de GEI, los cambios en el uso de la tierra y la expansión de la frontera agrícola y tampoco se valoran los impactos que estos cambios producirán sobre las esferas sociales e incluso culturales.

Como se ha visto, una determinada ciencia cuenta con disciplinas y técnicas que le permiten dar un ordenamiento al mundo físico del que somos parte, sin embargo las

³ Léase extinción

⁴ Son aquellos grupos o comunidades científicas que se encargan de juzgar la validez de un trabajo científico y como tal se consideran como autoridades que validan el conocimiento (Van Hauwermeiren, 1999)

consideraciones de que los objetos de estudio pueden ser analizados sin que el sujeto las afecte o las modifique crea consecuencias dentro del sistema. No es posible esperar que una tecnología o una propuesta produzcan los mismos resultados en el laboratorio que en el mundo real. Así, la ciencia que se debe utilizar para entender y resolver una problemática está definida por dos características.

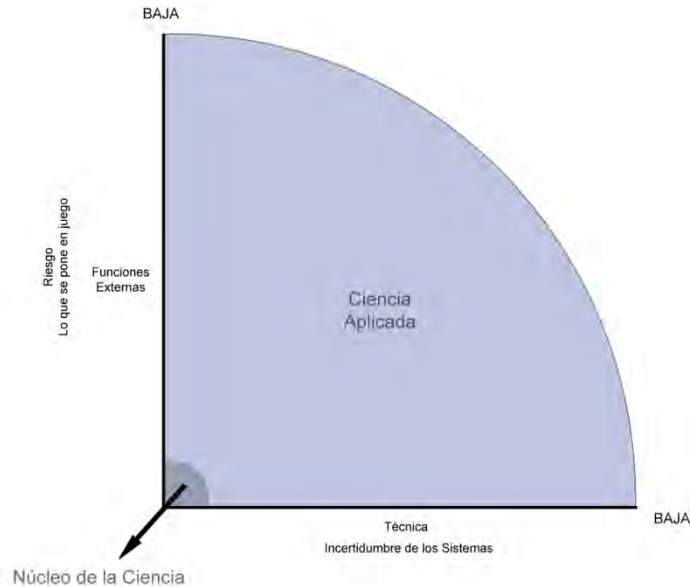
La primera es el conocimiento que se tenga de la problemática abordada y de los impactos que una política puede generar sobre el sistema, así como también de las incidencias circulares entre sus componentes. Este aspecto se engloba dentro de la incertidumbre que tenemos en relación al funcionamiento de una realidad compleja. Una segunda característica que define el dominio de una ciencia comprende una relación entre los beneficios y los costos que tendrá una decisión y de este balance se determinan los riesgos de asumir esta decisión (Funtowicz y Ravetz, 1993). En este sentido, si el riesgo es muy bajo, no será necesaria una mayor discusión en el proceso de toma de decisión, no obstante conforme el riesgo aumenta, será necesaria una mayor discusión para definir las opciones de política.

El dominio de la ciencia normal está circunscrito a la resolución de problemas en donde tanto la incertidumbre como lo que se pone en riesgo es bajo. La incertidumbre se encuentra en un nivel técnico y por tanto los problemas pueden resolverse utilizando técnicas rutinarias que no son más que complejos rompecabezas. Dentro de este nivel se utilizan herramientas para el manejo de datos tales como la estadística. Los datos que se recopilan serán utilizados para alguna función externa, es decir la investigación no tiene un interés en particular en el desarrollo de conocimiento, sino que este será utilizado en alguna actividad ajena a la investigación (Funtowicz y Ravetz, 1993).

Al interior de la ciencia normal, se encuentra el núcleo de la ciencia en donde la incertidumbre y lo que se pone en juego se encuentran en el nivel más bajo. El desarrollo investigativo en este nivel no se llevará a cabo si es que no se tiene una certeza de que exista un aumento de un riesgo que conlleve un determinado nivel de incertidumbre. Evidentemente, dentro de este núcleo no se darán descubrimientos científicos ya que éstos

se dan en ámbitos de incertidumbre altos. Las técnicas utilizadas en este nivel casi siempre tienen como destino la empresa privada y por tanto el conocimiento no es de dominio público. En el gráfico 1 se aprecia los niveles de los sistemas en los que la ciencia aplicada se desarrolla.

Gráfico 1. Dominio de la Ciencia Aplicada



Tomado de Funtowicz y Ravetz, 1993

1.3 La consultoría profesional: Hacia la ciencia Post-Normal

Conforme los riesgos y la incertidumbre aumentan a un rango medio, la utilización de técnicas y procedimientos rutinarios deja de ser útil y se hacen necesarias mayores habilidades para el manejo de la información así como de un mayor juicio para su tratamiento. Munda (2002) se refiere a este nivel como al “acercamiento tecnocrático” en el que un profesional trata de manejar una situación crítica. En la consultoría profesional no existe una única respuesta por lo que se da un proceso de negociación con el cliente como es el caso de la arquitectura o la medicina (Van Hauwermeiren, 1999).

La consultoría profesional incluye a la ciencia aplicada, pero además de los procesos rutinarios el criterio del investigador se vuelve importante para la toma de decisiones y

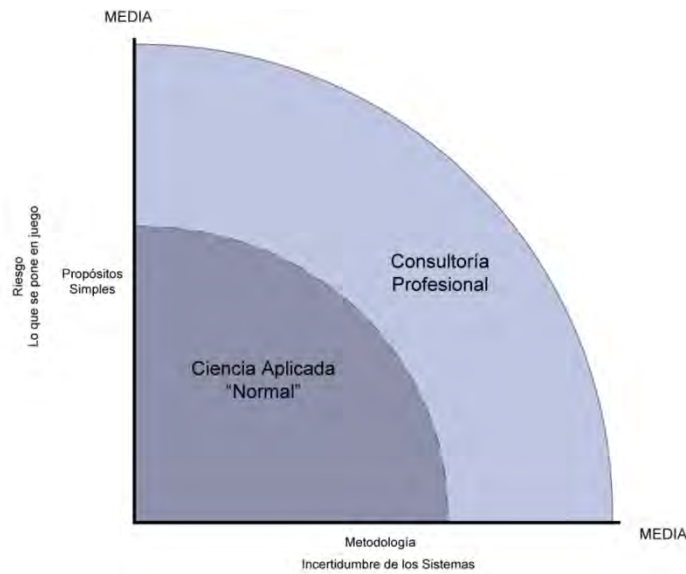
tanto la calidad de la información como de la teoría utilizada son relevantes para dar soluciones a un problema. Las decisiones no se toman unilateralmente y muchas veces se incluyen múltiples actores que tienen diferentes niveles de incidencia sobre la decisión final así como que elementos deben ser considerados en el proceso, por lo que el consultor debe tener la habilidad para saber ponderar cada uno de éstos (Funtowicz y Ravetz, 1993).

Un elemento común que la consultoría profesional comparte con la ciencia aplicada es que los resultados de la información no son de conocimiento público y la mayoría de las veces, ésta es destinada para el uso de la empresa privada o de clientes particulares que tienen la intención de incrementar el *know-how* dentro de sus actividades. El tratamiento de la información responde a intereses externos, lo que limita los intereses del consultor a los del cliente. Esto último se aplica de la misma manera para los objetivos que el investigador tiene dentro de la consultoría.

La diferencia de la consultoría profesional con la ciencia aplicada radica por un lado en la metodología que se utiliza en la resolución de los problemas y por otro, en que dentro de la ciencia aplicada los resultados pueden ser reproducidos e incluso predichos y proyectados, dado que un experimento puede replicarse manteniendo las circunstancias en las que fue originalmente estudiado. En la consultoría profesional la particularidad de las necesidades de la fuente que requiere la información hace que se trate con experiencias únicas que responden a una coyuntura específica.

Funtowicz y Ravetz (1993) reconocen cuatro componentes en la resolución de problemas: el proceso, las personas, el producto y el propósito. Estos componentes son una diferencia con la ciencia aplicada ya que ésta se centra en el procedimiento utilizado y en su validación por la comunidad de pares. En la consultoría profesional no puede asegurarse la calidad de la información por la rigurosidad del procedimiento utilizado y será validada desde la perspectiva del cliente, a pesar de que no tenga las habilidades técnicas, por lo que el trabajo tiene un carácter utilitarista. En el siguiente gráfico se observa el campo de acción de la consultoría profesional.

Gráfico 2. La consultoría profesional



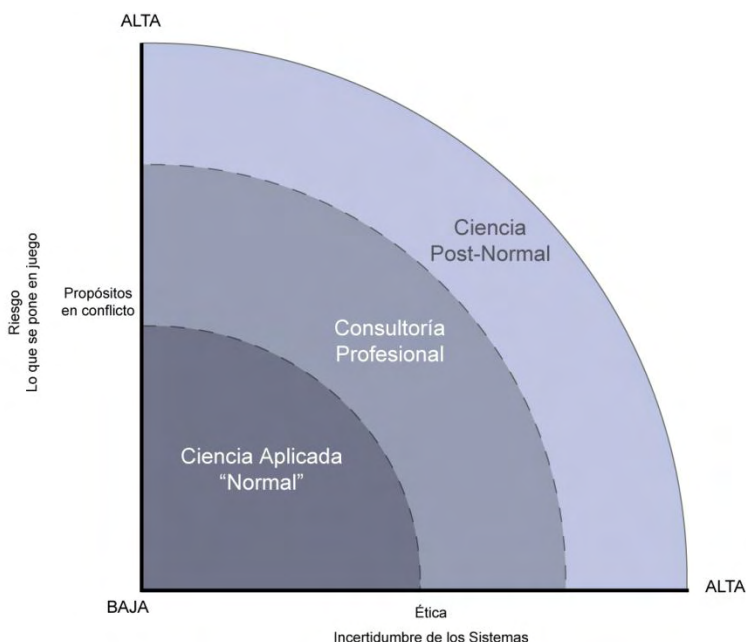
Tomado de Funtowicz y Ravetz, 1993

1.4 La ciencia Post-Normal

Las decisiones en un mundo complejo pueden tomarse desde una perspectiva reduccionista que aisle los elementos que se consideran o se puede elegir tratar con una representación de la complejidad del sistema que, como Munda (2002) señala, es sólo una de las posibles representaciones de las relaciones que se dan en su interior. Estos sistemas complejos tienen dos características representativas que le dan un carácter reflexivo. Estas son la *conciencia* y el *propósito* que los individuos tienen de sus propias decisiones, intereses y objetivos lo que hace que el sistema evolucione constantemente según estos también lo hagan.

Conforme los actores involucrados en la decisión tienen mayor influencia en la definición de las políticas, y los beneficios o costos sociales se incrementan, se ingresa en el campo de la ciencia post-normal en donde los procedimientos propios de las ciencias aplicadas no son útiles en la resolución de la conflictividad inherente al sistema. El hecho de que la ciencia aplicada, como se muestra en el gráfico 3, abarque a la ciencia post-normal no implica de ninguna manera que los procedimientos serán los mismos ya que se verán influidos por las presiones de los actores y sus intereses y objetivos particulares.

Gráfico 3. La ciencia Post-Normal



Tomado de Funtowicz y Ravetz, 1993

Los problemas ambientales deben ser valorados dentro del dominio de la ciencia post-normal en un ambiente caracterizado por la incertidumbre y la imposibilidad de definir una escala de valores común para el análisis. Con este fin se definen dos conceptos que permiten la valoración de los sistemas complejos (Funtowicz y Ravetz, 1994) y la toma de decisiones en la valoración/evaluación de políticas. El primero es la inconmensurabilidad social que implica la existencia de una multiplicidad de valores legítimos en la sociedad (democracia), mientras que el segundo es la inconmensurabilidad técnica que se refiere a la decisión de que elementos son válidos y se deben incluir en la representación del sistema. Aparte de los conceptos mencionados otros aspectos importantes en el tratamiento de una determinada problemática son las diferentes dimensiones afectadas (social, económica, ambiental) y la escala de la afectación (local, regional, global).

Limburg (2002) en relación a la escala de los ecosistemas, señala que esta se entiende espacial y temporalmente como el nivel en el que una determinada propiedad es coherente con un cambio y, que tanto se debe avanzar en el análisis para que deje de ser válida. Un aspecto importante para entender los cambios que se dan en los ecosistemas es la comprensión de que tan fuerte o vagamente se presentan las relaciones entre ellos. Los

cambios a gran escala y a largo plazo imponen restricciones a menor escala y a corto plazo, sin embargo los cambios a pequeña escala también pueden desencadenar efectos que se reflejen en una escala mayor del sistema.

Como consecuencia de las profundas subjetividades que se insertan en las decisiones y la definición de políticas sociales, un aspecto vital es la definición clara y objetiva del valor que ésta generará para los diferentes actores involucrados y que le dará un carácter operativo al valor, caso contrario las diferencias culturales, intereses y objetivos de los actores ejercerán una presión negativa en el proceso de toma de decisiones (Munda, 2002).

1.5 La Economía Ecológica como Ciencia Post-Normal

Georgescu-Roegen (1971) afirma que no existe algo más equivocado que pensar que el proceso económico puede ser tomado como un elemento aislado y como un sistema circular que se autoabastece y que, por tanto, no depende para su existencia del mundo físico en el que se inserta. Este sistema de nivel superior (mundo físico) es de donde se obtienen los recursos que son escasos y como tal plantea restricciones al crecimiento.

La economía ecológica surge como una crítica a los planteamientos de la economía convencional e inserta al sistema económico dentro del sistema físico considerando las relaciones entre ambos. El sistema económico aprovecha los recursos del sistema físico para la producción y al mismo tiempo lo aprovecha como sumidero para los desechos que el proceso productivo genera. En este sentido, la Economía Ecológica toma en cuenta las afectaciones que las actividades humanas producen en el entorno ya que la actividad económica se centra en el uso de los ecosistemas (Van Hauwermeiren, 1999). Estos impactos o externalidades no se consideran valorables exclusivamente desde una perspectiva monetaria y por el contrario se trata de alcanzar un equilibrio en las relaciones existentes que asegure un desarrollo sostenible.

Este objetivo es realizable, desde la perspectiva de la Economía Ecológica, únicamente tomando en cuenta aspectos como el crecimiento, el desarrollo y la distribución en un

marco ético y democrático en donde se discutan las soluciones a los problemas planteados. Esto le da un carácter sistémico y multidisciplinario en el que no se aíslan los elementos, sino por el contrario se trata de comprender los diversos intereses y objetivos de los actores y los niveles en que éstos pueden afectar el mundo físico en un marco de incertidumbre.

En cuanto a las valoraciones, Van Hauwermeiren (1999) señala que el nuevo enfoque de la Economía Ecológica, propone un proceso de evaluación que no está obligado a ajustarse a la convención de que el dinero es un lenguaje común natural. Con el desarrollo de la economía ecológica surge una concepción diferente de valor⁵. El foro en el que se crea y opera este nuevo tipo de valor es el de la negociación y mediación de los procesos políticos. La Economía Ecológica (en cuanto a las valoraciones) abarca la economía convencional neoclásica de los recursos y el medio ambiente y va más allá, al incorporar la evaluación física de los impactos de la economía humana.

La economía neoclásica, por medio de la economía ambiental, propone que las externalidades deben ser manejadas a través de la adjudicación de derechos de propiedad sobre los ecosistemas y a partir de allí, incluir los costos ambientales e internalizarlos por medio de impuestos a la producción o de compensaciones por dejar de producir un determinado nivel de la externalidad. Esta visión se centra en el concepto de que las pérdidas ocasionadas en el mundo físico pueden ser solventadas por medio de programas de remediación ambiental y la inversión de parte del excedente que genera el crecimiento en tal remediación.

Desde la visión de la Economía Ecológica y de los sistemas, no es posible conocer en qué estado se encuentra un determinado ecosistema, por lo que no es posible determinar si el daño causado es factible de remediación. En este punto se considera que la resiliencia⁶ es un factor de alta incertidumbre y que si esta se encuentra en un punto alto, el ecosistema se regenerará rápidamente, mientras que si la resiliencia es baja, cualquier cambio marginal puede producir un salto cualitativo en detrimento del medioambiente por lo que la

⁵ El concepto de valor de un ecosistema desde una perspectiva ecológica tiene un concepto diferente que hace referencia a los servicios que provee y que son valiosos para los humanos. Limburg (2002) al respecto anota que algunos de estos servicios pueden ser expresados monetariamente y otros no.

⁶ La resiliencia es la capacidad que tiene un ecosistema de regenerarse.

explotación de los recursos naturales no debe ser superior a la tasa de regeneración de las especies, y el uso de los recursos no renovables no puede exceder a la tasa de sustitución por recursos renovables (Van Hauwermeiren, 1999).

Estos recursos, tanto renovables como no renovables imponen entonces una restricción al crecimiento y como lo menciona Norgaard (1984) el sistema económico co-evoluciona con los sistemas biológicos, es decir que el primero tiene la capacidad para modificar al segundo, sin embargo se ve obligado a adaptarse a los cambios que produjo y añade que si no se da esta adaptación, el sistema económico no podrá entender las respuestas de los ecosistemas y si no los comprende, no será capaz de hacer un uso racional y eficiente de ellos. Por, tanto cada cambio que se dé en el sistema físico debe ir acompañado de un cambio tecnológico, social y cultural.

Un aspecto clave que hace de la Economía Ecológica una ciencia post-normal es que se considera el uso de los recursos como un hecho de sostenibilidad intergeneracional, pero no desde la perspectiva de la asignación de recursos o de la distribución de la riqueza en el tiempo, por medio del ahorro o la inversión sujetos a una tasa de descuento, sino que la cuestión central es la sustentabilidad ecológica valorando el concepto de escasez y sin desconocer que sin importar el nivel de capital, éste no puede sustituir los servicios de la biosfera (Van Hauwermeiren, 1999).

Clive Spash (1999) señala que las consideraciones de la ecología presentan cuestiones fundamentales dentro de la economía más que una visión determinística que las relega a simples restricciones. Holling (1995), en la misma línea determina que los ecosistemas tienen cuatro aspectos que han sido subvalorados desde la visión económica. En primer lugar señala que los cambios en los ecosistemas son *saltos* antes que modificaciones continuas y graduales (los huracanes pueden crear cambios cualitativos y cuantitativos de una estructura física); el segundo aspecto se relaciona con las escalas de las afectaciones y menciona que los aspectos espaciales son importantes determinantes del cambio. Tercero, los ecosistemas se mueven constantemente entre estados de equilibrio-desequilibrio-afectaciones-recuperación al contrario de la visión de que existen *fuerzas* que los mantienen

en un cambio constante. Finalmente señala que los ecosistemas tienen múltiples características que son inciertas e impredecibles lo que obliga a que las políticas sean flexibles y de carácter adaptativo.

Compartimos la visión de Spash (1999: 426) cuando menciona que “la Economía Ecológica es más que la simple unión entre los modelos de mercado con un análisis ecológico de las funciones de producción para proveer números `robustos`. Si fuera esto, debería renombrarse merecidamente a economía ambiental y podría emplear los mismos métodos y metodología” En la Tabla 1 se muestran las diferencias entre la Economía tradicional y la Economía ecológica y los aspectos que hacen de esta última una ciencia que se enmarca en los postulados de la ciencia post-normal.

Tabla 1: La economía ecológica como ciencia post-normal

Economía tradicional	Economía ecológica
Hace abstracción de la incertidumbre, el riesgo y la complejidad.	Se reconoce y maneja la incertidumbre, el riesgo y la complejidad
Se presuponen los valores	Se explicitan los valores
Pretende neutralidad ética	Los aspectos éticos son importantes y forman parte del diálogo
Indiferencia con respecto a las consecuencias políticas de sus argumentos	Recomendaciones políticas con inclusión de referencias sobre las incertidumbres y su manejo
Sistema aislado	Sistema que se relaciona con el espacio, el tiempo, la naturaleza, el pasado, el futuro
El dinero es un lenguaje común	Surge una nueva concepción del valor mediante la negociación y mediación de los procesos políticos
Enfoque analítico que reduce todos los bienes a mercancías	La reducción de todos los bienes a mercancías es reconocida como una perspectiva entre muchas otras
Discusiones cerradas, técnicas	Varias perspectivas complementarias se articulan en un diálogo racional
Autoridad técnica específica	Incluye una multiplicidad de participantes y perspectivas (la comunidad extendida de pares)

Tomado de Van Hauwermeiren, 1999

En la siguiente parte del presente capítulo revisaremos como las concepciones de la ciencia normal han repercutido sobre los planteamientos teóricos de la Economía, y de qué manera los desprendimientos teóricos de los modelos han servido de soporte para la explotación indiscriminada de los recursos. Estos planteamientos no contemplan que el sistema económico se encuentra circunscrito al sistema físico y toman en cuenta a este último exclusivamente como proveedor ilimitado e inmutable de recursos para el proceso productivo. De igual manera se plantea que dentro de la función de producción se puede dar una sustitución entre los factores por lo que los recursos naturales sólo son necesarios mientras la acumulación de capital alcance el nivel suficiente para hacer las veces de éstos.

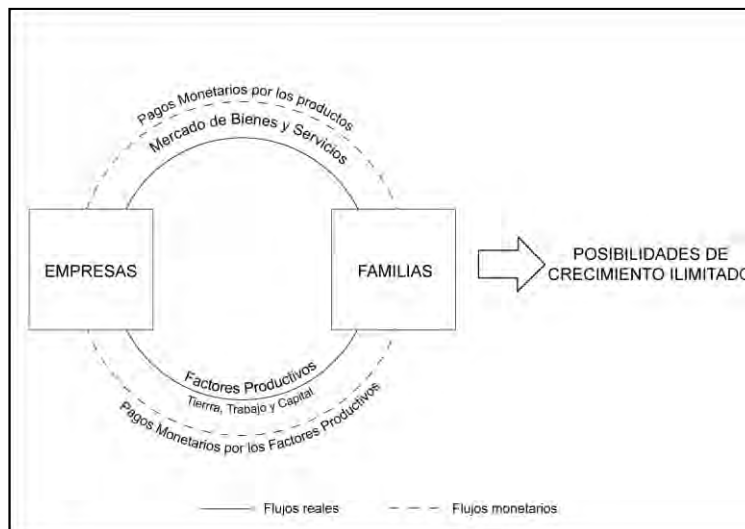
1.6 El Modelo de Crecimiento Neoclásico

El modelo de crecimiento y la sobreexplotación de los recursos naturales que sus supuestos implican, han traído sobre todo en las últimas dos décadas una preocupación global hacia el futuro del uso de los recursos y a cuestionar si el modelo se puede considerar sostenible a largo plazo. Esta preocupación ha puesto en la mesa de discusión un debate con diversas opiniones desde varios sectores (sociedad civil, ambientalista, político) los cuales ejercen presión para encontrar una solución al uso de los recursos naturales y a los problemas ambientales que la explotación está generando.

Poco sentido tiene hablar de un modelo equitativo y sostenible si este se basa en la exclusión y marginalización de miles de millones de personas. El reto es alcanzar un uso razonable de los recursos al tiempo que se encuentra un equilibrio en el bienestar entre todas las regiones. Como solución a este planteamiento se propone que el crecimiento económico y la redistribución del ingreso es el mecanismo para dar alivio a las presiones que la pobreza ejerce sobre el bienestar de las sociedades. Sin duda alguna este es un mecanismo válido, ya que si como conjunto (llámese población, sistema económico, etc.) la meta podría considerar elevar el nivel de vida de toda la población al de los países desarrollados, las presiones sobre la biósfera tendrán consecuencias irreversibles. Por otro lado, el mantener la tendencia actual no sólo que aumenta la brecha entre los ricos y los pobres, sino que genera externalidades a escala global (cambio climático, calentamiento global, contaminación, etc.) que comprometen aun más el desarrollo de los países pobres.

El uso de los recursos dentro del modelo clásico de crecimiento es un aspecto que ha llevado a la idea de que su explotación se puede dar en un marco de sustitución perfecta entre los factores de producción dado que el sistema económico se desenvuelve en un sistema cerrado y por tanto, cualquier daño es absolutamente reversible y más aun, el crecimiento puede ser, gracias a esto, ilimitado tal como se muestra en el gráfico 4.

Gráfico 4. El Sistema económico cerrado



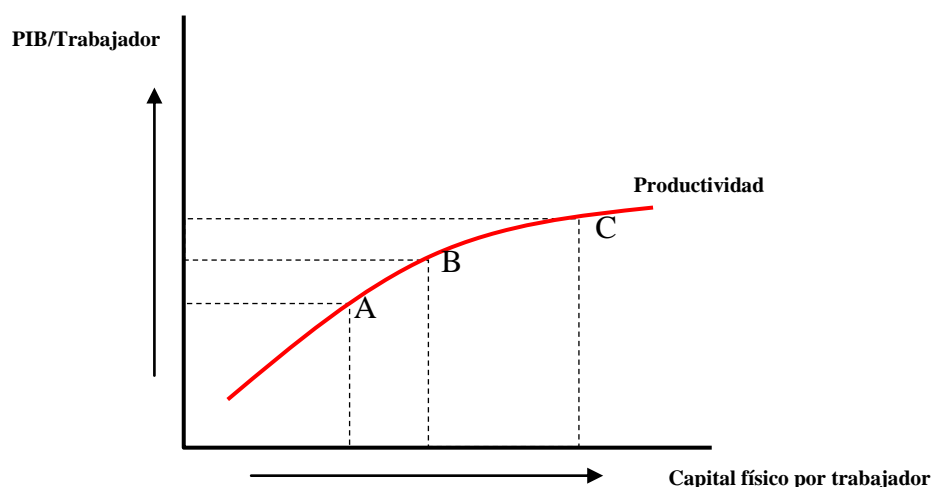
Adaptado de Van Hawwermeiren (1999)

Uno de los modelos de crecimiento más importantes es el planteado por Solow (1957) que utiliza como variables explicativas del crecimiento económico (Y) al trabajo (L) y el capital (K). Estas variables se expresan en la siguiente función de producción.

$$Y(t) = F(K(t), L(t))$$

en donde las variables se encuentran en función del tiempo (t). Dentro del desarrollo del modelo, el factor trabajo es exógeno, lo que implica que el crecimiento se atribuye a la intensificación del capital, que es el proceso por medio del cual aumenta la cantidad de capital por trabajador a lo largo del tiempo. Este aumento implica que a medida que cada trabajador cuenta con más recursos aumentará su productividad logrando así un crecimiento en el producto, no obstante este crecimiento no puede ser indefinido debido a los rendimientos decrecientes del capital, por tanto la incidencia de esta acumulación será cada vez menor hasta alcanzar un estado estacionario o estable (Samuelson, 2006).

Gráfico 5. Capital físico y Productividad



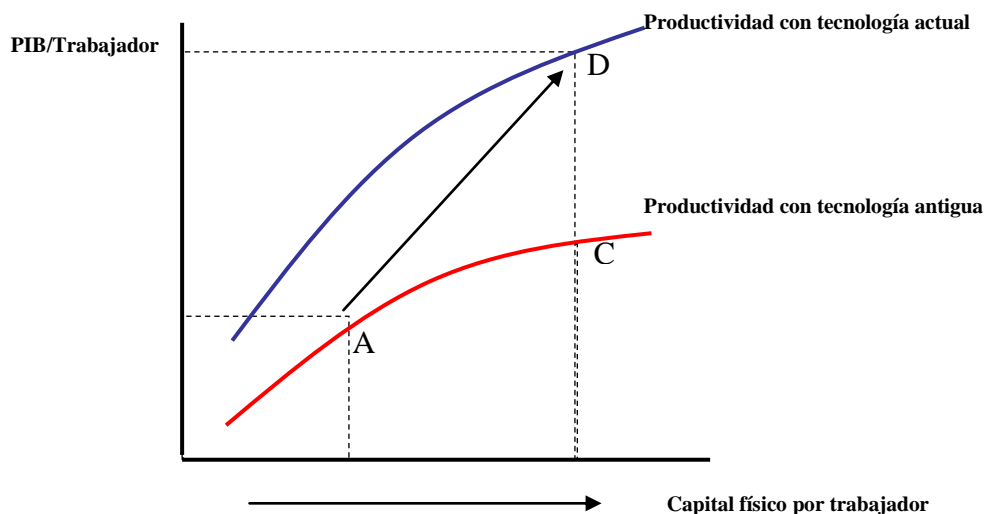
Adaptado de Krugman (2007)

Al aplicar este modelo, el crecimiento se explica en tan sólo un 20%, por lo que posteriormente se incorporó el residuo de Solow (1957) a la función de producción. Este residuo captura el porcentaje del crecimiento que se atribuye al desarrollo tecnológico y puede ser neutral dentro de la función de producción o un multiplicador tanto del capital como del trabajo. De acuerdo a esta nueva variable explicativa, se obtiene una nueva función de producción (Romer, 2006).

$$Y(t) = F(K(t), A(t)L(t))$$

en donde el ingreso depende, además de los factores de producción mencionados (capital y trabajo), de la tecnología que es un multiplicador y por medio del cual el factor trabajo seguiría aumentando su productividad, y por tanto se evita que se llegue a un estancamiento en el crecimiento, desplazando la curva de la función de producción debido a una mayor productividad de los factores (Krugman, 2007). Este efecto se muestra en el siguiente gráfico.

Gráfico 6. Progreso Tecnológico y Crecimiento en la Productividad



Adaptado de Krugman (2007)

Sin embargo hasta este punto el modelo de Solow no considera el uso de los recursos naturales por lo que posteriormente fue ampliado al modelo Solow-Stiglitz en donde se añade a la función de producción el factor de los recursos naturales y por medio de la cual, se intenta demostrar que el agotamiento de los recursos debido a su explotación no es un limitante para el crecimiento económico. La función de producción es la siguiente:

$$Y = (AK^\alpha L^\beta R^\lambda); \alpha + \beta + \lambda = 1$$

en donde K y L representan al Capital y al Trabajo, A es el multiplicador y R son los recursos naturales. Si despejamos los recursos naturales de la ecuación anterior podemos obtener la siguiente relación:

$$R^\lambda = \frac{Y}{AK^\alpha L^\beta}$$

De esta relación se desprende un sustento teórico que implica que manteniendo el factor trabajo (L) constante, tanto el capital (K) como los recursos naturales (R) pueden ser

sustituibles para cualquier nivel de ingreso (Y); por tanto, es posible, al menos en teoría, tener valores de R cercanos a cero si K tiende a infinito. En otras palabras, es factible que dentro del proceso económico se puedan agotar los recursos naturales siempre y cuando el capital aumente en la misma proporción de agotamiento de éstos y dada la tecnología (A) se pueden mantener los rendimientos para alcanzar un crecimiento sostenido.

Esta apreciación está acorde a lo que señalaba Solow acerca de que “si resulta muy sencillo sustituir otros factores por recursos naturales entonces en principio no hay problema. El mundo puede, de hecho, pasar sin recursos naturales” (Solow, 1974:11)

1.7 El sistema abierto, la termodinámica y sus implicaciones en el sistema económico

El modelo expuesto presenta un sistema cerrado, lo que implica que se da la autogeneración dentro de este sistema, es decir que los insumos para la producción pueden regenerarse en su interior y por tanto las disminuciones de las reservas en el mundo físico pueden solventarse por medio de la sustitución infinita entre los factores determinantes del crecimiento.

A este respecto, Georgescu-Roegen, referenciado por Gual (2008), señala que esta equivalencia no es válida en realidad. El incremento en capital implica una sustracción adicional de recursos y si el capital (K) tiende al infinito, entonces los recursos (R) serán rápidamente agotados por la producción de capital. Además se debe añadir que capital (K) y recursos (R) no son substitutos, sino casi siempre complementarios.

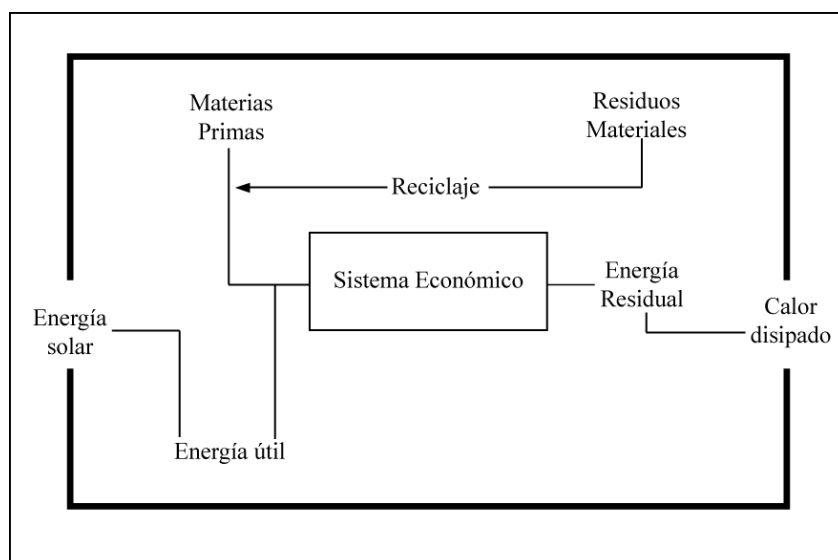
Este último hecho es subrayado de igual manera por Osorio (2000) al señalar que este concepto neoclásico de sustitución de los factores implica que gracias a la tecnología, los productos pueden ser elaborados de manera más eficiente, de tal manera que brinden el mismo o incluso un mejor servicio utilizando menos recursos, pero esto sólo es mejoramiento técnico y no implica una sustitución de los factores (recursos por capital).

Otra característica del modelo es la de reversibilidad según la cual los efectos causados por la producción de riqueza no dejan huella sobre el entorno ya que siempre es posible volver

al estado inicial. De estas dos características se deriva una tercera que hace referencia a la autosuficiencia del sistema, por medio de la cual la se desprende la aseveración de Solow.

Este sistema parece indicar que esta utilización de los recursos puede mantenerse incesantemente sin producir un efecto significativo sobre el medioambiente y por tanto la preocupación principal sería la generación de riqueza que genere crecimiento económico con la finalidad de ayudar a disminuir la diferencia entre países ricos y pobres, lo cual, esta por demás mencionarlo, es positivo, sin embargo el sistema económico y el ciclo productivo no son sistemas aislados y se encuentran inmersos en la biosfera tal como se muestra en el gráfico 7.

Gráfico 7. El Sistema económico abierto



Tomado de Van Hauwermeiren, 1999

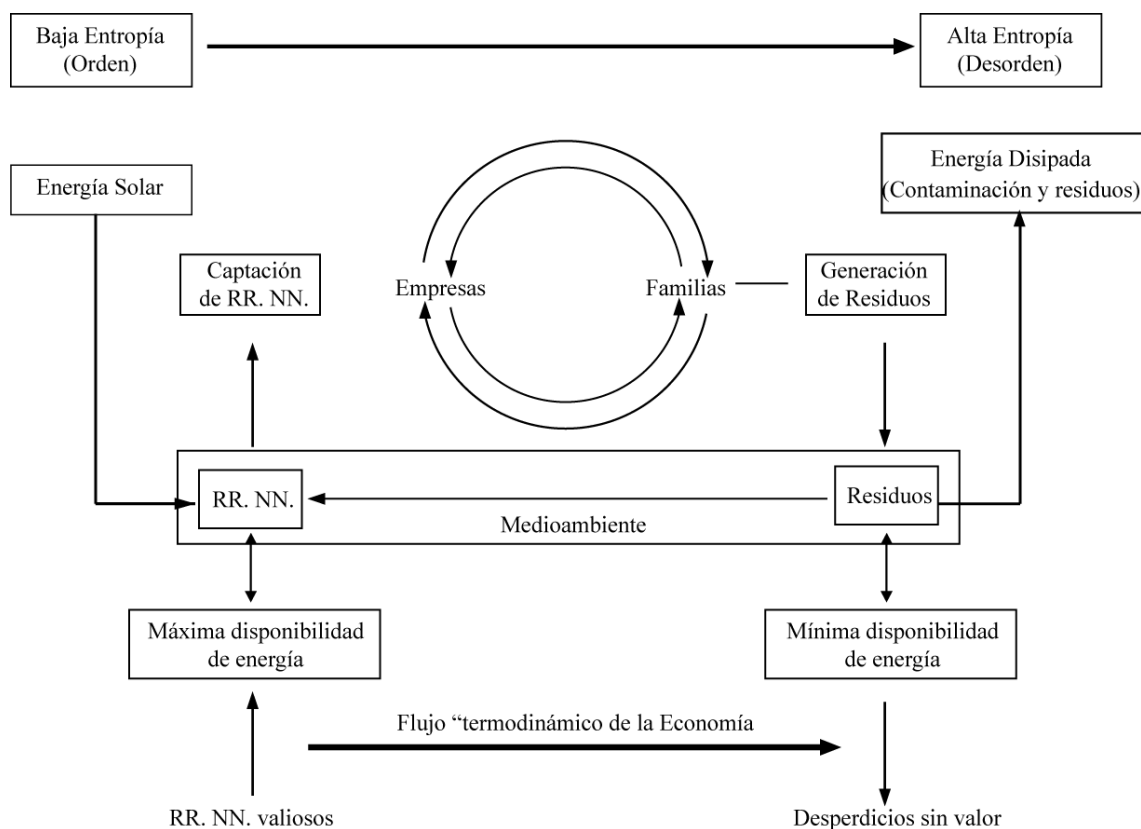
Como se muestra en el gráfico anterior, el sistema económico no está aislado y mantiene una interdependencia con el mundo físico, de donde obtiene sus recursos y a donde retornan los desechos que genera el proceso productivo. De lo anterior se desprende que el sistema económico esta cimentado sólidamente en una base material sujeta a restricciones ya que está inscrito en un sistema más amplio, limitado, agotable y susceptible a los cambios que producen las diversas actividades productivas.

Adicionalmente al agotamiento de los recursos naturales se debe tomar en cuenta el efecto de las leyes de la termodinámica sobre el proceso productivo. La primera ley de la termodinámica es la conservación de la energía que estipula que la materia y la energía no pueden destruirse ni crearse (Van Hauwermeiren, 1999). El proceso productivo sólo transforma los insumos provenientes de los recursos naturales, utilizando capital y trabajo, en bienes. La transformación no sólo implica una diferencia física sino también cualitativa entre los insumos y el producto final. Durante el proceso productivo, la energía utilizada se disipa ya sea por medio de transferencias de calor desde un cuerpo caliente a un frío o también por medio de la emisión de contaminantes y material particulado.

Para su funcionamiento el sistema económico necesita tanto de energía como materiales que obtiene del sol y de la biósfera. Al interior del sistema económico, las empresas toman estos recursos (energía y materia) y los transforman en bienes. Por su lado las familias hacen uso de la energía solar y de los alimentos para mantener su metabolismo en funcionamiento y poder aportar al ciclo económico con trabajo. A su vez, los bienes que se consumen generan desechos pero estos no desaparecen y permanecen dentro de la tierra. Una parte de estos es reciclada, sin embargo no contamos con la tecnología para reutilizar todos los desechos o es físicamente imposible hacerlo, por lo que dejamos a la tierra que los absorba. De hecho por medio de los ciclos naturales (del carbono por ejemplo) la tierra se encarga de procesar este material pero se presenta una diferencia de escala importante entre nuestra capacidad de generar contaminación y la de la tierra para asimilarlos y como resultado de esto tenemos cada vez más desechos acumulados tales como vidrio, plástico y metales utilizados en tecnología y en la construcción.

En este proceso que se muestra en el siguiente gráfico, la energía aumenta en su entropía que es la segunda ley de la termodinámica. Esta expresa que los procesos físicos (o el trabajo) reduce la disponibilidad de energía para el trabajo futuro. Otra manera de expresarla es que la concentración (de cualquier elemento) tiende a dispersarse, su estructura a desaparecer, el orden se vuelve desorden (Norgaard, 1984).

Gráfico 8. El flujo de la Renta y el flujo termodinámico de la energía



Adaptado de Gual, 2008

Las leyes anteriores se pueden resumir afirmando que la energía que se encuentra en los materiales no puede ser destruida por su uso (Principio de la conservación) sino que por medio de cualquier proceso, se degrada y se dispersa (Entropía) (Van Hauwermeiren, 1999). Para ilustrar este concepto, diremos que cuando un carbón es combustionado, la energía química que contiene no se modifica, sin embargo la energía contenida en el carbón y que se libera con la combustión, se disipa. Esta energía es liberada en forma de calor y de humo y ceniza (material particulado) y que ya no puede ser utilizada para producir por ejemplo trabajo.

La entropía tiene una direccionalidad que es irreversible y adicionalmente, cualquier esfuerzo para revertirlo implicaría aun un mayor gasto de energía lo que aumentaría el desorden. Van Hauwermeiren (1999:54) señala que "...las sustancias dispersadas pueden

ser recuperadas y recombinadas, pero pagando el precio de una producción de entropía, tanto más elevada cuanto mayor sea la dispersión que se quiere revertir. La energía dispersada no puede reciclarse, excepto gastando más energía que la que se ganaría con un hipotético reciclaje”

La desestructuración energética producida por la actividad económica tiene una implicación temporal en cuanto a la responsabilidad, del uso y la intensidad energéticos, con las generaciones futuras y su capacidad para crear las condiciones que aseguren su bienestar. Este concepto se relaciona con el desarrollo sustentable y los conceptos de sostenibilidad.

La economía neoclásica y ambiental plantean que el crecimiento económico puede darse sin contradicciones con el uso de los recursos naturales y su agotamiento y de aquí se desprende el sustento teórico de la sostenibilidad débil que se entiende como la viabilidad de un sistema socioeconómico en el tiempo (Luffiego, 2000). El crecimiento indefinido en el tiempo, a pesar de las externalidades que el sistema económico genera, tales como la contaminación y la disminución de las reservas, se posibilita gracias a la sustitución del capital económico por capital natural y por el cambio tecnológico en la función de producción que permite la explotación ilimitada.

Pearce y Atkinson (cit. por Falconi, 2002) señalan como condición suficiente para el crecimiento indefinido a la regla del ahorro. Si éste es mayor que la depreciación que se produce en el capital económico y el natural, este ahorro mantiene positiva la relación a favor del mejoramiento tecnológico y permite que el excedente se reinvierta en la sustitución entre los factores, por tanto lo que en última instancia importa es el mantenimiento del stock de capital global.

El excedente generado por el crecimiento económico se destina además en la remediación ambiental causado por las externalidades. Esto implica, como lo señala Mas-Colell (cit. por Luffiego, 2000), que de hecho el crecimiento es positivo para el medio ambiente ya que si una economía es pobre, no cuenta con los recursos necesarios para solucionar los

problemas ambientales y señala como evidencia el hecho de que hoy los mayores impactos se dan en las zonas más pobres del planeta.

Este hecho se debe en parte a que las economías centrales han disminuido el nivel de producción en sus países y, con la intención de disminuir sus costos de producción, han instalado sus industrias en países con mano de obra barata tal como es el caso de la maquila de Estados Unidos en países como México. Este hecho implica que las emisiones de ciertas industrias se trasladen desde las economías más desarrolladas hacia las economías en desarrollo. Sin embargo de lo anotado debe tomarse en cuenta que este “traslado” se da cuando la mano de obra del país de destino está en capacidad de reemplazar la mano de obra del país de origen y de realizar la misma tarea de una manera más competitiva, no obstante la producción especializada se lleva a cabo en los países desarrollados por lo que se puede afirmar que a nivel agregado los niveles de contaminación no solo que no disminuyen, sino que se incrementan. Desde luego un factor que será determinante del nivel de contaminación será el tamaño de la economía.

La economía neoclásica propone que para remediar los daños se debe invertir parte de la acumulación de capital en programas ambientales y para conocer el *valor* del daño producido, se emplean herramientas que revelen estos costos y por tanto la cantidad que debe ser invertida en la remediación. Dentro de estas técnicas de valoración se tienen las preferencias reveladas, los precios hedónicos, los costos de viaje y las evaluaciones contingentes.

Si bien estamos de acuerdo con la economía ambiental en el hecho de que se debe medir el daño producido e internalizarlo a través de un impuesto, se mantienen algunos problemas en las valoraciones mencionadas. En primer lugar cabe preguntarse de qué manera podemos conocer el costo para las generaciones futuras de los daños causados y la importancia (valor) que tendrán los servicios de los ecosistemas para ellas. Otro aspecto es que estas valoraciones no toman en cuenta todos los servicios prestados por un ecosistema y se da preferencia a la cantidad de recursos que se dejan de explotar y el beneficio que este representaría dentro del ciclo productivo.

Respecto de las valoraciones se debe considerar que i) los precios de mercado no expresan la importancia de un bien (ambiental) para la sociedad así como tampoco reflejan cuanto estaría dispuesta a pagar la sociedad antes de renunciar a mantener el beneficio de un servicio ambiental. Los precios únicamente expresan cambios marginales en la cantidad que se tiene de un bien; ii) La distribución del ingreso es un factor importante en la cantidad que una persona está dispuesta a pagar. De esta manera un aumento en el ingreso expresa un aumento en la demanda de bienes por los que un segmento tiene preferencia y, en consecuencia, esto incrementa su precio y finalmente iii) la cantidad que una persona está dispuesta a pagar no es exactamente la cantidad que efectivamente se pagará.

La Economía Ecológica plantea que la sostenibilidad débil no valora completamente los servicios ambientales y que lo importante es alcanzar el equilibrio entre los sistemas físico y económico, hacer viables las relaciones entre ellos y que la explotación de los recursos naturales contemple la intergeneracionalidad y el agotamiento de tales recursos. En este sentido, el sistema biofísico es limitado y por tanto no puede contener a uno (económico) que considere el crecimiento indefinido. Otro aspecto a considerar es que no es posible una sustitución entre los factores de producción y que el capital natural y el económico son parte del sostenimiento y existencia del sistema social (Luffiego, 2000).

Como consideraciones finales, es necesario señalar que el proceso económico transforma cualitativamente los recursos y la energía que estos contienen, cambiando su ordenamiento hacia un estado de alta entropía (Georgescu-Roegen, 1989). La disipación energética y la disminución de las reservas de los recursos naturales que podemos explotar implican que el beneficio que reciben las generaciones actuales va en detrimento del bienestar futuro y que así se alcance un crecimiento económico que permita grandes acumulaciones de capital, éste no permitirá renovar los recursos agotados.

El crecimiento económico no es equivalente al desarrollo, el cual según el informe Brundtland es el "...que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias

necesidades” (CMMAD, 1986). La discusión se centra entonces en superar la dualidad, aparentemente irreconciliable entre la economía y el medioambiente (Kapp, 1976). Las interrelaciones de las variables involucradas afectan a diferentes ámbitos y en diferentes escalas, lo cual modifica el interior del sistema y su evolución en el tiempo. Los sistemas económicos están compuestos de sistemas que interactúan a través de procesos de intercambio, producción y consumo y en el que los materiales y la energía son transformados y utilizados por la sociedad y las instituciones para crear ingresos, riqueza y bienestar. Estos sistemas comparten las mismas propiedades de los sistemas naturales como la estabilidad, la resiliencia, la eficiencia y la integridad. (Limburg et al., 2002)

Capítulo II

La realidad energética y las energías alternativas: Una visión mundial y el caso ecuatoriano

2.1 Introducción

En el capítulo anterior se resumió de que manera los postulados de la Economía Neoclásica y el modelo económico actual han derivado en el uso indiscriminado de los recursos aumentando las afectaciones al mundo físico y los ecosistemas y dejando de lado las leyes de la termodinámica sobre los sistemas físico y económico. El interés central por el crecimiento está produciendo cambios en la biósfera y esto puede poner en riesgo no sólo el PIB sino el balance entre esta y la sociedad.

Desde la perspectiva del modelo actual se propone que el crecimiento económico es deseable para mejorar las condiciones de la población mundial, y que este crecimiento es el mejor mecanismo para preservar el medioambiente ya que dotará a los países con los recursos necesarios para invertir en programas de conservación y remediación así como en tecnologías más limpias para solucionar la crisis ambiental actual. Sin embargo de lo anotado, y de que las preocupaciones acerca de aspectos tales como la extinción de abastecimientos baratos de energía o el cambio climático sean producto del modelo actual, debe notarse que sus propuestas no presentan una verdadera solución al problema de la sostenibilidad, ya que se sigue considerando la depredación de recursos como condición de la generación de riqueza.

Es indudable que existe una relación directa entre el uso de energía y el crecimiento económico, por tanto una mayor actividad económica se traduce en una mayor demanda energética aumentando los impactos sobre el medioambiente (dado el incremento en los niveles de explotación y contaminación) sin mencionar que la tasa de agotamiento de los recursos vulnera la sostenibilidad de la economía y el sistema.

Un aspecto que ha conducido a la suposición de que el crecimiento económico es beneficioso para el medioambiente es la desmaterialización de la economía. Existe evidencia de que conforme una economía crece la actividad se concentra en el sector de servicios y la producción industrial decae disminuyendo así las emisiones producidas por la industria. Aquí cabe hacer dos reflexiones. En primer lugar, no existe tal disminución de la producción, sino que lo que en verdad sucede es una relocalización de tal producción que en lugar de llevarse a cabo en los países desarrollados se realiza en los países en desarrollo.

En segundo lugar, nótese que si bien existe tal disminución en una región, el crecimiento económico traerá un mayor consumo (aproximadamente el 60% del PIB). Esto significa que la reducción de una actividad a escala local no supone una disminución a nivel global y que el efecto real es una relocalización de la producción tal como se mencionó. Es lógico suponer que esto es lo que finalmente ocurre debido a que en las economías en desarrollo la actividad más importante es la industrial y que así como la demanda por bienes finales proveniente de las economías desarrolladas se incrementa, la oferta de las economías en desarrollo también lo hará.

Otro argumento a favor del crecimiento económico viene por el lado de las preferencias. Se dice que con un mayor ingreso, los agentes exigirán una mayor canasta de bienes en la que se incluyen los bienes ambientales. Por medio de este cambio los consumidores exigirán que los productos que demandan provengan de procesos amigables con el medioambiente y presionarán a la oferta para que implemente los controles necesarios para reducir los impactos sobre los ecosistemas. Con esta presión, las firmas se verán obligadas a invertir en tecnología para reducir los impactos. El papel de la tecnología es clave y la teoría económica hace mucho énfasis en el papel que ha jugado y que tendrá en el futuro. Revisemos brevemente algunas razones por las que este elemento no implica necesariamente un cambio en la tendencia actual del mercado e inclusive podría resultar nociva sin los controles y las políticas adecuadas.

Los avances tecnológicos suponen un cambio en nuestra relación con el entorno. De esta manera, las innovaciones tienen un impacto (positivo/negativo) sobre el mundo físico. Durante las últimas décadas hemos visto como la tecnología por sí misma no ha sido capaz de realizar un avance significativo en relación a la diversificación de la matriz energética y como las energías alternativas continúan teniendo un aporte marginal en el consumo final de energía. Estos avances no han permitido acceder de manera masiva a nuevas formas de energía más limpia o que mitiguen de manera eficiente los impactos actuales y por el contrario se han centrado en aumentar el rendimiento de los combustibles fósiles que siguen dominando el panorama energético global.

Sin un control por el lado de las políticas, el incremento en la eficiencia energética trae como resultado una mayor demanda energética en términos absolutos debido a que sus costos disminuyen, tal como lo demostró Jevons para el caso del carbón en Inglaterra. Por otro lado la tecnología responde a un aspecto económico que es el más determinante. Si no se tiene un incentivo real para el desarrollo de energías más limpias y mientras se mantengan bajos precios del petróleo es poco probable que se realicen inversiones para modificar la matriz energética (De la Torre et al, 2009). Por ejemplo cuando el petróleo llega a precios que ponen en riesgo a la economía, los países productores aumentan la producción para disminuir el precio al nivel del costo marginal del productor más caro tal como lo señala la ley de Hotelling.

Este hecho impone un candado tecnológico que no permite la inversión suficiente para las nuevas energías ya que las empresas no creen atractivo castigar sus fondos al colocarlos en un mercado que no se ve lo suficientemente promisorio en un horizonte próximo. Más allá de la apuesta por el desarrollo tecnológico resulta crítica la manera en la que se asignarán los recursos entre las diferentes opciones tecnológicas y desde luego la localización dependerá de que tan eficiente y atractiva resulte la inversión.

Por lo expuesto se evidencia como la tecnología por sí misma no es capaz de solucionar la encrucijada de la energía y es imperativo el acompañamiento de las políticas que sean necesarias para que los cambios se hagan efectivos. Esto último adquiere sentido dado que

la problemática energética no tiene una sola arista y a más de la economía y los probables aportes de la tecnología, es necesario realizar cambios de fondo en los patrones de consumo actuales y promover la utilización racional de los recursos. Parte de estos cambios deben considerar la inversión en energías renovables y la concienciación por la necesidad de modificar la actual matriz energética. En el presente capítulo se analizarán estos aspectos más de cerca y se revisará el panorama energético mundial desde una perspectiva integral (económica, ambiental y social) y se analizará la realidad energética del Ecuador.

2.2 Las dimensiones de la realidad energética

La energía, así como aspectos tales como su uso, eficiencia, seguridad en su futuro abastecimiento y la reducción en los impactos sobre el medio ambiente son temas cruciales para el sostenimiento de la economía mundial más allá de la cercanía (o no) de un cambio en el modelo económico y de la matriz energética actuales. Tal como lo señala el informe sobre la matriz energética del Ecuador, la energía es “de trascendental importancia para la economía al proveer de productos y servicios que demandan la producción, los propios servicios y el consumo final de las personas. Es decir, son requerimientos del conjunto de la sociedad y del sistema económico” (MEER, 2009:19)

Lo mencionado implica considerar los tres siguientes aspectos. En primer lugar, y tal como se mencionó, la energía es un bien transversal no sólo a la economía sino también un insumo vital para la satisfacción de las necesidades humanas. En segundo lugar, y dada su importancia, cumple un rol importante en el bienestar y finalmente estos dos primeros aspectos están íntimamente relacionados con un uso razonable de los recursos que permita mitigar los impactos sobre la biósfera. A pesar de la variedad y divergencia en los resultados obtenidos por diferentes estudios a nivel mundial (ver IEA, 2009; BP, 2008; BP, 2010; MEER, 2009; ITPOES, 2010) todos coinciden en la insostenibilidad del actual modelo energético mundial y señalan las dimensiones económica, social y medioambiental como las esferas de discusión; y, como principales factores determinantes del aumento en el consumo de energía primaria al crecimiento económico y poblacional.

Dentro de los aspectos que ponen en evidencia una próxima crisis energética se pueden mencionar en primer lugar la alta dependencia de los combustibles fósiles, especialmente del petróleo para abastecer la demanda mundial. El crecimiento vertiginoso de economías como China, India y Brasil aumentará la presión de la demanda sobre las actuales reservas lo cual desembocará en una inminente disminución de la producción y por ende en un incremento en los costos de extracción y los precios de la energía. Esta inestabilidad aumentará aún más la volatilidad de los precios del combustible poniendo en riesgo la estabilidad de la economía y el bienestar de la población.

En segundo lugar, el aumento de la demanda energética plantea una disyuntiva social ya que el hecho de que los combustibles fósiles sean una fuente de energía no renovable implica que los recursos que actualmente son consumidos por el mundo desarrollado y en crecimiento no estarán disponibles ni para las generaciones futuras ni para los países que actualmente se encuentran entre los más pobres del globo polarizando aún más las diferencias entre las regiones más ricas y las más pobres.

Finalmente los impactos sobre el medioambiente producto de la quema de combustibles fósiles son evidentes e innegables. De la Torre (2009:1) advierte sobre la estrecha relación entre las actividades económicas y el cambio climático. En su informe menciona que “con un 95% de certeza una de las principales causas del cambio climático global ha sido el incremento antropogénico (...) en la concentración de Gases de Efecto Invernadero”.

La energía y la economía son sistemas complejos que reaccionan interdependientemente entre las variables económicas, sociales y ambientales. Este hecho se puede ver reflejado en que las afectaciones al medioambiente tienen un impacto directo sobre la esfera social al mejorar/empeorar las condiciones de vida y a su vez estos cambios repercuten sobre la economía mundial y esta sobre el uso de energía. Los aspectos mencionados se desarrollan con más detalle a continuación.

2.2.1 La dimensión económica

Es innegable que existe una estrecha relación entre el crecimiento económico y el consumo de energía. La presión que ejercen las diversas actividades productivas se ve reflejada en las tasas crecientes de consumo energético a nivel mundial, y sin lugar a dudas esta tendencia no se revertirá y por el contrario, seguirá aumentando conforme la demanda se traslade desde los países desarrollados hacia los países en desarrollo, principalmente China e India (ITPOES, 2010).

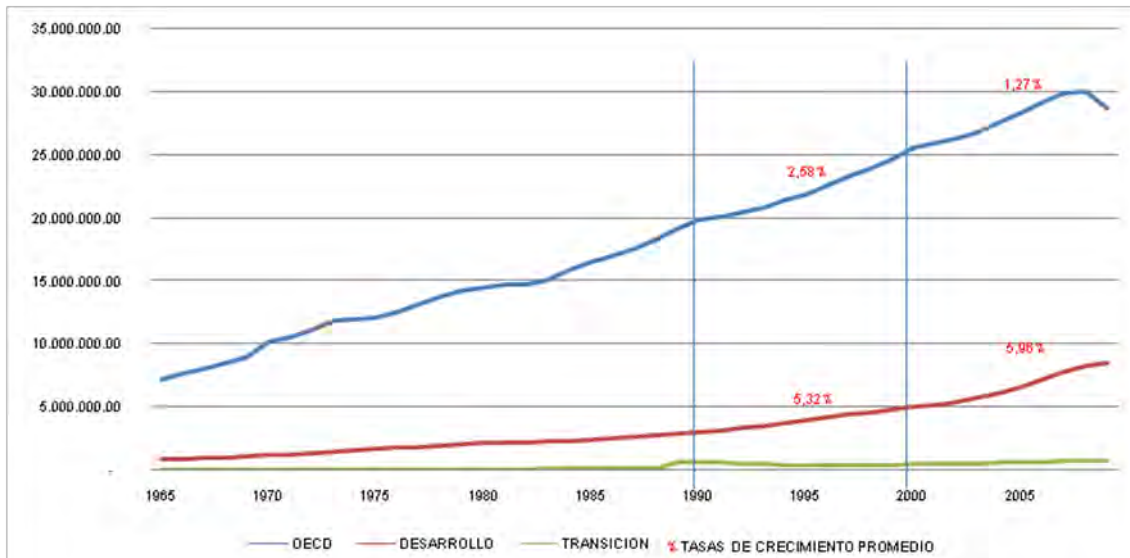
Las tendencias de crecimiento del PIB mundial han decaído durante las últimas décadas⁷, así por ejemplo las tasas de crecimiento globales en la década de los 80 fueron de 3,5% y posteriormente decayeron a 2,9% y 2,2% en las décadas de 1990 y 2000 respectivamente, mientras que la tasa de crecimiento promedio a lo largo de este período se mantuvo en 3,57%. Este crecimiento fue impulsado en gran parte por las economías desarrolladas (OECD) las cuales mantuvieron un peso promedio de 80% del ingreso mundial.

Tal como se mencionó, en el período analizado, la economía mundial ha crecido a una tasa promedio de 3,57%, sin embargo a partir de la década de 1990 los países en desarrollo, liderados por las economías del Este asiático y el Medio Oriente, han presentado un crecimiento importante por sobre el promedio mundial y en la última década la diferencia de las tasas de crecimiento promedio entre las economías OECD y las economías en desarrollo es mucho más importante que en períodos anteriores.

⁷ Los datos utilizados corresponden a la base de datos del Banco Mundial y se expresan en dólares constantes del 2000. Disponible en: <http://datos.bancomundial.pais>

Gráfico 9. PIB Regional

(Millones USD. 2000)

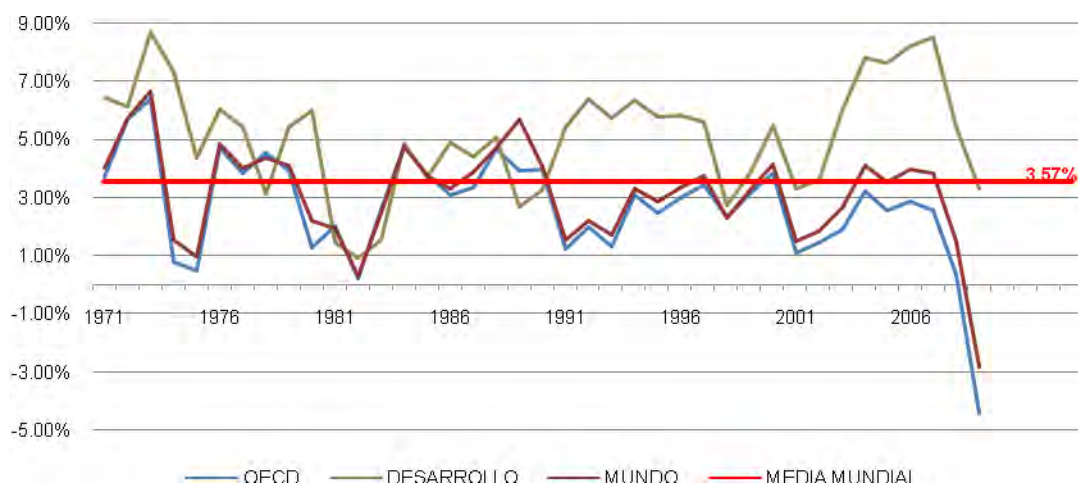


Datos: Banco Mundial

En el Gráfico 9 se puede apreciar que la economía OECD se está desacelerando como producto de la crisis iniciada en 2008 y de los altos precios de la energía, sin embargo existen otras regiones del mundo que aparecen como poco afectadas por estos choques macroeconómicos. El crecimiento mostrado por las economías en desarrollo se debe principalmente a tres factores. En primer lugar, han incrementado su productividad beneficiándose del desarrollo tecnológico que adquieren gracias a su inserción en la economía mundial y al desarrollo de su industria. Por otro lado los altos precios del petróleo han beneficiado a los países de Medio Oriente que incrementan su PIB al percibir mayores ingresos por las exportaciones de crudo. En segundo lugar, al ser productoras de commodities, las economías en desarrollo se han visto beneficiadas de un incremento en sus precios y una mejoría en sus términos de intercambio. Finalmente, muchas de estas regiones han definido políticas que les permitan atraer la inversión extranjera (IEA, 2008). Adicionalmente a estos factores, las altas tasas de crecimiento también se explican debido a que son economías que están en etapas tempranas del crecimiento económico.

En este contexto, varias economías emergentes como China e India han mostrado una tendencia diferente (al crecimiento mundial y a la desaceleración del crecimiento) al mantener tasas de crecimiento promedio anual sobre 6 puntos y durante el período 1990 - 2009 sus economías se multiplicaron por 6,6 y 3,2 veces respectivamente. En el Gráfico 10 se aprecia como desde la década de 1990, los países desarrollados han visto incrementar su ingreso bajo el promedio mundial y como su producto presenta una alta sensibilidad a los choques externos tales como la reciente crisis de los mercados financieros y el aumento de los precios del petróleo.

Gráfico 10. Tasas de Crecimiento PIB

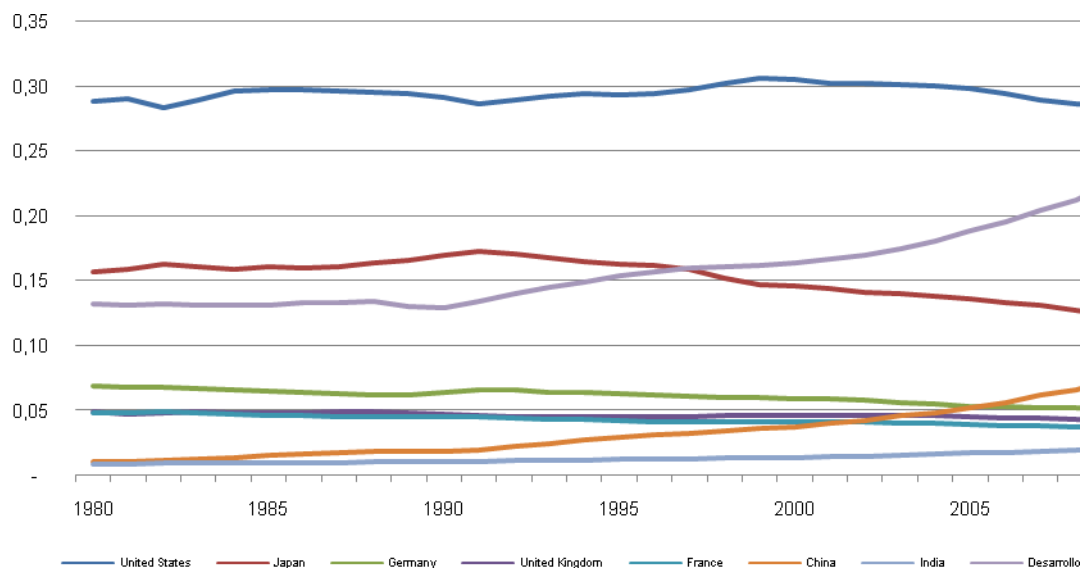


Datos: Banco Mundial

Un dato adicional sobre el cambio estructural que se presenta en la economía mundial es la importancia creciente que tienen las economías en desarrollo sobre el producto global. La brecha que se empieza a hacer evidente a partir del año 2000 entre el comportamiento del PIB mundial y el de los países OECD, se explica por el mayor peso que tienen las economías en desarrollo sobre el PIB mundial (Gráfico 11). Dentro de esta tendencia hay tres aspectos que se deben mencionar. Por un lado, se vuelve a evidenciar la tendencia creciente de las economías en desarrollo y como pasan de ser el 13% del producto en 1980 al 23% en el año 2009; en segundo lugar, la segunda economía del mundo, Japón, ha mantenido una tasa de crecimiento prácticamente estacionaria hasta el año 1995 en donde

su economía empieza a desacelerarse de manera importante (pasando del 16 al 13% global) y en tercer lugar, y quizás el aspecto más importante, es el vertiginoso crecimiento de China cuya economía rebasó a las de Alemania, Francia y el Reino Unido y que converge rápidamente al nivel de actividad japonés.

Gráfico 11. Peso regional sobre el PIB mundial



Datos: Banco Mundial

El mayor peso de las economías en desarrollo se puede apreciar de igual manera en el aporte al crecimiento que cada una de las regiones hace al incremento al producto mundial entendido como el ratio entre los diferenciales de crecimiento regionales y los globales. En la Tabla 1 se aprecia el aporte de varios países y bloques económicos al crecimiento mundial. Tal como en el gráfico 11, los datos de la Tabla 2 muestran el desplome de la economía japonesa y la caída de Alemania, el Reino Unido y Francia, las cuales han sido superadas por el aporte de China e inclusive, en algunos casos, por la India. Finalmente como era de esperarse, así como el aporte al crecimiento de los países OECD decae, el de las economías en desarrollo va tornándose más importante.

Tabla 2. Aporte al crecimiento mundial por países y bloques económicos

Países/Regiones	80-90	90-00	00-09
Estados Unidos	10,14%	33,08%	22,90%
Japón	30,02%	9,78%	7,87%
Alemania	2,97%	5,88%	3,67%
Reino Unido	5,58%	3,39%	4,68%
Francia	6,37%	2,79%	2,77%
China	6,51%	9,92%	13,00%
India	2,67%	2,54%	2,81%
Cinco mayores	55,09%	54,93%	41,88%
OECD	76,18%	75,31%	62,74%
DESARROLLO	17,21%	28,65%	33,18%

Datos: Banco Mundial

2.2.2 La dimensión social

A pesar de los avances que se han dado en materia económica a nivel agregado, las diferencias entre los países más ricos y los más pobres siguen siendo aún muy grandes, lo que presenta un panorama no muy halagador en el futuro cercano debido a las tendencias de crecimiento y la persistencia en la brecha entre regiones. En este sentido es necesario ingresar al debate el concepto de desarrollo sostenible al que es válido añadir que la sostenibilidad no sólo debe ser contemplada en términos temporales, sino también en términos regionales; esto significa que la satisfacción de necesidades de una parte de la población no debe comprometer la capacidad de otras regiones para satisfacer las propias.

La inequidad en el acceso a los recursos tiene su base en las enormes disparidades en el ingreso a nivel mundial; así por ejemplo el 20% de los países más ricos se reparten el 85% del ingreso total dejando el 15% restante para el resto de la población mundial y la concentración del ingreso calculada para el índice de Gini es de 0,895. Este dato no se aleja de la realidad energética de los países más pobres. En la actualidad 1 700 millones de personas no tienen acceso a la electricidad o a otras formas de energía avanzadas lo que limita a su vez el acceso a calefacción, agua potable y refrigeración entre otros servicios.

El acceso a la energía es un determinante para alcanzar el desarrollo al permitir a las economías el crecimiento de la industria y del sector de servicios los cuales son fuentes generadoras de empleo y de mayor riqueza. A su vez, la falta de acceso a formas de energía modernas vulnera las condiciones socioeconómicas de la población, disminuye su capacidad para generar mejores oportunidades y crea problemas de salud debido a la quema de biomasa.

La falta de acceso a fuentes modernas de energía afecta a dos aspectos del desarrollo sostenible: el socioeconómico y el de la salud. Tal como se mencionó, un tercio de la población no cuenta con energía eléctrica por lo que las familias deben abastecerse de biomasa para satisfacer necesidades como la cocción de alimentos, utilizando tiempo que podría dedicarse a actividades que promuevan el desarrollo a la búsqueda de fuentes de energía alternativas. En los países que carecen de energía, esta actividad puede tomar hasta seis horas diarias por hogar.

Al interior de la unidad familiar este hecho implica que las madres dedican menor tiempo a supervisar la educación de los menores y que los hombres pierden estas horas que podrían ser utilizadas a la agricultura u otras actividades productivas, dando como resultado un agravamiento de la situación de pobreza de estas regiones. A nivel agregado, la productividad también se ve afectada debido a que la falta de fuentes de energía modernas impide el desarrollo de la industria y la productividad de los trabajadores es inferior dada la falta de herramientas modernas para el trabajo.

Adicionalmente, los bajos ingresos de los países más pobres implican que en términos relativos los hogares destinen una mayor cantidad de sus recursos a una energía cuyo retorno energético por unidad calórica es inferior que el que se obtendría por ejemplo de la electricidad. Por ejemplo, esto último se explica por la combustión incompleta de la biomasa utilizada en estas regiones para generar calor y trabajo.

Tabla 3. Consumo energético per cápita.

Países	Energía Primaria (Millones Tep*)	% del Total	Población (Millones)	% del Total	Tep/hab
Qatar	27,20	0,27%	1,41	0,02%	19,30
Emiratos Árabes Unidos	74,99	0,73%	4,60	0,07%	16,31
Islandia	3,90	0,04%	0,32	0,00%	12,21
Singapur	60,76	0,59%	4,99	0,07%	12,18
Kuwait	31,25	0,30%	2,79	0,04%	11,18
Canadá	319,19	3,11%	33,74	0,50%	9,46
Noruega	42,53	0,41%	4,83	0,07%	8,81
Arabia Saudita	191,53	1,87%	25,39	0,37%	7,54
Estados Unidos	2.182,03	21,26%	307,01	4,53%	7,11
Bélgica	69,42	0,68%	10,79	0,16%	6,43
Holanda	93,27	0,91%	16,53	0,24%	5,64
Australia	119,23	1,16%	21,87	0,32%	5,45
Finlandia	25,01	0,24%	5,34	0,08%	4,68
Suecia	43,17	0,42%	9,30	0,14%	4,64
Turkmenistán	23,02	0,22%	5,11	0,08%	4,51
Rusia	635,30	6,19%	141,85	2,09%	4,48
Nueva Zelanda	17,61	0,17%	4,32	0,06%	4,08
Kazakstán	64,41	0,63%	15,89	0,23%	4,05
Francia	241,91	2,36%	62,62	0,92%	3,86
Los 20 primeros	4.265,72	41,56%	678,69	10,02%	6,29
Resto del mundo	5.997,24	58%	6.096,55	90%	0,98
TOTAL MUNDIAL	10.262,96	100%	6.775,24	100%	1,51

*Toneladas Equivalentes de Petróleo
 Datos: FMI, BP.

Sin embargo de lo anotado, no sólo la falta de acceso es una arista de la inequidad sino que esta también se refleja en la desigualdad en el consumo de energía entre los países más ricos y los más pobres. Al analizar el consumo per cápita mundial se observa claramente que los veinte mayores consumidores de energía primaria per cápita tienen un consumo promedio de 6 toneladas equivalentes de petróleo (tep) con apenas una población de 678 millones de habitantes, mientras que el resto del mundo tiene un consumo de prácticamente una tep por habitante. Cabe notar las grandes diferencias que se presentan inclusive entre los mayores consumidores a nivel mundial en donde solamente los diez primeros se encuentran sobre la media. El gran crecimiento de los países de Medio Oriente se ve

reflejado en la Tabla 3 en donde el 20% de los mayores consumidores provienen de esa zona geográfica.

La otra arista que torna insostenible el modelo energético actual y que es causado por la falta de acceso a modernas formas de energía son las afectaciones que la quema de biomasa causa a la salud. Si bien no contamos con la tecnología que permita una combustión o explotación totalmente inocua para el medioambiente, las afecciones (sobre todo dermatológicas y respiratorias) tienen mayor incidencia y prevalencia en las zonas en donde no se cuenta con electricidad o que presentan deficiencias en el suministro energético. Para ilustrar este caso se debe mencionar que la combustión de biomasa afecta a 1 500 millones de personas que ven disminuida la calidad del aire producto de las emisiones constantes y a este fenómeno se atribuyen 2,5 millones de muertes anuales (Guasch, 2006).

2.2.3 La dimensión ambiental

La reciente crisis financiera causada por la burbuja de créditos inmobiliarios en Estados Unidos que desembocó en una crisis económica mundial puso de manifiesto la vulnerabilidad del sistema actual y evidenció un hecho que no es tan desconocido: la alta dependencia de las economías a los combustibles fósiles y la volatilidad de los precios del crudo que ponen en riesgo la economía mundial. A propósito de la crisis, el Banco Mundial (De la Torre et al, 2009) menciona en su informe Desarrollo con Menos Carbono que sería ingenuo pensar que el mundo no enfrentaría una grave crisis económica como producto del cambio climático.

Norgaard (1984) menciona que los sistemas evolucionan debido a las interacciones que se dan al interior de ellos y que la escala temporal de los sistemas naturales es bastante diferente a la del sistema económico que se desenvuelve a corto y mediano plazo. Este hecho es de particular importancia a la luz de la crisis ya que al existir problemas inmediatos que solucionar se puede perder de vista los cambios que se necesitan a largo plazo.

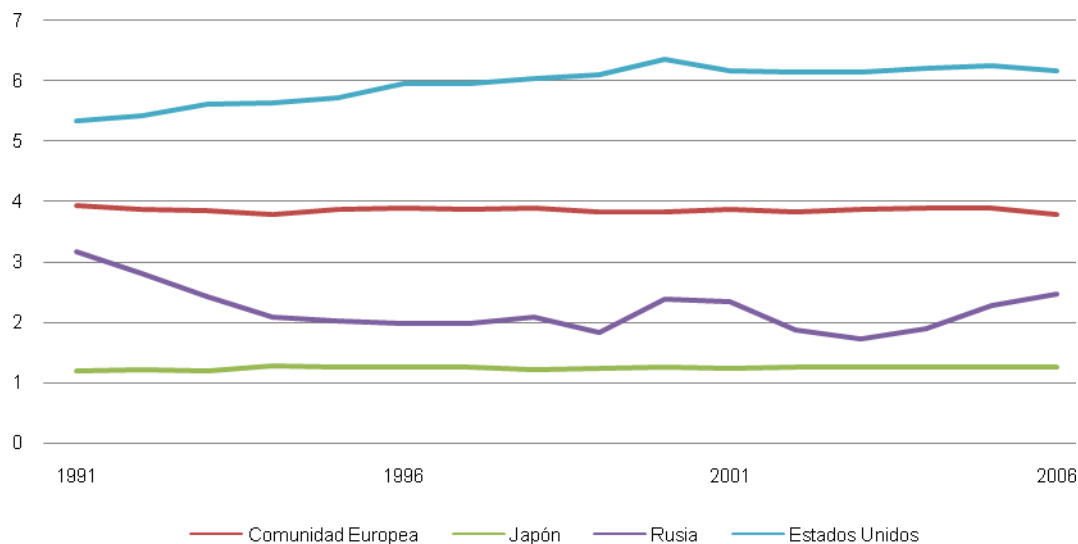
La presente crisis por un lado puede derivar en políticas que sean poco amigables con el medioambiente tales como el establecimiento de subsidios a la industria y a los combustibles para dar incentivos al sistema económico, resultando en un incremento de las emisiones de gases a la atmósfera. En segundo lugar la crisis también tiene un efecto sobre la demanda de petróleo presionando sus precios a la baja tal como se ha visto volviéndolos más atractivos que sus contrapartes. Estos dos aspectos tienen como resultado un efecto negativo sobre los fondos destinados al desarrollo de energías más limpias e inclusive se podría incentivar el consumo de energías más baratas pero también más contaminantes (De la Torre et al, 2009).

Los cambios producidos por los procesos naturales y la intervención del hombre tienen consecuencias sobre la economía mundial pero principalmente sobre la población y las actividades más sensibles y vulnerables. Dentro de las afectaciones económicas, sin lugar a dudas será la agricultura la que se vea afectada en primer lugar y en mayor intensidad. Este hecho se debe a que los cambios en el clima influirán sobre la productividad de la tierra al enfrentar prolongadas sequías o épocas de lluvia. Debido a que en las regiones más pobres la población tiende a concentrarse mayormente en las áreas rurales, estas economías de subsistencia verán empeorar sus condiciones de vida debido a la baja productividad mencionada. Esto llevará a una mayor movilidad, provocando un abandono de los jefes del hogar ya que se verán obligados a migrar del campo a la ciudad, lo que no siempre ocurre en las mejores condiciones (De la Torre et al, 2009).

Signos inequívocos de la influencia antropogénica sobre el medioambiente se pueden apreciar en las tasas de variación presentadas por la temperatura mundial, las cuales de acuerdo al Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) están aumentando al doble de velocidad de lo que lo hacían en el inicio del siglo XX (IPCC, 2007) y de no existir un cambio en las tendencias actuales por medio de la definición de políticas de mitigación y disminución de emisiones, el informe proyecta un incremento de 90% en las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el año 2030 en relación a las del año 2000.

Gráfico 12. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

(Millones de toneladas)



Datos: UNFCC

Ante las crecientes concentraciones de los GEI, 166 países firmaron el Acuerdo de Kyoto en el año de 1997, uno de los acuerdos más relevantes en materia de control de emisiones. Este acuerdo pretendía reducir las emisiones de GEI en 5,2% -en relación a las de 1990- hasta el año 2012. El acuerdo estableció adicionalmente que para el año 2005 los países deberían demostrar un avance concreto en el cumplimiento del objetivo (ONU, 1998); sin embargo no se han realizado avances significativos tal como se aprecia en el Gráfico 12 y por el contrario la tendencia se ha mantenido e inclusive ha aumentado en el caso de Estados Unidos.

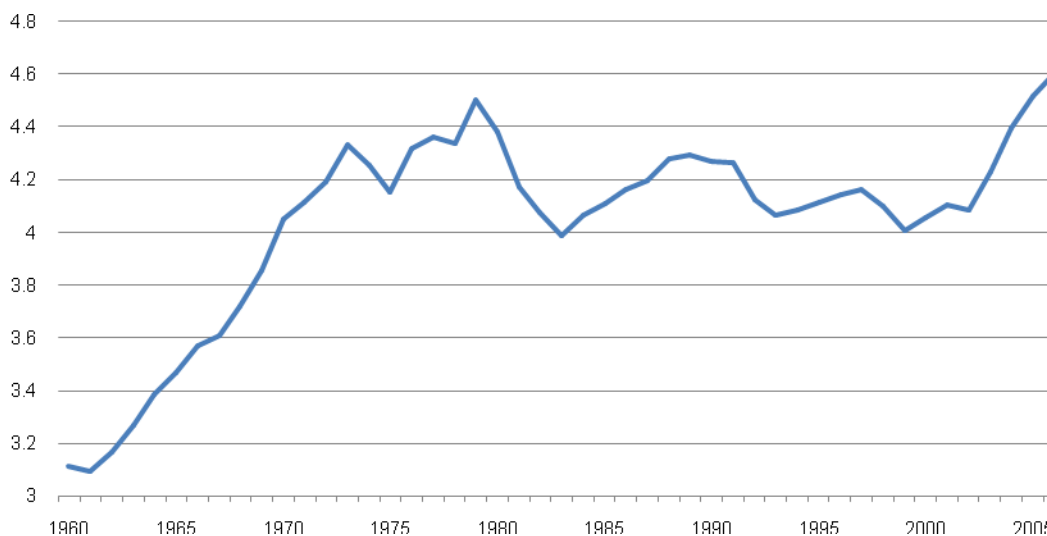
Los GEI más importantes son el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y el dióxido de carbono (CO_2), de los cuales es este último el que mayores niveles de concentración presenta en la atmósfera y representa el 77% de las emisiones totales (De la Torre et al, 2009). De acuerdo al mismo informe, las emisiones de CO_2 provienen de la quema de combustibles fósiles en un 56% mientras que un 17% se genera debido a las actividades agrícolas y cambios en el uso del suelo⁸. Estas concentraciones incrementan el efecto

⁸ El cambio en el uso del suelo es el proceso mediante el cual las selvas y los bosques son desplazados por la ampliación de la frontera agrícola lo cual afecta la manera en la que la Tierra refleja la luz solar y deja escapar el calor. Además la pérdida de bosque afecta la captación de CO_2 (Dióxido de Carbono) produciendo así mayores emisiones a la atmósfera. (Watson, 2000).

invernadero y consecuentemente el calentamiento global que es visible, de acuerdo al Informe Stern (2006), en el incremento de la temperatura promedio de la superficie de la tierra en 0,7% desde 1900 y en los últimos 30 años el incremento ha sido de 0,2° C por década.

Gráfico 13. Emisiones mundiales per cápita de CO₂

(Toneladas)



Datos: Banco Mundial

El mismo informe (Stern, 2006) señala que estos cambios son producto de una externalidad de las actividades económicas, la cual se distingue de otras por su carácter global, ya que si bien la mayoría de los GEI son producidos por los países de la OECD, la temperatura aumenta indiscriminadamente en todas las regiones de la Tierra. Si tomamos en cuenta que los países en desarrollo mantienen tasas de desigualdad mayores que los desarrollados y que no cuentan con los ingresos necesarios ni la tecnología para afrontar los cambios climáticos, se hace evidente que son éstos los más vulnerables ante este efecto.

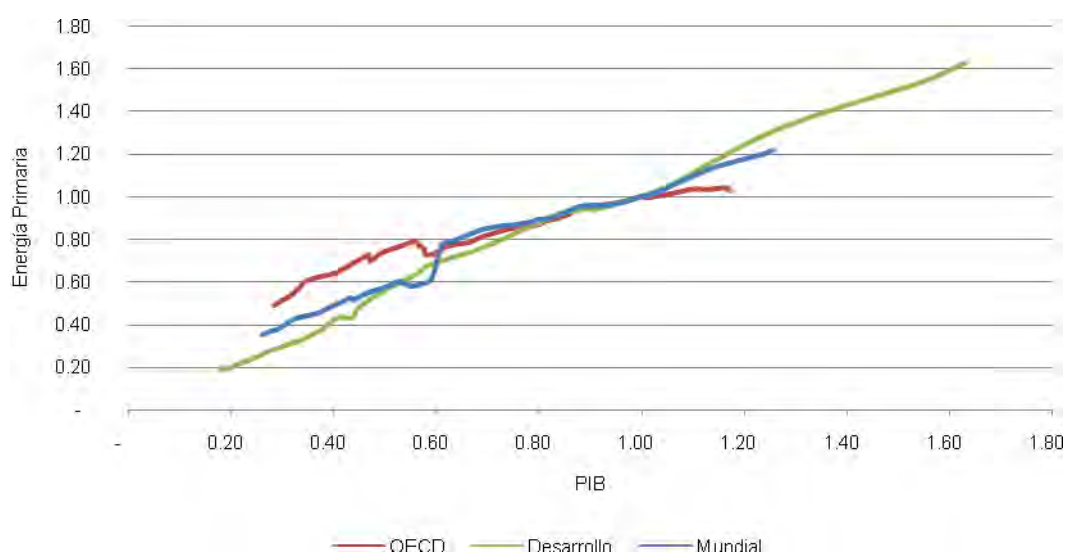
2.3 La matriz energética global

A pesar de que la incidencia de los diferentes sectores sobre el comportamiento de la demanda agregada de energía se mantiene homogéneo entre las diferentes regiones

(excepto África), si existe una diferencia entre el incremento del PIB y el del consumo de energía dependiendo de los bloques económicos, hecho que se puede notar en la mayor pendiente que muestran las economías en desarrollo en relación a la de los países OECD y la tendencia mundial. Esto se debe a factores tales como las altas tasas de crecimiento de países como China, India y Brasil y la mayor eficiencia energética de los países desarrollados.

Gráfico 14. Relación PIB/Energía Primaria

(Serie 1965 – 2008. Índices 2000=1)



Datos: Banco Mundial, BP

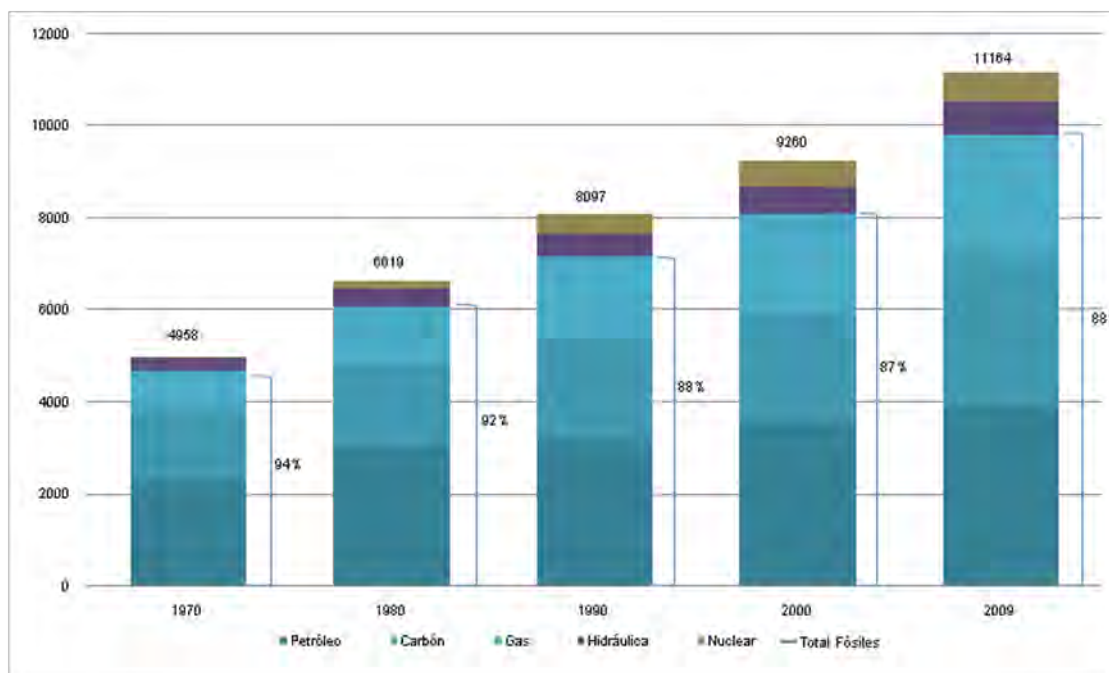
Los efectos de la crisis sobre la demanda mundial de energía son evidentes. De acuerdo al BP Statistical Review of World Energy (BP, 2010) la recesión económica y la disminución de la demanda en el año 2009, así como la lenta recuperación de los mercados energéticos junto con la recuperación del PIB mundial, son una muestra fehaciente de la magnitud de la interconexión del sector energético y la economía. Las cifras alrededor de la crisis son claras. En el año 2009, el consumo mundial de energía primaria cayó en un 1,1% mientras que la demanda de petróleo disminuyó en 1,2 millones de barriles al día (1,7%). En la región OECD el impacto de la contracción económica es mucho más evidente con disminuciones en el consumo de petróleo y de energía primaria de 4,8 y 5,5% respectivamente. Incluso en las zonas no-OECD que mantenían altas tasas de crecimiento

se registró la tasa de crecimiento más baja desde el año 2001 (2,1%); sin embargo la demanda no fue la única que mostró estas tendencias, así por ejemplo, la oferta mundial de crudo decayó en 2,6 puntos y la de los países miembros de la OPEP en 7,3% dando como resultado una baja en el comercio energético mundial de 3 puntos porcentuales, la segunda caída consecutiva (BP, 2010).

A pesar de las variaciones relativas descritas, la matriz energética mundial se mantiene fuertemente anclada a los combustibles fósiles y el mundo continúa siendo altamente dependiente del petróleo para realizar las actividades económicas; sin embargo desde la década de 2000, las energías renovables han ido ganando espacio dentro del consumo energético mundial.

Gráfico 15. Demanda Mundial de energía.

(Millones de toneladas equivalentes de petróleo)



Datos: BP

De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2008) en el período 2006 – 2030 la demanda por combustibles se incrementará en un 45% producto de la importante expansión de las economías en desarrollo que van ganando terreno en el aporte al crecimiento tanto

del PIB como de la demanda mundial de energía. Este incremento dependerá de factores como la eficiencia y el crecimiento económico, mientras que los precios y la tecnología incidirán sobre la matriz energética ya sea manteniendo las tendencias actuales o bien promoviendo la inversión en fuentes alternativas y su introducción eficiente en los mercados globales.

Como se mencionó, en el futuro de la matriz energética mundial existen varios factores que incidirán tanto sobre los volúmenes demandados como sobre su composición. En lo que se refiere a la cantidad de energía demandada, las tendencias actuales muestran que en el mediano plazo no existirán modificaciones importantes. Una de las señales en este sentido es que a pesar de la contracción mundial de la economía, producto de la reciente crisis económica, las economías en desarrollo parecen ser menos sensibles ante choques externos, y al contrario de mostrar una contracción de la demanda (como los países desarrollados) mantuvieron su tendencia creciente, lo que se evidencia en que durante el período 2007 – 2009 su demanda de energía primaria se incrementó de 4309 a 4785 mtep/año, manteniendo en 6% sus tasas de crecimiento que es el promedio de la década en este bloque económico (BP, 2010).

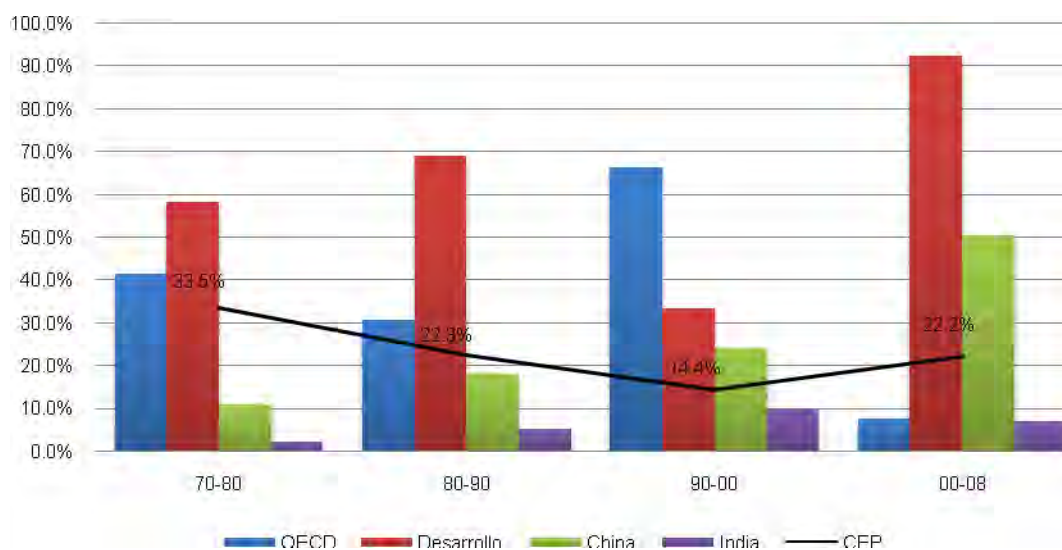
El hecho de la baja sensibilidad de la demanda energética de las economías en desarrollo ante variables exógenas (por ejemplo variaciones de los precios de la energía y disminuciones en los niveles de la actividad económica) es un hecho relevante debido a que estas economías son las que en la actualidad contribuyen de manera más significativa al incremento de la demanda mundial como se ve en el Gráfico 16. Dentro de este aumento es clara la importancia del crecimiento de China, país que en la década de 1970 aportaba con el 10% y en el período 2000 – 2008 su aporte alcanzó el 50%.

Otro elemento que incide sobre la demanda de energía es la tecnología, la que influye directamente en las cantidades demandadas a medida que las diferentes regiones aumenten su eficiencia energética o de manera inversa, disminuyan la intensidad energética de sus economías. La tecnología en el mercado energético es una función de los precios de la energía, ya que las diferentes fuentes funcionan como bienes sustitutos. Así, si los precios,

básicamente el del petróleo, se mantienen altos se dará un doble efecto: i) al disminuir la demanda mundial; e, ii) incentivar las inversiones para el desarrollo de tecnologías que mejoren la eficiencia tecnológica y vuelvan competitivas las formas alternativas de energía. Por el contrario, si los precios de los combustibles fósiles se mantienen por debajo de los costos marginales de las fuentes alternativas, el mundo continuará atado a los fósiles desestimulando las inversiones para nuevas tecnologías dentro de las que se cuentan los biocombustibles, especialmente los de segunda generación que aprovechan la lignocelulosa, lo cual mejoraría sustancialmente la competencia entre la seguridad alimentaria y la energética. Un último aspecto que tiene influencia sobre el desarrollo de nuevas tecnologías es el mercado de CO₂ que puede incentivar a la oferta a mejorar las tecnologías de producción disminuyendo los costos de extracción y por tanto promoviendo la eficiencia.

Gráfico 16. Variación de la demanda de energía primaria y aporte a la demanda de energía

(Bloques económicos más China e India)



Datos: BP

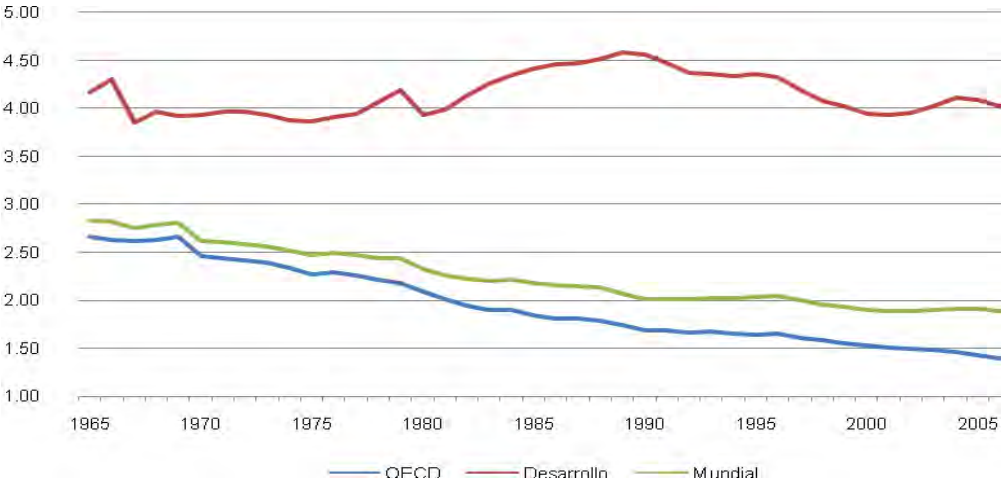
La relación entre la demanda de energía y el crecimiento económico es la intensidad energética que es una medida que expresa la cantidad de unidades energéticas que utiliza la economía para producir una unidad del PIB. La intensidad varía entre regiones y períodos,

siendo lo óptimo una intensidad energética baja que refleje una alta eficiencia y un uso racional de los recursos. Su evolución a lo largo de un tiempo determinado puede utilizarse como una aproximación de los cambios producidos al interior de una economía, así por ejemplo, las regiones que se encuentra en un estado temprano de su desarrollo presentarán mayor actividad de su sector industrial lo que se traduce en un aumento en el consumo de energía.

El desarrollo de la industria estará acompañado de un incremento en el intercambio de bienes intermedios y de un mayor flujo entre las diferentes regiones de un país lo que tendrá un impacto sobre el sector transporte dinamizándolo y proyectando su crecimiento. Con el aumento del ingreso per cápita también se incrementa el consumo de los hogares los que demandarán inicialmente una mayor canasta que incluye automóviles y electrodomésticos aumentando aún más el consumo de energía y dando como resultado una alta intensidad energética. En el Gráfico 17 se muestra que la intensidad energética mundial se ha reducido hasta alcanzar una intensidad energética de 2 bl/10e3 USD, mejoría que se debe a la desmaterialización de las economías en desarrollo que tienden rápidamente hacia una intensidad de uno. La cara contraria la presentan las economías en desarrollo las cuales a lo largo del período analizado han mantenido sus niveles de consumo energético por unidad de producto.

Gráfico 17. Intensidad energética

(Barriles 10e3/USD. 10e6)



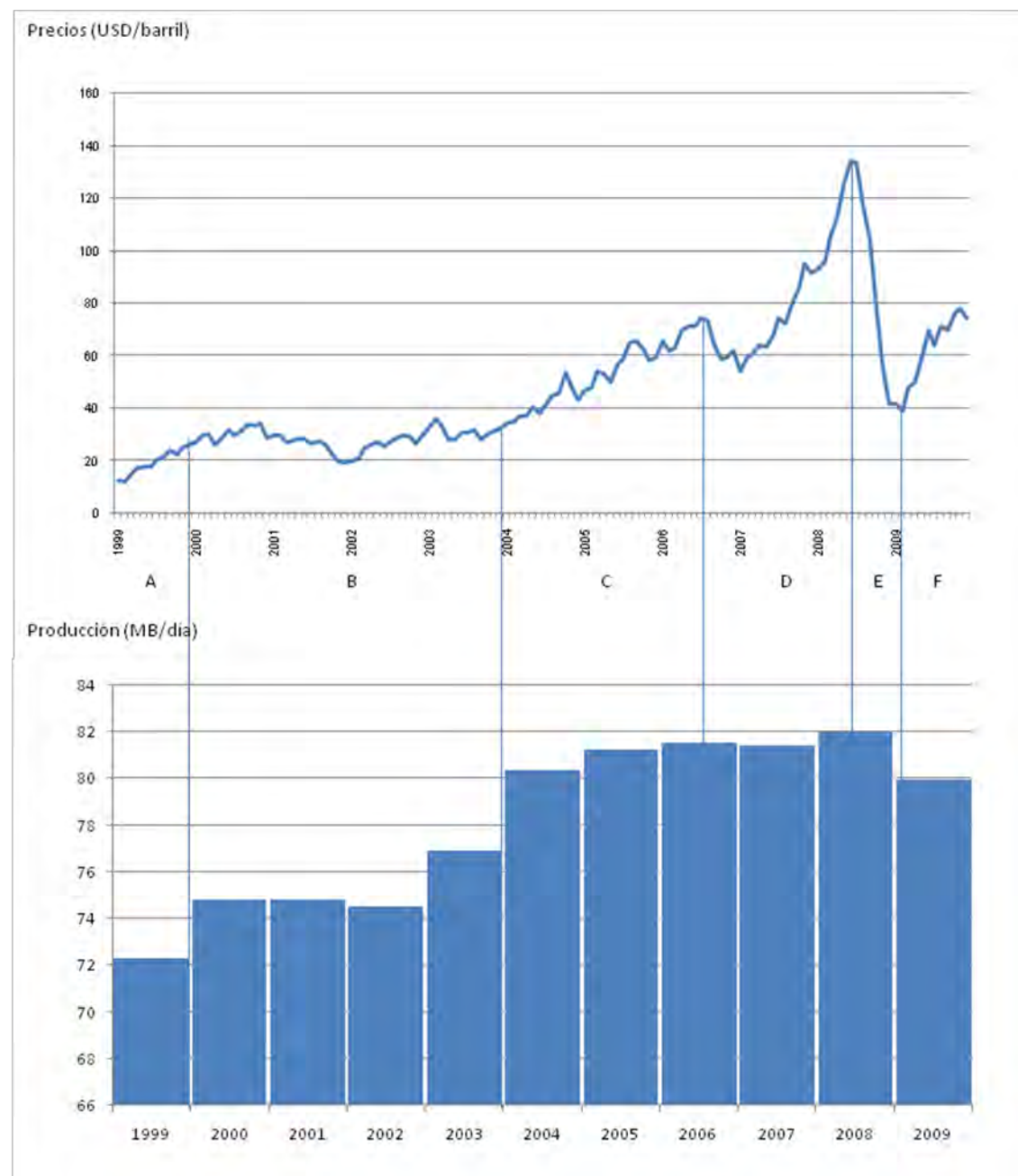
Datos: BP

Otro aspecto determinante de la demanda de energía son los precios, los cuales actúan como un factor que determina tanto la demanda como la oferta (IEA, 2008). El sector energético-petrolero funciona en un evidente fallo de mercado ya que se desenvuelve entre un cuasi-monopolio por el lado de la oferta y un oligopsonio en el lado de la demanda que concentra el 70% de la producción mundial. En este panorama, la formación de precios no se fija necesariamente en los óptimos teóricos. Adicionalmente a lo antes mencionado existe una presión sobre las cantidades demandadas proveniente de China e India que distorsiona aún más el mercado (Palazuelos, 2008).

Esta distribución desigual en la concentración de las reservas a manos de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) y de la demanda (OECD más China e India) genera una alta volatilidad en los precios de la energía. Para ilustrar este punto es necesario aclarar que las reservas mundiales probadas de petróleo, gas y carbón se muestran suficientes para abastecer la demanda de energía primaria, sin embargo la cartelización de la oferta provee cifras sobre las reservas y disminuye su producción en función del nivel de precios que desea establecer (MEER, 2009).

Gráfico 18. Evolución de los precios y la producción de petróleo

(Datos mundiales)



Adaptado de ITPOES, 2010. Datos: BP, 2008

En el Gráfico 18 se puede apreciar la respuesta de la oferta ante los cambios en los precios del petróleo a nivel mundial. A finales de la década de 1990 se produjo la crisis financiera en los países asiáticos la cual produjo una caída en los precios del crudo. En el período A se aprecia una subida de los precios producto de la recuperación financiera del bloque asiático. Posteriormente hasta el año 2004 se presenta un período de estabilidad y equilibrio entre la oferta y la demanda en el que los precios se establecen alrededor de 28 dólares el barril, para posteriormente aumentar hasta el año 2006 a lo que la oferta reacciona incrementando la producción petrolera. Para estabilizar la tendencia creciente del precio del crudo (C) se anunció un aumento en la producción de petróleo para tratar de frenar la tendencia y a inicios del año 2007 los precios tienden a disminuir, pero posteriormente no se dio el incremento anunciado, tal como se ve en los niveles de producción, y el precio se elevó a la cifra record de 133 dólares por barril. Posteriormente como producto de la crisis los precios cayeron durante el año 2008 y ante el anuncio en el 2009 de recortes en la producción se vio una recuperación de los precios del crudo (ITPOES, 2010).

A partir del año 2007 los precios del crudo muestran una elevada tendencia alcista a pesar de que las cifras de consumo y producción apenas y cambiaron en conjunto. Esto se debió a una especulación financiera en los mercados futuros de la energía y sobre todo del petróleo alentados por una expectativa de que se estabilizarían en un nivel alto y de que China seguiría demandando grandes cantidades del fósil a pesar de los precios. Este hecho se muestra por ejemplo en las inversiones que se realizaron en el 2008 en los mercados de materias primas que ascendieron a más de USD. 70.000 millones. Este capital provenía de inversionistas que buscaban alternativas en los momentos de turbulencia financiera provocados por los valores de las hipotecas subprime (Vigueras, 2008).

Además de los factores mencionados cabe preguntarse el rol que jugará en el futuro próximo el controvertido pero inexorable pico del petróleo que establece el punto en el que las reservas de posible extracción del hidrocarburo (dada la tecnología y costos actuales) dejan de aumentar y la producción se estabiliza y comienza a disminuir (Graefe, 2009). Más allá de una restricción física (dado que es un recurso agotable y no renovable) existen aspectos que definen el tiempo que contaremos aún con este recurso. Dentro de estos

aspectos se debe mencionar que los precios esperados del crudo juegan un rol importante al incentivar la inversión en los pozos en desarrollo o al desplazar la inversión en fuentes de energía alternativa bajo la expectativa de una baja en los precios del petróleo.

Desde la demanda, los aspectos que definen el horizonte de un abastecimiento accesible son en primer lugar el crecimiento económico y la eficiencia energética que muestren cada uno de los países y regiones; y, por otro lado la presión que pueden ejercer los agentes para exigir a los actores políticos una fijación de estándares ambientales más altos y el cumplimiento de las normas. El efecto sobre la demanda de energía de las variables mencionadas se puede apreciar en el bloque de los países OECD quienes han aumentado su eficiencia energética de manera importante y han realizado inversiones para el desarrollo de nuevas tecnologías que han ayudado a un ahorro en el consumo final.

Sin embargo la tendencia de la región OECD no ha sido replicada por las economías en desarrollo y principalmente por China, país que a pesar de los incrementos en los precios del crudo y la crisis económica mantuvo su demanda energética en los niveles promedio de la década del año 2000, e inclusive a partir del año 2001 su producción energética se vuelve deficitaria convirtiéndose en un importador de energía (7% en el año 2007). La Agencia Internacional de Energía (IEA, 2008) señala que esta falta de respuesta de la demanda ante choques externos se debe en primer lugar al importante crecimiento presentado por las economías en desarrollo la que adicionalmente no se ha visto afectada por recortes de la oferta energética.

En segundo lugar se menciona el peso relativo de los combustibles fósiles (principalmente el petróleo) en relación a la demanda final y el crecimiento del sector transporte que no cuenta con energías sustitutas para alimentar su crecimiento. El siguiente punto hace referencia a los subsidios que las economías en desarrollo mantienen a los combustibles con la finalidad de estimular la demanda interna. Este hecho incide sobre los incrementos de la demanda debido a que es el gasto del gobierno central el que se ve afectado por los cambios internacionales de los precios, mientras que el precio final se distorsiona debido al subsidio. Finalmente los incrementos en los precios han seguido una tendencia creciente

pero sostenida lo que da lugar a que la demanda se acople a los cambios en los niveles de precios.

Estos aspectos se aprecian con los cambios producidos por la reciente crisis económica, la cual demostró que la demanda de energía no necesariamente responderá a los cambios en el suministro o en los precios internacionales de las diferentes fuentes. A pesar de que a nivel global la demanda es inelástica en relación al ingreso de los países, si se puede notar diferencias entre regiones y a lo largo del tiempo.

Por ejemplo la región OECD muestra una elasticidad ingreso bastante inferior a la de los países en desarrollo y desde luego a la china. Por ejemplo, se puede apreciar que para el caso de los países pertenecientes a la OECD, en la década del 2000, un incremento de un dólar en su ingreso repercutía en un aumento de 0,26 en su consumo energético, mientras que para los países en desarrollo un incremento de un dólar significaba que su demanda de energía aumente en 0,81, incremento que es prácticamente unitario para el caso de China. Otro aspecto que se debe mencionar es que los países OECD cuentan con un mayor desarrollo en otras fuentes de energía y su dependencia del petróleo no es tan significativa como la de los países en desarrollo.

Cabe mencionar adicionalmente que los países desarrollados crecieron económicamente con unos precios del petróleo que se encontraban por debajo de los 25 dólares, por lo que los incrementos recientes estimulan de mayor manera la inversión en fuentes de energía alternativa y tecnología. Por otro lado la desmaterialización de su economía hace que esta región sea cada vez menos dependiente del petróleo que cuenta con la mayor volatilidad en sus precios. Estos factores han logrado que su elasticidad ingreso descienda de 0,63 en la década de 1990 a tan sólo 0,26 en la década del 2000.

Tabla 4. Elasticidad Ingreso de la demanda de energía primaria

	71-90	90-00	00-08	70-09
China	0,59	0,35	0,96	0,56
OECD	0,34	0,63	0,26	0,44
Desarrollo	0,96	0,2	0,81	0,64
Mundial	0,65	0,49	0,86	0,61

Datos: BP

De otro lado, si bien los países en desarrollo han mostrado históricamente que su demanda de energía es inelástica en relación a los incrementos de su producto, en la actualidad su elasticidad es de 0,8, cifra bastante superior a la de 0,2 que mostraron en la década de 1990. El incremento se explica básicamente por el gran crecimiento mostrado por China debido principalmente a tres factores. En primer lugar, su gran crecimiento económico tiene como actor principal el fortalecimiento del sector industrial en donde las ramas de bienes intermedios tales como la construcción, la química y la metalurgia son intensivas en el uso de energía, lo que explica la intensidad energética a nivel agregado.

En segundo lugar se encuentran las transformaciones en el sector del transporte el que tiene un repunte debido a las necesidades de intercambio y transporte de bienes y por otro lado el transporte de pasajeros (público y privado). Aunque el crecimiento de este sector no es aún tan importante como el de la industria, sus proyecciones de crecimiento serán importantes en las próximas décadas debido al incremento del ingreso per cápita. El transporte es un sector crítico en el abastecimiento de combustible ya que, al no contar con energías sustitutas, incrementará directamente la quema de combustibles fósiles como el diesel y la gasolina. El último factor es la migración de la población rural hacia las grandes ciudades, lo que crea un cambio estructural en el consumo de este sector de la población ya que cambiarán el uso de energía desde la combustión de leña hacia formas modernas de energía tales como la electricidad (Palazuelos, 2008).

Un factor que, conjuntamente con la urgencia de la implementación de políticas para disminuir las concentraciones de gases de efecto invernadero y frenar de alguna manera el cambio climático, jugará un papel preponderante a mediano y largo plazo en la configuración de la matriz energética mundial son las energías renovables y su futuro desarrollo. En el siguiente acápite se revisan las energías alternativas que actualmente tienen un gran potencial para presentar un cambio significativo en la manera en la que actualmente se genera energía y que por ende tienen la capacidad de modificar la actual matriz energética.

2.4 Las tecnologías hacia una energía sustentable.

El reporte sobre las energías renovables 2010 resalta que los cambios en los mercados energéticos, la inversión e industria y las políticas se han dado de una manera tan vertiginosa que la idea que actualmente tenemos acerca de las renovables se queda por largo, detrás de su realidad (REN21, 2010). Este mismo hecho es remarcado por la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2008) según la cual, las renovables se expanden con rapidez y lo seguirán haciendo, según sus proyecciones, hasta el año 2030 ganando cada vez más espacio tanto en el sector de generación eléctrica como en el del transporte. De acuerdo a esta agencia, en la actualidad las renovables cuentan con el 7% del uso total de energía, sin embargo su crecimiento logrará que en el año 2030 sean el 10% de la oferta final de energía primaria, porcentaje que sigue siendo marginal en el consumo final de energía y que en poco contribuye a mejorar los problemas medioambientales que enfrentamos en la actualidad.

Este incremento se debe básicamente a tres factores. En varias de las energías alternativas, la tecnología utilizada ha alcanzado un nivel de madurez que disminuye los costos de la generación de energía contribuyendo positivamente a su competitividad y rentabilidad. El segundo factor se relaciona con el alza de los precios del petróleo. Las energías alternativas son bienes sustitutos de los combustibles fósiles, por tanto los incrementos en los precios del crudo motivan a los agentes a invertir en el desarrollo de las renovables que en ese escenario aparecen como más atractivas y cuyo mercado funciona de manera más eficiente debido a la desconcentración en la oferta. El tercer factor es el apoyo que las energías renovables han recibido de parte de los diferentes países que han incorporado a su agenda, políticas de mitigación de los impactos al medioambiente. Estas políticas se han visto reflejadas en subsidios al desarrollo tecnológico así como regulaciones que promueven el uso de energías alternativas.

Los factores mencionados han sido fundamentales para que el sector de la energía renovable siga aumentando su participación en la matriz energética mundial. La crisis económica y la alta volatilidad de los precios del crudo y la subsecuente incertidumbre en

relación al abastecimiento del combustible tienen, como se mencionó, un efecto directo en las políticas que promueven el desarrollo de las energías alternativas. Este hecho se evidencia sin duda en el número de países que durante el período 2005 – 2010 han adoptado algún tipo de programa relacionado a las renovables; número que ha aumentado de 55 países en 2005 a 100 en el año 2010.

Pero no son únicamente las políticas y el número de países que apuestan en la actualidad al desarrollo de nuevos tipos de energía los que han aumentado, sino que también lo ha hecho la inversión: Este hecho es destacable ya que en el pasado cercano se realizaban acuerdos y compromisos para disminuir las concentraciones de gases de efecto invernadero y frenar el cambio climático pero estos no tenían una repercusión directa en programas o en propuestas de cambio efectivas. En relación a este punto por ejemplo se puede mencionar que en el año 2004 la inversión total ascendió a un monto de 30 000 millones de dólares mientras que para el año 2006 esa cifra llegó a los 110 000 millones y en el año 2010 fue de más de 150 000 millones de dólares a nivel mundial, cifras que muestran la creciente importancia de las renovables en el escenario actual.

El repunte en la inversión detallado arriba incrementa el mercado de las energías renovables y crea un ambiente favorable para su desarrollo. En el marco del cambio que se produce actualmente en la economía, en donde grandes regiones se incorporan rápidamente a la economía mundial, el mercado de las energías renovables presenta un panorama atractivo para captar capitales provenientes de estos países en vista de su necesidad de energizar sus economías para mantener sus tasas de crecimiento. De otro lado, este punto se ve reforzado por el hecho de que las economías emergentes se pueden acoplar de mejor manera y más rápidamente a cambios en el uso de nuevas fuentes de energía. De hecho más del 50% de la capacidad de generación de energía renovable se encuentra localizada en los países en desarrollo (REN21, 2010).

Como se ha visto, varios son los factores que promueven el desarrollo de nuevos tipos de energía. Desde la dimensión ambiental, las crecientes preocupaciones por el cambio climático producto de las altas concentraciones de GEI en la atmósfera son una presión

importante que proviene desde dos frentes. El primero de estos tiene su origen en las ONGs y otros actores privados que exigen de manera cada vez más elocuente que se tomen acciones para alcanzar un modelo sustentable; y, por otro lado los cambios provienen de los diferentes gobiernos que adoptan un número creciente de políticas y programas para mitigar el cambio climático y las afectaciones al medioambiente.

En la dimensión económica hay un determinante principal que es el relacionado con la tendencia al alza de los precios del petróleo y la incidencia directa que el abastecimiento del combustible pueda tener sobre la seguridad energética y la balanza de la economía. La volatilidad de los precios del petróleo es un factor determinante para la búsqueda de energías alternativas y sus efectos pueden observarse en los países desarrollados en donde existe una presión importante por disminuir su dependencia energética, especialmente en la Unión Europea, en donde por medio de varias directrices se promueve el desarrollo de las energías renovables (Russi, 2008a; COM, 2006).

No dejemos de lado que en la actualidad muchos países mantienen subsidios a los combustibles, por tanto cualquier incremento en los precios finales se verá reflejado en la disponibilidad de recursos factibles de emplear en programas de inversión. Otro aspecto en relación a la economía y el nivel de precios del crudo, es la eficiencia en el uso de la energía que repercute sobre la competitividad y el desarrollo de la industria.

En relación a la dimensión social cabe retomar como principal elemento la seguridad energética. La creciente demanda de las economías en desarrollo tendrá en el corto plazo un impacto sobre el abastecimiento de las fuentes de energía primaria convencionales. Si a esta presión sumamos el hecho de que el Medio Oriente, la mayor región productora de petróleo y poseedora de las mayores reservas, es hoy una de las que presenta las mayores tasas de crecimiento a nivel mundial y que demanda cada vez una mayor cantidad de derivados se pone más en riesgo el abastecimiento de petróleo barato. En relación a esta última región, por el lado de la oferta existe una cartelización de la producción del crudo dependiendo de los intereses de los países miembros de la OPEP, que es un agente que tiene la capacidad de distorsionar los precios finales del hidrocarburo.

La seguridad energética se relaciona además con la capacidad que tienen los habitantes de un país de generar sus actividades productivas y de subsistencia. En este sentido, el desarrollo de energías alternativas representa una oportunidad para la creación de empleo tanto en el sector urbano como en el rural. De lo expuesto podemos concordar con la Unión Europea cuando en su directiva COM/2006 menciona que existen poderosas razones para establecer un marco instrumental de fomento de las energías renovables. Estas son en gran medida autóctonas, no dependen de cálculos poco seguros sobre la futura disponibilidad de combustibles, y su carácter predominantemente descentralizado rebaja la vulnerabilidad de nuestras sociedades. Por tanto es unánime la opinión de que las energías renovables constituyen un elemento clave para un desarrollo sostenible.

En el otro lado de la balanza se encuentran los aspectos que no permiten un mayor crecimiento de las energías renovables. Dentro de estos aspectos, si bien varias fuentes de energía han alcanzado un nivel de madurez que disminuye sus costos, existen otras que mantienen todavía costos que no permiten su desarrollo y que imponen una restricción a la inversión, la cual se desvía a los mercados energéticos que son más rentables en la actualidad. De otro lado estos costos reducen el rendimiento del capital de inversión por unidad de energía producida; y, finalmente el estado embrionario de muchos de estos avances hace que la energía resultante tenga un balance inferior que el obtenido de los combustibles fósiles.

En el lado de los biocombustibles, a pesar de los avances que se han dado en la última década, las preocupaciones acerca de la seguridad alimentaria y la ética en el uso de alimentos para generar combustibles, no han permitido que este sector se desarrolle de mejor manera; no obstante es la energía renovable que más apoyo presenta actualmente en relación a políticas de Estado. Finalmente, y más allá de que los actuales precios del petróleo están por bastante sobre la media histórica, las renovables no son aún más competitivas que los fósiles.

En este contexto las energías alternativas se abren paso en muchos países del mundo llegando a ser en el año 2009 el 19% de la generación eléctrica a nivel mundial. Muestra de

esto son los 82 países que actualmente cuentan con energía eólica, o China que en el mismo año produjo el 40% de la energía solar. En América Latina los ejemplos se encuentran en países como Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador y Perú que apuestan por la generación de biocombustibles (CEPAL, 2004). En relación a los países de Latinoamérica y principalmente los que son exportadores de petróleo la problemática del desarrollo de nuevas energías se aborda también desde el lado de los ingresos que producen tales exportaciones y en vista de la volatilidad de los precios, las energías renovables cumplen un doble papel. Por un lado, presentan una manera de afianzar la soberanía y la seguridad energética, y por otro, son un ingreso por las exportaciones que estas generan, además de las industrias emergentes que se erigen alrededor de las energías renovables.

Dentro de las formas de energía alternativa con que contamos actualmente, podemos distinguir la eólica, la fotovoltaica, la geotérmica, la hidráulica y mini hidráulica, la solar térmica y la procedente de la biomasa, dentro de las cuales se encuentra el biodiesel, centro de la presente investigación. A continuación realizamos una descripción de cada una de las tecnologías mencionadas.

2.4.1 Energía Eólica.

La energía eólica es producida por el movimiento de un rotor que es impulsado por las corrientes de viento. Este mecanismo genera energía eléctrica al convertir la energía cinética del viento con el giro de un rotor, el cual es aprovechado por un aerogenerador que se encuentra interconectado al sistema eléctrico (BUN – CA, 2002a).

El rendimiento energético producido por un aerogenerador dependerá directamente de la velocidad del viento que exista por lo que las torres se construyen a la mayor distancia posible en relación al suelo ya que la potencia se incrementa con la altura (IDAE, 2006). Es por esta razón que, conforme la energía eólica se ha desarrollado, las turbinas se han vuelto cada vez más grandes para aumentar el rendimiento energético; sin embargo existen otro tipo de tendencias que no han seguido este patrón debido a que la demanda energética es menor que la de los grandes parques eólicos y que agrupan a proyectos con una potencia inferior a 10 kW que se utilizan por ejemplo en el bombeo y desalinización de agua.

La energía eólica es una de las renovables que presenta las mayores tasas de crecimiento en la última década. Este hecho se debe en parte a que los costos por kilovatio/hora producido son bastante eficientes en relación a los que muestran los combustibles fósiles y la energía hidráulica, ubicándose entre cuatro y diez centavos (Retscreen, 2006). El costo más representativo para el montaje de un parque eólico es el de los aerogeneradores que cuentan con un 74% del costo total del proyecto. A este porcentaje le siguen el equipamiento eléctrico (17%), las obras de ingeniería civil con un 5% y el 4% restante corresponde a los diferentes estudios que se realizan para determinar la viabilidad del proyecto así como para gestionar los permisos necesarios para su instalación (IDAE, 2006).

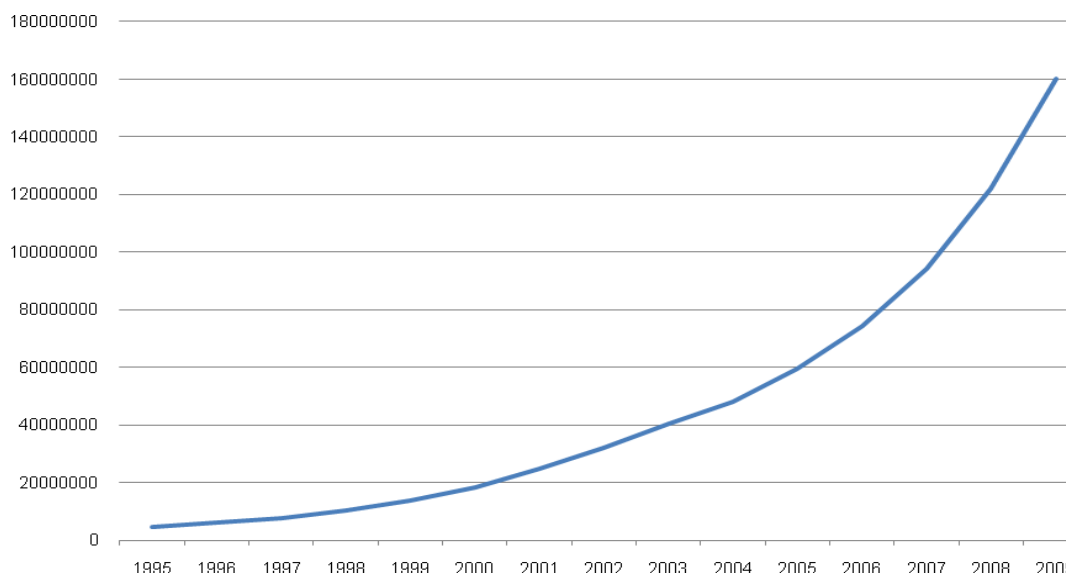
Como factor común a las energías renovables se debe resaltar la importancia que estas representan para la dinamización de la economía y para la creación de empleo. En el año 2010 la energía eólica empleaba a 500.000 personas a nivel mundial y a pesar de que es una cifra marginal comparada con la población total, su desarrollo implica una cadena de valor que genera empleo en varios sectores de la economía. Adicionalmente a este beneficio, se debe mencionar que la implementación de parques eólicos reduce la dependencia de los combustibles fósiles aumentando la seguridad energética. Tal como se mencionó, la energía eólica puede ser utilizada a pequeña escala brindando acceso a formas de energía moderna a sectores de la población que no se encuentran en los perímetros de abastecimiento de la red eléctrica interconectada; siendo este un beneficio adicional de la energía eólica.

No obstante los beneficios presentados, la energía eólica tiene ciertos impactos sobre el medioambiente, los que van de la mano con la escala del proyecto. Generalmente las zonas que se eligen para la construcción de un parque se encuentran en regiones altas a las que no se tiene fácil acceso por lo que es necesario construir las vías de acceso y una vez en el sitio se realizarán las obras concernientes al parque en sí mismo. Estas instalaciones tienen un impacto sobre el terreno, el cual se debe modificar para que el parque sea instalado con seguridad y para aprovechar eficientemente las condiciones del viento. El espacio ocupado por las torres no es significativamente grande, por lo que no representa un problema, sin

embargo la presencia de los aerogeneradores afecta al paisaje, disminuyendo el potencial turístico de las áreas en donde se instale el parque. Si la zona en donde se construye el parque es de tránsito para la migración o la anidación de aves, sus rutas se pueden ver desplazadas afectando el equilibrio de ese ecosistema.

Gráfico 19. Capacidad instalada mundial de energía eólica

(Gigavatios)



Datos: BP

En general el balance entre los impactos y los beneficios que se obtienen de la energía eólica es bastante positivo, por lo que la inversión en este sector ha ido creciendo a grandes pasos lo que ha impulsado su crecimiento. En el año 2009 la energía eólica captó el 69% del total de los fondos destinados al desarrollo en renovables, un total de 62.700 millones de dólares, crecimiento que se debió principalmente por la expansión del uso de este tipo de energía en China, América Latina y el Reino Unido. La importancia de la energía eólica a nivel mundial se evidencia en su crecimiento sostenido desde la década de 1990, al final de la cual apenas alcanzó una capacidad de 13.900 Mw, sin embargo debido a tasas de crecimiento sostenido de 30%, en el año 2009 el mundo acumuló 160.000 Mw (REN21,2010)

2.4.2 Energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica es una de las dos maneras de aprovechar la energía del sol conjuntamente con la energía térmica (DENA). La diferencia de la fotovoltaica con esta última es que se basa en la captación de energía provista por la luz del sol por medio de células fotovoltaicas que debido al efecto fotoeléctrico⁹ generan cargas eléctricas que se derivan hacia conductores metálicos que producen corriente continua (Secretaría de Energía Argentina, 2004). Estas celdas se disponen en paneles para que capturen la luz solar. Las células fotovoltaicas son los componentes que captan la energía proveniente del sol para transformarla en electricidad y en su mayoría son de silicio (BUN-CA, 2002b).

El costo del kW es de entre 38 y 50 centavos (Perezagua, 2006) lo que la hace poco accesible. Actualmente las láminas delgadas, compuestas por decenas de láminas de conductores apiladas unas sobre otras, presentan una alternativa que lograría reducir los costos de la energía fotovoltaica y hacerla más accesible en términos económicos (Secretaría de Energía Argentina, 2004).

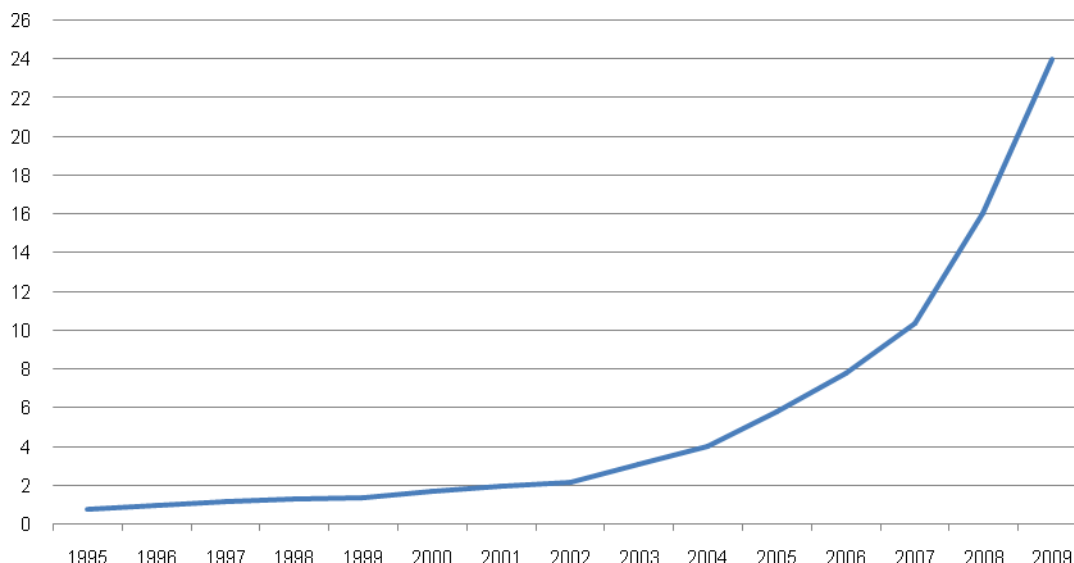
En cuanto a los beneficios, la energía fotovoltaica presenta la ventaja, al igual que la eólica, de no producir emisiones de CO₂ y de igual manera no necesita de combustibles fósiles para su funcionamiento lo que resulta altamente positivo porque se evitan los costos del transporte de combustible que sería necesario para una planta eléctrica de diesel.

No obstante los beneficios presentados, es necesario tomar precauciones y brindar la asesoría adecuada para evitar que se den concentraciones de hidrógeno durante la carga de las baterías y cuando éstas cumplan su vida útil se proceda a eliminarlas cuidadosamente para evitar el liqueo de ácido sulfúrico a la tierra y a las fuentes de agua (BUN-CA, 2002b). Más allá de estas precauciones, la mayor desventaja es el alto costo en relación a otros tipos de energía (eólica, mini hidráulica) ya que en las zonas rurales la inversión inicial excede la capacidad de pago.

⁹ Efecto por medio del cual al impactar en el metal, los fotones liberan electrones y se genera una corriente eléctrica en un circuito (Sánchez, 2003) ENERGÍAS RENOVABLES: Conceptos y Aplicaciones

Gráfico 20. Capacidad instalada mundial de energía fotovoltaica

(Gigavatios)



Fuente: REN21

2.4.3 Energía solar térmica

La luz solar es aprovechada para generar electricidad por medio de la energía fotovoltaica, la cual se describió en el acápite anterior. El otro tipo de aprovechamiento de la luz del sol es la energía solar térmica, la cuál es utilizada para la generación de calor y que se utiliza para el calentamiento tanto de agua como del espacio. La radiación solar se captura y almacena por medio de un acumulador que está conectado a una caldera de calefacción desde donde se distribuye a lo largo del espacio.

El funcionamiento de la energía solar térmica se basa en la captación de la radiación solar por medio de un colector que es una placa de metal pintada de negro la cual absorbe y mantiene el calor dentro de una caja que lo almacena para posteriormente distribuirlo a un área.

Al igual que con la energía fotovoltaica, la energía térmica puede ser utilizada en zonas que no tienen acceso a la red eléctrica, sin embargo el mayor limitante para su diseminación es

el costo inicial de su instalación. El costo del kilovatio hora se ubica entre los 14 y 18 centavos, lo que la convierte en la más costosa de las renovables luego de la energía fotovoltaica; sin embargo si se considera dentro del mediano plazo la energía termosolar es menos costosa ya que una vez que el sistema se encuentre instalado no se incurrirá en insumos que lo mantengan tales como combustibles o electricidad para el caso del calentamiento de agua, lo que la convierte en más competitiva que los sistemas de calentamiento tradicionales.

Las ventajas de la energía térmica solar se comparten con la energía eólica y la fotovoltaica en cuanto a que su insumo no tiene costo (luz solar) y que no produce emisiones durante el proceso de transformación de energía a electricidad o calor. Por ejemplo, de acuerdo a la red de usuarios de Biomasa (BUN-CA, 2002c) un colector de dos metros utilizado para el calentamiento de agua evita la emisión de una tonelada de CO₂ a la atmósfera. Otro beneficio es, tal como se mencionó, que a mediano y largo plazo el sistema utiliza menos recursos e insumos reduciendo sus costos en su período de vida útil; y, por otro lado, la duración del colector es bastante superior (25 a 30 años) que la vida útil de los artefactos que utilizan energía eléctrica, por ejemplo una ducha.

En cuanto a las desventajas se encuentran el uso de materiales para la construcción del colector que resultan tóxicos como el aluminio, el cobre, hierro y materiales aislantes y representan una amenaza para el medioambiente, sin embargo al igual que con la energía fotovoltaica, una correcta disposición de los desechos disminuye considerablemente el riesgo en mención.

2.4.4 Energía hidráulica

Dentro de las energías renovables, la energía hidráulica es considerada como convencional debido a que su uso y desarrollo está en una etapa de madurez. Dentro de este tipo de energía se debe hacer una distinción inicial entre el concepto hidráulico e hidroeléctrico. El aprovechamiento de una caída de agua para mover un rotor que puede ser aprovechado, por ejemplo en un molino, es energía hidráulica; sin embargo si el movimiento de tal eje está

conectado a un generador eléctrico y a partir de la energía cinética se genera electricidad, estamos hablando de energía hidroeléctrica.

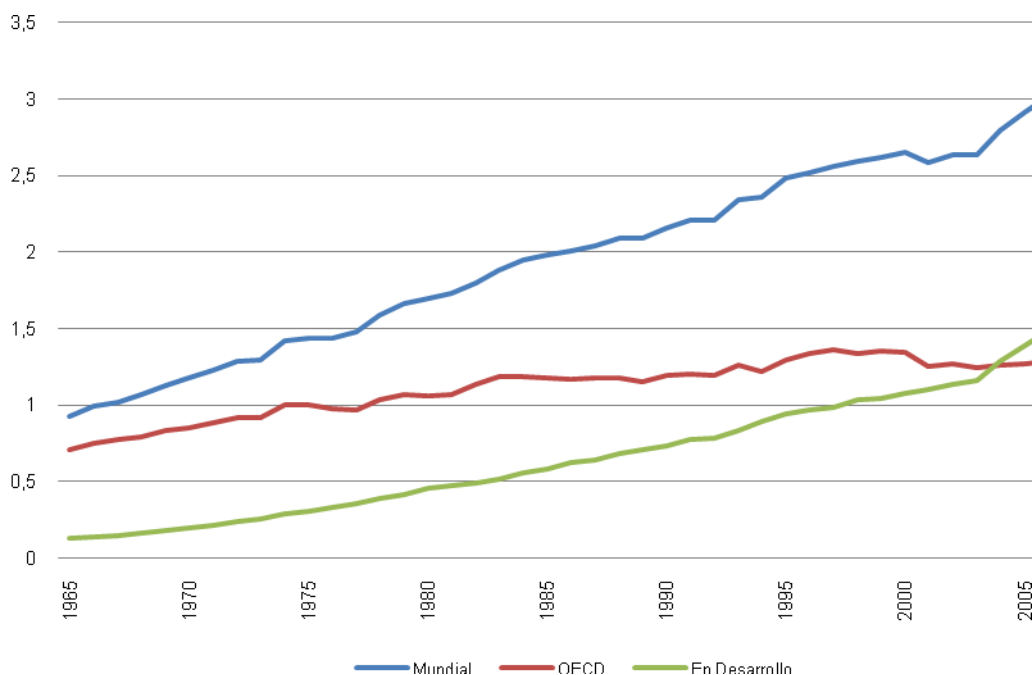
El funcionamiento de este tipo de energía se basa en el aprovechamiento de un caudal o de una caída de agua para producir electricidad. En primer lugar es necesario construir un embalse en el que se represe el agua que luego va a ser dirigida hacia la sala de máquinas por medio de una tubería de presión. Una vez que el caudal de agua está en la sala de máquinas, la energía contenida en el agua es convertida en energía cinética por medio de una turbina e inmediatamente un generador transforma esta energía en electricidad, la cual se conduce a la red eléctrica (BUN-CA, 2002d).

Los principales usos de la energía hidroeléctrica dependen de la potencia de las instalaciones, así el primer de sus usos es el de los sistemas domésticos que funcionan por medio de nano turbinas que pueden generar hasta 1 kilovatio. Esta electricidad se utiliza básicamente para actividades productivas en el campo e igualmente para satisfacer las necesidades eléctricas de la vivienda. La energía mini y micro hidroeléctrica se utiliza para proveer de electricidad a pequeñas poblaciones y se puede alcanzar una potencia de 1000 kilovatios y finalmente se encuentran los megaproyectos que se encuentran conectados a la red eléctrica.

La energía hidroeléctrica presenta varios beneficios en su utilización. En primer lugar se debe mencionar que al utilizar agua para su funcionamiento evita emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera; y, dependiendo de la magnitud del proyecto los impactos por obras de ingeniería civil serán mínimos sobre el medioambiente. Los impactos de este tipo de energía se dan principalmente por la construcción del embalse el cual necesita de trochas para el ingreso de materiales y durante el período de construcción la fauna se retira de la zona, mientras que una vez que la planta está en funcionamiento el principal inconveniente está dado por el ruido de las turbinas. La presa afecta sobre todo a la geografía de la zona y a la migración de la fauna marina.

Gráfico 21. Capacidad instalada de energía hidroeléctrica

(Gigavatios-hora)



Fuente: BP

El crecimiento de la energía hidroeléctrica a nivel mundial ha presentado una aceleración en los últimos años. Este crecimiento ha sido impulsado por las economías en desarrollo las que suman más del 50% del total del potencial hidroeléctrico mundial. En el año 2009 el total de la energía hidroeléctrica instalado en América Latina superó el de Norteamérica que sufrió una disminución de 0,6% respecto al año 2008 e igualmente se encuentra sobre la capacidad de China que es el mayor productor de energía hidroeléctrica a nivel mundial.

2.4.5 Energía geotérmica

Por medio de esta tecnología se aprovecha el calor que es capturado por la tierra hasta 2 metros por debajo de la superficie y también el generado por el proceso de desintegración radioactivo residual de la etapa de formación de la Tierra. Este calor es aprovechado mediante la instalación de colectores que se conectan a las casas y concentran este calor para generar electricidad en los hogares (DENA).

Actualmente existe una capacidad instalada de 33.000 MW y se encuentra presente en 77 países de los cuales Islandia mantiene un cuarto de su demanda energética por medio de este sistema. Las ventajas de este tipo de energía renovable es que su generación es independiente del clima y del tiempo.

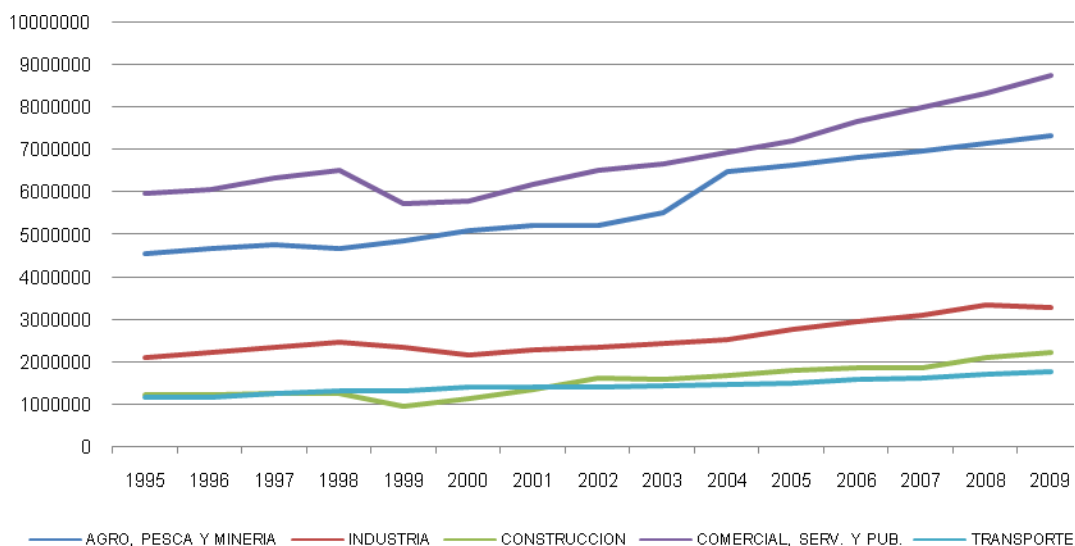
2.5. La realidad energética del Ecuador

En el año 1999 el Ecuador enfrentó una grave crisis provocada por la quiebra de los bancos privados lo que llevó al entonces presidente Jamil Mahuad a declarar un feriado bancario. Esta crisis estuvo acompañada de una inflación de 90% (MEER, 2009) lo que desestabilizó todos los indicadores macroeconómicos y desembocó en la decisión de dolarizar la economía. Durante la transición fueron los sectores más pobres los que afrontaron mayores consecuencias por la crisis debido a la alta inflación y a la especulación en los bienes de primera necesidad, sin embargo a partir del año 2001 la economía ecuatoriana se ha recuperado y muestra una tendencia sostenida en el crecimiento del PIB.

Entre el año 2001 y 2009 el PIB ha crecido a una tasa del 5,6% anual con variaciones propias de la dinámica de cada uno de los sectores. Por ejemplo el sector extractivo continúa siendo el más importante para la economía, no obstante existe un importante crecimiento del sector de la construcción que se ha beneficiado de una mayor capacidad de endeudamiento de la población. Durante el mismo período este sector ha multiplicado por 8 su tamaño siendo el de mayor crecimiento, seguido por el sector de la minería en donde se encuentra la explotación de crudo. Otros sectores con un crecimiento importante son el del transporte y el de consumo y servicios tal como se muestra en el gráfico 22.

Gráfico 22. Evolución del PIB sectorial

(Millones de dólares de 2000)



Fuente: BCE

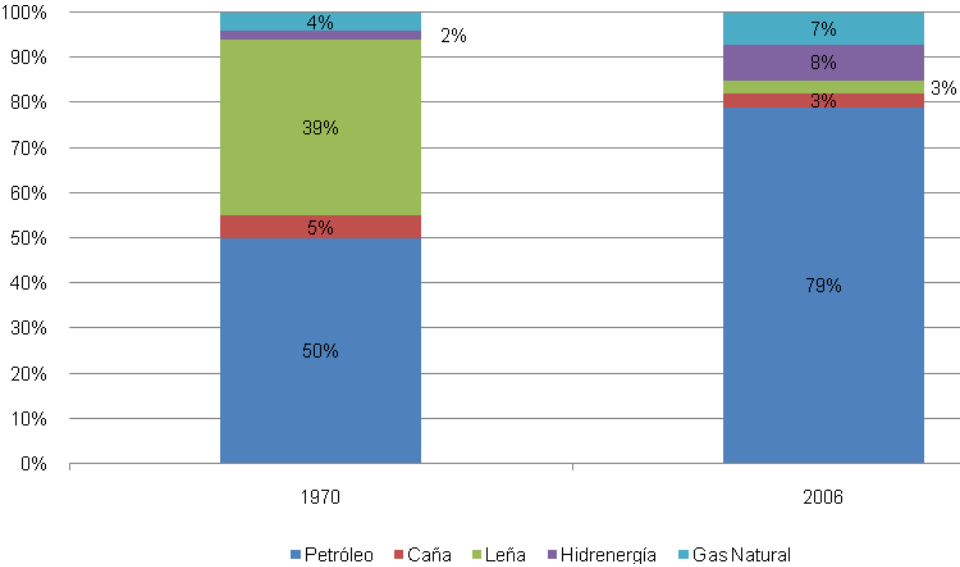
Este crecimiento se debe principalmente a un mayor poder de compra de la población promovido por una mayor estabilidad monetaria y tasas de inflación reducidas lo que, cabe anotar, no ha sucedido con las tasas de interés bancarias que se muestran aún elevadas para el mercado ecuatoriano, lo que restringe a una parte de la población del acceso a crédito de consumo.

El crecimiento de cada sector de la economía por su parte, tiene sus propios determinantes, así el sector agrícola se beneficiará de la inclusión de 110.000 nuevas hectáreas que se dedicarán básicamente a la siembra de biomasa para fines energéticos (MEER, 2009), mientras que por su parte, el sector de la construcción será alentado en su tendencia creciente por el mayor acceso a créditos por parte del Estado y a una sobreoferta que vuelve más competitivo en términos de precios al sector. La industria se ha visto alentada, igualmente que el comercio, por el despunte del consumo de los hogares, caso que también es compartido por el transporte que además registra un crecimiento del transporte pesado debido a incrementos en la demanda.

El Ecuador es un país netamente exportador de energía como el petróleo, sin embargo no es soberano energéticamente. Este hecho no debe sorprender ya que la inversión destinada a proyectos que generen energía ha sido relegada sistemáticamente por los diferentes gobiernos y mientras la demanda crecía, la oferta no la hizo de la misma manera. Esto se puede evidenciar en el desaprovechamiento del potencial hídrico para la generación hidroeléctrica e igualmente en el potencial del uso del gas, recurso que se desperdicia en un 80% por la falta de inversión en tecnología (MEER, 2009)

En términos de consumo, la matriz energética del Ecuador no es distinta de la mundial y se evidencia una dependencia cada vez más grande de los derivados del petróleo, lo que a largo plazo representa una amenaza para el país debido a que por un lado aproximadamente el 40% del PIB proviene de las exportaciones de petróleo y por tanto una porción importante de nuestra economía está a merced de los precios del petróleo. El otro aspecto es que el uso cada vez mayor de combustibles fósiles ha mermado la inversión en investigación y desarrollo de nuevas alternativas energéticas.

Gráfico 23. Evolución de la Oferta energética en el Ecuador



Tomado de MEER, 2009

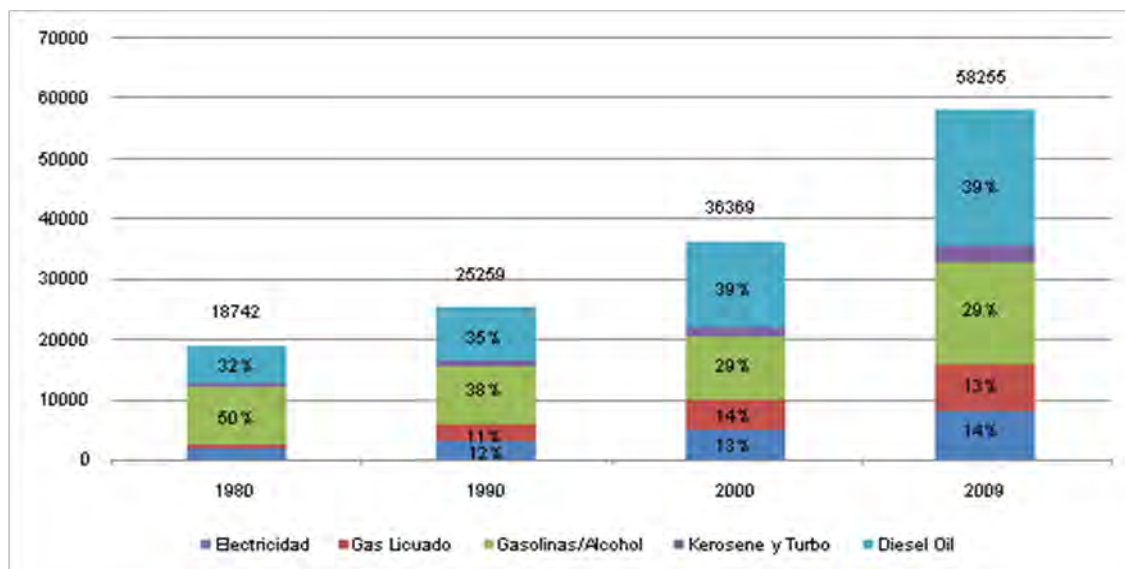
El 80% de la oferta de energía primaria en el Ecuador proviene del petróleo, mientras que los recursos renovables no han presentado un mayor incremento en los últimos 26 años.

Este crecimiento en la oferta se debe en gran parte al *boom* petrolero que se dio en la década de los 70. Adicionalmente a este incremento, a partir de 1978 la estructura del crudo no correspondía a la tecnología de las refinerías por lo que fue necesario incrementar las importaciones de combustibles para abastecer la demanda interna. Otro hecho paradójico es el de que a pesar de que la producción de petróleo crecía, el Ecuador incrementó las importaciones de derivados.

En cuanto al abastecimiento de energía secundaria se ve que estructuralmente no se han dado cambios importantes en los últimos 30 años a excepción que el consumo de electricidad ha ido ganando terreno hasta contar en la actualidad con un 14% del consumo energético final y se muestra un decrecimiento de la dependencia de la gasolina. Esto se debe principalmente al incremento en la demanda de electricidad por el crecimiento de las ciudades y la demanda industrial. En términos absolutos la demanda de energía ha pasado de 18.7 millones de barriles equivalentes de petróleo en el año de 1980 a 58.2 millones en el año 2009.

Gráfico 24. Evolución de la oferta energética total

(Porcentajes y miles de bep)

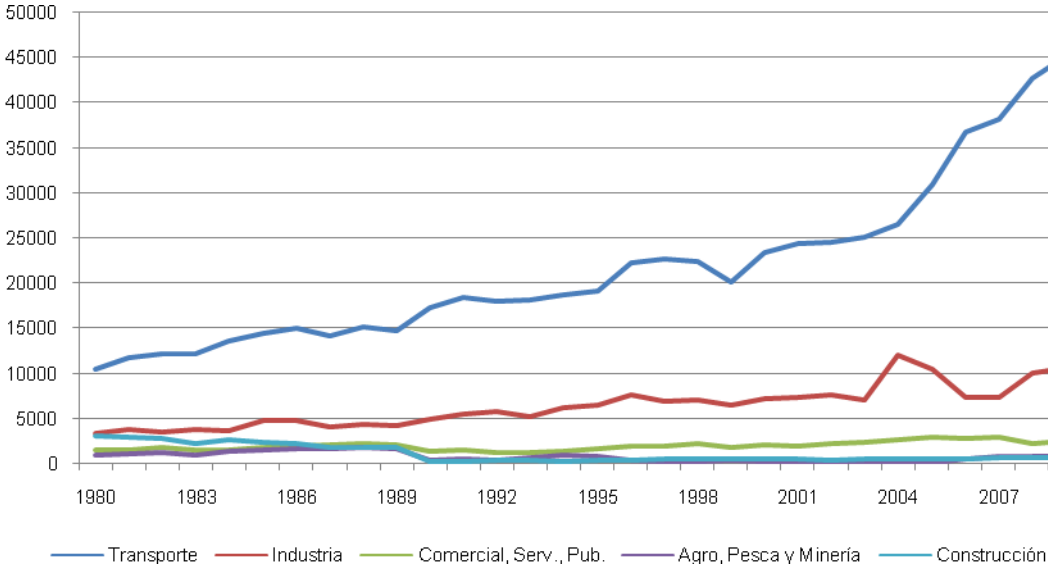


Elaboración: Autor. Datos: SIEE-OLADE

Por el lado de la demanda se ha dado un incremento importante principalmente en el sector del transporte que es el que mayor tasa de crecimiento ha presentado y cuya tendencia de crecimiento se acelera a partir del año 2000, lo que se puede atribuir al hecho de que la estabilidad económica que trajo la dolarización creó una burbuja de consumo que fue destinada en parte a la compra de vehículos, y por tanto a un aumento del parque automotor a nivel nacional. En segundo lugar el incremento en la demanda se centra en el sector industrial pero con tasas de crecimiento por debajo de las del sector transporte lo que evidencia un crecimiento no tan importante de la industria nacional. Lo expuesto se muestra en el siguiente gráfico:

Gráfico 25. Demanda energética por sectores económicos

(Miles de bep)

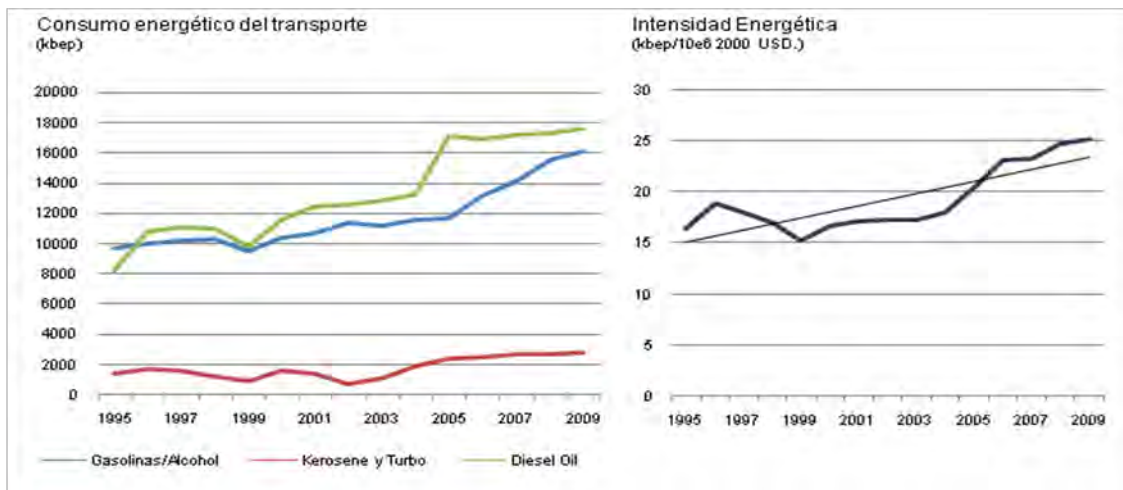


Elaboración: Autor. Datos: SIEE-OLADE

Como se señaló, el sector del transporte es el de mayor crecimiento en cuanto a demanda energética se refiere. Esto se debe al gran incremento del parque automotor que no tiene ningún tipo de control ni planificación en cuanto a su crecimiento, situación que causa problemas tales como mayor contaminación en las ciudades y contaminación por ruido. Hasta el año 2000 la demanda era similar para la gasolina y el diesel, sin embargo a partir de ese año se ve que la tendencia de crecimiento del diesel se acelera aumentando la intensidad

energética que se vuelve mucho más pronunciada hasta alcanzar un ratio de 25 lo que muestra una clara ineficiencia en el sector. Esta tendencia se muestra en el gráfico 26.

Gráfico 26. Demanda e intensidad energética del sector transporte



Elaboración: Autor. Datos: SIEE-OLADE

Por lo expuesto se deduce que la situación del sector transporte es crítica ya que por un lado existe una restricción en cuanto a los sustitutos que se tienen para los combustibles fósiles. Por otro lado, la demanda energética del transporte equivale a casi el 76% de la demanda total y presenta un crecimiento del 8% anual, lo que contrasta claramente con el crecimiento casi nulo de la capacidad de refinamiento de combustible. De no encontrarse una alternativa, esto significa que el Ecuador deberá seguir destinando recursos a la importación de derivados para mantener el crecimiento del sector que además se muestra ineficiente en la utilización de recursos.

La evolución de la industria muestra una clara dependencia de la electricidad y del diesel, este último inclusive tiene mucho mayor peso en la composición de la demanda de este sector. Esto se puede explicar por los bajos costos del combustible y que cuenta con un subsidio importante por parte del Estado. Al mismo tiempo este subsidio y esta dependencia implican que por esta vía existe una fuga de recursos que adicionalmente se están manejando de una manera ineficiente, lo que se puede apreciar en la intensidad energética del sector que mantiene un ratio de 3.

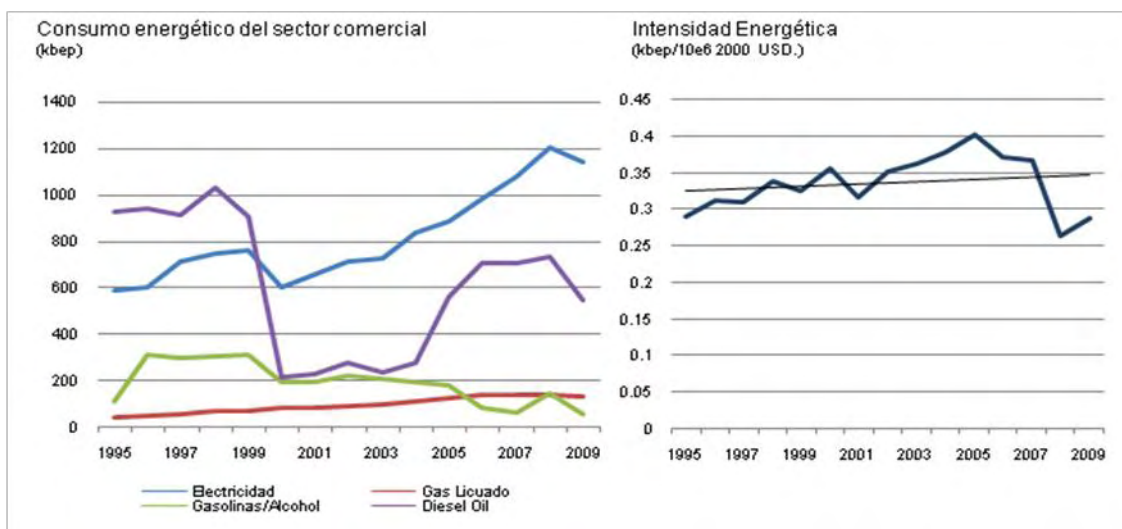
Gráfico 27. Demanda e intensidad energética del sector industrial



Elaboración: Autor. Datos: SIEE-OLADE

El sector comercial presenta un cambio importante en la estructura de su demanda a partir del año 2000 en donde pasa de ser predominante en la demanda de diesel a abastecerse principalmente de electricidad. Este cambio se da a partir del año 2000 producto del crecimiento de la demanda que dinamizó este sector. Al contrario de los sectores analizados anteriormente, en la intensidad energética se puede apreciar que esta es menor que uno lo que muestra que el comercio es un sector que genera ingresos con muy pequeños consumos de energía convirtiéndolo en el más eficiente de los sectores analizados.

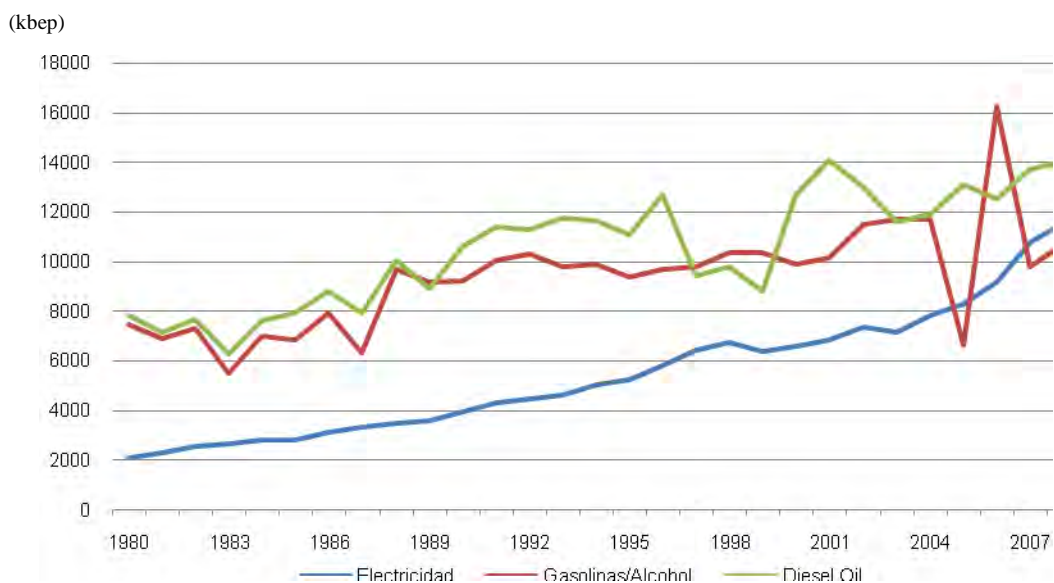
Gráfico 28. Demanda e intensidad energética del sector comercial



Elaboración: Autor. Datos: SIEE-OLADE

La producción de derivados tiene una tendencia creciente con un uso cada vez más intenso de la electricidad sobre todo en relación al diesel y a la gasolina hecho que se debe principalmente al crecimiento de las ciudades y al uso de electricidad por parte de la industria, sin embargo en término porcentuales la generación de electricidad apenas supera el 10% de la producción total, mientras que el diesel tenía una participación de 26% en 1980 y actualmente cuenta con el 31% de la producción total siendo el combustible con mayor producción a partir de 1999. A pesar de la evolución del diesel, la producción de gasolina continúa teniendo un importante porcentaje en la refinación de derivados que alcanza el 23% de la refinación total.

Gráfico 29. Producción de derivados



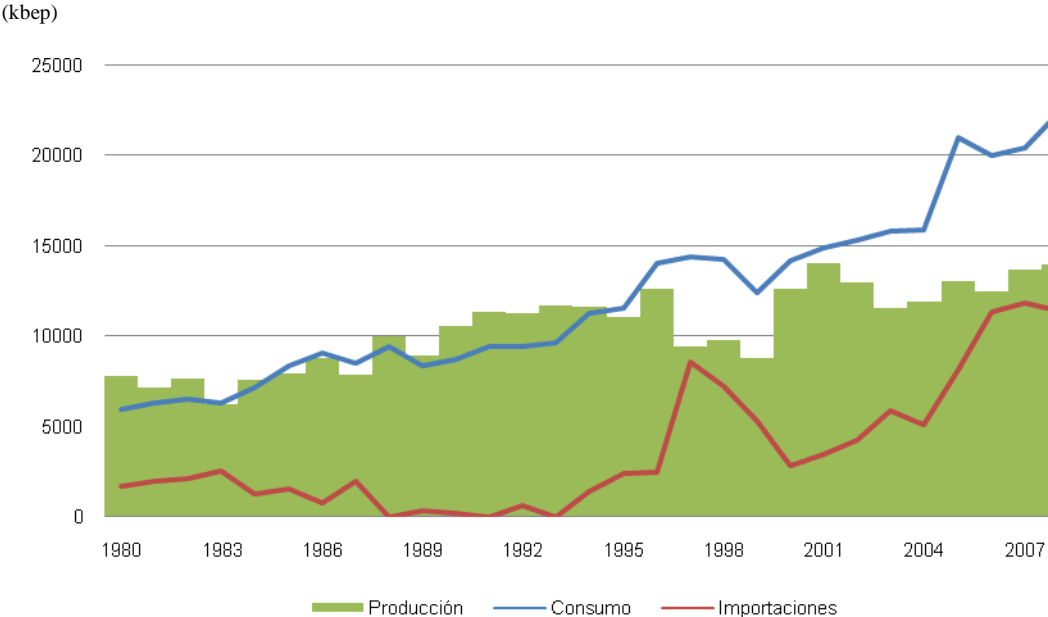
Elaboración: Autor. Datos: SIEE-OLADE

No obstante el crecimiento, en el gráfico 29 se puede apreciar como la tendencia muestra una desaceleración en el tiempo para el caso del diesel y la gasolina hasta tender a la estacionalidad alrededor de 14 millones de barriles lo que concuerda con los datos mencionados por Albán y Cardenas (2007) que señalan que la capacidad de refinación se mantendrá fija en 14.6 millones de barriles mientras que la demanda continuará creciendo hasta alcanzar 40.000.000 de barriles en el año 2025. En el año 2009 la demanda total de diesel fue de 22.5 millones de barriles y las importaciones cubrieron 9.3 millones de barriles (41%) con un costo total para el Ecuador de USD. 753.5 millones. Si se mantiene el porcentaje de importación fijo y se asume un precio promedio de 2.3 dólares el costo del galón, en el año 2025 el Ecuador gastará 2.181 millones de dólares por concepto de importación de diesel.

Este incremento continuo en las importaciones viene dado por un lado por la restricción en la capacidad de producción de Petroecuador, sin embargo al analizar el balance energético de la refinación de gasolina y diesel se encuentra que el diesel arroja 0,65 barriles por cada mil barriles invertidos en su refinación, dato que se encuentra bastante por debajo del rendimiento de la gasolina que para el mismo ratio da un resultado de 0,9. Este hecho

marca la creciente tendencia en el volumen de importaciones de diesel. En el gráfico 30 se puede apreciar como hasta el año 1994 la oferta y demanda de combustibles se encontraba balanceada, sin embargo a partir de ese año la demanda comienza a crecer más de prisa que la producción, situación que se agrava a partir del año 2000, hecho que incrementa considerablemente las importaciones del derivado.

Gráfico 30. Producción, Consumo e Importación de Diesel



Elaboración: Autor. Datos: OLADE

Capítulo III

Análisis de los Biocombustibles

3.1 Introducción

El sector del transporte a nivel mundial actualmente presenta el mayor reto para disminuir los impactos ambientales generados por la concentración de los gases de efecto invernadero. De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía el sector transporte aporta con el 28% del consumo total de energía, porcentaje que se mantendrá, según las proyecciones realizadas, hasta el año 2030, sin embargo su crecimiento será superior al de la demanda de energía primaria y secundaria totales (IEA, 2008). El reto específico con el transporte es que es el sector más intensivo en la quema de combustibles fósiles y al no contar con un sustituto competitivo para el petróleo, la demanda por combustibles fósiles seguirá siendo inelástica y por tanto este sector continuará creciendo y demandando cada vez una mayor cantidad de petróleo.

Además de los problemas ambientales que producen los GEI tales como el calentamiento global a nivel agregado y los de salud que se producen en las ciudades y que están asociados a los combustibles, debemos plantearnos la problemática cada vez más persistente en relación a la seguridad energética y la volatilidad de los precios del petróleo. El informe sobre el pico petrolero llevado a cabo por el ITPOES en el Reino Unido en el año 2010 señala que la era del petróleo barato ha terminado, y que a partir de ahora, los precios del petróleo seguirán una tendencia creciente, y aunque no muy empinada, la tendencia será sostenida. Este hecho presenta un panorama no muy halagador para los países que son importadores netos de derivados y más aún para los que, como el caso del Ecuador tienen una penalización sobre el precio internacional del crudo.

Ante esta realidad, varios países vienen desarrollando y promoviendo el desarrollo de tecnologías que sean una alternativa. Ejemplo de estas iniciativas se encuentran, entre las más relevantes, la iniciativa Proalcool de Brasil que tuvo como propósito el desarrollo de la industria de bioetanol. Otras políticas destacadas se encuentran en Estados Unidos de

América que mediante la Ley Energética del año 2005 pretende incrementar la participación del etanol en 3,5 billones de galones hasta el año 2012. Una de las regiones que promueve con mayor fuerza el desarrollo y penetración en los mercados de los biocombustibles es la Unión Europea que a través de la Directiva 2003/30/EC (COM, 2003) estableció que para el año 2010 se debía alcanzar una mezcla de 5,75% de biocombustibles. En América Latina están los casos de Colombia (5%) y Perú (7,8%) que obligan a mezclar el combustible fósil con biocombustibles (Dufey, 2007).

Al amparo del respaldo de los diferentes gobiernos los biocombustibles alcanzaron en el año 2008 un consumo total de 24,4 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) representando apenas un 1,5% del total de la demanda del sector del transporte y con el mayor consumo concentrado en Estados Unidos y Brasil. La presión que ejercen las políticas es uno de los mayores determinantes del crecimiento de biocombustibles a nivel mundial, los que alcanzarán una producción de 118 Mtep o el 5% de la demanda total de combustibles en el sector del transporte en el 2020 (IEA, 2008).

Los estudios a nivel mundial alrededor de los beneficios de los biocombustibles no son concluyentes, sin embargo todos señalan en mayor o menor magnitud a la disminución en la emisión de GEI como el mayor beneficio. Esta reducción se debe a que a lo largo del ciclo de vida de los biocombustibles sus emisiones son cero debido a que las plantas capturan previamente los gases que serán emitidos. De otro lado se apunta al aprovechamiento de las tierras que se encuentran degradadas y que podrían ser reutilizadas para la siembra de biomasa, especialmente de piñón que se adapta con facilidad a zonas áridas y que tiene un bajo requerimiento de agua. Un beneficio adicional al de la recuperación de la tierra es la generación de empleo en el sector rural y sobre todo en las zonas que ya no son aptas para el desarrollo de otro tipo de cultivos (Berndes, 2003; Russi, 2008b; Wolf, et al., 2003).

Justamente uno de los puntos sobre los que no existe acuerdo entre los promotores y los detractores de los biocombustibles es el uso de la tierra. Por un lado los que apoyan su desarrollo plantean que para evitar un cambio en el uso de la tierra que pondere la siembra

de biomasa en lugar de alimentos, debe existir un control por parte del Estado y que la biomasa provenga de zonas que no sean potenciales para la cosecha de alimentos ni que se dé un desplazamiento de estos últimos. En el lado de quienes no apoyan su desarrollo prima la tesis de que los mejores precios de la biomasa y la presión de la demanda obligará a los pequeños agricultores a abandonar sus cultivos clásicos a favor de los biocombustibles produciendo de esta manera un déficit que pondría en riesgo la seguridad alimentaria y afectaría sobre todo a los sectores de la población. Otros argumentos son el bajo rendimiento energético y el bajo aporte en la reducción de emisiones (Venturi y Venturi, 2003; Pleanjai, 2004 y Ling, 2005). En el presente capítulo se pretende hacer una revisión que abarque las diferentes visiones y que sirva de marco para la aplicación de la metodología en el siguiente capítulo.

3.2 Definición y características de los biocombustibles

Los biocombustibles son el resultado de un proceso por medio del cual distintos tipos de biomasa, que es cualquier materia orgánica que se genera por medio de fotosíntesis, ya sean cultivos o desechos (Russi, 2008a), son convertidos en combustibles como alternativa a los combustibles fósiles. De acuerdo a Hoogwijk (2003) los tipos de biomasa que se pueden utilizar son a) los residuos primarios que se generan durante la preparación de alimentos o madera; b) residuos secundarios producto del procesamiento de alimentos (bagazo, cáscara de arroz), c) residuos terciarios que se producen una vez que la biomasa ha sido utilizada tales como desperdicios municipales o madera restante de demoliciones; y finalmente se deben añadir los cultivos de plantas como la palma africana, el girasol, el maíz y el piñón.

Esta biomasa puede destinarse a producir energía por medio de la transformación termoquímica, la bioquímica y la extracción. Dentro de la transformación termoquímica están la combustión, la gasificación y la pirólisis. La combustión directa es la más común de las tres y se usa básicamente en las zonas rurales en donde no se cuenta con formas modernas de energía, quienes queman la biomasa para generar energía por este medio. Este uso de la biomasa sin embargo, es el más agresivo para la salud y el medioambiente y está asociado a diversos problemas tales como cáncer a la piel, laringe y pulmón (Sagar, 2005),

pérdidas en el rendimiento de la tierra debido a que el estiércol que se combustiona deja de ser utilizado para fertilizar el suelo; y, finalmente, aumenta las emisiones de material particulado y de monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno a la atmósfera. Con la ayuda de la tecnología la combustión de la biomasa se puede utilizar en combinación con turbinas dentro de las cuales se genera vapor para generar electricidad.

El proceso de gasificación es una nueva tecnología que aún no se utiliza comercialmente a gran escala y por medio de la cual la biomasa se oxida al mezclarla con oxígeno para cargarla de electrones positivos y generar electricidad (Russi, 2008a). Este proceso se lleva a cabo aproximadamente a 800 grados Celsius de temperatura y los residuos se utilizan en turbinas de gas, en la elaboración de químicos y también se puede producir metanol e hidrocarburos líquidos mezclados con hidrógeno. El último proceso es la pirólisis que es similar a la gasificación, sin embargo no produce aceite sintético mezclado con hidrógeno, sino un aceite orgánico que puede ser fácilmente almacenado y transportado.

La transformación bioquímica se lleva a cabo por medio de dos procesos: digestión y fermentación. El primero se sirve de bacterias que en un ambiente anaeróbico degradan la biomasa y producen biogás que se utiliza principalmente en el tratamiento de desechos. El segundo procedimiento es la fermentación que produce etanol a partir de caña de azúcar o maíz. El proceso consiste en transformar la biomasa en azúcares con el uso de enzimas. Posteriormente el azúcar se transforma en etanol que luego es destilado para ser utilizado directamente en vehículos (Cigolotti, 2008). Los residuos generados sirven para alimentar el ganado y como fertilizante mientras que el bagazo sirve para alimentar el funcionamiento de la planta procesadora.

3.2.1 El Bioetanol

El bioetanol es actualmente el biocombustible con mayor producción a nivel mundial con Estados Unidos y Brasil liderando su producción. En el año 2009 alcanzó 11 000 millones de galones producto de la transformación de maíz principalmente. EL etanol es producto de un proceso de fermentación de almidones de biomasa en azúcares y puede ser obtenido de

varios cereales (maíz principalmente) o de la caña de azúcar (IEA, 2007). Una vez que se obtiene el fermento es destilado y mezclado con gasolina con el propósito de aumentar el octanaje del combustible fósil para reducir las emisiones de la quema del combustible. (DOE, 2010). Las mezclas más comunes en el uso de etanol son E10, E85 y E100 que representan el porcentaje de mezcla del biocombustible con gasolina, sin embargo únicamente los llamados vehículos de combustible flexible (FFVs por sus siglas en inglés) están diseñados para utilizar la mezcla E85, mientras que el E100 se encuentra disponible solamente en Brasil.

Los beneficios de utilizar bioetanol en mezcla con la gasolina se enfocan principalmente en la reducción de emisiones de GEI, sin embargo no existe un resultado concluyente en si existe tal beneficio y, de existir, cual es el aporte real. El porcentaje en la reducción depende de varios factores. Por ejemplo los cultivos en Brasil son más eficientes que los de Estados Unidos debido a que la fermentación de la caña de azúcar es más sencilla que la del maíz. Cabe añadir que el cultivo de caña es menos intensivo en el uso de combustibles fósiles reduciendo igualmente la cantidad de emisiones en el ciclo de vida del bioetanol de caña brasileño (IEA, 2008). Otro aspecto que contribuye a la eficiencia es el uso de los derivados en la producción del biocombustible. Para el caso de la caña de azúcar éstos son utilizados para el funcionamiento de la planta procesadora y también para generar calor y trabajo. Finalmente el rendimiento por hectárea del cultivo en Brasil es superior que el de maíz en Estados Unidos

En relación al uso de energía fósil para la producción de etanol, la caña de azúcar utiliza tan sólo un 12% del input total, mientras que el maíz utiliza hasta el 80% de combustibles fósiles por unidad producida de etanol. Esta mayor eficiencia logra una reducción importante en el nivel de emisiones a la atmósfera. De acuerdo a un estudio de la OECD (2008) la reducción puede alcanzar hasta un 60% en comparación con las de la gasolina, mientras que las reducciones del maíz no superan el 30% por kilómetro recorrido. Un estudio llevado a cabo por Farrell (2006) señala que la reducción en las emisiones del etanol se encuentra alrededor del 20% y en el caso de que sea necesaria la transportación de la biomasa a la planta, apunta a una reducción de tan sólo 3%, sin embargo una vez que la

tecnología de los biocombustibles de segunda generación se encuentre disponible, las emisiones se verían reducidas en un 88%.

El bioetanol, al igual que las demás energías renovables, es un sustituto a las formas de energía convencional que utilizamos actualmente, las que debido a sus costos más altos no han recibido la suficiente inversión que permita el desarrollo de su tecnología y la reducción de sus costos. Dentro del sector transporte, los biocombustibles, y el bioetanol para el caso específico de los automóviles a gasolina, presentan unos costos que dependen del sembrío, el procesamiento de la biomasa, la tierra y los salarios, los subsidios y los precios de los mercados del maíz, la caña de azúcar y finalmente el petróleo. Tal como se mencionó, los costos del bioetanol proveniente de la caña de azúcar son más competitivos que los del maíz estadounidense, ubicándose en 0,30 centavos de dólar por litro, mientras que el del maíz está entre 0,60 y 0,80 centavos por litro. Si tomamos en cuenta el precio referencial de 0,40 ctvs/lit de gasolina, es evidente que el etanol de maíz requiere de un subsidio que cubra aproximadamente la mitad de su costo disminuyendo considerablemente su competitividad (IEA, 2007).

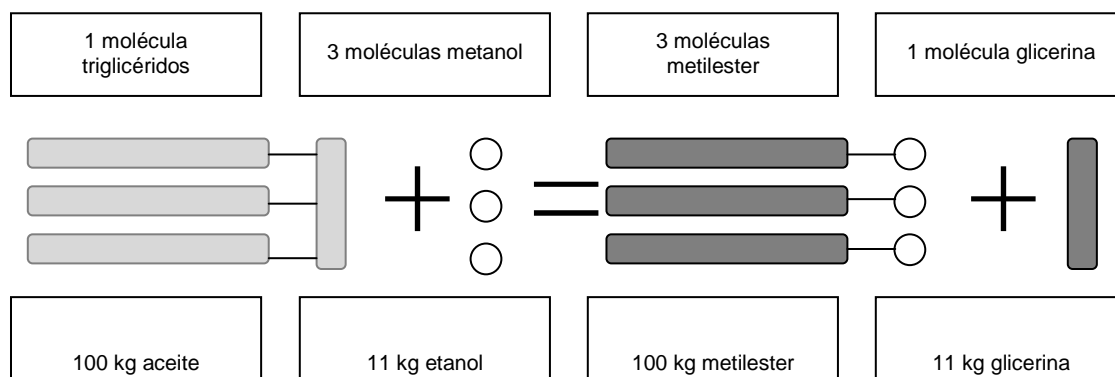
3.2.2 El biodiesel

Un proceso adicional por medio del cual la biomasa puede ser transformada es el de conversión química para producir biodiesel. Dentro del proceso de producción del biodiesel se puede distinguir 2 etapas: la de recolección de la fruta y la de la obtención del aceite crudo y la segunda, el proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel. La primera fase es la carga de la fruta en la rampa de procesamiento en donde los frutos oleaginosos son pesados y transportados hasta un molino que tritura la fruta. Posteriormente se pasa a un proceso de esterilización en donde la materia triturada es depositada dentro de un condensador para ser cocinada durante dos horas a una temperatura promedio de 130 grados Celsius y el vapor que se emite se lleva a un depósito de aguas de desperdicio para su tratamiento.

Una vez esterilizada la fruta, la biomasa pasa a una trituradora para separar la fruta esterilizada de los tallos y así separar los bonches vacíos de la pulpa. Terminada esta etapa, la pulpa pasa a un digestor en donde es molida por medio de calor y vapor para posteriormente ser transformada en una masa uniforme en la fase de extracción del aceite mediante una prensa. De esta etapa se obtienen como residuos agua de desperdicio y el bagazo. Finalmente por medio de secadores y centrífugas el aceite se purifica para ser almacenado en un tanque y se mantiene a una temperatura de 60 grados.

Los aceites vegetales no pueden ser utilizados directamente en los vehículos debido a su alta viscosidad, su punto de encendido alto y su tendencia a la polimerización (Russi, 2008a) por lo que debe pasar a través de un proceso especial que se conoce como transesterificación. Una vez que las frutas fueron cocinadas, esterilizadas, molidas y su aceite almacenado, se procede a transformar el aceite en biodiesel. Para llevar a cabo este proceso se utiliza un reactor que funciona aproximadamente a 60 grados de temperatura. El proceso es sencillo y consiste en añadir metanol al aceite vegetal de donde se obtiene biodiesel y glicerina los cuales se separan por gravedad. El proceso de transesterificación se muestra en la figura 1.

Figura 1. Proceso de transesterificación



Fuente: Russi, 2008a.

3.3 El mercado de los biocombustibles

Los biocombustibles son una energía sustituta a la energía fósil, por tanto históricamente su desarrollo y penetración en el mercado han estado ligados a los precios del petróleo, ya que

al aumentar los de éste, los biocombustibles se tornan más competitivos. En la crisis petrolera de los años 70 se dio un gran crecimiento e impulso a los biocombustibles, sin embargo, una vez superada la crisis en los años 80, su desarrollo volvió a archivarse. Fue justamente en la década de los años 70 cuando Brasil impulsó el programa Proalcool que tenía como objetivo desarrollar los cultivos de caña de azúcar para la producción de bioetanol por medio de una política de subsidios a esa industria, los cuales fueron eliminados una vez que el desarrollo del etanol había alcanzado una etapa de madurez para competir con los combustibles fósiles.

Posteriormente a este primer impulso, las preocupaciones sobre el cambio climático y la acumulación de GEI en la atmósfera producto (principalmente) de las actividades extractivas y la quema de combustibles fósiles produjeron un nuevo desarrollo en la tecnología y sobre todo en la masificación de los combustibles renovables. Aparte de esta preocupación, entraron en el debate otros aspectos determinantes del desarrollo de los biocombustibles. Entre los principales aspectos impulsores se encuentran la constante preocupación de los países importadores de petróleo y sus derivados por la volatilidad de los precios del petróleo y el impacto que esto podría tener sobre su balanza de pagos. Otro aspecto que contribuye al actual desarrollo de los biocombustibles está relacionado con el fin de la era del petróleo barato debido a la llegada del pico del petróleo y el incremento de sus costos de extracción.

Las importaciones tanto de derivados como de crudo tienen un impacto directo sobre el presupuesto del Estado dado que cualquier incremento en los precios del crudo disminuirá el presupuesto de otras partidas así como a la inversión social. Además de este aspecto, cabe mencionar que el petrolero no es un mercado que funcione de manera eficiente y presenta varios fallos tales como la concentración de la oferta y el manejo asimétrico de la información, lo que provoca que un pequeño grupo de productores (OPEP más Estados Unidos, Venezuela y México) controlen el precio del mismo y la cantidad de crudo que se oferta. Si a este aspecto se suma la creciente presión que ejercen China e India desde el lado de la demanda, se tiene como resultado una problemática de carácter económica, energética y geopolítica ya que el petróleo es un recurso estratégico para el crecimiento de los países y

en el caso de varios países y bloques económicos es inclusive un determinante de su política exterior.

Los factores mencionados han contribuido de una u otra manera al desarrollo de la tecnología de los biocombustibles, convirtiéndolos en una alternativa a los combustibles fósiles ya sea promoviendo su mayor uso mejorando sus costos o adaptando los motores de los vehículos para que funcionen con mezclas cada vez mayores. Muestras de este crecimiento son el desarrollo de los FFVs y el apoyo que continúan recibiendo los sembríos de biomasa tanto en Brasil como en Estados Unidos.

3.3.1 Producción de bioetanol

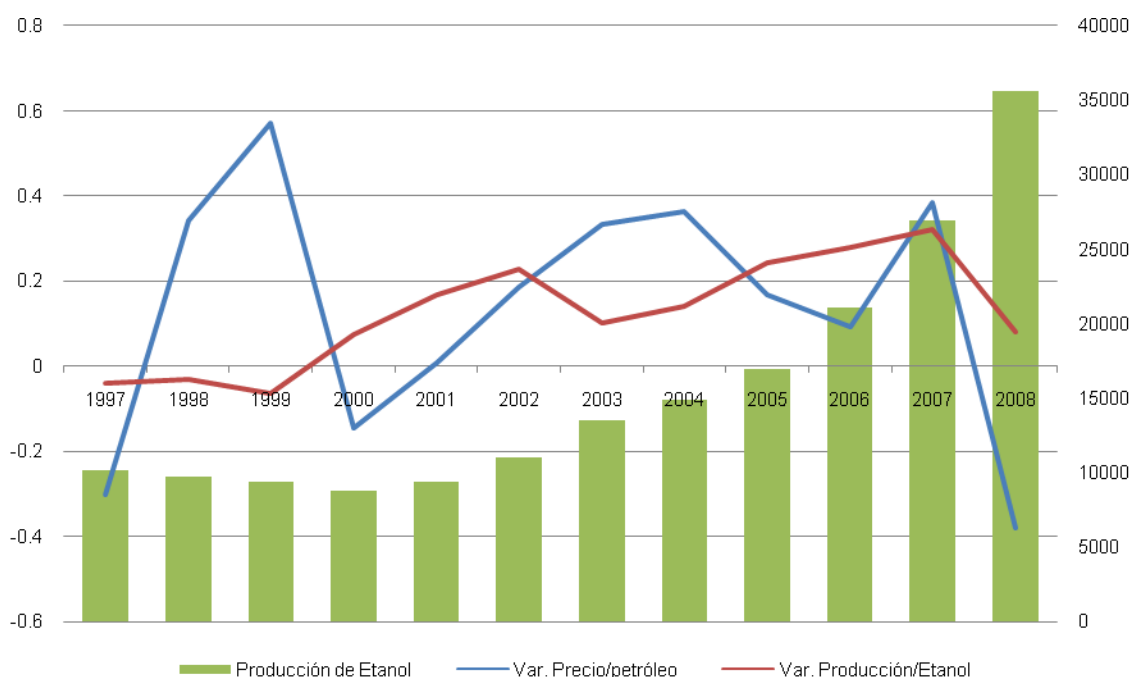
El etanol es por bastante el biocombustible más utilizado actualmente. En el año 2009 se produjeron más de 35.000.000 de toneladas de bioetanol a nivel mundial, combustible que a pesar de la crisis financiera del año 2007 ha presentado un importante crecimiento. Durante el período 2006 – 2009 la producción mundial de bioetanol prácticamente se duplicó aumentando de 21.048.000 tep a 38.418.000 tep anuales, con un aporte de Brasil y Estados Unidos de 88% a este incremento, y en el período 2000 – 2009 mantuvo tasas de crecimiento promedio que se aproximan al 20% a pesar de la baja registrada en el año 2008. Uno de los determinantes del crecimiento del bioetanol es el precio del crudo, lo cual se puede evidenciar en el gráfico 31 en el que se realiza una comparación entre la variación en el precio del crudo y la variación en la producción de bioetanol. En el gráfico se puede apreciar cómo a pesar de que la producción siempre muestra una tendencia creciente, los mayores incrementos se dan cuando los precios del crudo tienen una tendencia decreciente.

A nivel mundial el crecimiento de este combustible se hizo evidente en el año 2009 donde hubo importantes aportes de parte de Bélgica, Reino Unido, Australia, China y Colombia (REN21, 2010). Por ejemplo China en el año 2001 no producía etanol y su producción en el año 2009 fue de un millón de toneladas aunque las tasas de crecimiento se han mantenido cercanas a cero desde el año 2006 lo que se debe principalmente al aumento de importaciones energéticas por parte de este país. Europa por su parte tiene como el mayor

determinante del aumento de la producción de bioetanol, las directrices de mezcla con combustibles fósiles. Los mayores productores de la región UE-27 son Francia en primer lugar con el 31,5% de la producción total, seguido de Alemania con el 23% y de España con el 14%. En América Latina la producción sigue siendo dominada por Brasil que es el segundo productor de etanol del mundo y cuya producción despegó a partir del programa Proalcool. Cabe añadir que Brasil es el productor más eficiente en cuanto al rendimiento por hectárea de biomasa así como a la cantidad de combustible por tonelada. En América Latina la producción está seguida por Colombia (BP, 2010).

Gráfico 31. Producción mundial de etanol.

(Miles de toneladas de petróleo equivalente)



Fuente: BP

Al igual que con la reducción de emisiones de GEI, el bioetanol ha tenido un impacto positivo sobre la economía al emplear en Brasil, Estados Unidos, Alemania y España a cerca de 800.000 personas dinamizando el sector industrial y promoviendo el desarrollo del sector agrícola. La industria del bioetanol gastó en el año 2009 16.000 millones de dólares en la compra de biomasa así como de bienes y servicios para la producción de más de 9.000

millones de galones de bioetanol. Adicionalmente a este gasto, esta industria gastó 1.700 millones de dólares en transporte de la biomasa y del combustible, lo que añadido a la inversión en nuevas plantas de producción y operaciones sumaron 53.000 millones de dólares a la economía creando aproximadamente 400.000 nuevas plazas de empleo para totalizar más de un millón de personas empleadas por esta industria a nivel mundial.

A pesar de las cifras alentadoras, en los años 2008 y 2009 la industria del etanol enfrentó una crisis que en los Estados Unidos se dio principalmente por el encarecimiento del precio del maíz, lo que obligó a una disminución de la utilización de la capacidad instalada y la correspondiente disminución en las inversiones, las cuales se destinaron a mercados preferenciales tales como el desarrollo de la tecnología de bioetanol de segunda generación. En el caso brasileño y de la caña de azúcar, la crisis afectó el acceso al crédito y limitó la inversión como en el caso estadounidense. Además de lo citado se debe mencionar que existió un alza en el precio del azúcar por lo que se destinó una menor cantidad de ésta a la producción de bioetanol y finalmente una revaluación del real encareció el etanol brasileño en los mercados internacionales (REN21, 2010).

Luego de superada la crisis internacional el mercado del bioetanol también ha resurgido. Las perspectivas del biocombustible a largo plazo vienen dadas principalmente por el anuncio del gobierno brasileño de implementar una política que duplique la producción actual para el año 2017 hasta alcanzar 54 millones de tep. Por el lado estadounidense no aparece en el mediano plazo una disminución o desaparición del actual subsidio a la producción de bioetanol de maíz el cual se fija actualmente en 60 centavos de dólar por galón. Este subsidio deja prácticamente fuera de competencia al bioetanol de muchos países, excepto el brasileño, sin embargo trae una perspectiva interesante de crecimiento en el mayor productor del mundo.

Pero no todo es positivo para el futuro del biocombustible ya que a mediano y largo plazo se presentan también restricciones al crecimiento de esta industria. Políticas como la estadounidense que promueven el aumento del porcentaje de la mezcla de bioetanol con gasolina aumentarán la demanda del biocombustible y por tanto su producción. Por

ejemplo, según datos de la RFA, en Estados Unidos existen 204 refinerías que producen 46,3 millones de tep al año y se prevé que el año 2011 se construyan 10 refinerías más que aportarán con 2 millones de galones (RFA, sin año). Lo mencionado implica un incremento importante en la producción mundial del combustible lo que tendrá una repercusión directa sobre la cantidad de biomasa que se destina para alimento y para la refinación de combustible. Debido a esta competencia entre el mercado de combustibles y el de alimentos se producirá un incremento en los precios lo que presionará a los agricultores a cambiar sus cultivos actuales por los que sean más atractivos para su inversión, promoviendo por un lado el monocultivo y por otro el aumento de la frontera agrícola trayendo como consecuencia el aumento de la demanda de agua, de hectáreas deforestadas y de pesticidas y fertilizantes.

Un aspecto adicional que presenta preocupaciones respecto del incremento de la producción es el transporte de la biomasa a las plantas de refinación. Una de las maneras de volver más competitivo al bioetanol en relación a los combustibles fósiles es alcanzar economías de escala, sin embargo un incremento importante podría implicar el traslado de grandes cantidades de biomasa, no sólo al interior de los países, sino entre ellos, sin embargo este incremento aumentará la cantidad de combustibles fósiles utilizados en el ciclo de vida del bioetanol reduciendo su mayor beneficio: la disminución de emisiones de GEI.

3.3.2 Producción de biodiesel

El biodiesel es un combustible producto de un proceso de transesterificación que da como resultado metil-éster que es un carburante graso y glicerina como derivado de la transformación química. Al igual que en el caso del bioetanol, el biodiesel es fomentado por su capacidad de reducir las emisiones de GEI debido a que es biodegradable, no tóxico y libre de sulfuro y aromáticos (DOE, 2011; NBB, sin año) así como también por promover el desarrollo y la inserción de los sectores rurales en la economía. La importancia del biodiesel como alternativa al diesel fósil no es tan reciente y sus inicios se remontan a los mediados del siglo XVIII cuando Rudolph Diesel presentó una de sus varias máquinas que

funcionaba con aceite de maní y que había adaptado a petición del gobierno francés. De la misma manera que Diesel, Henry Ford utilizó etanol en su modelo Ford-T del año 1908 e inclusive realizó una alianza para la distribución del combustible en los distribuidores.

Coincidentemente con la actualidad, en ese tiempo, uno de los factores que llevó adelante el desarrollo de los biocombustibles fue la independencia de los combustibles fósiles y la seguridad energética. Es de esta manera que los países europeos mostraron un particular interés por el desarrollo de los biocombustibles para ser independientes energéticamente de sus colonias, pero a pesar de este interés la iniciativa fue perdiendo fuerza debido al menor precio del crudo y a que se hacía necesaria una gran cantidad de sembríos para proveer la biomasa necesaria.

A raíz de las preocupaciones sobre el cambio climático los biocombustibles vuelven a una nueva etapa de desarrollo y desde los años 90 se ha mantenido una tendencia creciente en su producción hasta alcanzar la cifra récord de 1.8 billones de litros en el año 2003. A partir de entonces el número de iniciativas en varios países ha ido aumentando sobre todo en Europa a raíz de la Directiva 2003/30/EC que estableció una meta de 5.75% de mezcla de biodiesel para el año 2010. Otras políticas relevantes a nivel mundial y que significarán un aumento de la producción mundial son las fijadas por Francia que pretende alcanzar una mezcla de 10% para el año 2015, la de Alemania con un B5.75 para el año 2010 y la de la Comisión Europea que tiene una meta de 10% de mezcla para el año 2020 y elevar su producción a 17,2 millones de tep para el 2012.

Desde la década pasada el número de países que apoyan el desarrollo de los biocombustibles ha ido aumentando hasta contar en la actualidad con más de 25 países que cuentan con alguna política para el biodiesel. En el año 2007 la producción mundial llegó a 8,5 millones de tep y se mantuvo una tendencia creciente que aumento la producción a 12,8 millones de tep en el año 2008 y a 14,6 millones de tep para el año 2009. Durante el período 2004 – 2009 la producción mundial creció a un promedio de 50% debido (en parte) a su etapa inicial de crecimiento, tasa que disminuyó a 9 puntos en el año 2009. A nivel mundial los mayores productores de biodiesel son Francia y Alemania en primer lugar

seguidos de Estados Unidos, Brasil y Argentina. Si a esta lista de países se suman China y Suecia se tiene la lista de los países con mayor capacidad instalada para la producción de biodiesel (IEA, 2010). Otros países que presentan un importante crecimiento son Colombia, Indonesia y España con una tasa de crecimiento de aproximadamente 50%.

De lo expuesto se desprende que el líder en la producción de biodiesel es el bloque europeo UE-27 que no sólo es el de mayor producción, sino que cuenta con la mayor cantidad de plantas instaladas, 280 en total y la mayor planta del mundo con una capacidad de refinación de más de 775.000 tep al año (Neste Oil, 2009), sin embargo debido a limitantes tanto como de precios de los insumos de la producción como de mercados sustitutos no se utiliza la capacidad instalada de la Unión de 24.000 millones de litros repartida en su mayoría en Alemania, Francia, Holanda e Italia (EBB, sin año). A continuación se presenta una tabla de los mayores productores de bioetanol y biodiesel a nivel mundial.

Tabla 5. Producción, Usos y Proveniencia de los biocombustibles

(Miles de millones de litros)

País	Bioetanol			Biodiesel		
	Producción	Uso	Cultivo	Producción	Uso	Cultivo
América						
Brasil	26,3	E26	Caña	1,6	B2, B5	Soya y Palma
Estados Unidos	41,7	E10, E85	Maíz	2,1	B2	Soya
Canadá	1,1	E10	Trigo y Paja	0,1		Paja
Colombia	0,3	E10	Caña	0,2	B5	Palma
Argentina	0,04	E5		1,4	B5	Soya
Ecuador						Palma
Perú			Caña			
Europa						
Alemania	0,8	E5,75	Centeno	2,6	B100, B5	Raps
Francia	0,9	E5,75	Remolacha y Trigo	2,6		Raps
Italia	0,1	E5,75	Trigo	0,4		Raps
Dinamarca		E5,75				
Austria	0,1	E5,75		0,2		
España	0,4	E5,75	Trigo, Cebada	0,6		
Suecia	0,1	E5,75	Residuos forestales			
Reino Unido	0,2	E5,75	Remolacha	0,5		Raps
Rep, Checa	0,05	E5,75				Raps

Polonia	0,2	E5,75				Raps
Asia						
China	2,1	E10	Maíz, Yuca, Caña, Arroz	0,4		Piñón
India	0,2	E5	Caña	0,1	B20 en 2011	Piñón
Tailandia	0,4	E10	Caña, Tapioca y Yuca	0,6		Palma, Soya, Piñón
Indonesia	0,1		Caña			Palma
Pakistán	0,02		Caña			
Filipinas	0,08		Caña			Coco
Africa						
Sudáfrica	0,4		Caña y Maíz		B1 y B3	Piñón
Malawi	0,06		Caña			
Ghana	0,06		Caña			
Zimbawe	0,06		Caña			
Kenia	0,03		Caña			
Oceanía						
Australia	0,3		Caña		B5	
TOTAL	76,1			13,4		

Fuente: IEA, 2004; RFA, 2005; IPS 2006, REN21

Más adelante se analizará con mayor detenimiento todos los aspectos del debate de la producción de biodiesel así como los de la sostenibilidad de la producción, sin embargo en este punto cabe anotar que el aumento en la producción viene dado por las ventajas que presenta su uso a nivel ambiental, económico y social. Dentro de esos beneficios se cuentan el hecho de que la biomasa es un recurso renovable que contribuye a la disminución de los niveles de concentración de GEI y por tanto podría ser un factor que contribuya a la disminución del calentamiento global.

El biodiesel, debido a su ciclo de vida, se supone libre de emisiones ya que durante el crecimiento de la planta se captura el CO₂ que se emitirá posteriormente a la atmósfera durante la combustión del biocombustible (BUN-CA, 2002e)

Otro aspecto que contribuye a la disminución en la contaminación es el bajo contenido de sulfuros que evitan la lluvia ácida que causa pérdidas en los cultivos así como enfermedades dérmicas en las ciudades y emite una cantidad mínima de material particulado como cenizas. En cuanto a los beneficios sociales se tiene como principal

ventaja el desarrollo del sector agrícola y la creación de empleo no sólo en el campo sino también en el sector industrial por medio del aprovechamiento de los productos secundarios que se generan como la glicerina que puede ser utilizada en la producción de fármacos y cosméticos. Un beneficio adicional es el ahorro de divisas debido a la disminución en la importación de diesel fósil, recursos que puede ser destinado a la generación de empleo y al desarrollo rural, tal como se mencionó.

Por otro lado las restricciones que enfrenta la producción a mayor escala de biodiesel son la cantidad de biomasa necesaria para cubrir las metas de mezcla con el diesel, sobre todo las fijadas por la Unión Europea. Russi (2008a) concluye en su estudio que los mayores beneficios se obtienen cuando la producción es de carácter doméstico y es destinada para solventar la demanda interna de combustibles ya que la importación de biomasa acarrearía mayores cantidades de uso de derivados de petróleo por cuenta del transporte. A pesar de esto último se debe resaltar que si el biodiesel se importa las reducciones de emisiones son mayores ya que la producción se realizaría en otros países, no obstante existen barreras que no permiten el libre comercio de los biocombustibles tal como lo señala Dufey (2007). Dentro de estas se pueden señalar como las más importantes el apoyo doméstico que reciben por parte del Estado y que es una práctica común para contribuir al desarrollo de la industria. Por otro lado, las especificaciones técnicas, ambientales y sociales podrían significar una barrera adicional ya que el biodiesel deberá cumplir con regulaciones propias de cada región volviendo más complicado el libre comercio del biocombustible y afectando los costos del mismo (Oestling, 2001).

3.4 Políticas de apoyo a los biocombustibles

El crecimiento de los biocombustibles se ha debido a tres factores principales. El primero de ellos es la evidente necesidad, sobre todo del sector del transporte, por contar con una fuente de energía. Los otros dos aspectos son de mayor relevancia y son por un lado la preocupación por el impacto que genera la quema de combustibles fósiles en el medioambiente y por el otro las diferentes políticas que han definido los países para apoyar

su producción, consumo y en algunos casos la exportación a mercados potenciales tales como la Unión Europea y los Estados Unidos.

La creciente concentración de GEI ha desembocado en un inevitable cambio climático que ha sido atribuido a razones antropogénicas, por lo que a partir de la firma del Protocolo de Kyoto se ha tratado de fijar metas para disminuir las emisiones y como consecuencia de esto encontrar alternativas a la actual matriz energética. Esta reducción tiene como foco principal el sector del transporte, no obstante también se pretende alcanzar el de la industria y el sector agrícola que se encuentran asociados a la producción de los biocombustibles. Por el lado de la industria es necesario encontrar mecanismos que disminuyan la cantidad de petróleo y derivados que se utilizan para la refinación del biodiesel y del bioetanol y la utilización de los residuos para generar trabajo y así aumentar la eficiencia de los biocombustibles.

En el lado de la agricultura el panorama es un poco más complejo ya que confluyen factores no sólo ambientales, sino sociales y económicos a favor y en contra del aumento de la producción de los biocombustibles. En primer lugar, el incremento al que apuntan sobre todo la Unión Europea y Estados Unidos puede traer como consecuencia un desvío de los cultivos tradicionales hacia el monocultivo agotando de esta manera la tierra y haciendo que los procesos sean cada vez más intensivos en el uso de fertilizantes causando alteraciones en el equilibrio de los ecosistemas. En segundo lugar, y peor aún, existe el riesgo de que los precios de los biocombustibles y el aseguramiento de un mercado para los mismos plantee una disputa entre alimentos y sembríos energéticos que tendrá como resultado la expansión de la frontera agrícola impactando directamente al medioambiente y a las poblaciones más pobres que serán afectadas por el incremento de los precios.

Por el lado de las políticas y de la producción de biocombustibles se argumenta la independencia y la soberanía energéticas que tienen como meta una reducción de las importaciones de derivados. En este sentido los biocombustibles tienen la gran ventaja de ser adaptables y por tanto no necesitan de mayores modificaciones en los vehículos para ser utilizados en mezcla con los derivados del petróleo. Este hecho tiene dos aristas. Por un

lado son eficientes en términos de modificaciones al parque automotor, y por otro, al contribuir a la reducción del nivel de emisiones de los combustibles fósiles, se convierten en un apoyo al *mainstream* energético al reducir los niveles de contaminación producidos por los derivados de petróleo.

Adicionalmente cabe señalar que la soberanía energética implica una producción de los biocombustibles puertas adentro vulnerando la oportunidad que tienen las economías en desarrollo de acceder a otros mercados con este nuevo commodity. A pesar de este hecho la producción interna es positiva ya que permite a los países el desarrollo de nuevas industrias a la vez que los recursos excedentes se pueden destinar a la investigación y al desarrollo de nuevas tecnologías, a la inversión social, al desarrollo del sector rural y a definir políticas que balanceen el destino de los recursos.

Los biocombustibles han sido apoyados básicamente desde dos tipos de políticas. Como primera tenemos a las metas de producción y consumo creadas por los países que son una forma de subsidio al crear un mercado asegurado para los productores de biocombustibles. Los principales promotores de la fijación de metas son la Comunidad Europea para el caso del biodiesel y Estados Unidos para el caso del bioetanol que al plantear umbrales mínimos de consumo y producción crean un incentivo para la inversión y el desarrollo de este nuevo mercado. La Unión Europea fijó como primera política una meta de mezcla (no obligatoria) de 5,75% de biodiesel que debía cumplirse en el año 2010 y como paso posterior fijó una meta B10 para el año 2020 lo que implica un porcentaje de importación de 20% (Murphy, 2007) que se verá afectado por los acuerdos a los que llegue con otros países productores y también de las barreras que imponga para proteger su producción interna. Los Estados Unidos por su parte promueven el aumento de la producción a 34.000 millones de galones para el año 2017 que significan el 5% del consumo interno de gasolina y para lo que se utiliza actualmente el 40% de la producción de maíz.

La segunda política determinante del crecimiento del mercado de los biocombustibles es la de subsidios que mantienen los países para estimular el crecimiento de la industria local, sin embargo esta política no es exclusiva de los biocombustibles ya que comparativamente en

términos absolutos los combustibles fósiles reciben subsidios mayores que los combustibles biológicos. Estos subsidios se destinan tanto a la producción como a la construcción de plantas y a los insumos de la cadena de valor. Adicionalmente se ofrecen créditos tributarios a los consumidores y a los puntos de venta que oferten una mayor cantidad de mezcla que se encuentre dentro de las establecidas por cada país. Como ejemplo podemos mencionar que Estados Unidos tiene un subsidio al bioetanol de 0.135 centavos de dólar por litro mientras que la Comunidad Europea subsidia en 0.195 centavos de euro cada litro de biodiesel. En la siguiente tabla se resumen las políticas más relevantes de apoyo a los biocombustibles.

Tabla 6. Políticas para el desarrollo de los biocombustibles

País	Meta	Apoyo a la producción	Apoyo al consumo	Requerimientos	Apoyo del gobierno
Brasil	Bioetanol: 1975 - Programa PROALCOOL Mandato de E20 - E25 Biodiesel 2002 – Programa PROBIODIESEL Mandato de B2 hacia 2007; B5 hacia 2013 y B20 hacia 2020.	Crédito que cubre el 30% de los costos de almacenamiento del azúcar Exenciones tributarias sobre vehículos que usen bioetanol para FFV Reducción de impuestos a la producción de biocombustibles	Crédito que cubre el 30% de los costos de almacenamiento del azúcar Exenciones tributarias sobre vehículos que usen bioetanol o FFV Reducción de impuestos al uso de biocombustibles Mandato para usar biocombustibles en flotas gubernamentales	Reducción de impuestos a la producción de biocombustibles	€8.7 billones de ingresos destinados desde 1976
EE.UU	La Ley Energética de 2005 requiere incrementos en el uso de bioetanol desde 4 billones de galones en 2006 a 7,5 billones de galones en 2012 (un incremento en la meta a 2.78% para 2006).	Crédito Tributario sobre el Etanol (VEETC por sus siglas en inglés): US\$ 0,51/galón a los refinadores de gasolina. Los pequeños productores obtienen un crédito tributario de US\$ 0,10/galón por los primeros 15.000 galones Subvenciones y programas de préstamos Protección de importaciones: Sobretasa de US\$0.54/galón sobre la tarifa normal a las importaciones de bioetanol Crédito tributario de US\$1/galón de biodiesel mezclado con petrodiesel	Créditos tributarios Exenciones del impuesto al combustible Incentivos federales y estatales para adquirir FFV Mandato para usar bioetanol en los vehículos gubernamentales Préstamos de asistencia	Todos los autos construidos después de 1980s operarán con E10 Venta de FFVs La Ley Energética de 2005 remueve el requerimiento de oxigenado	US\$140 millones (€117 millones) en impuestos federales por el Highway Trust Fund entre 1978 y 2004. Los incentivos tributarios establecidos por la Ley de Energética de 2005 sobre biocombustibles tendrá un costo de US\$375 millones (€311 millones) entre 2006 y 2012. La exención tributaria durante el 2004 fue de US\$1,7 billones
Canadá	3.5% de bioetanol en el combustible de transporte para el 2010	Algunas provincias eximen al bioetanol del impuesto de carreteras	Exención tributaria de €0,07/lt	Todos los autos construidos después de 1980 operarán con E10 Venta de FFVs	Exención tributaria de €62,5 millones más otras subvenciones en capital

UE (en general)	La Directiva 2003/30/EC establece metas para el consumo de biocombustibles dentro de la mezcla de transporte: 2% para 2005 5,75% para 2010		La Directiva 2003/96/EC otorga una exención total o parcial sobre el impuesto a los combustibles. Tasas de impuestos mínimas efectivas sobre gasolina sin plomo premium, combustible diesel y petróleo para calefacción de: € 359/m ³ , € 302/m ³ y € 21/m ³ , respectivamente. Para el diesel, la tasa mínima será incrementada a € 330/m ³ hacia enero de 2010	Todos los autos construidos después de 1980 operarán con E10 Venta de FFVs	Exención tributaria de €62,5 millones más otras subvenciones en capital
Suecia	3% en 2005 (en contenido energético)	Incentivo tributario para la construcción de nuevas plantas Acceso a las provisiones de la PAC de la UE Subvenciones de capital Cuotas	Bioetanol: Exención tributaria (Exención total de €520/m ³ , a ser revisada anualmente) Biodiesel: Exención tributaria (€344/m ³)		Entre 1996 y 2006 las exenciones tributarias fueron de = €2.000 millones y se espera que aumenten a €9.000 millones para 2009
Francia	(ver UE)	2003, la exención tributaria fue de 380/m ³ comparado con €502,3/m ³ en 2002	Biodiesel: un crédito tributario de €330/m ³ se permite para la mezcla de combustibles en motores 2004 (con una cuota de 387.500 toneladas en 2004 y de mezclas de hasta 5%. No cubre al biodiesel puro		
Alemania	(ver UE)	2003, la exención tributaria fue de 380/m ³ comparado con €502,3/m ³ en 2002	Biodiesel: un crédito tributario de €330/m ³ se permite para la mezcla de combustibles en motores 2004 (con una cuota de 387.500 toneladas en 2004 y de mezclas de hasta 5%. No cubre al biodiesel puro		
Reino Unido	(ver UE)		A partir de enero de 2005 un incentivo tributario de 20 p/l (€138/m ³) tanto para el bioetanol como para el biodiesel		

España	(ver UE)		Bioetanol: no existe impuesto, otorgando una exención total equivalente a un crédito tributario de € 390/m ³ Biodiesel: no hay impuestos (ahorro de € 294/m ³)		
Italia	(ver UE)		Biodiesel: crédito tributario total de €403/m ³ (con una cuota de 300.000 toneladas y usado en mezcla combustibles para motor de hasta un 5%) Exención tributaria total cuando es usada para calefacción		
India	5% en un futuro próximo	Subsidios a los insumos Créditos tributarios y préstamos	Exenciones al impuesto al combustible Precios garantizados		
Colombia	B5 obligatorio desde septiembre 2005				
Perú	Bioetanol (B7.8) obligatorio desde 2006 en la principales ciudades y a nivel nacional a partir de 2010				

Tomado de: Dufey (2007)

3.5 Dimensiones de la sostenibilidad de la producción de biodiesel

Los biocombustibles son renovables por naturaleza y por tanto pueden proveer un flujo continuo y permanente de energía por lo que podrían ser un mecanismo para superar la creciente demanda energética y el inminente agotamiento de los combustibles fósiles que implicaría, de no contar a tiempo con un sustituto, la elevación desmedida de los precios de los combustibles fósiles en relación indirecta con el stock de petróleo y su respectivo impacto sobre la economía (Sonnet, 2007). Se debe añadir que esta característica y su implicación de reutilización los convierte en una alternativa no solo limpia, sino también sostenible.

Por otro lado, la producción de biodiesel plantea una alternativa atractiva ya que la composición química del biodiesel reduce las emisiones de GEI, material particulado y azufre; su producción necesita de biomasa que es cultivada en zonas rurales lo que promueve el desarrollo de los sectores más vulnerables de la sociedad; y, finalmente la nueva industria podría ser un desencadenante del crecimiento y la dinamización de los diferentes sectores de la economía, A primera vista parecería adecuado promover el nacimiento y desarrollo del biodiesel, sin embargo, tal como lo señala Martínez-Alier (1999) la toma de recursos de la naturaleza por parte de la sociedad para producir energía no permite alcanzar la sostenibilidad ni el desarrollo sostenible, que de acuerdo al Informe Bruntland se define como aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (WCED, 1988), por tanto se hace necesario encontrar una solución de compromiso que permita la explotación racional de los recursos (Munda, 2002).

Existen varios criterios que deben ser analizados para llegar a una solución de compromiso, por esto, un aspecto relevante que debe ser considerado en la valoración del biodiesel es que a su interior se encuentran tres dimensiones: ambiental, económica y social, dimensiones que no son aisladas sino que por el contrario actúan como un sistema en constante cambio. Aparte de esta consideración, es necesario también tomar en cuenta que las valoraciones del sistema pueden realizarse a diferentes escalas y por tanto desde perspectivas distintas. Lo que desde ningún punto de vista es subjetivo es que cualquier proyecto será viable si en el campo ecológico y económico es viable y

además es deseable su implementación desde la perspectiva social, por tanto debe darse un equilibrio en las dimensiones consideradas, elemento que en sí mismo es la sostenibilidad (Van Hauwermeiren, 1999).

3.5.1 Dimensión Económica

3.5.1.1 Diversificación energética

Varios son los factores que impulsan a apoyar el biodiesel como política. Uno de los principales es garantizar el acceso de un país a energía a precios razonables o en otras palabras a asegurar su independencia energética. Este hecho tiene su origen en las preocupaciones por el comportamiento del mercado de petróleo que se desenvuelve lejos de la eficiencia neoliberal de los mercados. Por un lado existe una demanda creciente por parte de los países en desarrollo y sobre todo el vertiginoso crecimiento de China e India presionará aún más a los niveles de producción actual. Otro factor que incide sobre el mercado es el monopolio en la oferta que concentra el 75% de la producción en Medio Oriente y más de la mitad de esa producción concentrada de acuerdo a la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2006) en tan sólo 5 empresas (British Petroleum, Chevron, ConocoPhillips, Exxon, Shell). Estos factores influyen para que los precios se formen en un mercado especulativo que toma en cuenta la futura demanda y datos irreales sobre las verdaderas reservas.

Las perspectivas para el mercado energético mundial hasta el año 2030 presentan una tendencia marcada al alza que llegará a 106 millones de barriles diarios en el 2030 (IEA, 2008). De esta demanda la mayoría proviene de los países No-OECD con tasas de crecimiento próximas a los 4 puntos porcentuales. El hecho de que la oferta se encuentre concentrada en la OPEP aumentará su participación relativa en la oferta energética agregada aumentando los movimientos regionales de crudo manteniendo las preocupaciones sobre la seguridad energética (IEA, 2007). En el año 2000 los países OECD importaron 24.2 millones de barriles diarios y se proyecta que para el año 2015 importen 27.1 mbd. Este crecimiento es relativamente muy pequeño en comparación con el crecimiento que presentará China e India que durante el mismo período aumentarán sus importaciones de petróleo de 1.4 a 7.7 para el primer caso y de 1.6 a 3.3

mbd para el caso indú. En general el incremento en el comercio de petróleo aumentará en 12 mbd en 15 años (IEA, 2008).

Esta demanda (y su proyección) no podrá ser cubierta por mucho más tiempo por medio de los combustibles fósiles ya que son un recurso agotable y que como tal, se extrae y es finito. En relación a esta restricción, los biocombustibles surgen como una alternativa energética mundial y están llamados a jugar un rol estratégico, sobre todo teniendo en cuenta que el transporte representa un 27% del consumo secundario de energía del planeta y es alimentado casi exclusivamente por hidrocarburos; en el año 2050 se espera que su participación suba al 32%. El aumento en la demanda de biocombustibles estará asociado a la reducción de las reservas de petróleo a nivel mundial y a sus beneficios medioambientales.

Uno de los factores que llevan a considerar la producción de biocombustibles es la crisis del petróleo y sus perspectivas futuras en cuanto al stock para sostener la demanda. Para el año 2025, los Estados Unidos de Norteamérica consumirán 120 millones de barriles diarios y la producción mundial bordeará 121 millones b/d. Esto significa que, aún sin tomar en cuenta el surgimiento de las economías asiáticas, la provisión mundial apenas y alcanzaría para abastecer la cuarta parte del consumo mundial de mantenerse las condiciones actuales. Los factores mencionados sumados al delicado balance entre los productores y los consumidores ponen énfasis en la vulnerabilidad global a un shock en los precios del petróleo o a disminuciones significativas en la producción poniendo en riesgo la economía mundial. Este punto evidencia la necesidad de diversificar la matriz energética por medio del desarrollo de alternativas como la del biodiesel.

Para el caso ecuatoriano, la independencia energética no es un tema extraño ya que a pesar de ser un país exportador de petróleo, es dependiente de la importación de derivados. Durante el período 2000 – 2009 las exportaciones de crudo representaron en promedio el 28% del Producto Interno Bruto (PIB) y a pesar de ese hecho las importaciones de derivados pasaron de 17,3 a 32,2 millones de barriles entre 2004 y 2009 (es decir que el país requiere importar entre el 40 y el 60% de su demanda de combustibles) lo que sumado a la caída en la refinación de derivados pone de manifiesto la fuerte dependencia de la economía ecuatoriana a la importación de combustible (BCE, 2011)

3.5.1.2 Ahorro de divisas

Que un país sea un importador neto de derivados de petróleo tiene un impacto directo sobre su presupuesto y la cantidad de este que destina a inversión social. Para el caso de las economías en desarrollo este tema se vuelve crucial ya que los recursos que se destinan a la importación no se invierten en el crecimiento económico interno. En este contexto los recursos que se destinan a la importación y subsidio de derivados podría destinarse para implementar incentivos al desarrollo de una nueva industria local que dinamice la economía y promueva el desarrollo de zonas que no se encuentran totalmente insertadas en la economía moderna.

Como se mencionó en el apartado anterior el Ecuador es un importador neto de derivados y durante el período 2004 – 2009 tuvo una producción promedio de 65 millones de barriles de derivados al año la que en su máximo produjo 68.5 mb. Esta tendencia estacionaria en la producción de derivados no se observó en las importaciones de derivados, rubro que aumento prácticamente dos veces y media aumentando de 17,3 millones de barriles a 41 millones de barriles lo que en el año 2010 implicó un desembolso de 3.585 millones de dólares y en los últimos siete años sumó 15.400 millones de dólares.

En términos relativos las importaciones de diesel han ido perdiendo terreno con respecto a las importaciones totales de derivados pero este hecho no se debe a una mayor producción de diesel sino a un mayor crecimiento del sector del transporte que utiliza gasolina. Este hecho puede ser contrastado también en el hecho de que en términos monetarios las importaciones de diesel siguen contando con aproximadamente el 50% de las importaciones totales.

Tabla 7. Producción e Importación ecuatoriana de derivados

(Miles de barriles)

Año	Producción			Importación			Consumo		
	Diesel	Gasolina	GLP	Diesel	Gasolina	GLP	Diesel	Gasolina	GLP
2004	11.866	10.312	2.184	5.539,9	4.649,2	7.158,7	15895,09	11684,67	6413,51
2005	12.459	10.628	2.120	8.122,3	6.037,7	8.012,7	21013,31	11854,05	6737,31
2006	12.056	11.355	2.114	11.324,7	6.176,3	8.431,9	20039,34	13801,75	7136,78
2007	11.179	12.629	1.401	11.844,5	7.784,7	9.699,7	20487,95	14870,07	7433,65
2008	11.188	13.308	2.073	11.159,6	7.413,1	9.286,4	22389,13	16189,83	7632,66
2009	11.180	14.265	2.159	13.674,8	9.377,0	9.127,5	22752	16787,8	7740,99

Fuente: Anuario Banco Central del Ecuador 2011

3.5.1.3 Costos de producción

Una de las principales barreras para el aumento de la inversión en el biodiesel son sus costos los cuales son superiores al del bien que sustituyen (combustibles fósiles), sin embargo los precios actuales del crudo y sus derivados así como las tendencias crecientes en el precio, los vuelven más competitivos en relación al fósil, además cabe mencionar que los precios del petróleo y de sus derivados se encuentran distorsionados ya que no se encuentran internalizados los costos externos y aún así se internalicen, reciben un fuerte apoyo fiscal para mantener sus precios en los niveles más bajos posibles (COM, 2006)

Los costos de producción de los biocombustibles no son los mismos para todas las regiones ni para toda la biomasa utilizada en el proceso. Por ejemplo el biocombustible menos competitivo debido a sus costos es el bioetanol proveniente del maíz estadounidense debido principalmente al bajo contenido energético del cereal (Dufey, 2006). Muy por encima de ese rendimiento se encuentran los cultivos de caña de azúcar de Brasil y en el caso del biodiesel se observan diferencias entre los costos del girasol, la palma africana y el piñón.

Por ejemplo los costos del bioetanol estadounidense se vuelven competitivos con precios del petróleo de USD. 60 el barril mientras que el producido por Brasil es competitivo con precios del petróleo de entre 20 y 30 dólares el barril. El hecho de que existan diferencias tan marcadas en los costos es un determinante para la fijación de exenciones tributarias y la implementación de subsidios tanto a la producción de

biodiesel como a la siembra de biomasa. Los costos promedio de producción de biodiesel se encuentran alrededor de 53 centavos de dólar el litro o de 2 dólares el galón (Hass et al, 2005; Johnston, 2006).

De acuerdo a Albán y Cárdenas (2007) la demanda interna de diesel no podrá ser satisfecha ya que más allá de la capacidad de extracción de crudo, la capacidad de refinación de Petroecuador alcanzará su máximo en 14.6 millones de barriles al año y como ejemplo la demanda de diesel será de 40.2 millones de barriles en el año 2025. Este hecho es de crucial importancia debido a que los recursos que se dejen de destinar a la importación del diesel, basados en una mezcla de 10% o B10, debe destinarse a cubrir la producción doméstica de biodiesel.

Si se toma en cuenta que la producción de palma tiene un excedente de producción de 140.000 toneladas al año se puede realizar el siguiente análisis. Tomando como base un precio de importación para el barril de diesel de USD. 88 se obtiene un precio por galón de 2.1 dólares, de los cuales 1.1 dólar corresponde al subsidio que otorga el Estado (52% del precio total de importación). Ahora, la demanda de diesel en el año 2009 fue de 26'619.483 barriles (Petroecuador, 2009) y si se define una mezcla B10 tenemos que al año se debería cubrir un total de 2.661.948 barriles que significan 234.251.424 dólares de los cuales debido al subsidio el Estado podría destinar el mismo 52%, es decir 121'810.740,48 dólares al subsidio del biodiesel obteniendo un resultado incluso superior que el diesel fósil debido a que el precio promedio del biodiesel se ubica en dos dólares.

3.5.1.4 Diversificación de la industria y desarrollo tecnológico

La transformación del aceite ya sea de palma o de piñón representa una oportunidad para añadir valor agregado a la producción agrícola y de esta manera contribuir al desarrollo del sector rural brindándole un mecanismo para generar riqueza. La implementación de la refinación de biodiesel requiere de la instalación de una planta de refinamiento y de la tecnología necesaria para procesar el cultivo energético. Al implementar la planta se da un efecto de *spread* de la tecnología en los sectores rurales lo que permitirá aumentar los rendimientos de la tierra, diversificar su producción, combinar el sector industrial con la producción agrícola y diversificar su producción.

Como producto del proceso de transesterificación se genera glicerina que es utilizada en la industria farmacéutica y en la de alimentos y de cosméticos. Los productores tienen en este subproducto una oportunidad de disminuir los costos de refinación de biodiesel a la vez que se desarrollan industrias que aún son incipientes en el Ecuador. El hecho de diversificar la industria y de modernizar el sector agrícola significa que se generarán mayores ingresos para el país. En Colombia por ejemplo se estima que la implementación de la producción de biodiesel aumentará el PIB en un 3% y Parson (2005) estima que la refinación de biodiesel incrementa las ventas de aceite en un 15%.

3.5.1.5 Rendimiento y Competitividad

El tema de competitividad está bastante relacionado a los costos que se dividen básicamente en costos de capital y en costos operativos. Dentro de los costos de capital se encuentran los relacionados a la planta de refinación y son básicamente el equipo de procesamiento, la tubería y el material eléctrico mientras que el costo más importante por el lado operacional es la compra del aceite para refinar y el metanol. Los costos de capital dependen de la cantidad de biocombustible que se desee refinar y los costos operacionales estarán sujetos a tal capacidad y a los precios del aceite, sin embargo de manera general la estructura de los costos se divide como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8. Composición de Costos del biodiesel

Costos de Capital	
Costo	Porcentaje
Equipo de Procesamiento	35
Tubería	21
Material Eléctrico	12
Estructuras	10
Seguridad	9
Aislamiento	7
Obra civil	3
Instalaciones	3
Costos Operacionales	
Costo	Porcentaje
Aceite Vegetal	76.3
Metanol	5.3
Catalizadores	1.3
Costos de transformación	17.1

Los costos están relacionados a su vez con dos mercados que son bastante volátiles ya que por el lado de los costos operacionales se depende del precio del aceite crudo así como del precio del petróleo. Estos elementos inciden directamente sobre el precio final del galón de biocombustible. Los precios del aceite de palma han mostrado una tendencia marcadamente creciente y se ha acelerado en los últimos años. En el gráfico 32 se puede observar como las tendencias de los precios del petróleo y los del aceite de palma mantienen la misma tendencia. Pero en relación a los costos el petróleo no sólo influye como bien sustituto, sino que es también un insumo en la fase de siembra por medio de los fertilizantes y en la fase industrial como combustible así como en la etapa de transporte.

Un aspecto final que incide de manera importante sobre los costos y la competitividad es el subsidio que se brinde ya que por medio de esa compensación los agricultores y productores de biodiesel pueden mantener artificialmente menores costos y así mantener una rentabilidad mayor que no alcanzarían debido a los elevados costos de producción y del aceite. La discusión acerca de los subsidios necesarios para que los biocombustibles sean competitivos, y el argumento que son una carga para el Estado o para las empresas que los producen, puede ponerse en tela de duda. Observando el programa brasileño de biocombustibles PROALCOOL, que ha funcionado desde 1975, es una muestra del efecto multiplicador que estos subsidios pueden tener sobre la economía. En la actualidad los biocombustibles producidos en Brasil ya son rentables y los de mayor competitividad a nivel mundial. Además de este punto se debe pensar que tal protección creó una nueva industria (derivados de glicerina) y que fortaleció la existente (agricultura) y hoy es un sector importante de las exportaciones brasileñas.

Otro aspecto que se toma en cuenta es la productividad y la eficiencia energética de los biocombustibles en relación a los combustibles fósiles, la cual es inferior para el caso de los cultivos energéticos, por lo que según Ulgiati (2001) se debe dar un incremento de la producción lo que a su vez produciría mayor cantidad de subproductos, los que no contarían con mercados para su localización convirtiéndose en desechos y encareciendo aún más sus costos.

Gráfico 32. Precios nacionales del aceite de palma

(Dólares corrientes)



Fuente: FEDAPAL, BP.

No obstante lo mencionado, el cultivo energético puede tener retornos positivos si se analiza el factor social, en donde se puede generar empleo en los sectores más vulnerables de la población y potenciar el sector agrícola de la economía. De igual manera, aunque en un territorio de incertidumbre, se podría esperar que la tecnología permita aumentar la productividad sin causar los efectos nocivos por el uso de fertilizantes.

3.5.2 Dimensión Ambiental

3.5.2.1 Reducción de emisiones

Sin lugar a dudas el aspecto más importante para la promoción de los biocombustibles es la reducción de emisiones de GEI y los beneficios que esto conlleva tales como la disminución de CO₂ en la atmósfera, disminución de lluvias ácidas, eliminación de material particulado y disminución de la incidencia de enfermedades en las zonas urbanas debido a la contaminación. Esta reducción tiene un impacto positivo tanto a nivel macro (reducción del calentamiento global) como a nivel micro con la reducción de contaminación en las ciudades tal como se mencionó.

De acuerdo a Russi (2008b) al comparar las emisiones producidas por el diesel fósil con las producidas por el biodiesel, estas son similares debido a que el biodiesel tiene un contenido energético inferior por lo que no es correcto hacer una comparación 1:1, sino que por el contrario las emisiones finales del biodiesel deben multiplicarse por un factor de conversión que dependerá del rendimiento específico para una zona. Este concepto es correcto, sin embargo sólo se podría aplicar para el porcentaje de emisiones producidas por la quema del biocombustible y no para todo el ciclo de vida. Lo anterior no aplica a los combustibles fósiles ya que en la comparación de emisiones se los toma como base. La razón por la que el diesel fósil presenta siempre emisiones a la atmósfera y no es posible reducirlas es que al extraer petróleo de la tierra también se está extrayendo CO₂ que fue capturado millones de años atrás en una época rica en carbono.

Desde el punto de vista del ciclo de vida del biodiesel la cantidad de emisiones es en parte un problema de escala. Dentro de la producción de biodiesel se tiene un ciclo agrícola, uno intermedio de transporte hacia la planta, el proceso de refinación en sí y la distribución. Venturi y Venturi (2003) en una aproximación hacia el ciclo de vida del biodiesel argumenta que conforme la producción de biodiesel aumente, las emisiones también lo harán debido a que las cantidades de fertilizantes y pesticidas y la intensidad del transporte aumentarán por lo que descartan una reducción considerable con una posible producción a escala dado que cuanto mayor sea la cantidad de biomasa producida, mayor cantidad de combustibles fósiles se hacen necesarios dentro del proceso, por lo que el sistema tiene en sí mismo su propia restricción. Pleanjai (2004) y Ling (2005) al analizar el ciclo de vida concluyen que el desarrollo de plantaciones de biomasa tomando en cuenta la intervención de los combustibles fósiles en el proceso y la contaminación final (carburación en los motores) muestran que no hay beneficios en la reducción de CO₂ ya que el carbón secuestrado en parte del proceso es nuevamente emitido a la atmósfera durante la combustión.

El biodiesel es producto de un tratamiento químico de un aceite vegetal por lo que proviene de un sembrío. Las plantas mediante la fotosíntesis capturan CO₂ en la tierra y lo almacenan por lo que las emisiones producto de la quema del biodiesel se consideran neutras dado que en su siembra y crecimiento la biomasa ya capturó el CO₂ emitido. Este no es el caso de las demás partes del ciclo de vida que como se anotó constituyen básicamente el transporte y la refinación, sin embargo al utilizar los desechos de la

biomasa para generar trabajo en la planta refinadora se están reduciendo aún más los inputs fósiles.

Dentro de las etapas mencionadas o que se podrían considerar emisiones directas se utilizan combustibles fósiles en el sembrío, en el transporte y en los fertilizantes y pesticidas. En la etapa de refinamiento durante la transesterificación y la generación de derivados como la glicerina. Las emisiones producto de la quema del biocombustible son neutras por la razón mencionada y finalmente se tiene un crédito de carbono cuando no se remueven zonas forestales para la siembra de la biomasa o se incrementa la frontera agrícola (Searchinger et al, 2008). En la siguiente tabla se detallan las emisiones del bioetanol y del biodiesel.

Tabla 9. Comparación de las emisiones por etapa del bioetanol y la gasolina fósil.

(Gramos por kilómetro conducido en CO2 equivalente)

	Siembra / Extracción	Refinamiento	Combustión	Cambios en el uso de la tierra		Total emisiones	%
				Crédito de Carbono	Cambio en el uso de la tierra		
Gasolina	11	47	220	0		278	
Etanol puro de maíz	72	121	215	-188		221	-20%
Biomasa de etanol	29	26	215	-188		83	-70%
Etanol de maíz (1)	72	121	215	-188	316	536	93%
Biomasa de etanol (2)	29	26	215	-188	336	418	50%
(1) Asume cambios en el uso del suelo							
(2) No se considera el crédito del carbón							

Fuente: Searchinger et al, 2008

En la tabla anterior se puede notar como el bioetanol presenta reducciones de hasta 20% respecto de la gasolina fósil y para el caso de la biomasa del bioetanol la reducción de las emisiones se incrementa hasta 70%. El estudio que presenta los datos incluye una columna en la que se asume que se dan cambios en el uso del suelo tales como quema de bosque o pastizales, aumento de la frontera agrícola y monocultivos energéticos; sin embargo si tomamos los datos antes de esa consideración los ahorros en emisiones aumentan para el caso de la biomasa de etanol ya que durante la siembra, refinamiento y combustión produce 82 gramos de CO2 por kilómetro mientras que la gasolina genera 278 ahorrando un 70% en emisiones.

Tabla 10. Comparación de las emisiones del biodiesel y el diesel fósil.

Tipo de Emisión	B100	B20
	Emisiones en relación al diesel fósil	
Reguladas		
Total Hidrocarburos	-67%	-20%
Monóxido de Carbono	-48%	-12%
Material Particulado	-47%	-12%
No _x	+10%	+2% to -2%
No Reguladas		
Sulfatos	-100%	-20%
Hidrocarburos Aromáticos	-80%	-13%
Hidrocarburos Aromáticos Nitrosos	-90%	-50%

Fuente: National Biodiesel Board (NBB), Biodiesel Fact Sheets, Emissions.
<http://www.biodiesel.org/resources/fuelfactsheets/>

Como se muestra en la Tabla 10 con el uso de biodiesel se da una reducción en las emisiones no solo de monóxido de carbono sino de los hidrocarburos que son producto de la quema de combustibles fósiles así como también se disminuye la cantidad de material particulado en un 12% y los óxidos nitrosos que provocan enfermedades dérmicas y lluvia ácida decaen en 2%. Uno de los contaminantes más tóxicos que producen los combustibles fósiles es el azufre que está asociado a enfermedades cancerígenas y con el uso de una mezcla B20 se reduce las emisiones en 20% así como también se reducen las emisiones de hidrocarburos aromáticos. A pesar de las consideraciones sobre el ciclo de vida el biodiesel se muestra más eficiente que el diesel en términos de reducción de emisiones por lo que en este aspecto es una opción más sustentable.

Lo anterior tiene su base en que por un lado el CO₂ emitido es previamente capturado durante la etapa de siembra del cultivo energético y lo más importante en relación a las emisiones es que es una alternativa a los combustibles fósiles ya que cambia la matriz energética evitando emisiones futuras. Ling (2005) realiza una comparación entre los beneficios de la reforestación y los de producción de biodiesel y encuentra que a largo plazo la segunda opción es más sustentable debido a que el bosque captura CO₂ pero no constantemente ni en la misma proporción y argumenta que un bosque maduro captura tan sólo un 50% de monóxido de carbono que en su etapa de crecimiento y que inclusive en su etapa de madurez comienza a liberar CO₂ nuevamente a la atmósfera. Bajo el supuesto de que no se talen zonas forestales para reemplazarlas por

monocultivos muestra que la reforestación es una opción a corto plazo o en sus palabras una opción que nos compra tiempo para encontrar una solución. Las emisiones totales para el ciclo de vida tanto de la palma africana como para el piñón se resumen en la siguiente tabla

De la Tabla 11 podemos obtener las siguientes conclusiones. En primer lugar se observa que la mayor cantidad de emisiones se produce por los cambios en el uso del suelo los cuales cuentan con más del 75% en el caso del bosque de 15 años. Para el caso de las etapas del ciclo de vida del biodiesel las emisiones son más equilibradas. Se puede observar que de no existir cambios en el uso del suelo las emisiones son bastante más reducidas que las del diesel fósil que son de 3.2 kg CO₂/kg biodiesel. Para el caso de la palma en el caso del menor rendimiento (Palma 2) se tienen más emisiones pero no muy superiores que las del fósil. Para el caso del piñón las emisiones son bastante mayores debido a que el rendimiento por hectárea es inferior que el de la palma africana pero al suprimir este efecto el rendimiento es similar al de la palma africana (Bruinsma, 2009)

Tabla 11. Emisiones de CO₂ por cultivo y etapa de procesamiento

(Kilogramos/litro)

Emisiones por ciclo de vida en comparación con bosque secundario de 15 años				
	Palma (1)	Palma (2)	Piñón (3)	Piñón (4)
Cambio en el uso del suelo	1.98	2.66	10.06	33.52
Cultivo	0.08	0.05	0.08	0
Extracción	0.06	0.06	0.21	0.21
Procesamiento	0.48	0.48	0.48	0.48
Total con cambio en el uso del suelo	2.6	3.25	10.83	34.21
Total sin cambio en el uso del suelo	0.62	0.59	0.77	0.69
Emisiones por ciclo de vida en comparación con bosque secundario de 3 años				
	Palma (1)	Palma (2)	Piñón (3)	Piñón (4)
Cambio en el uso del suelo	-1.59	-2.13	0.1	0.2
Cultivo	0.08	0.05	0.1	0
Extracción	0.06	0.06	0.2	0.2
Procesamiento	0.48	0.48	0.4	0.5
Total con cambio en el uso del suelo	-0.97	-1.54	0.8	0.9
Total sin cambio en el uso del suelo	0.62	0.59	0.7	0.7
(1) Rendimiento de 25 toneladas por hectárea				
(2) Rendimiento de 17 toneladas por hectárea				
(3) Rendimiento de 1500 litros por hectárea				
(4) Rendimiento de 890 litros por hectárea				

Fuente: Bruinsma, 2009

Para el caso de sustituir un bosque secundario de tres años de edad la palma muestra un rendimiento beneficioso ya que no sólo que sus emisiones son inferiores que las del diesel, sino que captura CO₂ en el suelo y para el caso del piñón las emisiones son

prácticamente neutras en todo el ciclo de vida. Considerando las emisiones del diesel mencionadas tenemos que para el caso del bosque secundario de quince años, la palma reduce las emisiones en aproximadamente 81% mientras que el piñon las reduce en 77%. Para el segundo caso se observa un comportamiento similar tanto para el pinón como para la palma.

De acuerdo a Carpintero (2006) el balance en la reducción de emisiones es cero pero no se considera el cambio en la matriz energética y el ahorro en emisiones en el tiempo así como la posibilidad de generar energía para las plantas procesadoras a partir de los desechos de la biomasa. El éxito en la reducción de las emisiones debe venir de la mano de políticas claras que no permitan la proliferación de monocultivos intensivos en el uso de fertilizantes y que se dé un control adecuado sobre la expansión de la frontera agrícola. La efectividad depende asimismo de la inversión en tecnología y el aumento del rendimiento energético ya que eso significará mayor reducción de emisiones y en las cantidades de tierra necesarias.

3.5.2.2 Rendimiento energético

Detrás del uso de los biocombustibles como sustitutos para los combustibles fósiles se encuentran argumentos tales como la seguridad energética y la disminución de las concentraciones de GEI. Para que esta sustitución tenga sentido en un sentido energético y económico es necesario que la inversión que se realiza en el biocombustible sea inferior que el resultado obtenido o el retorno o beneficio de tal inversión, ya sea esta monetaria o energética (FAO, 2008). Para conocer si el retorno energético amerita la sustitución a otra forma de energía se utiliza el retorno neto de energía que es el ratio de la energía obtenida y la energía utilizada para producirla. Si un determinado sistema energético ha de ser viable entonces el ratio debe no sólo ser positivo, sino que en comparación a la gasolina (caso del etanol) debe ser mayor que 0.8 y mayor que 0.9 para el caso del biodiesel sin importar la biomasa utilizada.

Qué tan rentable energéticamente es un cultivo depende de varios factores pero básicamente se puede conocer la cantidad de energía que contiene y la que se utilizó en el proceso productivo. Entre los factores que influyen para un mayor o menor rendimiento energético están la biomasa utilizada, el rendimiento de fruto por hectárea,

el rendimiento de aceite por fruto y la cantidad de energía fósil utilizada en el ciclo de vida del biodiesel (FAO, 2008).

Los resultados obtenidos incluso para un mismo cultivo y regiones con rendimientos similares difieren entre la literatura existente debido a que no se llega a un consenso en que insumos son necesarios incluir para compararlos con el resultante de energía. Por ejemplo existen autores que toman en cuenta el bagazo como combustible para las plantas de procesamiento o como alimento para el ganado (Kallivrousis, 2002; Giampetro y Ulgiati, 2005); en otros estudios se analiza el consumo energético tomando en cuenta el transporte de la biomasa (Venturi y Venturi, 2003) y por el contrario otros autores asumen que el procesamiento se da en el lugar de siembra (Janulis, 2004). Otro aspecto que incide en los resultados finales se centra en la discusión de la necesidad de incluir los costos energéticos de la construcción de la planta y las facilidades del complejo, sin embargo este punto es bastante discutible ya que las facilidades son compartidas por varios procesos que son incluso simultáneos e interdependientes.

De acuerdo a Ballenilla (2007) los factores que se deberían considerar son i) la energía utilizada para mantener el proceso (creación de infraestructura, mantenimiento de infraestructura y funcionamiento del proceso); ii) Fuente energética; y, iii) energía disipada en el proceso. Dentro de las fases de inversión energética mencionada se toman en cuenta los residuos que se generan previa la extracción, el rendimiento de aceite, el rendimiento del bagazo, la producción de fuentes alternativas tales como el biogás, la energía contenida en los residuos y la cantidad de efluentes producto del tratamiento de los residuos que se utilizarán como fertilizantes (Huerga, sin año).

Los retornos netos de energía son bastante divergentes debido a los problemas en la valoración y del tipo de cultivo y área que se estudie. Para el caso de la palma africana Ballenilla (2007) encuentra un rendimiento promedio de 6,5 para el caso de Colombia y en el caso de Brasil el rendimiento aumenta debido a mayores rendimientos de la tierra y la cantidad de lluvia al año hasta alcanzar en promedio un retorno de 8,7. Por su lado la FAO (2008) encuentra rendimiento bastantes superiores para el caso del biodiesel de la palma africana proveniente de Malasia e Indonesia con un rendimiento de 20.6 y 17.8 respectivamente y muy por debajo se encuentra el biodiesel producido a partir de la

soya con un rendimiento de 2.7 para Estados Unidos y de 2.4 para Brasil y señala que el rendimiento promedio para la palma se ubica en 9.

Aparte de los aspectos mencionados que inciden en el rendimiento energético se debe tomar en cuenta que los países desarrollados mantienen cultivos que son intensivos en el uso de pesticidas y de fertilizantes y que el rendimiento de la tierra es inferior que el de los países en desarrollo. Este plantea un problema en la definición de una política objetiva ya que por un lado la biomasa que se define por país o región no dependerá necesariamente de una mayor eficiencia sino de los precios que se definan en el mercado. De otro lado el mayor rendimiento presentado en los países en desarrollo se ve afectado porque los países desarrollados imponen duras barreras a las importaciones con la intención de proteger su sector agrícola y el desarrollo de la industria de esta energía alternativa.

En cuanto al rendimiento del piñón la literatura es más escasa debido a que su producción no se encuentra en la misma etapa de madurez y son pocos los países que lo han escogido para producirlo en mayor escala. En un estudio realizado por Buinsma (2009), el autor define dos escenarios para determinar el balance energético¹⁰ del piñón. En el primer escenario (1500 litros por hectárea) encuentra un balance de 4.7 y en el escenario 2 con una producción de 890 litros por hectárea el balance se incrementa a 5,5. Este hecho se debe a que el primer escenario es más intensivo en el uso de insumos en la producción, lo que es evidencia de la crítica de la Economía Ecológica a la agricultura moderna en cuanto a que a mas intensiva se torna la actividad agrícola (maquinaria, fertilizantes, pesticidas, etc.) menores son los retornos de la tierra.

Huerga (sin año) encuentra un retorno energético de 11.36. Debido a que en el Ecuador no se cuenta con una experiencia propia, para el presente estudio se utilizarán los datos encontrados en la literatura.

Dado que los rendimientos de Estados Unidos o los de Europa diferirían mucho más que los datos obtenidos para Colombia debido a los rendimientos de la tierra, el clima y las variedades utilizadas, se tomará como aproximación el dato encontrado para

¹⁰ Ratio entre la energía contenida en el biodiesel y la energía total utilizada en su producción.

Colombia de 6.5 en el caso de la palma africana. Para el caso del piñón se utilizará el estudio realizado para la producción en Perú debido a que las zonas áridas son similares a las del Ecuador, es decir se asignará el rendimiento de 5.5.

3.5.2.3 Uso del suelo y expansión de la frontera agrícola

El uso del suelo está directamente relacionado con la productividad que tenga un determinado cultivo energético. Esto implica que a mayor rendimiento, menor será la cantidad de tierra que se necesite para cubrir la demanda de diesel. De acuerdo a Dufey (2007) para el año 2030 los biocombustibles representarían aproximadamente el 20% de la demanda mundial de energía. Ese crecimiento es principalmente promovido por las políticas de Estados Unidos y de Europa lo que podría tener un impacto directo sobre la cantidad de tierra dedicada a la biomasa con fines energéticos.

El rendimiento afecta no sólo la cantidad de tierra utilizada, sino que disminuye el balance energético del biocombustible ya que si bien en un inicio el rendimiento será más alto debido a la calidad del suelo, la energía necesaria para adaptar la nueva tierra implica una inversión extra de energía; esto verbi gracia del aumento en las emisiones producto del carbono liberado con la tala. Un error generalizado que se comete al momento de discutir sobre el uso del suelo es que las tierras llamadas marginales muchas veces corresponden a ecosistemas áridos y al tomarlos como marginales se está afectando el balance medioambiental.

En el Ecuador existen 208.000 hectáreas de palma africana (ANCUPA, 2005) la cual ha sido causante de la disminución dramática del bosque de Esmeraldas, sin embargo actualmente la producción de palma tiene un excedente de 52% que permite que, de viabilizarse la producción de biodiesel a partir de este cultivo, no sea necesaria la incursión en nuevas plantaciones, las cuales se concentran principalmente en la Costa y Amazonía norte del Ecuador.

Las tasas de deforestación en el Ecuador son elevadas y según datos mencionados en el Programa Nacional de Desarrollo elaborado por SENPLADES, se talan anualmente entre 238.000 y 340.000 hectáreas. Tomando en cuenta la gran expansión de los cultivos de palma africana en Esmeraldas el informe señala que en esa provincia se ha

deforestado más de 700.000 has. de bosque nativo. Por otro lado el Ecuador presenta un importante porcentaje de pastizales y cultivos de ciclo corto, los que ocupan casi el 28% del territorio, mientras que la palma y el arroz suman un 9% de superficie y en el caso específico de la palma ha deforestado 8000 has de bosque húmedo de la costa. Dentro de las tierras que presentan problemas para ser cultivadas existe un 5.3% que se encuentran erosionadas o en proceso de erosión (SENPLADES, 2007) las cuales pueden ser aprovechadas para el cultivo del piñón que se podría adaptar a tales condiciones, ofreciendo la oportunidad de aprovechar tierras que actualmente no está destinadas a ningún uso (FAO, 2008)

En cuanto a la recuperación del suelo, incluso de tierras que ya no son viables para la producción de alimento o que fueron degradadas por cultivos intensivos el piñón representa una alternativa real para recuperarlos e inclusive su capacidad de adaptación puede ser aprovechada para mantener cultivos alternativos que se pueden sembrar conjuntamente con el piñón (Arevalo, 2009).

En cuanto a los rendimientos los datos son variados dependiendo de los autores y de la zona en la que se cultive, sin embargo existe un consenso en la cantidad de aceite que contiene tanto la palma como el piñón y que se encuentra entre 30 y 35% del total de la masa del fruto. En la siguiente tabla se resumen los rendimientos para el caso de la palma africana y el piñón.

Tabla 12. Rendimiento de la palma africana y el piñón

(Kilogramos de biodiesel por hectárea)

Rendimiento					
Palma Africana		Fuente	Piñón		Fuente
Min	Max		Min	Max	
-	2000	Villarraga, 2007	-	1590	Biodieselspain
2500	3750	Arévalo, 2009	-	1892	Biodiesel.parque4x4
3360	4800	Bruinsma, 2009	525	2625	Bruinsma, 2009
4450	6900	FAO, 2008	-	1650	Kingswood, 2010
2100	2800	Falasca y Ulberich, 2008	2000	4000	Jatropha
-	3460	Ramírez, 2008a	1840	2800	Ramírez, 2008b
-	5550	Biodieselspain			
-	5950	Biodiesel.parque4x4			

Elaboración propia

3.5.2.4 Recurso Hídrico

Los cambios sobre los recursos hídricos presentan un panorama tan complejo como delicado. De las vertientes y los acuíferos subsisten asentamientos humanos, ecosistemas acuáticos e inclusive las mismas plantaciones por lo que cualquier desequilibrio importante en el agua cambia la interacción entre los integrantes del sistema. La complejidad también se da por el lado de las posibles causas de las afectaciones en relación al cultivo de biomasa para fines energéticos.

Por un lado el problema está ligado a la eficiencia del combustible y al rendimiento por hectárea que se pueda obtener de la plantación ya que a mayor cantidad de aceite se obtenga menos tierra será necesaria para la producción; sin embargo en la búsqueda de altos rendimientos se recurre a cultivos intensivos en el uso de pesticidas y fertilizantes los cuales se filtran hasta alcanzar depósitos subterráneos de agua y luego estos contaminantes pasan a las vertientes.

Un caso específico de este tipo de riesgo se da con el uso del nitrógeno que al concentrarse en el agua aumenta la cantidad de nutrientes y acelera la cantidad de

vegetación acuática lo que a su vez incrementa la cantidad de oxígeno demandado asfixiando a los animales. Este proceso se conoce como eutrofización que puede agravarse de verter las aguas residuales sin tratar directamente en las vertientes.

Otro aspecto del problema se relaciona con el rendimiento pero también con el incremento en la demanda de biocombustibles. Actualmente no se cuenta con la cantidad de biomasa necesaria para cumplir con las metas fijadas por la Unión Europea por lo que al incrementar la eficiencia se soluciona una parte del problema, sin embargo la creciente demanda resultará en una expansión de la frontera agrícola afectando nuevas zonas que no se encuentran expuestas a los cultivos energéticos (CEPAL, 2008).

El agua es necesaria en todas las etapas del ciclo de vida de los biocombustibles. Por ejemplo en la etapa de procesamiento de la biomasa se requiere de este recurso para el lavado de la planta y de la semilla y para la refrigeración evaporativa, sin embargo la etapa agrícola es la que más agua demanda no sólo via precipitaciones y desvío de cauces hidrológicos, sino que con el afán de aumentar los rendimientos se está recurriendo cada vez más al riego mecánico (FAO, 2008).

En cuanto a los requerimientos de agua, el piñón es una especie más eficiente que la palma africana ya que es una especie que se adapta a zonas áridas y si bien para un óptimo rendimiento requiere de una zona con precipitaciones de 600 milímetros anuales puede adaptarse a zonas con 250 milímetros mientras que la palma requiere como mínimo una zona con 1800 mm/año, es decir tres veces más que el óptimo del piñón y para un óptimo rendimiento es necesario que se encuentre en una zona con precipitaciones de 2500 milímetros (Ramírez, 2008a, 2008b)

3.5.3 Dimensión Social

3.5.3.1 Fortalecimiento del sector agrícola y rural

Dentro del debate de los biocombustibles se ha expuesto que su producción puede traer beneficios para la reactivación del sector rural y la calidad de vida de los agricultores y tenientes de tierras ya sea por medio de la creación de un nuevo mercado o de la generación de empleo. Al tratarse de un cultivo nuevo serán necesarias la adopción de

tecnología y la transferencia de conocimientos lo que tendrá un impacto positivo sobre la productividad y una vez que el mercado esté en una etapa de crecimiento la tecnología puede transferirse hacia los demás tipos de cultivo.

Los beneficios de la siembra de cultivos energéticos en Brasil en cuanto a la generación de empleo se estiman, de acuerdo a Moreira (2005), en un millón de plazas de trabajo en los sembríos de caña de azúcar y se espera que esa cifra se incremente en 204.000 nuevas plazas para el presente año. Adicionalmente se menciona que la calidad del empleo es superior en términos de estacionalidad y de incrementos en los salarios. De la misma manera en los Estados Unidos la industria del bioetanol ha creado y mantiene más empleos que cualquier otra rama de la agricultura.

En el caso ecuatoriano, la FABRIL dentro de su programa de biocombustibles ha planteado realizar alianzas con pequeños productores para asegurar la compra de la semilla (Albán y Cárdenas, 2007). El único requisito para la participación en el programa es contar con una extensión de 20 hectáreas de plantación de palma. Pero los beneficios también se presentan para los trabajadores del sector agrícola mediante la generación de empleo, que como se mencionó, se da en mejores condiciones que en otro tipo de cultivos y de la misma manera promueve el emprendimiento asociativo y pondera la cadena de valor.

La búsqueda de mejores rendimientos y el incremento de eficiencia podrían presentar ciertos inconvenientes debido a que para alcanzarla se puede recurrir a la tecnificación masiva de los cultivos restando así la capacidad de generación de empleo de los biocombustibles, por lo que es necesario encontrar un equilibrio que permita alcanzar los mejores rendimientos sin restar empleos del sector. Datos apuntan a que el sector palmicultor genera en promedio un empleo cada 7 hectáreas (Arévalo, 2009; Arboleda, 2008; Goebertus, 2008) mientras que el piñón genera 1.5 por hectárea (Arévalo, 2009; Vera, 2007)

Por otro lado para aumentar el rendimiento de las plantaciones, muchas veces los cultivos se vuelven intensivos en el uso de pesticidas y fertilizantes que, además de los impactos ambientales, tienen consecuencias adversas sobre la salud de los trabajadores. Este es el caso de un estudio realizado por Fundación Natura que encontró una tasa de

58% de afecciones hepáticas y dérmicas relacionadas a los químicos (Albán y Cárdenas, 2007). Serán necesarias entonces regulaciones en cuanto a las condiciones laborales que eviten afecciones a la salud así como realizar controles que eviten el trabajo infantil y promuevan la seguridad y la equidad de género.

De evitarse los inconvenientes mencionados el sector agrícola se verá expuesto a mejores condiciones, las que sumadas a la tecnología permitirá no sólo alcanzar economías de escala (de considerarse adecuado) sino que la tecnología migrará hacia todo el sector generando excedentes en la producción lo que implica una mejoría en los costos, aumento de los márgenes de beneficio y mayor presencia en mercados extranjeros. A nivel micro la producción de biodiesel creará cadenas productivas entre commodities agrícolas y debido a la necesidad de energía de las plantas procesadoras se podría dar un uso productivo a los desechos forestales y de siembra aumentando valor agregado a la cadena productiva y disminuyendo aún más los impactos ambientales.

Otros aspectos que se deben controlar son la concentración de la tierra que se puede dar debido al mantenimiento de un mercado por parte del Estado lo que tendría un impacto sobre los precios de la tierra desplazando consecuentemente a los pequeños propietarios que venderán sus tierras a los grandes productores para migrar a las grandes ciudades o hacia otras zonas rurales expandiendo la frontera agrícola.

3.5.3.2 Seguridad alimentaria, precios y competencia entre alimentos y combustible

Las preocupaciones sobre los cambios climáticos, la seguridad energética y la volatilidad presente y futura del mercado energético, especialmente el del petróleo ha llevado a los países a incluir dentro de sus agendas estratégicas la necesidad de encontrar un sustituto que pueda diversificar la matriz energética y la dependencia de los derivados a la vez que permita una diversificación de las fuentes de energía y que contribuya a la soberanía energética. El sector más dependiente de los combustibles fósiles es el del transporte y los biocombustibles se muestran como una opción viable que puede presentar las soluciones mencionadas, sin embargo la creciente demanda por biocombustibles ha tenido un impacto sobre la cantidad de cultivos energéticos, la cantidad de tierra que se destina a su cultivo y los precios internacionales de los alimentos producto de la competencia con los biocombustibles.

De acuerdo al Banco Mundial (Revenge, sin año) prácticamente todo el incremento en la producción de maíz a nivel mundial en el período 2004 – 2007 se debió por incrementos de la producción en Estados Unidos lo que trajo como consecuencia una disminución considerable en las reservas mundiales del cereal. Estos efectos se hicieron evidentes en la Unión Europea y en Australia en donde la escasez impactó sobre el nivel de precios del maíz. El aspecto de la disminución en la disponibilidad del recurso y la creciente demanda de la industria de los biocombustibles también es resaltada por De Santi (2008) quien señala que en el corto plazo (hasta el año 2020) el bioetanol utilizará aproximadamente el 2.5% de los cereales a nivel mundial causando un impacto al alza sobre los precios de 4 puntos porcentuales. Para el caso del biodiesel el aumento en la demanda será mucho mayor, llegando a utilizar el 19% del aceite vegetal a nivel mundial e incrementando los precios en aproximadamente 24%.

Las políticas de apoyo a lo biocombustibles han venido acompañadas de exenciones y créditos tributarios así como de subsidios, y si bien los combustibles fósiles también se encuentran subsidiados el apoyo específico al biodiesel puede tener como consecuencia que los agricultores vean en un mercado asegurado y en precios con tendencia marcada al alza una oportunidad para mejorar sus ingresos y dejen de cultivar alimentos para dedicarse a los cultivos energéticos. Esta visión es contrarrestada por Eide (2008) quien señala que una vez que una cantidad de suficientes agricultores se hayan dedicado a los cultivos energéticos se creará más demanda por alimentos lo que equilibrará el mercado de ambos usos.

El mismo informe señala que un aspecto importante de la escasez de alimentos no se debe precisamente a un problema de abastecimiento o en otras palabras afirma que la producción mundial de alimentos es suficiente para abastecer la demanda actual y que por el contrario son restricciones por el lado de la demanda tales como la pobreza los factores que no permiten un acceso a esos bienes. Si tomamos esa afirmación, los biocombustibles representan una gran oportunidad para solucionar el problema ya que la mayor cantidad de personas bajo la línea de pobreza se encuentran en el sector rural y por medio de la generación de empleo pueden mejorar sus ingresos así como su calidad de vida.

Los incrementos en los precios se deben básicamente a tres factores: i) la presión que ejercen los biocombustibles, ii) el alza de los costos de producción; y. iii) el aumento de la demanda de alimentos. Como se puede observar los tres factores dependen de tendencias a nivel mundial por lo que el papel de una política que promueva el uso de biocombustibles en el Ecuador tendrá un carácter marginal a escala mundial y por el contrario los beneficios ambientales y sociales pueden ser aprovechados para mejorar las condiciones medioambientales y del sector rural a nivel local.

En cuanto a la tenencia y concentración de la tierra deberán fijarse políticas que prevengan el acaparamiento por parte de los grandes productores mediante mecanismos asociativos y una producción participativa y de la misma manera mantener controles adecuados para evitar la precarización de las condiciones laborales y que no se repliquen las experiencias de otros cultivos en el sector rural. Finalmente se debe tener presente que los impactos ambientales dependerán de un correcto balance entre las dimensiones económica, social y medioambiental por lo que no se debe privilegiar un aspecto sobre otro para evitar arbitrariedades o fallos en el modelo productivo.

Capítulo IV

Aplicación del Modelo Multicriterio: Conclusiones

4.1 Introducción

La problemática de los biocombustibles no puede ser tratada aisladamente desde una perspectiva puramente económica o puramente social o estrictamente ambiental, sino que por el contrario debe ser analizada como un sistema en el que todos los criterios involucrados son válidos. A esta noción debe añadirse que si se considera que la demanda mundial energética puede tener afectaciones sobre la cantidad de recursos naturales involucrados en la producción de biodiesel se está tratando con un tema de incertidumbre al analizar los posibles impactos a largo plazo.

Muchas de las políticas iniciales de apoyo a los biocombustibles partieron de una preocupación por el medioambiente ya que los biocombustibles tienen un mejor desempeño en relación a los combustibles fósiles respecto a las emisiones de CO₂. Esta reducción implica que sean menos nocivos para la salud debido a la disminución de emisiones de azufre y óxidos nitrosos. Adicionalmente su promoción también se debe a que en su producción utilizan menos energía de la que se obtiene, es decir que tienen un balance energético superior que el diesel.

Cuando se toman estos beneficios aisladamente nos conducen a una decisión definitiva sobre la producción a gran escala de biodiesel, sin embargo se debe considerar que una producción a gran escala implicaría un mayor uso de tierras lo que podría significar una expansión de la frontera agrícola y adicionalmente a esta expansión, los cultivos pueden volverse intensivos en el uso de pesticidas y fertilizantes afectando a los cuerpos de agua.

Si bien es necesario definir políticas que tengan control sobre la producción se debe alcanzar un balance con el impacto positivo que la siembra de biomasa puede generar en los sectores rurales ya que si se mantienen estándares únicamente ambientales esto puede perjudicar el desempeño del biocombustible en cuanto a su capacidad para la

generación de empleo lo que aliviaría las condiciones de pobreza de este sector de la economía, pobreza que también es causante de varios impactos negativos sobre el medioambiente.

Ante la complejidad en el análisis y la definición de un punto intermedio que balancee las dimensiones económica, social y ambiental se debe recurrir a herramientas que permitan estudiar las alternativas en un marco democrático y no maximizador que considere el mejor desempeño de las variables en relación a las demás dimensiones en un marco de evidente incertidumbre (Munda, sin año). En el presente capítulo se analiza la metodología de análisis multicriterio utilizada para definir una política de Estado en relación al biodiesel y se presentan las conclusiones del estudio. Los datos utilizados tanto para la demanda y precios del diesel son del año 2010 salvo que se indique lo contrario.

4.2 El Análisis Multicriterio

Dentro de los problemas que se enfrentan en la toma de decisiones o en la definición de políticas se encuentra la complejidad de los sistemas y de las interrelaciones que se dan tanto entre los actores (decidores) como entre las posibles opciones que se puedan tomar. Este es el caso de los componentes de los biocombustibles los cuales involucran procesos de siembra, producción, conversión y localización y uso de recursos en varias dimensiones (Buchholz, 2008)

En este escenario Munda (2001) propone que un acercamiento basado exclusivamente en una única dimensión da como resultado un análisis sesgado y que no corresponde a la realidad, por tanto se debe tratar de *capturar* la complejidad intentando considerar todos los aspectos relevantes de un problema en particular. Dentro de la misma línea, Daniela Russi explica que el análisis de un simple aspecto puede llevar a delinear conclusiones erróneas. (Russi, 2008a)

De acuerdo a Belton y Stewart (2002) el análisis multicriterio se puede definir como un acercamiento en el que se busca tomar en cuenta la multiplicidad de criterios que se encuentran en una decisión para tomar la mejor decisión. La base del análisis multicriterio se centra en 2 conceptos: la inconmensurabilidad social que implica que al

interior de la definición, análisis de las posibles alternativas o definición de una política se encuentran valores e intereses de cada uno de los sectores sociales involucrados. El siguiente concepto es la inconmensurabilidad técnica que hace referencia a que dentro de una evaluación en un sistema complejo e interrelacionado no es posible expresar todos los impactos utilizando una sola unidad de medida. (Munda, 2002)

Como consecuencia de los conceptos señalados, Russi (2008a) señala que una política no puede ser evaluada usando una sola perspectiva sino por el contrario, debe basarse en los objetivos, valores e intereses de los actores sociales involucrados y en las posibles representaciones del sistema, luego de lo cual cada opción o alternativa debería ser considerada buena o mala de acuerdo a los objetivos de los actores.

García (2004) añade que la problemática planteada pone en evidencia que ningún tipo de método por sí mismo puede ser usado para satisfacer la variedad y tipo de actividades que intervienen en un estudio de impacto, por lo tanto, el tema clave está en seleccionar adecuadamente el método más apropiado para las necesidades específicas de cada estudio el cual deben cumplir con los siguientes aspectos:

1. Debe ser adecuado a las tareas que hay que realizar, como por ejemplo la identificación de impactos o la comparación de opciones.
2. Ser lo suficientemente independiente de los puntos de vista personales del equipo evaluador y sus sesgos.
3. Ser económicos en términos de costes y requerimiento de datos, tiempo de aplicación, cantidad y tiempo de personal, equipo e instalaciones.

Dos aspectos relevantes en la definición de políticas en el *mundo real* son por un lado la complejidad de los sistemas en los que el proceso de toma de decisiones se lleva a cabo, en donde la interacción de seres humanos, concientes de sí mismos y con un propósito en sus acciones, transforma el sistema constantemente, y por otro la dificultad para definir una escala objetiva dentro del grupo que lleva a cabo el proceso de decisión. (Munda, 2002)

Dentro de la teoría económica frecuentemente se analizan los problemas a los que se enfrentan los agentes como la maximización de un solo criterio, por ejemplo, el

beneficio (García, 2004) y entonces a partir de este criterio, se supone que se ordenan las preferencias de los agentes. Si bien este planteamiento es válido para tratar de modelar el comportamiento, es divergente con la realidad en donde una elección depende no sólo de un factor sino de múltiples objetivos los cuales, además, pueden estar en confrontación.

Las decisiones se pueden entender como una abstracción que hace el individuo de su propia subjetividad, decisión que se toma en función de las relaciones entre sus múltiples objetivos y las tasas de intercambio entre ellos (costo de oportunidad). Esta subjetividad trae a la práctica un problema para la definición *objetiva* de los valores y escalas que ayuden a elegir entre las alternativas que se consideran solución a un problema, ya que cada uno de los actores sociales está influenciado por su entorno cultural, intereses personales o grupales, presiones, etc., lo que hace necesario que para poder jerarquizar correctamente las alternativas se necesite conocer **que es importante** para los actores y **que es relevante** para la modelización.

Los procesos de toma de decisiones se llevan a cabo dentro de un proceso que implica en primer lugar definir el problema o el proyecto que se desea implementar para posteriormente establecer el conjunto de soluciones factibles que presentan una solución a éste.

Cuando se trabaja con un conjunto finito de alternativas generalmente todas ellas son consideradas una solución factible o en otras palabras una solución óptima en potencia. Las alternativas bajo análisis se pueden ordenar separadamente para cada uno de los criterios, así el primer criterio ordena las alternativas de una manera, generalmente el segundo criterio de otra manera, igual con el tercero, etc.

Si hay n indicadores probablemente existan n ordenamientos distintos. El problema precisamente es encontrar un único ordenamiento que tome en cuenta todos los criterios. Dicho de otro modo, el problema es obtener un único ordenamiento a partir de los n ordenamientos parciales.

Por ejemplo, en el caso de una empresa, se podría pensar que el objetivo primordial es alcanzar el mayor beneficio posible, sin embargo se podría querer maximizar el área de

cobertura de la empresa o disminuir los impactos ambientales que se generan por el proceso industrial. En este mismo sentido cuando se define una determinada política económica se deben tener claras las metas las que podrían ser alcanzar mayor equidad en la distribución del ingreso, disminuir el desempleo, tener un alto crecimiento del PIB, etc.

De manera más precisa, un problema multicriterio, con un número finito de alternativas, puede ser definido de la siguiente forma:

Sean A el conjunto de m alternativas A_i , $i = 1, m$; F el conjunto de las n funciones de evaluación f_i , $i = 1, n$, asociadas a los criterios de evaluación considerados relevantes en el problema de decisión. El problema de decisión puede ser representado en una matriz M de dimensión $m \times n$ denominada matriz de evaluación o matriz de impacto, cuyos elementos x_i^j ($i = 1, m$; $j = 1, n$) representan la evaluación del j -ésimo criterio en la i -ésima alternativa.

Matriz de impacto

		Criterios		
		f_1	f_2	f_3
Alternativas	A_1	x_1^1	x_1^2	x_1^3
	A_2	x_2^1	x_2^2	x_2^3
	A_3	x_3^1	x_3^2	x_3^3
	A_4	x_4^1	x_4^2	x_4^3

La matriz de impacto puede incluir información cualitativa, cuantitativa o incluso valores difusos (Burbano, 2009)

Queda reflejado que los centros decisores tienen diferentes aspectos que desean valorar para tomar una decisión y poder escoger una alternativa dentro del conjunto factible de soluciones. Dentro de este proceso de decisión, García (2004) señala que se deben tomar en cuenta los siguientes conceptos en la modelización del problema:

Atributos son valores medibles que son independientes de los intereses de la planificación central y que se expresan como una función $f(x)$ de las variables que se consideran.

Objetivos son las direcciones hacia los que se desea direccionar los atributos. Para cada uno de los casos se puede desear maximizar $f(x)$ o minimizar $g(x)$.

Nivel de aspiración consiste en el nivel en el que se desea mejorar (max/min) el atributo, es decir es una meta que se desea alcanzar para la función $f(x)$, por ejemplo un nivel de aspiración podría ser obtener una j participación de mercado, entonces el nivel de aspiración puede representarse formalmente como $f(x) \geq j$.

La reunión de estos tres conceptos conforman los **criterios** que serán importantes para la toma de decisiones.

Finalmente se debe tomar en cuenta la tasa de intercambio inherente a cada uno de los criterios que se evalúan, es decir que tanto se debe sacrificar de una meta para poder conseguir una mejora en otra. Este concepto es el **costo de oportunidad**, el cual brinda además la interactividad necesaria para la evaluación.

A los criterios que se definió anteriormente, se deben añadir los elementos que intervienen en los procesos de toma de decisiones, los cuales son: los **decisores**, el **conjunto factible de alternativas**, el **contexto** en el que se realiza la evaluación, los **criterios** mencionados anteriormente y la **solución eficiente**.

Formalmente el problema de análisis dentro de la metodología de Análisis Multi-Criterio puede ser definido de la siguiente manera¹¹:

\mathcal{A} : el “espacio” de alternativas

$A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\} \subset \mathcal{A}$: el conjunto de alternativas

\mathcal{B}_j : el espacio del criterio j

f_j : la j -ésima función de evaluación (criterio j), $j = 1, n$

$$f_j : \mathcal{A} \rightarrow \mathcal{B}_j$$

$$A_i \mapsto x_i^j$$

$\mathcal{B} = \mathcal{B}_1 \times \mathcal{B}_2 \times \dots \times \mathcal{B}_n$ el espacio producto

$F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$: la función vectorial de los criterios f_j

$$F : \mathcal{A} \rightarrow \mathcal{B}$$

¹¹ Formalización tomada del estudio de Rafael Burbano “Metodologías Multicriteriales” (2009)

$$A_i \mapsto x_i = (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^n)$$

La matriz de impacto es un conjunto de m vectores de \mathcal{B} . El tipo de información caracteriza al espacio \mathcal{B}_j ; por ejemplo, \mathcal{B}_j puede ser el conjunto de números enteros o reales, el conjunto de números difusos o un conjunto de categorías ordinales. En cualquier caso la exigencia mínima es que \mathcal{B}_j sea un conjunto dotado de una relación completa¹²; llamemos R_j tal relación en \mathcal{B}_j .

Sean:

$$\mathcal{R}_j = \{ R_j \mid R_j \text{ es una relación total en } \mathcal{B}_j \}$$

$$\mathcal{R}^n = \mathcal{R}_1 \times \mathcal{R}_2 \times \dots \times \mathcal{R}_n : \text{ el espacio producto}$$

$$\mathcal{R} = \{ R \mid R \text{ es una relación en } \mathcal{A} \} : \text{ el conjunto de relaciones en } \mathcal{A}$$

Una función de evaluación multicriterio es un funcional:

$$\begin{aligned} \mathcal{U} : \mathcal{R}^n &\rightarrow \mathcal{R} \\ (R_1, R_2, \dots, R_n) &\mapsto R \end{aligned}$$

Los conjuntos \mathcal{B}_j , \mathcal{A} (o A) las relaciones R_j y R , y la función F , definen el área en la que se está trabajando. Por ejemplo:

Votación (Problema de Condorcet)

A : conjunto de candidatos

$$\mathcal{B}_j = \{1, 2, \dots, m\}$$

$R_j = "$ ≥" : el orden usual en los enteros

$$f_j(A) = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_m \end{bmatrix} : \text{ una permutación de los números } \{1, 2, \dots, m\}$$

(f_j es el voto del j -ésimo votante)

R : un orden total estricto en A

Microeconomía (Función de utilidad agregada)

A : conjunto de canastas

¹² Una relación es completa o total cuando dos elementos cualesquiera son comparables; por ejemplo los números enteros son totalmente ordenados por la relación \geq . La relación no necesariamente es de orden; podría ser, por ejemplo, una relación de semejanza.

$\mathcal{B}_j = \mathbf{R}$: el conjunto de números reales

$R_j = \geq$: el orden usual en los reales

$$f_j(A) = \begin{bmatrix} u_1^j \\ u_2^j \\ \dots \\ u_m^j \end{bmatrix} : \text{la utilidad del } j\text{-ésimo agente en las } m \text{ canastas}$$

(f_j es la función de utilidad del j -ésimo agente económico)

R : una relación de preferencia racional en A

Análisis multicriterio

A : conjunto de alternativas

\mathcal{B}_j : puede ser un conjunto de números reales, de números difusos o de categorías ordinales

R_j : puede ser el orden usual en los reales, una relación de comparabilidad parcial en números reales o difusos, o un orden en las categorías.

$$f_j(A) = \begin{bmatrix} x_1^j \\ x_2^j \\ \dots \\ x_m^j \end{bmatrix} : \text{la evaluación del } j\text{-ésimo criterio en las } m \text{ alternativas}$$

R : un orden parcial, difuso o cierto, en A

Con la finalidad de incluir dentro del proceso de decisión las inclinaciones del decisor se incorpora el concepto de preferencias el cual ayuda en la comparación de las diferentes alternativas para poder jerarquizarlas. Esta comparación se realiza obteniendo pares de cada una de las alternativas posibles para definir la relación binaria que existe entre estas, pudiendo ser:

- Preferencia estricta
- Indiferencia
- Incompatibilidad en el análisis de los criterios.

Dentro del análisis que se lleva a cabo cuando la decisión está afectada por múltiples atributos, se considera la teoría de la utilidad con atributos múltiples en donde la función de utilidad tiene igual número de argumentos que de atributos que son relevantes para el análisis. García (2004) señala que este tipo de enfoque se aplica a problemas de decisión con un número discreto de soluciones factibles, como ocurre con los problemas ambientales.

En este tipo de problemas, Munda (2002) considera que existen algunas propiedades que deben ser tomadas en cuenta:

- Los umbrales entre la preferencia y la indiferencia deben estar claramente definidos y deben ser tomados explícitamente en cuenta,
- La información del tipo más diverso debe ser catalogada correctamente,
- La simplicidad, es decir la construcción de una representación con la menor cantidad de parámetros posible, es una propiedad que garantizará la transparencia en el análisis, y
- La dimensión de las jerarquías del problema debe ser explícitamente considerada.

Las relaciones binarias presentadas anteriormente son analizadas para tomar una decisión sobre cada una de las alternativas comparadas por medio de criterios de decisión que “constituyen los ejes fundamentales a partir de los cuales el decisor justifica, transforma y argumenta sus preferencias” (García, 2004)

Los objetivos son también jerarquizados dentro de una matriz y se ordenan según su pertenencia a un determinado ámbito (económico, social, ambiental) y dentro de cada uno de estos ámbitos se plantean objetivos más detallados que permitan alcanzar la meta planteada para cada uno de los atributos en consideración.

4.3 El Método Analítico Jerárquico

Dado que el problema considerado plantea un número de alternativas discreto se utilizará la técnica AHP (Analytical Hierarchical Process) propuesto por Saaty en 1980 la cual permite considerar factores objetivos y subjetivos de valoración para definir la mejor alternativa (Turón, 2000)

La técnica AHP propone que una decisión (como un proceso y un sistema) puede ser descompuesta en una jerarquía que parte desde una meta específica para posteriormente en un segundo nivel evaluar los criterios de selección y finalmente proponer las

alternativas factibles de solución al problema basándose en la preferencia de un criterio sobre otro comparado en relación a su inmediato superior (Arancibia, sin año)

La técnica AHP se puede dividir en tres etapas fundamentales (Turón, 2000):

1. La modelización de las jerarquías en las que se analizan los criterios que se consideran fundamentales y en donde en el nivel superior es la meta para posteriormente considerar los criterios de evaluación y finalmente las alternativas.
2. La emisión de juicios a partir del pareo de las matrices de comparación de alternativas que reflejan la importancia de los elementos de la jerarquía de donde se obtienen las prioridades locales para cada matriz evaluada.
3. A partir de la definición de prioridades locales (vector propio, media geométrica) se aplica el método de composición jerárquica para obtener las prioridades globales y las totales de las alternativas por medio de procedimientos de agregación.

Un término importante dentro de la AHP es la medida de la inconsistencia que puede tener una determinada matriz de comparación pareada $\mathbf{A}_{n \times n} = (\mathbf{a}_{ij})$ que es la Razón de Consistencia de Saaty (RC) y que se define como

$$RC = \frac{IC}{IR(n)}$$

donde

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{1}{n(n - 1)} \sum_{i \neq j} (e_{ij} - 1)$$

siendo λ_{\max} el valor propio principal de la matriz A, $IR(n)$ el índice de consistencia aleatorio para matrices de orden n, y $e_{ij} = a_{ij}$ es el error obtenido al estimar a_{ij} por medio de ω_j/ω_i .

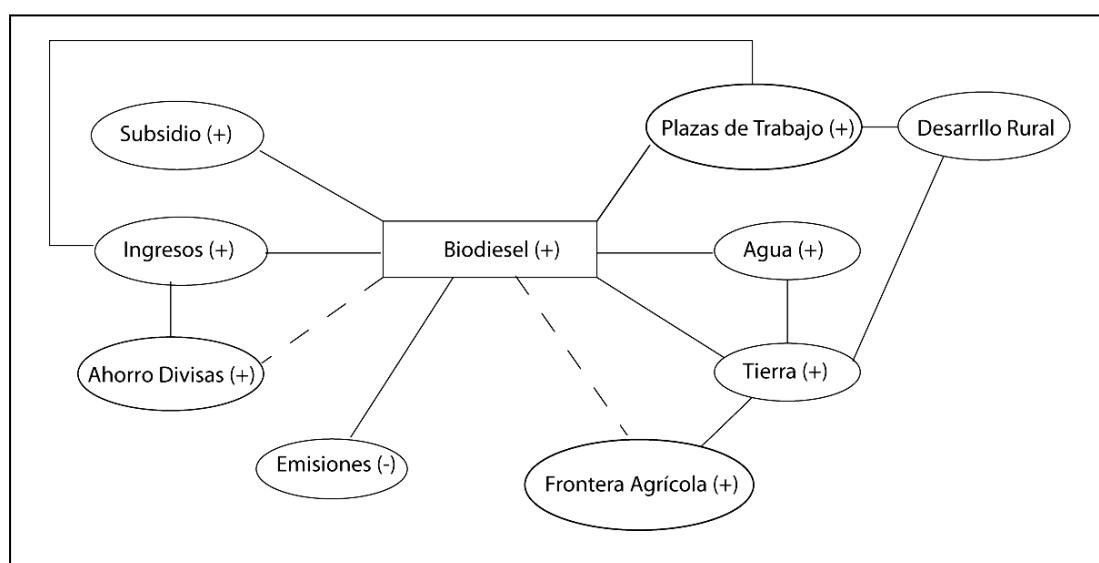
Las etapas de aplicación de la metodología serían entonces:

1. Plantear la jerarquía de elementos interrelacionados de tal manera que queden identificados i) la meta general, ii) los criterios de evaluación, iii) y las alternativas posibles.
2. Plantear la matriz de comparación por pares (MCP) de las alternativas posibles para cada uno de los criterios, jerarquizando la importancia que tiene cada una de ellas. Saaty ha planteado la siguiente escala para las preferencias:
 - 1 = Igualmente preferida
 - 3 = Moderadamente preferida
 - 5 = Fuertemente preferida
 - 7 = Muy fuertemente preferida
 - 9 = Estrictamente preferida
3. Desarrollar la matriz normalizada (MCN) dividiendo cada número de una columna de la MCP por la sumatoria de la columna.
4. Definir el Vector de Prioridad para los criterios evaluados por medio del promedio de cada fila MCN. Cada valor (promedio por fila) es la prioridad de la alternativa de acuerdo al criterio de evaluación.
5. Calcular el Coeficiente de Consistencia de Saaty (RC). Este valor cuando es inferior a 0.1 se considera aceptable, caso contrario el coeficiente muestra que existen inconsistencias entre los criterios evaluados.
6. Los resultados de cada una de las matrices se resumen en la Matriz de Prioridad (MP) donde se listan las Alternativas en las filas y los Criterios en las columnas.
7. Desarrollar la Matriz de Comparación de Criterios por pares
8. Calcular el Vector de Prioridad Global multiplicando el Vector de Prioridad de los Criterios por la Matriz de las Alternativas.

4.4 Una valoración multicriterio para el caso de la producción de Biodiesel en el Ecuador

El análisis del biodiesel para el Ecuador plantea la necesidad de valorar las diferentes interacciones que se pueden dar con la producción de biodiesel o ante un incremento en la misma. La producción se relaciona así con varias dimensiones a las que impacta de diferentes maneras e inclusive estas modificaciones pueden tener impactos adicionales sobre todo el sistema.

Gráfico 33. Dinámica de la producción de biodiesel



Elaboración propia

Para ejemplificar lo arriba mencionado, supongamos que se da un incremento en la producción de biodiesel en el Ecuador. Esto supondrá un ahorro de divisas debido a la producción interna de un porcentaje de la demanda, sin embargo no todos los incrementos de la producción significarán un ahorro sino que conforme la producción aumente, los recursos necesarios también lo harán. Con este incremento se dará también un aumento en los ingresos producto de la venta de los derivados de la refinación del biodiesel tales como la glicerina. Un aspecto adicional que también se verá afectado es el subsidio y crecerá proporcionalmente al incremento en la producción.

Por otro lado la producción del biocombustible generará miles de nuevas plazas de empleo lo que a su vez promoverá el desarrollo rural que conjuntamente con el aumento de ingresos (venta de derivados) supondría un mayor bienestar para el sector agrícola de la economía. Este aspecto sin duda es positivo, no obstante no es el único impacto que se generaría. Al aumentar la

producción de biodiesel se hará necesario el uso de una mayor cantidad de tierras así como de agua. Este incremento no sólo provendrá de los mejores ingresos y de la dotación de tecnología al sector de los biocombustibles, sino que se verá potenciado por la dinamización propia del sector. La consecuencia de este incremento podría ser una expansión de la frontera agrícola.

Finalmente, tomando en cuenta que las emisiones de GEI de los biocombustibles son menores que las de los combustibles fósiles, su uso en las ciudades tendrá como beneficio una disminución de la polución y los niveles de contaminación.

4.4.1 Alternativas

Para el caso ecuatoriano se han identificado dos posibles alternativas para suplir la demanda interna de diesel y sustituir el 10% de ésta por biodiesel (MEER, 2009) por medio de una mezcla que no representa problemas para los motores y no necesita de una modificación o adaptación de los mismos. La primera opción es obtenerlo del aceite de palma africana que se produce en el Ecuador y que anualmente exporta 180 millones de toneladas, el cual sería utilizado para refinarlo y producir biodiesel. La segunda alternativa es producir biodiesel del aceite de piñón que es un arbusto que se usa como cerca viva en la provincia costera de Manabí y cuyo aceite tiene un alto contenido de poli insaturados¹³ por lo que no es apto para el consumo humano.

Palma africana.

La palma africana es un cultivo que se da en climas cálidos y que puede alcanzar entre 8 y 20 metros de altura dependiendo de la zona y la variedad. De la palma se puede obtener aceite tanto de la semilla como de la almendra, pero el que se utiliza para la producción de aceite es el que se extrae de la semilla; el llamado aceite rojo por su coloración. En el Ecuador se cuenta con plantaciones de palma y producción de aceite, sin embargo para efectos del análisis se parte de lo señalado por el MEER (2009) que indica que se destinarán nuevas tierras al cultivo de la palma.

En este análisis se supone que el excedente de aceite que actualmente se exporta será adquirido por el Estado a precios internacionales. Bajo este supuesto no existiría -al

¹³ Los ácidos grasos poliinsaturados son los que tienen más de un doble enlace entre sus carbonos y que en exceso son tóxicos.

menos inicialmente- una preocupación por una posible expansión de la frontera agrícola pero no se obtendrían beneficios para el sector rural ya que no se necesitarán más tierras y por tanto no se generaría empleo para el sector agrícola. Finalmente, el aceite de palma es comestible por lo que se debe considerar la seguridad alimentaria.

Piñón

Para el caso del piñón, este se encuentra en una etapa de estudio y de elegirse como opción, se sembraría en las zonas áridas de Manabí y Loja (inicialmente) y su cultivo se daría por medio de un acuerdo con los pequeños agricultores para que aumenten las cercas vivas y obtengan recursos por medio de la venta de la semilla oleaginosa. En el aspecto ambiental se debe señalar que el piñón no requiere de precipitaciones altas (600 mm al año en promedio para su normal crecimiento) y no representaría una gran utilización de este recurso. Actualmente se ha determinado que no sería necesario el uso intensivo de pesticidas ya que su semilla al ser tóxica no es aprovechada como alimento por la fauna de la zona, sin embargo si será necesario el aumento de productividad por hectárea. Un beneficio adicional del piñón en el ámbito social es que generaría empleo y un aumento de recursos para una zona económicamente muy deprimida del país y dentro de un sector muy vulnerable. En el ámbito económico, se debe mencionar que su costo es inferior al de la palma africana (DED, 2008)

Business as Usual

La siguiente alternativa que se considera es el escenario *business as usual* la cuál es mantener la oferta con diesel proveniente del petróleo. Este escenario limitaría el surgimiento de una industria como sería la de la tecnificación de la glicerina (derivado de la refinación del biodiesel) la cual generaría fuentes de empleo así como ingresos.

4.5 Criterios¹⁴

Los criterios utilizados para el análisis pertenecen a 3 categorías:

¹⁴ Los cálculos de la presente sección se detallan en el Anexo A

4.5.1 Dimensión Económica.

La categoría económica incluye 5 criterios para el análisis que son el costo del combustible, el cual es un factor importante para el consumidor final y del cual dependerá que el biodiesel se difunda con éxito en el mercado. El segundo aspecto que se considera son los subsidios que se deberá dar al precio final del biodiesel y que se toma como la diferencia entre el costo de producción y el precio de venta actual de un dólar el galón. El siguiente criterio económico es la diversificación energética que es la capacidad que tiene un país para poder abastecer de manera autosuficiente la demanda interna de energía. Actualmente el Ecuador tiene una dependencia de aproximadamente el 40% en relación al diesel (MEER, 2009). Con la producción de biodiesel el Ecuador dejaría de importar un 10% de diesel, lo que se vería reflejado en la Balanza Comercial. El cuarto factor es el ahorro de divisas producto de la producción local de biodiesel que reemplazaría el 10% de las importaciones totales del combustible fósil. Finalmente se considera la posible creación de una industria alrededor de la glicerina, la cual representaría ingresos vía producción interna y adicionalmente por la exportación de este derivado de la refinación. En la siguiente tabla se revisan cada uno de los criterios utilizados.

Tabla 13. Criterios económicos para la Matriz de Decisión

Criterio	Objetivo	Unidades	Dirección
Costo de producción	Combustible económico	USD/galón	Minimizar
Subsidio	Minimizar la cobertura	USD	Minimizar
Diversificación energética	Aumentar la seguridad energética		Maximizar
Ahorro de divisas	Disminuir importaciones	USD	Maximizar
Generación de Industria	Contar con una industria alternativa		Maximizar

Costo de Producción del biodiesel

De acuerdo a datos proporcionados por Mauro González, delegado del Ministerio de Recursos Naturales no Renovables para el programa de biocombustibles los costos para la producción de biodiesel a partir de la palma africana parten del costo de la tonelada de aceite rojo que se ubica en USD. 1000. Este costo se divide para 300 que es la cantidad de galones por tonelada. A este valor se le suma el 15% que es el costo de refinación y obtenemos el costo final por barril. El precio final por galón para la palma es de USD. 3,8. Para el caso del piñón la tonelada de aceite tiene un costo de 530

dólares por lo que el costo de producción (tomando los mismos parámetros definidos para la palma) es de 2,03 por galón. El costo del diesel es el de importación antes de subsidios que se ubica en 2,2 dólares/galón en el año 2010.

Tabla 14. Costo de Producción

Criterio	Diesel	Palma africana	Piñón
Costo de Producción	2.2	3.8	2.03

Subsidio

En función del costo de producción obtenido se puede realizar un cálculo de los recursos que debe destinar el Estado para la promoción del biodiesel. Dado que el cultivo del piñón tomará un año para empezar a ser productivo, se parte de la demanda de diesel para el año 2013 y se calcula una mezcla de 10% (B10).

Tabla 15. Subsidios a la producción de biodiesel

(Millones de dólares)

Subsidio	Diesel	Palma	Piñón
2013	137,6	321,0	118,1
2014	145,2	338,7	124,6
2015	152,2	355,2	130,6
2016	158,8	370,4	136,3
2017	167,3	390,4	143,6

Diversificación energética

La seguridad energética es producto de la inclusión de nuevas formas de energía en la matriz energética del Ecuador. Este indicador no se expresa en unidades, sino que se analiza si las alternativas presentan o no una mejoría para la seguridad energética.

Tabla 16. Diversificación Energética

Criterio	Diesel	Palma africana	Piñón
Diversificación Energética	NO	SI	SI

Ahorro de divisas

La inclusión del biodiesel implica una disminución en la cantidad de importaciones de diesel fósil lo que se ve reflejado en una disminución de los recursos destinados para este efecto. El ahorro de divisas se calcula como la diferencia entre el subsidio al 10% de las importaciones totales de diesel y el costo de producción de biodiesel de palma y piñón para el período 2013 – 2017.

Tabla 17. Ahorro de divisas

(Millones de dólares)

Ahorro de Divisas	Diesel	Palma	Piñón
2013	-	-183,5	19,5
2014	-	-193,5	20,6
2015	-	-202,9	21,6
2016	-	-211,7	22,5
2017	-	-223,1	23,7

Generación de Industria alternativa

El proceso de tranesterificación da como resultado biodiesel y como parte de la transformación se genera glicerina que es un insumo que se utiliza en la industria farmacéutica para fabricar recubrimientos para pastillas., La glicerina también es utilizada para fabricar jabones y en ciertos alimentos.

Tabla 18. Industria de la glicerina

Criterio	Diesel	Palma africana	Piñón
Generación de Industria	NO	SI	SI

4.5.2 *Dimensión Ambiental*

La matriz de decisión para la dimensión ambiental se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Matriz de Decisión: Dimensión Ambiental

Criterio	Objetivo	Unidades	Dirección
Balance Energético	Obtener un alto rendimiento	Mj	Maximizar
Reducción de emisiones	Reducción de emisiones de GEI	Ton/ha	Minimizar
Frontera agrícola	Evitar el cultivo en nuevas tierras		Minimizar
Req. de tierra	Disminuir la demanda de tierra	Hectáreas	Minimizar
Req de agua	Disminuir la demanda de tierra	Mm/año	Minimizar

Balance energético

El balance energético es el ratio entre la energía obtenida y la energía utilizada para producir una unidad de biodiesel. El ratio para las alternativas analizadas se resume a continuación.

Tabla 20. Balance energético

Criterio	Diesel	Palma africana	Piñón
Balance energético	0.9	6.5	5.5

Fuente: Bruinsma (2009)

Reducción de emisiones

Las emisiones de CO₂ es uno de los principales elementos que se toman en cuenta en el debate acerca de los biocombustibles, y específicamente en el del biodiesel, ya que por un lado los movimientos ambientales han expresado que el biodiesel presenta una importante reducción en las emisiones, sin embargo la mayoría de estudios sólo toman en cuenta las emisiones finales y no todo el ciclo de vida del biodiesel, el cual utiliza combustibles fósiles en todo su proceso y si se utilizaría biodiesel para su propia generación, los retornos del combustible son muy bajos, volviéndolo inviable económicamente (Russi, 2008b).

Tabla 21. Reducción de emisiones

Criterio	Diesel	Palma africana	Piñón
Reducción de emisiones	-	2.45	2.45

Fuente: Ramirez (2008b)

Frontera agrícola

La creciente demanda por biocombustibles puede crear una presión para incrementar la cantidad de tierra que se destina a la siembra de biomasa para fines energéticos. Este aumento tiene un impacto negativo sobre los ecosistemas ya que por un lado se puede extender la cantidad de monocultivos intensivos en el uso de pesticidas y fertilizantes y por otro lado se puede talar bosque para dedicar la tierra al cultivo energético.

Tabla 22. Expansión de la frontera agrícola

Criterio	Diesel	Palma africana	Piñón
Frontera Agrícola	NO	SI	NO

Requerimiento de tierra

Los requerimientos de la tierra, criterio que se entiende como la cantidad de tierra necesaria para el cultivo de la biomasa y que podría desplazar a cultivos dedicados para la siembra de alimento así como para pastizales para el ganado. Para el éxito de la definición en la política de Estado será crucial tomar en cuenta el uso de tierras degradadas y su recuperación, lo que además del beneficio social (creación de empleo) traería un beneficio ambiental.

De acuerdo al censo realizado en el Ecuador para el sector palmicultor (Ancupa, 2005) en el año 2000 existían 154.586 hectáreas de palma y en el año 2005 aumentaron a 207.285 hectáreas con una producción de semilla de 1.110.975 y 1.596.691 toneladas y 222.195 y 319.338 toneladas de aceite para cada uno de los años en mención. Al obtener el rendimiento de fruto por hectárea se obtiene que las palmicultoras cosechan aproximadamente 7 toneladas de frutos/ha/año mientras que en términos de aceite se obtienen en promedio 1.5 ton/ha/año. Estos datos significan que el rendimiento de aceite en el Ecuador está bastante por debajo de la media mundial de 35% de contenido aceitoso en los frutos con un rendimiento de apenas el 20%, porcentaje que se ha mantenido constante en el período 1998 – 2009. Este hecho indica adicionalmente que los incrementos en la producción se deben al aumento de cultivos, no así de la productividad o la eficiencia en la producción de aceite; dato que se comprueba al analizar el crecimiento de la extensión sembrada y la de obtención de semilla.

Para el cálculo se parte del rendimiento por hectárea por cultivo que es de 40 barriles por hectárea para la palma y de 18 para el piñón. La cantidad de tierra necesaria se obtiene dividiendo la demanda para el rendimiento.

Tabla 23. Requerimiento de tierra

Criterio	Diesel	Palma africana	Piñón
Requerimiento de tierra	-	68250	151660

Requerimiento de agua

El requerimiento de agua en la agricultura es un serio problema y en el caso del Ecuador ha sido incluso la causa de enfrentamientos sociales por la apropiación de este recurso. Se debe considerar dentro del análisis si el cambio en el uso del agua traerá problemas para los ecosistemas.

Tabla 24. Requerimiento de agua

Criterio	Diesel	Palma africana	Piñón
Requerimiento de agua	-	2500	600

Fuente: Ramírez (2008a, 2008b)

4.5.3 *Dimensión Social*

En el aspecto social se consideran 3 criterios:

Tabla 25. Matriz de decisión social

Criterio	Objetivo	Unidades	Dirección
Competencia en el uso de la tierra	Evitar la competencia combustible - alimentos		Minimizar
Generación de empleo	Crear puestos de trabajo	Número de personas	Maximizar
Desarrollo rural	Promover el desarrollo		Maximizar

Competencia en el uso de la tierra

Se relaciona con una posible expansión de la frontera agrícola y con un cambio de los cultivos destinados a alimentos para dedicarlos a cultivos energéticos debido a un mayor rendimiento económico para el sector rural, lo que tendría un impacto en un aumento de las importaciones que realiza el Ecuador.

Tabla 26. Competencia en el uso de la tierra

Criterio	Diesel	Palma africana	Piñón
Competencia en el uso de la tierra	NO	SI	NO

Desarrollo Rural

El segundo aspecto es el desarrollo rural debido a inversiones en tecnología y el cambio estructural en el sector agrícola hacia un sector agroindustrial incipiente en el país.

Tabla 27. Desarrollo Rural

Criterio	Diesel	Palma africana	Piñón
Desarrollo Rural	NO	SI	SI

Generación de empleo

En la discusión de la implementación o no del biodiesel un aspecto muy relevante ha sido la generación de empleo. En el Ecuador el sector agrícola concentra un alto índice de pobreza, por lo que es necesario que se definan políticas que beneficien y promuevan su desarrollo. De acuerdo a estimados de Vera (2007) la palma genera 0,27 empleos/ha mientras que el piñón 0,3 empleos/ha.

Tabla 28. Generación de empleo

Criterio	Diesel	Palma africana	Piñón
Generación de empleo	-	18.428	45.500

4.6 Objetivos y Criterios del análisis

Para el presente estudio se dio una misma ponderación (33%) a cada una de las diferentes categorías utilizadas (Económica, Ambiental y Social). Este hecho tiene la intención de alcanzar la mayor imparcialidad en el análisis y así llegar a un resultado que trate de encontrar el mejor balance ante las diferentes alternativas y su desempeño para los criterios seleccionados. De la tabla anterior se observa que globalmente los aspectos más importantes para la decisión son la soberanía energética (0.112), el desarrollo rural (0.133) y la generación de empleo (0.133).

Tabla 29. Criterios y Pesos

<p>Goal: Definir una política de Estado</p> <p>Aspectos Económicos (L: ,333 G: ,333)</p> <p>Diversificación Energética (L: ,354 G: ,118) Ahorro de Divisas (L: ,090 G: ,030) Costo de producción (L: ,145 G: ,048) Subsidio (L: ,058 G: ,019) Industria Glicerina (L: ,354 G: ,118)</p> <p>Aspectos Ambientales (L: ,333 G: ,333)</p> <p>Balance energético (L: ,368 G: ,123) Reducción de emisiones (L: ,102 G: ,034) Expansión de la frontera agrícola (L: ,072 G: ,024) Requerimiento de tierra (L: ,229 G: ,076) Requerimiento de Agua (L: ,229 G: ,076)</p> <p>Aspectos Sociales (L: ,333 G: ,333)</p> <p>Competencia en el uso de la tierra (L: ,143 G: ,048) Desarrollo Rural (L: ,571 G: ,190) Generación de empleo (L: ,286 G: ,095)</p>

A continuación se presenta la Matriz de decisión utilizada para evaluar el desempeño de las alternativas de acuerdo a las funciones de utilidad y los rankings definidos para cada uno de los criterios utilizados.

Tabla 30. Criterios de evaluación

Matriz de Decisión							
(Objetivos y Criterios)							
Ideal mode	Criterio	f^{15}	Parámetros (f)	Unidad	Alternativa		
					Diesel	Piñón	Palma
ASPECTOS ECONÓMICOS	Diversificación Energética		Brinda - No brinda	Cualit.	0.143	1	1
	Ahorro de divisas	I	(200 mill) – 20 mill	USD		-183,5 mill	19,5 mill
	Costo	D	2 - 4	USD	2,2	2,03	3,8
	Subsidio	D	0 – 350 mill.	USD	137,6 mill.	118,1 mill.	321 mill.
	Generación de Industria		Brinda - No brinda	Cualit.	0.125	1	1
ASPECTOS AMBIENTALES	Balance energético	I	0 - 10	MJ	0.9	5.5	6.5
	Reducción emisiones CO2	I	0 - 3	Ton/ha	0	2.45	2.45
	Expansión frontera agrícola		Expande - No expande	Cualitativa			
	Req. de Agua	D	0 - 3.000	Mm/año	0	600	2500
	Req. de Tierras	D	0 - 160.000	Hectáreas	0	151.660	68.250
ASPECTOS SOCIALES	Competencia en el uso de la tierra		Afecta - No afecta	Cualitativa	1	0.258	0.111
	Desarrollo Rural		Promueve - No promueve	Cualitativa	0	1	0.399
	Gen. de empleo	I	0 - 50.000	Empleos	0	45500	18428

Para la valoración se ha utilizado dos métodos del proceso analítico jerárquico. El primero se utilizó para los criterios que no cuentan con un dato en este nivel del proyecto que son la diversificación energética, la generación de nueva industria, la expansión de la frontera agrícola, la soberanía alimentaria y el desarrollo rural. Estos criterios han sido evaluados en función del desempeño de cada una de las alternativas. Por ejemplo para el caso de la diversificación energética se evalúa si las alternativas contribuyen a la diversificación de la matriz energética o si por el contrario mantienen las condiciones actuales. Posteriormente se definen las prioridades de las alternativas según los parámetros de preferencia definidos por Saaty (Turón, 2000). Para la diversificación energética las alternativas del piñón y la palma cumplen con el objetivo de contribuir a la seguridad energética, por tanto tienen el mismo desempeño y son

¹⁵ Esta columna hace referencia a la función objetivo asignada para cada criterio. En este caso se utilizan funciones crecientes denotadas por I, y decrecientes denotadas por D.

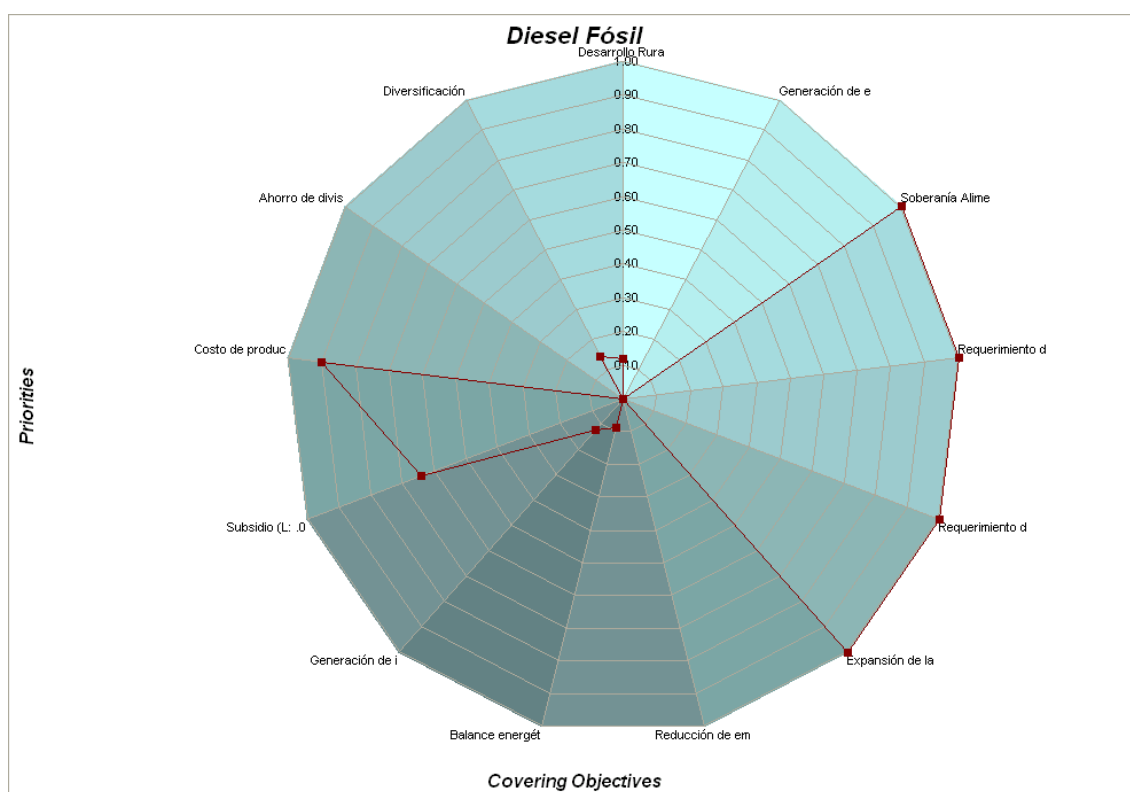
fuertemente preferidas a la opción del diesel fósil. Finalmente, y una vez asignada la preferencia, se calcula el desempeño de la alternativa en función de los pesos dados al criterio que para este caso son de 1 (uno), lo que implica un cumplimiento total del objetivo de 14,3% (0,143) para el diesel fósil.

Para el segundo grupo de criterios analizados se definieron funciones de utilidad que representan los beneficios y el desempeño para las alternativas consideradas, así por ejemplo para el caso del costo del combustible se plantea una función decreciente lineal acotada entre 2 y 4 dólares (a mayor costo menor utilidad) y se introduce el costo para cada alternativa y se evalúa el desempeño en función del objetivo de obtener el menor costo posible. Para este caso el desempeño de las alternativas fue de 0.453 para el diesel fósil, 0.5 para la palma africana y 0.496 para el piñón.

Antes de analizar el desempeño de las alternativas, presentamos el porcentaje de cobertura de cada una de las alternativas respecto a los objetivos planteados. Así en el gráfico 32 se muestra de que manera la alternativa Business as Usual cumple con las metas planteadas.

En el gráfico 34 se observa la cobertura del diesel fósil en cada uno de los criterios analizados. El mejor desempeño de la alternativa se da en los aspectos económicos en donde su mayor fortaleza es el costo que es de 2.2 dólares por lo que cubre en un 90% el objetivo de alcanzar el menor costo posible fijado en 2 dólares. Dado que el subsidio que el Estado da al combustible es una función del precio, también se cuenta con un buen desempeño en ese criterio. Adicionalmente al desempeño en la dimensión económica, el diesel al no requerir de sembríos energéticos no contribuye a la expansión de la frontera agrícola obteniendo un desempeño del 100% en ese criterio así como en requerimientos de tierra y de agua y en competencia en el uso de la tierra (combustibles por alimentos).

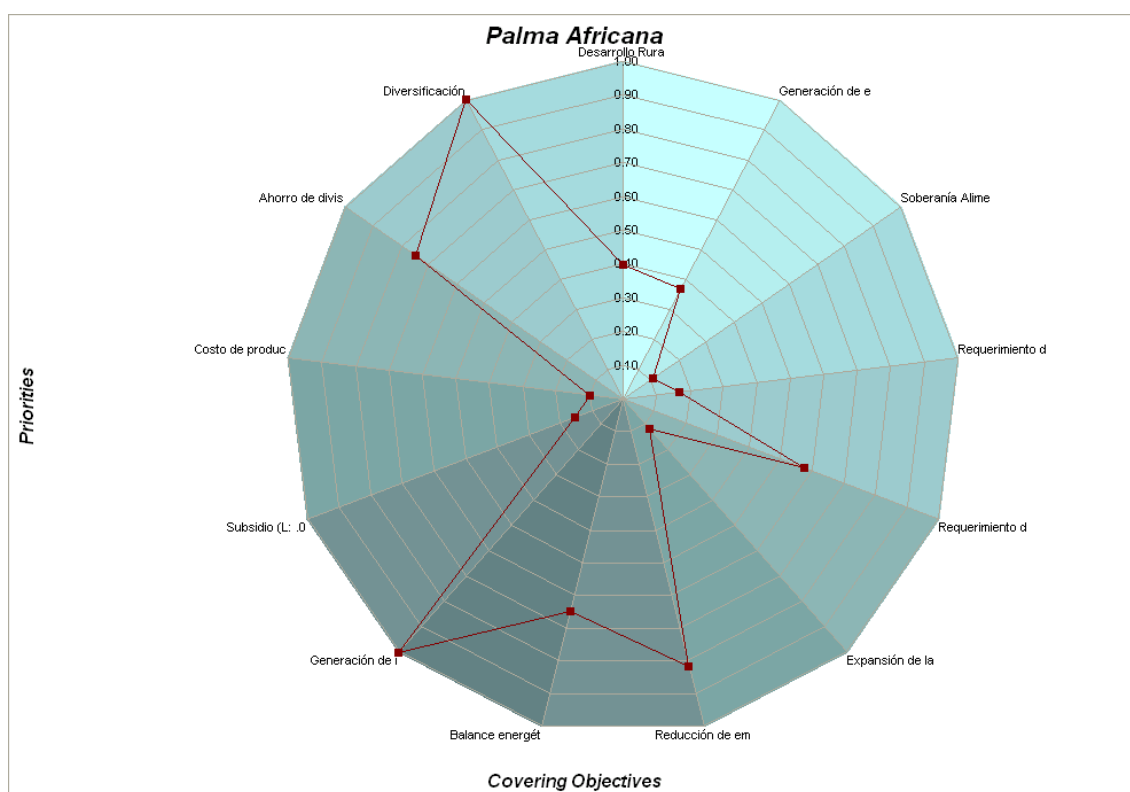
Gráfico 34. Cobertura de Objetivos de la alternativa Diesel Fósil



Elaboración: Autor

Contrario al comportamiento del diesel fósil el aceite de palma (Gráfico 35) es una alternativa menos eficiente en los aspectos económicos a excepción de tener una alta cobertura del objetivo de diversificar la matriz energética. En cuanto al ahorro de divisas también presenta un alto rendimiento al evitar la importación de 10% de la demanda total de diesel fósil. El costo de producción es el menos eficiente de las tres alternativas, sobre todo debido al alto costo del aceite rojo, el principal insumo para la refinación de biodiesel. En la dimensión ambiental cubre el 65% del objetivo del balance energético y un 82% de la reducción de emisiones de CO₂. En cuanto al desarrollo rural muestra una cobertura del 40% debido a que promueve la tecnificación del sector agrícola e igualmente en este ámbito, genera empleo en un 37% de la meta propuesta (50.000). Un aspecto que se debe aclarar es su eficiencia en cuanto al requerimiento de tierra, aspecto que está asociado a su alto rendimiento de biodiesel por hectárea que es de 5.5 toneladas.

Gráfico 35. Cobertura de Objetivos de la alternativa Palma Africana



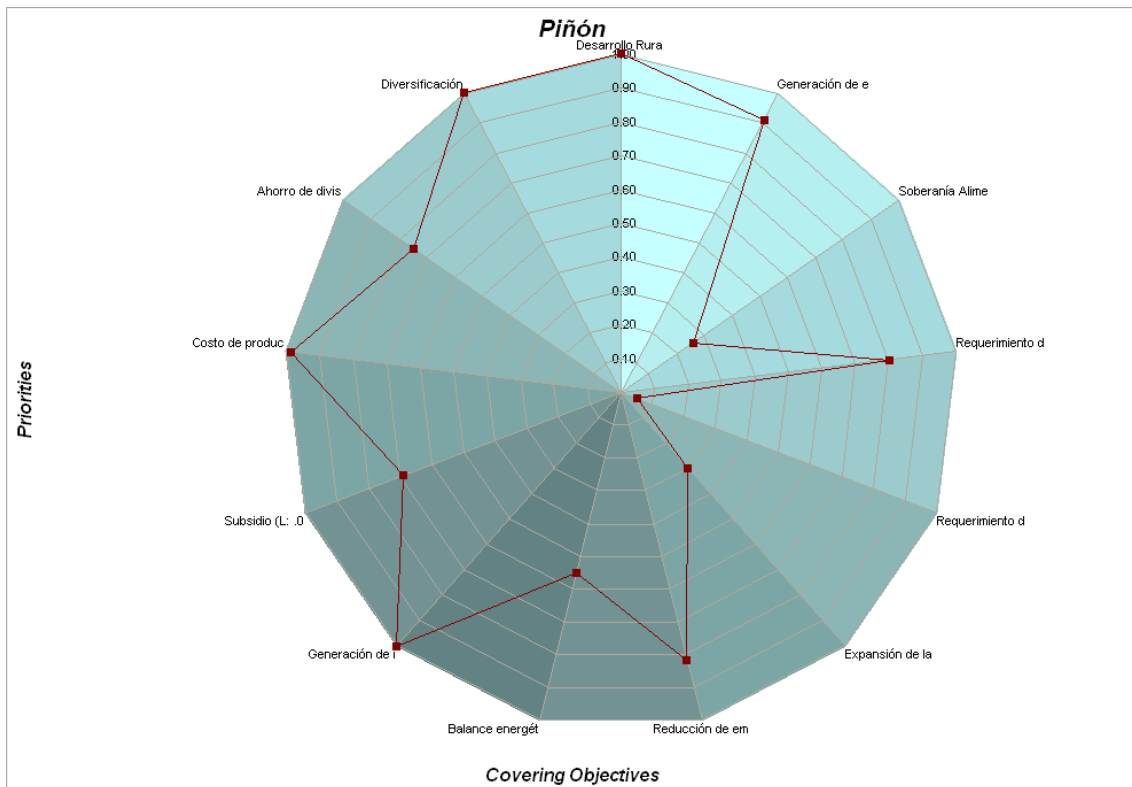
Elaboración: Autor

Finalmente presentamos el análisis de cobertura de objetivos para la alternativa de la refinación de biodiesel del piñón y se contrasta los resultados con el aceite de palma. En cuanto a la generación de empleo, la opción del piñón cubre el 91% del objetivo planteado en relación al 37% del aceite de palma. Esto se debe a que la opción del piñón tiene un menor rendimiento de aceite por hectárea lo que incide sobre la cantidad de tierra que debe cultivarse y por tanto sobre la cantidad de empleos final. Este aspecto hace que la opción del piñón sea igualmente más atractiva que la de la palma para el desarrollo rural. Se debe considerar que la refinación de biodiesel desde aceite de palma sería realizada por la empresa privada limitando el acceso y el *spread* tecnológico en el sector agrícola.

El siguiente aspecto en consideración es que el aceite de palma representaría una mayor amenaza para la soberanía alimentaria ya que es un producto comestible, mientras que la semilla del piñón al ser poliinsaturada no es apta para el consumo y de hecho presenta una alta toxicidad. Otro aspecto de mejor rendimiento es el de requerimiento de agua ya que el piñón se da en zonas áridas y necesita menos agua que la palma (80 y 17% respectivamente).

En relación a los criterios económicos, el piñón es una mejor opción que el aceite de palma ya que su precio es inferior (2,03 usd/galón) al del biodiesel proveniente de la palma africana (3,80 usd.) De igual manera este efecto se ve reflejado en los subsidios que serán inferiores para el caso del piñón siendo de 1,03 dólares y para la palma africana serán de 2,8 dolares.

Gráfico 36. Cobertura de Objetivos de la alternativa Piñón



En general y como una conclusión previa al análisis del desempeño de las alternativas, podemos mencionar que el diesel fósil y el piñón son más eficientes si se consideran los aspectos económicos, mientras que el piñón y la palma africana se comportan de mejor manera en relación a los objetivos sociales y ambientales. A continuación se presentan las prioridades respecto a los objetivos definidos y el desempeño de cada alternativa para los diferentes criterios utilizados.

En la parte izquierda de la tabla 31 se presentan las prioridades de cada uno de los objetivos planteados así como de los criterios tomados en cuenta para cada una de estas

categorías. En la sección derecha se muestran las tres alternativas y su desempeño en relación a cada uno de los criterios (ranking global). En la parte superior se presentan los datos obtenidos para el objetivo global que es un ranking que toma en cuenta todos los aspectos del análisis. Posteriormente se presentan los aspectos económicos, ambientales y sociales de la valoración.

Tabla 31. Matriz de prioridades

Prioridades respecto a los objetivos		Prioridades respecto a las alternativas			
Objetivo: SELECCIONAR UNA OPCIÓN DE POLÍTICA		Alternativa			TOTAL
OBJETIVO GENERAL	1	Diesel	Piñón	Palma	
1 Dimensión Económica	0.333	0.051	0.185	0.152	0.388
2 Dimensión Ambiental	0.333	0.106	0.116	0.12	0.342
3 Dimensión Social	0.333	0.039	0.165	0.066	0.27
TOTAL		0.196	0.466	0.338	1
<i>Inconsistency = 0,01 con 0 valores perdidos</i>					
		Alternativa			TOTAL
ASPECTOS ECONÓMICOS	0,333	Diesel	Piñón	Palma	
1 Ahorro de divisas	0.090	0	0.017	0.017	0.034
2 Costo de producción	0.145	0.024	0.027	0.003	0.054
3 Seguridad Energética	0.354	0.009	0.065	0.065	0.139
4 Generación de industria	0.354	0.008	0.065	0.065	0.138
5 Subsidio	0.058	0.01	0.011	0.002	0.023
TOTAL		0.051	0.185	0.152	0.388
<i>Inconsistency = 0,01 con 0 valores perdidos</i>					
		Alternativa			TOTAL
ASPECTOS AMBIENTALES	0,333	Diesel	Piñón	Palma	
1 Balance energético	0.368	0.009	0.057	0.068	0.134
2 Expansión frontera agrícola	0.072	0.013	0.004	0.002	0.019
3 Reducción de emisiones	0.102	0	0.019	0.019	0.038
4 Requerimiento de agua	0.229	0.042	0.034	0.007	0.083
5 Requerimiento de tierra	0.229	0.042	0.002	0.024	0.068
TOTAL		0.106	0.116	0.12	0.342
<i>Inconsistency = 0,02 con 0 valores perdidos</i>					
		Alternativa			TOTAL
ASPECTOS SOCIALES	0,333	Diesel	Piñón	Palma	
1 Desarrollo rural	0.571	0.013	0.105	0.042	0.16
2 Generación de empleo	0.286	0	0.053	0.021	0.074
3 Competencia en el uso de la tierra	0.143	0.026	0.007	0.003	0.036
TOTAL		0.039	0.165	0.066	0.27
<i>Inconsistency = 0,02 con 0 valores perdidos</i>					

Como se mencionó anteriormente, cada uno de los objetivos se ponderó con el mismo peso en relación al objetivo general, así los aspectos económicos, ambientales y sociales tienen una importancia relativa de 33,33% para alcanzar el objetivo final. El desempeño de las alternativas a nivel agregado se puede observar en la parte superior de la tabla. En relación a la dimensión económica el diesel tiene una cobertura de 0.051, el piñón de 0.185 y la palma de 0.152 siendo el más eficiente el piñón. En cuanto a la dimensión ambiental el piñón y la palma presentan el mismo rendimiento y en cuanto a la dimensión social es el piñón el que tiene mayor cobertura en los criterios con un total de 0.165. Dentro de los aspectos económicos la mayor importancia la tienen los criterios de diversificación energética y generación de industria (0.354). Esto se debe a que si no se promueve la adopción de nuevas formas de energía, el Ecuador deberá continuar importando diesel fósil destinando recursos a este rubro en lugar de promover el desarrollo local. De igual manera la generación de industria es un criterio con mayor peso porque supone una mejora global en las condiciones de vida del sector rural.

El siguiente aspecto de relevancia para el análisis es el costo de producción ya que de él dependen los recursos que deba destinar el estado por medio de subsidios. De los aspectos mencionados que suman el 80% del objetivo económico, se observa que para el costo la alternativa que presenta un mejor desempeño es el piñón, mientras que para la soberanía energética y la industria de la glicerina las mejores opciones son el piñón y la palma respectivamente.

Al analizar los aspectos ambientales se muestra que los criterios de mayor importancia son el balance energético (0.368) y el requerimiento de agua y de tierra (0.229) seguidos de la reducción de emisiones y la expansión de la frontera agrícola. Para los criterios mencionados, el diesel fósil es la mejor alternativa tanto para evitar un cambio en el uso del agua así como para evitar una posible expansión de la frontera agrícola. En cuanto a la reducción de las emisiones de CO₂ la palma y el piñón tienen igual desempeño y presentan el mismo nivel de utilidad (0,019).

Como se anotó, el potencial de los biocombustibles se encuentra en el desarrollo del sector agrícola y como se muestra en la sección de la categoría social de la tabla 31 es en donde mejor respuesta tienen tanto el piñón como la palma africana a excepción de la soberanía alimentaria. En el caso del piñón, a pesar de que no es una semilla comestible,

si puede representar una sustitución de los cultivos dedicados a alimentos debido a un mejor precio y un mayor rendimiento económico de los cultivos energéticos. En cuanto al desarrollo rural y la generación de empleo, la mejor alternativa es el piñón.

4.7 Escenario alternativo

A efectos de conocer que tan robusto es el desempeño del piñón en cuanto a los criterios analizados se procedió a modelar un escenario alternativo en el que la preferencia de los criterios fue modificada. A continuación se muestran las diferencias entre las especificaciones de los modelos considerados.

Tabla 32. Especificaciones de los modelos analizados

Ideal mode	Criterio	<i>f</i>	Modelo 1	Modelo 2
DIMENSIÓN ECONÓMICA 0.333	Diversificación Energética	Cualitativa	0.354	0.062
	Ahorro de divisas	I	0.09	0.268
	Costo	D	0.145	0.308
	Subsidio	D	0.058	0.238
	Generación de Industria	Cualitativa	0.354	0.124
DIMENSIÓN AMBIENTAL 0.333	Balance energético	I	0.368	0.087
	Reducción emisiones CO2	I	0.102	0.113
	Expansión frontera agrícola	Cualitativa	0.072	0.151
	Req. de Agua	D	0.229	0.325
	Req. de Tierras	D	0.229	0.325
DIMENSIÓN SOCIAL 0.333	Sob. Alimentaria	Cualitativa	0.143	0.625
	Desarrollo Rural	Cualitativa	0.286	0.238
	Gen. de empleo	I	0.571	0.136

En la dimensión económica para la segunda especificación (modelo 2) se dio mayor preferencia al costo de producción de biodiesel debido a que los criterios de ahorro de divisas, subsidios y de generación de una industria alternativa dependen de este. En segundo lugar se ponderó el ahorro de divisas y finalmente el subsidio como los criterios más importantes.

Tabla 33. Matriz de prioridades para la dimensión económica

	Criterio	Diesel Fósil	Palma Africana	Piñón	Total
Dimensión Económica	Ahorro de divisas	0	0.128	0.128	0.256
	Costo de producción	0.148	0.015	0.145	0.308
	Diversificación Energética	0.004	0.03	0.03	0.064
	Generación de industria alternativa	0.007	0.06	0.06	0.127
	Subsidio	0.106	0.026	0.114	0.246
Total		0.265	0.259	0.477	1.00

En cuanto al costo de producción el diesel fósil y el piñón son las alternativas que muestran un mejor desempeño con un puntaje de 0.148 y 0.145 sobre el total de 0.308 mientras que en relación al ahorro de divisas el diesel no presenta cobertura en el criterio y el mejor puntaje es para el piñón. En cuanto al subsidio la alternativa con mejor desempeño es el piñón lo que se debe a que tiene un costo inferior que el de las otras alternativas. A nivel agregado el diesel y la palma africana muestran un desempeño similar y son superadas por el piñón.

Para realizar el análisis de la dimensión ambiental en la segunda especificación se dio mayor peso a los requerimientos de tierra y de agua dado que son criterios que presentan mayor sensibilidad a los posibles cambios por la producción de biodiesel. De igual manera una posible expansión de la frontera agrícola implicaría una mayor deforestación de bosque (especialmente para el caso de la palma) por lo que se le otorgó una mayor importancia dentro de la dimensión ambiental. Como cuarto criterio se escogió la reducción de emisiones ya que es un objetivo global y que contribuiría a una mejor calidad de vida en las ciudades en donde la polución crea afecciones dérmicas y pulmonares. Bajo la nueva especificación hay un castigo para los biocombustibles ya que son estos los que tendrán un menor desempeño en relación a los criterios especificados.

Tabla 34. Matriz de prioridades para la dimensión ambiental

	Criterio	Diesel Fósil	Palma Africana	Piñón	Total
Dimensión Ambiental	Balance energético	0.007	0.052	0.044	0.103
	Expansión de la frontera agrícola	0.091	0.011	0.027	0.129
	Reducción de emisiones	0	0.068	0.068	0.136
	Requerimiento de agua	0.196	0.033	0.157	0.386
	Requerimiento de tierra	0.196	0.008	0.039	0.243
Total Dimensión Ambiental		0.49	0.172	0.335	0.997

En la tabla 34 se puede apreciar como a nivel agregado la alternativa con un mejor desempeño es el diesel fósil ya que no requiere de tierra o de agua para su producción y de igual manera no representa un riesgo para la frontera agrícola, sin embargo no presenta una buena cobertura del objetivo ambiental en cuanto al balance energético y la reducción de emisiones en donde son la palma y el piñón los que se presentan como una mejor opción. En cuanto al requerimiento de agua el piñón muestra un mejor desempeño que la palma ya que este se cultiva en zonas áridas y requiere tan sólo de una precipitación de 600 mm/año. Tomando como referencia el balance energético el diesel es muy pobre y la mejor alternativa es la palma africana.

En la dimensión social se ponderó en primer lugar la seguridad alimentaria ya que la competencia que se puede dar entre alimentos y combustibles afectaría de mayor manera a los sectores más pobres de la población. En segundo lugar se dio preferencia al desarrollo rural que brindaría mejores oportunidades de vida a sus habitantes y finalmente se ponderó a la generación de empleo. El desempeño de las alternativas en esta dimensión se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 35. Matriz de prioridades para la dimensión social

	Criterio	Diesel Fósil	Palma Africana	Piñón	Total
Dimensión Social	Desarrollo Rural	0.011	0.038	0.096	0.145
	Generación de empleo	0	0.082	0.168	0.25
	Soberanía Alimentaria	0.441	0.049	0.114	0.604
Total Dimensión Social		0.452	0.169	0.378	0.999

Dado que el mayor peso se encuentra en la soberanía alimentaria en esta dimensión el mejor desempeño es para el diesel fósil ya que no implica una competencia de alimentos y combustibles. A nivel agregado el diesel cubre el 45% del objetivo planteado, seguido del piñón con un 37.8 y finalmente la palma con un 17%. El menor rendimiento de la palma se debe a que por sus características debe ser sembradas en tierras fértiles y es una especie invasiva que ha significado la tala de miles de hectáreas de bosque. En cuanto a la generación de empleo la alternativa más eficiente es el piñón gracias a que requerirá de una mayor extensión de tierra para cubrir la demanda analizada por lo que es la que promueve el mayor crecimiento del sector rural.

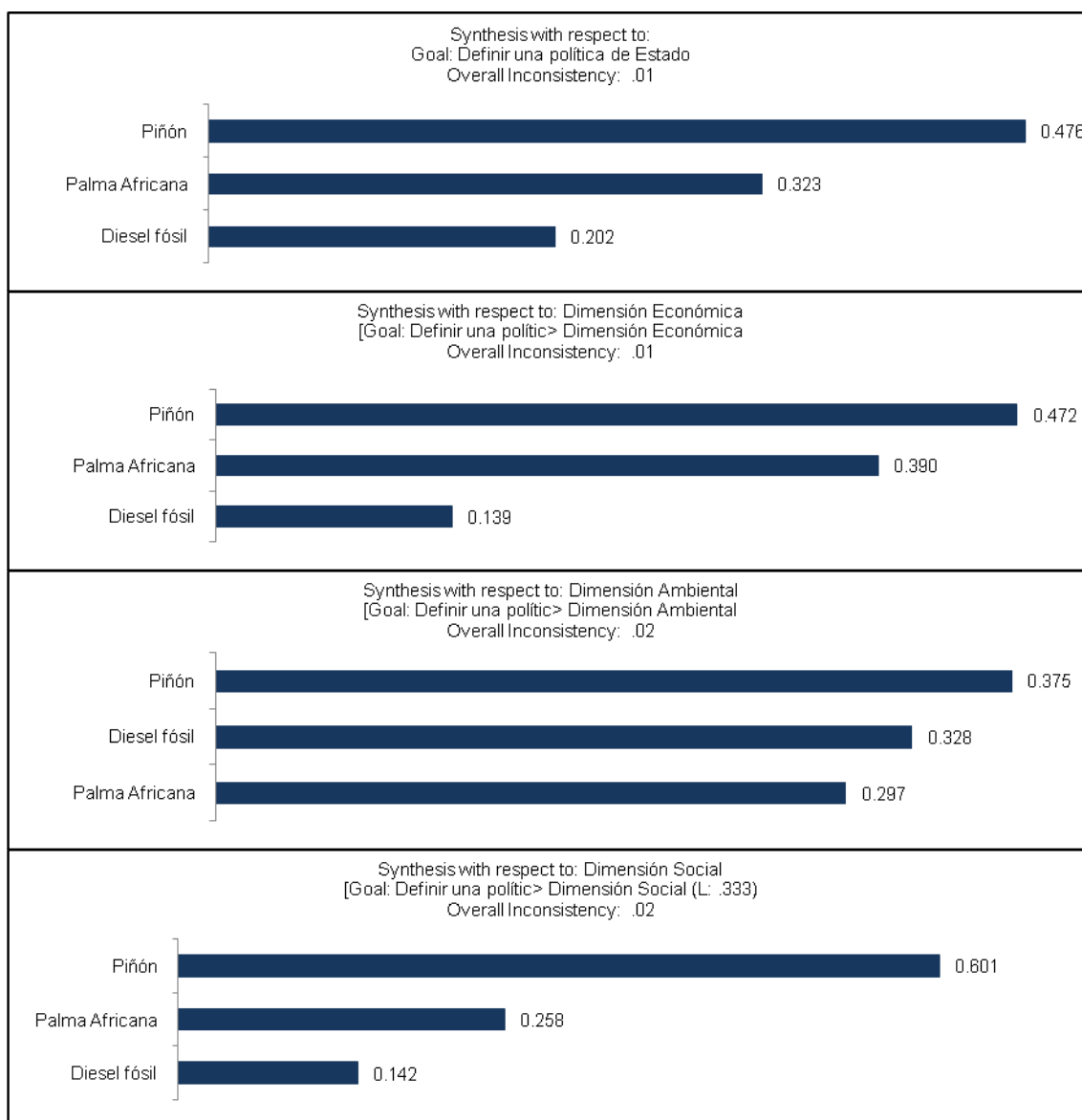
4.8 Desempeño de las alternativas

Hasta este punto se ha analizado el desempeño de las alternativas en relación a cada una de las dimensiones y los criterios incluidos en el análisis. En la presente sección se revisará la cobertura de las alternativas a nivel agregado para los objetivos (dimensiones) y para el objetivo global que es definir la mejor alternativa para una política de Estado. En primer lugar se revisará el desempeño para la especificación 1.

En la tabla 33 se muestra como el piñón tiene el mejor ranking respecto al objetivo económico lo que se debe a su bajo costo, 2.03 dólares en relación al del diesel que es de 2.2 y el de la palma, el menos eficiente, de 3.8. Este costo tiene un impacto positivo sobre los criterios subsidio y ahorro de divisas. Un bajo costo de producción da un mejor resultado a nivel agregado ya que no sólo que ahorra divisas que se destinan a la importación del combustible, sino que requerirá de un menor subsidio por parte del Estado.

En relación a la dimensión ambiental el piñón tiene el mejor desempeño aunque no en la misma magnitud que en la dimensión económica. Para el primer escenario se definió que los criterios con mayor preferencia son el balance energético y los requerimientos de agua y tierra y finalmente la reducción de emisiones y la expansión de la frontera agrícola. Dado que las alternativas para el biodiesel tienen un balance energético hasta 7 veces superior que el del diesel se desempeñan mejor en la dimensión ambiental. El piñón es una mejor opción en relación a los requerimientos de agua y adicionalmente no presentaría un escenario de competencia entre alimentos y combustibles y dado que se puede sembrar en tierras degradadas no implicaría una expansión de la frontera agrícola. La segunda mejor opción es el diesel fósil gracias a que no requiere de tierras o de agua para su producción así como tampoco significa una deforestación de más zonas de bosque. El peor desempeño de la palma se debe por su parte a que tiene un alto requerimiento de agua y significaría una expansión de la frontera agrícola.

Tabla 36. Ranking de las alternativas: Especificación 1.



La dimensión social tiene como mejores alternativas al piñón y a la palma africana y presenta una puntuación pobre del diesel. El piñón requerirá de más tierra para la producción del biocombustible, lo que incide sobre la cantidad de empleos que generaría de escogerse como opción y al ser ese el criterio con mayor peso se explica el mejor rendimiento de la alternativa. En cuanto al desarrollo rural el piñón también tiene un mejor ranking ya que la siembra sería controlada por el Estado con la finalidad de evitar la concentración de tierras y el desplazamiento de los pequeños productores. El puntaje obtenido por el diesel fósil se debe a que no incide sobre la soberanía alimentaria.

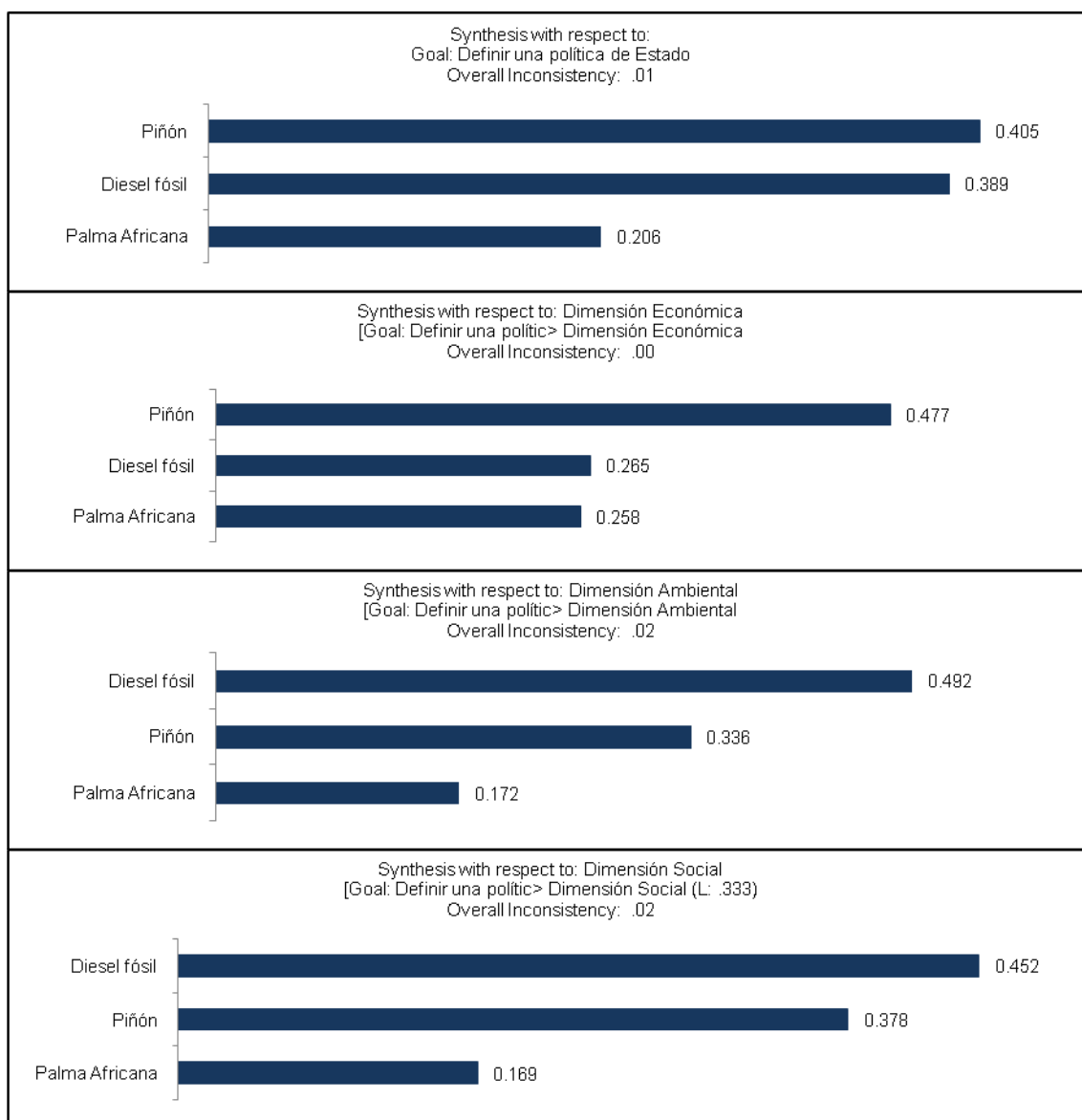
A nivel agregado la alternativa con mejor puntuación es el piñón con un puntaje global de 0.476 sobre la palma con 0.323 y el diesel con un desempeño de 0.202.

En la tabla 37 se resume el ranking agregado de las alternativas para la segunda especificación. Como se mencionó, para esta especificación se modificó la preferencia de los criterios para analizar si el piñón se mantenía como opción. En cuanto a la dimensión ambiental el diesel es la mejor alternativa. Para este caso se dio una mayor preferencia a los requerimientos de agua y de tierra seguidos de la expansión de la frontera agrícola, las emisiones de CO₂ y finalmente el balance energético.

Tanto el piñón como la palma africana requerirán de nuevos cultivos, lo cual afecta su desempeño respecto a estos criterios y para el caso específico del piñón tiene el mayor requerimiento de tierra de las tres alternativas consideradas, sin embargo su requerimiento de agua es muy bajo lo que no afecta en gran medida el desempeño de la alternativa a nivel agregado. Como ya se mencionó el piñón no tiene incidencia sobre la expansión de la frontera agrícola y presenta mayores beneficios (al igual que la palma) en reducción de emisiones que el diesel y finalmente su balance energético es 6 veces mayor que el del diesel, sin embargo es inferior que el de la palma africana.

Respecto a la dimensión económica para la segunda especificación se dio preferencia al costo de producción, el ahorro de divisas, el subsidio a la producción, la generación de una industria alternativa y finalmente a la diversificación de la matriz energética. La alternativa con mejor desempeño es el piñón gracias a su costo inferior de producción lo que significa a su vez un mayor ahorro de recursos y menos subsidios. Adicionalmente el piñón promueve el desarrollo de la industria por medio del aprovechamiento de la glicerina así como diversifica la matriz energética aumentando la seguridad energética del país.

Tabla 37. Ranking de las alternativas: Especificación 2.



En cuanto a la dimensión social al dar mayor preferencia a la soberanía alimentaria que a los demás criterios el diesel fósil tiene un mejor rendimiento y es la alternativa con mejor ranking seguida del piñón y la palma africana. A pesar de que el piñón no es la mejor alternativa en la dimensión ambiental y social, su mejor desempeño en la dimensión económica y su participación en la dimensión social lo escogen como la mejor alternativa a nivel agregado con un rendimiento 7% inferior que en el primer escenario mientras que la segunda alternativa para este caso es el diesel y en tercer lugar la palma africana.

4.9 Análisis de Sensibilidad¹⁶

Para realizar este análisis se parte de la matriz de decisión detallada en la Tabla 30. Posteriormente se ha definido un rango de 0,2 para realizar el análisis de sensibilidad, lo que significa que se aplicará el modelo para determinar el comportamiento de las variables dentro de este rango. Para el análisis de las variables dicotómicas se define un rango de variación de 0,25, el cual se mantiene en la matriz de logaritmos.

Para definir el peso de los criterios se le dio la misma importancia a cada una de las dimensiones, esto es 0,33 a cada una de ellas (Económica, Social y Ambiental) y se asignó el mismo peso a los criterios dentro de cada dimensión, así por ejemplo en la dimensión social existen 3 criterios con un peso de 0,11 cada uno (0,33 en total).

Una vez que definió el margen para el análisis de sensibilidad y los pesos para los criterios y las dimensiones, se procedió a obtener los logaritmos naturales de cada uno de los criterios y del rango definido anteriormente para capturar las tasas de cambio que presentan las variables analizadas. Estos datos se detallan en la Tabla 39.

En la Tabla 38 se muestra la comparación por pares realizadas para las alternativas definidas que son el diesel fósil (A1), la palma africana (A2) y el piñón (A3). Al comparar el rendimiento del diesel con el de la palma africana se puede observar que las alternativas tienen un mismo desempeño con un grado de credibilidad de 0,22 pero que el diesel es inferior con un grado de credibilidad de 0,68. En otras palabras esto significa que la palma africana es superior al diesel fósil.

Tabla 38. Comparación por pares de alternativas.

GRADO DE CREDIBILIDAD	A1-A2	A1-A3	A2-A3
Mayor	0,00	0,00	0,16
Igual	0,22	0,23	0,44
Menor	0,68	0,66	0,38
No comparable	0,16	0,17	0,12
GRADO MÁXIMO	0,68	0,66	0,44

¹⁶ El presente análisis se realizó de acuerdo a la metodología de Rafael Burbano (2009)

Tabla 39. Matriz de Impacto

	Diversificación energética	Ahorro de divisas	Costo	Subsidio	Generación de Industria	Balace energético	Reducción de emisiones	Exp. Frontera agrícola	Req. de agua	Req. de tierra	Soberanía alimentaria	Desarrollo rural	Generación de empleo	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	
Criterios														
Económico					Ambiental					Social				
Variables	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Objetivo	max	max	min	min	max	max	max	min	min	min	min	max	max	
Umbral	0,25	0,18	0,18	0,18	0,25	0,18	0,18	0,25	0,18	0,18	0,25	0,25	0,18	
Peso	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,111	0,111	0,111	
Diesel	Alt1	0,0	-6,9	0,8	4,9	0,0	-0,1	-6,9	0,0	-6,9	-6,9	1,0	0,0	-6,9
Palma	Alt2	1,0	5,6	1,3	4,8	1,0	1,9	0,9	1,0	7,8	4,2	0,0	0,7	2,9
Piñon	Alt3	1,0	5,6	0,7	5,8	1,0	1,7	0,9	1,0	6,4	5,0	0,2	1,0	3,8

De la misma manera al comparar el diesel fósil con el piñón se observa que el piñón es una alternativa preferible con un grado de credibilidad de 0,66. De lo expuesto se puede concluir que tanto la palma africana como el piñón son alternativas más deseables que el diesel fósil. Al comparar la palma africana (A2) con el piñón (A3) se observa que con una credibilidad de 0,44 las alternativas son iguales y con un grado de credibilidad de 0,38 la palma africana es inferior que el piñón.

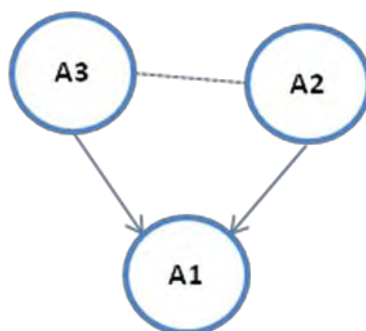
En el ranking global de las alternativas se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 40. Ranking de Alternativas

Alternativas	R+	R-	R
DIESEL (A1)	0,00	1,34	0,33
PALMA (A2)	0,84	0,38	1,23
PIÑÓN (A3)	1,04	0,16	1,44

En el rango superior el piñón es la alternativa con mejor desempeño con un total de 1,04, mientras que la palma es la segunda mejor alternativa y el peor desempeño es el del diesel fósil. En el análisis del rango inferior se puede apreciar que nuevamente el diesel es la alternativa con el menor desempeño mientras que la palma y el piñón presentan un mejor rendimiento. En el análisis global se puede apreciar como el piñón es la mejor alternativa con un total de 1,44, seguida de la palma con 1,23 y del diesel con 0,33. Este rendimiento se detalla en el siguiente gráfico.

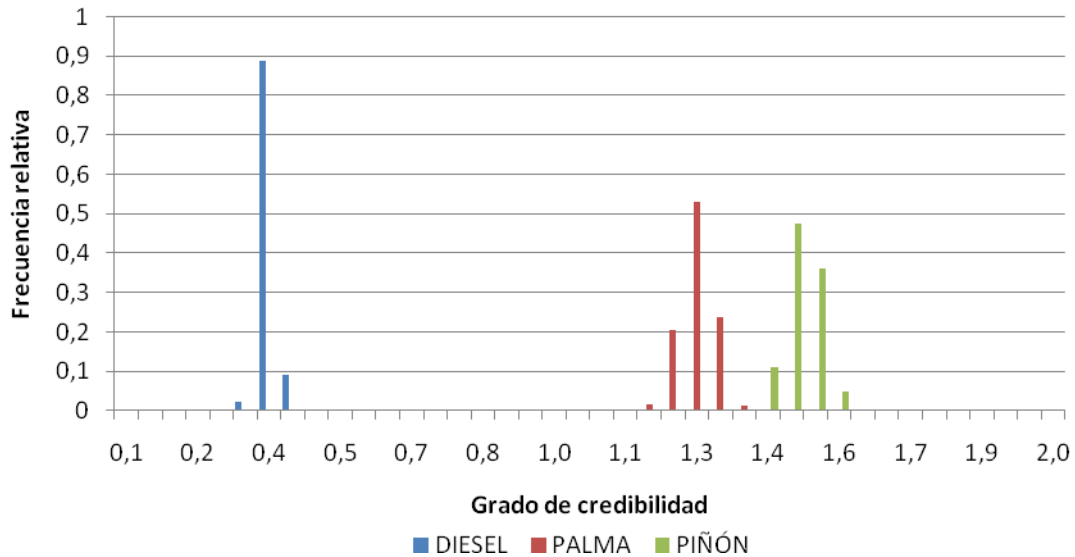
Gráfico 37. Desempeño de alternativas.



Como se puede apreciar en el gráfico anterior, tanto la palma como el piñón son alternativas preferibles al diesel fósil y el piñón (Alternativa A3) es ligeramente superior en desempeño que la palma africana.

Finalmente se presenta la ordenación de las alternativas de acuerdo a los criterios escogidos.

Gráfico 38. Ordenación de las alternativas.



En el gráfico 36 se puede observar que con un grado de credibilidad de 0,4 el diesel se encuentra en último lugar en la ordenación. Para el caso del piñón y de la palma se observa que alrededor de un grado de credibilidad de 1,4 las dos alternativas son iguales, lo que se mostró también en la tabla 38, sin embargo el piñón es una alternativa superior con un grado de credibilidad de 1,6.

4.10 Conclusiones

Los procesos económicos y la intensificación energética de la economía mundial han aumentado los problemas ambientales relacionados a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera, así como con cambios en el uso de la tierra y la creciente extracción de recursos naturales. Los efectos que se pueden dar a largo plazo son desconocidos y la incertidumbre en cuanto a las medidas que se deben adoptar son aspectos centrales de esta nueva problemática.

Sin duda existen evidencias que señalan de manera casi inequívoca que la intervención humana está cambiando el medioambiente y la probabilidad de que en un futuro existan potenciales catástrofes naturales es cada vez mayor. Estos efectos adversos tendrán

consecuencias sobre la economía, y será la población más pobre y con menos capacidades y recursos para adaptarse a estos cambios, la que lleve la peor parte (Spash, 2007).

Un hecho sorprendente alrededor de esta problemática es la circunstancia de que a pesar del reconocimiento de que los sistemas son mucho más complejos de lo que aparecen en los modelos que explican al mercado y las relaciones económicas, la teoría neoclásica parece insistir en simplificaciones y modelizaciones matemáticas para encontrar los costos que tendrán estos efectos sobre la economía. El informe Stern sobre el medioambiente critica muchos de los mecanismos utilizados y dice que no es necesario realizar agregaciones monetarias para conocer que la intervención humana será altamente costosa (Stern, 2006) pero termina por utilizar modelos que simplifican en extremo la realidad como mecanismos de evaluación.

Supongamos por un momento que las valoraciones económicas de los ecosistemas son correctas, y que a pesar de que no toman en cuenta aspectos como la dificultad de asignar una tasa de descuento real para la naturaleza, ya que no hay manera de conocer su valor para las generaciones futuras, o que muchas veces se pasa por alto el hecho de que los ecosistemas cumplen una doble función como proveedor de recursos y sumidero de los desechos y que mantienen el equilibrio natural, los datos que arrojan estas valoraciones monetarias no permitirán recuperar el equilibrio original y mucho menos reemplazar un ecosistema.

El aspecto clave se centra en si el conocimiento actual es válido para encontrar una respuesta y una política que ayude a mitigar los impactos en el medioambiente. ¿Es posible que la ciencia que conocemos, y cuyas teorías han llevado a la sobreexplotación, presenten una solución para una problemática creada desde sus conceptos? La incertidumbre es alta y las consecuencias y riesgos de actuar erróneamente o no considerar todos los aspectos y las afectaciones sobre el sistema pueden significar más que pérdidas en el PIB mundial.

La economía mundial se está recuperando de una gran crisis económica y financiera lo que puede causar que las políticas para el ahorro energético y las inversiones en tecnología para la reducción de emisiones y para investigación y desarrollo de

tecnologías limpias se dejen de lado. (De la Torre, 2009) El reto de la actual crisis es solucionar la problemática económica, pero no a costa de una mayor tasa de explotación y un incremento del uso energético, que una vez se supere la crisis sólo habrá agravado la problemática.

La situación energética es un aspecto vital para el futuro desarrollo por lo que tomar medidas a favor de un mejor uso de los recursos es totalmente necesario y no se debe perder de vista que el crecimiento económico sin equilibrio con el medio físico no presenta las mejores perspectivas para el futuro. La problemática actual debe ser discutida en un marco democrático y no sólo en función del candado tecnológico impuesto por las grandes empresas petroleras.

Los sistemas económicos y los culturales evolucionan en el tiempo, sin embargo tienen una dimensión temporal muy distinta de los sistemas naturales (Gual, 2008) por lo que solucionar una crisis económica a corto e inclusive a mediano plazo, no debe comprometer los esfuerzos por alcanzar un desarrollo sostenible a largo plazo. Un ejemplo de esto se presenta en el caso del petróleo, el cual en los actuales momentos tiene un costo relativo muy inferior al de las energías renovables, lo que podría llevar a los países a preferirlos sobre éstas. Esta mayor productividad del petróleo, debido a su precio, puede llevar de igual manera a desincentivar la sustitución por energías más limpias (De la Torre, 2009)

Debemos preguntarnos si la actual crisis se debe en realidad a problemas estrictamente financieros o si es una evidencia del fallo del actual sistema y de concepciones erróneas sobre el funcionamiento del sistema y nuestra relación con el medioambiente. Si esto último es cierto, entonces es necesario que se desarrollen nuevas maneras de pensamiento que permitan el crecimiento armónico y que contemplen las leyes que rigen a los procesos productivos y que no sean sólo variables *dadas* en los análisis económicos y que incluyan la incertidumbre, la imposibilidad de valorar todo monetariamente y la discusión democrática que permita encontrar opciones y campos de acción antes que soluciones mágicas provenientes de datos considerados como absolutos e irrefutables.

Para el caso ecuatoriano se debe subrayar que la actual crisis presenta una oportunidad para diversificar la matriz energética y hacer uso responsable de los recursos naturales que tiene el país y que, de aprovecharse podría significar un salto cualitativo importante en relación a la región. Este cambio debe tomar en cuenta los diferentes aspectos involucrados para que la política que se adopte traiga los mayores beneficios a largo plazo para la sociedad en su conjunto. A continuación se detallan las conclusiones de la presente tesis.

Determinar la factibilidad de la producción de biomasa y la refinación de biodiesel para el caso ecuatoriano.

Para el caso ecuatoriano se han definido dos alternativas para la producción de biodiesel: el piñón y la palma africana, los cuales se encuentran presentes en el territorio nacional. Para el caso de la palma africana el Ecuador contó en el año 2009 con una producción de 447.667 toneladas de aceite, de las cuales se tuvo un excedente de 235.667 toneladas que equivalen a 1.727.439 barriles, los cuales se destinan a la exportación. Si tomamos en cuenta la demanda total de diesel en el año 2009 que fue de 22 millones de barriles y obtenemos una mezcla del 10% tenemos que serán necesarios 2.2 millones de barriles lo que da un déficit de 472.561 barriles. La palma tiene una producción de 40.5 barriles por hectárea, dato que multiplicado por las 50.000 hectáreas definidas por el Estado para la expansión de la producción da un total de 2.025.000 barriles adicionales con lo que se cubriría, con la producción actual, la demanda hasta el año 2019.

Para la producción con piñón la factibilidad de la producción también es real, sin embargo dada la producción por hectárea de 16 barriles por hectárea serán necesarias aproximadamente 137.000 hectáreas por lo que la política de 50.000 se muestra insuficiente para cubrir la demanda; sin embargo si analizamos la demanda del sector transporte que en el año 2013 será de 19,1 millones de barriles, será necesario la plantación de 118.750 hectáreas que pueden ser repartidas en las zonas áridas de las provincias de Manabí, Los Ríos, Galápagos y Loja.

Por lo expuesto se puede concluir que el Ecuador tiene potencial para poder abastecer una mezcla B10 en el consumo interno de diesel ya sea por medio del aceite rojo de

palma o por el aceite poliinsaturado del piñón y por tanto la producción de biodiesel en el Ecuador es factible.

Determinar los beneficios de la producción de biodiesel para la economía ecuatoriana.

El Ecuador en el año 2010 tuvo un consumo total de diesel de 23,2 millones de barriles de los cuales se importaron 19,5 millones con un costo total para el Estado de 1875 millones de dólares y un balance negativo de 1.093 millones de dólares. La producción de biodiesel con piñón tiene un costo de 2,03 dólares por galón, por lo que significa un ahorro total para el Estado de 262 millones de dólares, sin embargo es necesario restar los recursos destinados al subsidio a la producción de biodiesel que ascienden a 118 millones, por lo que la producción de biodiesel habría significado un egreso inferior de 54 millones de dólares.

Si bien en términos relativos el ahorro es muy pequeño, cabe mencionar que esos recursos se pueden destinar a dotar de tecnología al sector rural y a implementar políticas que incrementen el capital social del sector agrícola. Dentro de los beneficios obtenidos por la implementación del biodiesel para el sector rural se tiene la generación de empleo que crearía entre 27.000 y 56.000 nuevas plazas de trabajo y una reducción de emisiones de CO₂ equivalente de 351.567 toneladas.

Definir los aspectos relevantes para la sostenibilidad de la producción de biodiesel.

Los aspectos de la sostenibilidad de la implementación de la producción de biodiesel se enmarcan dentro de las esferas económica, ambiental y social. Debe aclararse que para definir una sostenibilidad del modelo de producción no debe existir una preferencia subjetiva de una dimensión sobre las demás, sino que por el contrario se debe promover el equilibrio en las metas propuestas.

Dentro de la dimensión económica se consideraron los siguientes criterios: i) El costo de producción, ii) el ahorro en divisas, iii) el subsidio a la producción de biodiesel, iv) la generación de una industria alternativa; y, v) la diversificación de la matriz energética. Los criterios mencionados se analizan de tal manera que se pueda dar preferencia a la opción que represente los mejores costos y que a su vez diversifique la matriz energética

y contribuya al desarrollo de una nueva industria. Este análisis permitirá que el Estado localice de manera más eficiente los recursos que actualmente se destinan a la importación del combustible y los redirija hacia el desarrollo del sector rural y el empoderamiento tecnológico de la agricultura.

Si bien el costo de producción es un aspecto importante, debe analizarse el impacto que tendrá en relación con el rendimiento del combustible ya que un bajo rendimiento por hectárea tendría consecuencias negativas sobre la cantidad de tierra que se necesita para cubrir el 10% de la demanda. Por su parte un requerimiento de tierra demasiado alto sumado a una baja productividad implica que el cultivo se hará intensivo en el uso de agua y de fertilizantes causando afectaciones sobre el medioambiente al promover la expansión de la frontera agrícola y los monocultivos energéticos.

Si bien el desarrollo del sector rural es un objetivo por demás deseable, el mercado que se crearía con los biocombustibles y los subsidios a la producción podría desencadenar que los agricultores migren sus cultivos actuales hacia los energéticos causando así una competencia de precios entre los dos mercados. Por su lado la creciente demanda podría incrementar la concentración de tierras y un desplazamiento de los pequeños productores que cambiarían sus pequeñas producciones a favor de un empleo generado por esta industria.

Establecer los beneficios y los impactos de la producción de biodiesel.

En la tabla 41 se resumen los aspectos positivos y los posibles impactos de la producción de biodiesel en el Ecuador. Dentro de los aspectos positivos que motivan la implementación de una política de Estado se encuentran en primer lugar el ahorro de divisas que tal como se mencionó para el año 2013 puede representar 54 millones de dólares que se pueden utilizar para inversión. Además de promover el ahorro de divisas, el biodiesel contribuye a mejorar la seguridad energética protegiendo los recursos del Estado de las fluctuaciones en los precios de los combustibles fósiles a la vez que genera recursos por el aprovechamiento de la glicerina la que puede ser utilizada para la industria farmacéutica y cosmética.

Tabla 41. Beneficios e impactos de la producción de biodiesel

Aspectos positivos	Aspectos negativos
Ahorro de divisas	Requerimientos de tierra
Diversificación de la matriz energética	Requerimientos de agua
Generación de una industria alternativa	Expansión de la frontera agrícola
Reducción de emisiones de GEI	Soberanía Alimentaria
Balance energético	
Desarrollo rural	
Generación de empleo	

En cuanto al retorno energético, el biodiesel para las alternativas analizadas tiene un rendimiento entre 5.5 y 6.5 frente a un rendimiento de 0.9 del diesel fósil. Este aumento en el retorno energético implica que los biocombustibles producen mucha más energía de la que se utiliza en su transformación lo que a su vez tiene una repercusión positiva sobre los costos de la energía alternativa. En el sector rural, tal como se anotó, los principales beneficios son la generación de empleo y la transferencia de tecnología a la agricultura.

Dentro de los impactos que se podrían esperar se cuenta en primer lugar un aumento de la cantidad de tierra agrícola en el país y adicionalmente se podría estar motivando la creación de monocultivos intensivos en el uso de agua y de fertilizantes. Esta expansión puede tener consecuencias para la frontera agrícola por dos vías. En primer lugar al crear un mercado los agricultores tienen un incentivo para destinar sus tierras a los cultivos energéticos aumentando el área destinada a la agricultura y por otro, una vez que la demanda este cubierta puede darse una escasez de alimentos presionando a la oferta a aumentar la frontera agrícola.

Determinar si la producción de biodiesel debe definirse como política de Estado.

Una vez aplicada la metodología multicriterio a la problemática presentada, se evidencia que la mejor opción, de las tres alternativas que se consideran, es la adopción del piñón para la refinación del biodiesel en el Ecuador ya que si se adoptan medidas para que la producción no tenga efectos negativos en la frontera agrícola (definición de cuotas, zonificación de las áreas de cultivo) es una oportunidad para desarrollar el sector

agrícola además de aprovechar la glicerina para desarrollar una nueva industria que genere fuentes de empleo así como mayores ingresos para la economía.

De los resultados obtenidos del modelo multicriterio y la factibilidad en cuanto a recursos para su siembra y refinación se concluye que la producción de biodiesel es una alternativa viable en el Ecuador, no obstante es necesario contar con lineamientos que eviten que los impactos sean mayores que los beneficios y que aseguren una producción sustentable y un mercado eficiente.

4.11 Lineamientos para una política de Estado

En el Ecuador existen 2 figuras principales que promueven el desarrollo de los biocombustibles. En primer lugar el Plan Nacional de Desarrollo 2007 – 2011 (SENPLADES, 2007) define dentro de sus metas varios objetivos que están relacionados con las energías alternativas. Dentro del objetivo 3 se define como una prioridad (3.7) el promover el desarrollo de entornos favorables para la salud y la vida y se especifica que es necesario alcanzar un crecimiento urbano y rural que preserve el medioambiente y el uso apropiado de los recursos. Este punto es de importancia para una definición de política en cuanto el crecimiento de los asentamientos humanos trae consigo un incremento en la demanda de energía y por ende de los niveles de contaminación, los cuales pueden ser mitigados por medio de la inclusión en la matriz energética de combustibles que sean más eficientes en ese sentido.

El objetivo 4 del mismo plan tiene la intención de promover un medioambiente sano y sustentable. Dentro de las políticas de este objetivo se señala la restauración de tierras degradables, política que se puede alcanzar por medio de la siembra del piñón que recupera las áreas degradadas producto de la agricultura intensiva. A pesar de que el Ecuador no se encuentra entre los países con mayores niveles de contaminación a nivel mundial y que tampoco contribuye a nivel agregado de manera importante a las concentraciones de GEI, el plan promueve la prevención y mitigación del cambio climático. Tal como se ha expuesto, los datos encontrados en la literatura afirman que los biocombustibles son una alternativa válida que contribuye de manera importante en la reducción de GEI por lo que su promoción se inserta dentro de las líneas de acción del Estado.

El objetivo 4.5 está directamente relacionado con las energías renovables y tiene la intención de desarrollarlas y mejorar la eficiencia energética, a través del fortalecimiento del marco legal e institucional. Para alcanzar este objetivo es necesario que se conforme un organismo que se encargue del estudio y promoción y desarrollo del sector de las energías alternativas, el cual debe estar conformado por las diversas instituciones que se relacionen con el tema. Así será importante la inclusión del Ministerio de Relaciones Laborales, el Ministerio Coordinador de la Producción, el Ministerio del Ambiente, El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca y los Ministerios relacionados al sector energético.

Por otra parte el desarrollo de los biocombustibles cuenta con una normativa inicial que fue definida durante el gobierno de Lucio Gutiérrez. En el mes de Diciembre de 2004 se aprobó el decreto 2332 que establece que la producción y la comercialización de los biocombustibles es un aspecto de interés nacional. Por medio de este Decreto se creó un Consejo Consultivo y un Comité Técnico que tenían como meta el análisis, discusión y promoción de los biocombustibles. Dentro del Comité se cuenta con la presencia del sector privado que está representado por la Unión Nacional de Cultivadores de Caña del Ecuador, la Federación Nacional de Productores de Azúcar, la Asociación de Productores de Alcohol del Ecuador y la Asociación de Distribuidores de Combustibles.

Dentro de este marco participativo se describen a continuación ciertas líneas que son de importancia para la promoción de las energías alternativas y específicamente para el desarrollo de los biocombustibles.

Alcance de la Producción

Dado que la política definida por el Ecuador marca un límite en la cantidad de tierra que se destinará a la producción de biocombustibles, es necesario modificar el porcentaje de la mezcla, ya que las 50 mil hectáreas definidas se muestran insuficientes para la producción de biodiesel tal como se ha demostrado en la presente tesis. Una opción alternativa es modificar este límite para que se de paso a la producción de biodiesel a partir de piñón que en las especificaciones 1 y 2 de los modelos mostró ser la más eficiente a nivel agregado, sin embargo esta producción no debe concentrarse en una

zona específica sino que por el contrario debe darse a pequeña escala y la superficie debe ser repartida a lo largo de las provincias de Manabí, Los Ríos, Galápagos y Loja que cuentan con tierras áridas aptas para el crecimiento del piñón lo que promoverá el desarrollo de varias zonas del país.

Institucionalidad

En primer lugar es de vital importancia que el estudio, diseño, promoción y desarrollo de las políticas y el establecimiento de metas se dé en un marco participativo que cubra todos los aspectos relacionados y asegure la sostenibilidad del modelo productivo. Al interior de este organismo se debería incluir, como se anotó, a:

- Ministerio de Electricidad y Energías Renovables
- Ministerio de Recursos Naturales No Renovables
- Ministerio del Ambiente
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
- Ministerio de Relaciones Laborales
- Ministerio Coordinador de la Producción

Marco Legal

El apoyo a los biocombustibles debe regirse en una normativa que contemple tanto la ley de promoción como el reglamento por medio del cual se regirá la institucionalidad creada. Adicionalmente a estos aspectos, la normativa debe cubrir aspectos relacionados a la participación de la sociedad y de la empresa privada en la producción, la definición de los márgenes de consumo obligatorio interno y de manera general, la promoción de los biocombustibles.

Demanda

Inicialmente la mezcla para el biodiesel debe fijarse en 5% con el diesel fósil ya que una mezcla mayor puede tener problemas en cuanto al abastecimiento del biocombustible y promover la importación de otros países de la región. Posteriormente los límites deberán ser fijados por el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables previa la

socialización de un informe técnico que justifique el incremento y asegure la cantidad propuesta.

Criterios

Las políticas que se definan deberán considerar por lo menos los siguientes puntos:

- Evitar la expansión de la frontera agrícola y promover el cuidado de las zonas sensibles de acuerdo al Plan Nacional de Áreas Protegidas.
- Los biocombustibles que se utilicen en el territorio ecuatoriano deberán contar con un sello que garantice sus estándares técnicos y ambientales y que demuestre que la producción se dio en un marco de responsabilidad social y de inclusión de todos los sectores rurales.
- Incentivos para la producción tales como subsidios a la producción y créditos tributarios para los consumidores.

Competencia con Alimentos

La promoción de los biocombustibles tiene como meta principal el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del territorio ecuatoriano y por tanto debe evitar vulnerar otros aspectos tales como la seguridad alimentaria en beneficio de la producción de combustibles. El Ecuador tomará para la producción de biodiesel especies que no sean aptas para el consumo humano y que no representen un riesgo de procesos especulativos en detrimento del bienestar de la población.

Frontera agrícola y monocultivos

La siembra de biomasa con fines energéticos deberá considerar el menor impacto posible sobre las áreas protegidas y debe evitar el crecimiento de los monocultivos que pueden representar un riesgo para el equilibrio con el medioambiente. Adicionalmente se promoverá la recuperación de tierras marginales o degradadas por otras actividades agrícolas. De ser posible se promoverá (y premiará) los cultivos mixtos y que tengan un sello ecológico emitido por el Ministerio del Ambiente.

Modelo de producción incluyente

La siembra y producción tanto de biomasa como de biodiesel debe evitar prácticas excluyentes y que marginen a los pequeños productores. El Estado regulará la cadena productiva definiendo márgenes de participación que aseguren que los beneficios de la nueva industria se distribuyan de manera equitativa entre sus participantes. El proyecto de biodiesel debe tener como meta la inclusión de los sectores más deprimidos dentro de la economía así como promover una mejor calidad de vida evitando viejas prácticas como el enclave que se dio en el sector hidrocarbúrico.

A manera de conclusión final se puede establecer que la producción de biodiesel a partir de piñón en el Ecuador es una opción no sólo factible sino recomendable, ya que trae varios beneficios. Entre estos, y tal como se ha definido a lo largo de la presente tesis, dentro de la dimensión económica el principal beneficio es la creación de empleo en el sector rural y la dotación de tecnología a esta rama de la economía. Adicionalmente los recursos que actualmente se destinan a la importación de diesel fósil serán invertidos en el desarrollo de una nueva industria que puede cimentar las bases de un desarrollo sostenible para un sector vulnerable como lo es el agrícola. Por otro lado, dentro de las consideraciones ambientales el piñón disminuiría las concentraciones de GEI y la polución en las ciudades con mayores índices de contaminación. Finalmente dentro de la mayor discusión sobre si es recomendable su producción, se debe recalcar que el piñón no representa una amenaza para la seguridad alimentaria y no generaría una competencia entre la siembra de cultivos para alimentos o energía ya que sus frutos no son comestibles y principalmente su siembra se realizará en zonas áridas que no son aptas para el cultivo de alimentos.

Anexos

Anexo A

A.1 Costo de Producción del Biodiesel

Precio tonelada de aceite de palma	Precio tonelada de aceite de piñón	Gal/Ton	Precio galón palma	Precio galón piñón	Refinación Palma (15% Costo)	Precio galón biodiesel palma	Precio galón biodiesel piñón
a	b	c	$e = a/c$	$f = b/c$	g	$h = e * g$	$i = f * g$
1000	530	300	3,33	1,77	1,15	3,8	2,03

A.2 Subsidios a la producción de biodiesel

Año	Demanda (Mill. Galones)	B10	Costo			PVP Diesel	Diferencial			Subsidio (Millones de dólares)		
			Diesel	Biodiesel Palma	Biodiesel Piñón		Diesel	Biodiesel Palma	Biodiesel Piñón	Diesel	Biodiesel Palma	Biodiesel Piñón
	a	$b = a * 0,1$	c	d	e	f	$g = c - f$	$h = d - f$	$i = e - f$	$j = b * g$	$k = b * h$	$l = b * i$
2013	1.146,60	114,66	2,2	3,8	2,03	1	1,2	2,8	1,03	137,6	321,0	118,1
2014	1.209,60	120,96	2,2	3,8	2,03	1	1,2	2,8	1,03	145,2	338,7	124,6
2015	1.268,40	126,84	2,2	3,8	2,03	1	1,2	2,8	1,03	152,2	355,2	130,6
2016	1.323,00	132,3	2,2	3,8	2,03	1	1,2	2,8	1,03	158,8	370,4	136,3
2017	1.394,40	139,44	2,2	3,8	2,03	1	1,2	2,8	1,03	167,3	390,4	143,6

A.3 Ahorro de Divisas

Año	Demanda (Mill. Galones)	B10	Costo importación Diesel	PVP	Diferencial	Total Subsidio Mill. Dólares	Costo Biocombustibles		Ahorro de Divisas	
			Dólares				Dólares	Dólares	Dólares	Palma
	a	$b = a * 0,1$	c	f	g	$h = b * g$	i	j	$k = h - i$	$l = h - j$
2013	1.146,60	114,66	2,2	1	1,2	137,592	321,0	118,1	-183,5	19,5
2014	1.209,60	120,96	2,2	1	1,2	145,152	338,7	124,6	-193,5	20,6
2015	1.268,40	126,84	2,2	1	1,2	152,208	355,2	130,6	-202,9	21,6
2016	1.323,00	132,3	2,2	1	1,2	158,76	370,4	136,3	-211,7	22,5
2017	1.394,40	139,44	2,2	1	1,2	167,328	390,4	143,6	-223,1	23,7

A.4 Requerimiento de tierra

Año	Demanda (Mill. Galones)	Rendimiento (Gal/ha)		Requerimiento de tierra (Hectáreas)	
		Palma	Piñón	Palma	Piñón
	a	b	c	$d = a / b$	$e = a / c$
2013	114,66	1680	756	68250	151666,667

A.5 Generación de empleo

Hectáreas de Palma	Hectáreas de Piñón	Trabajos/Ha Palma	Trabajos/Ha Piñón	Empleos generados Palma	Empleos generados Piñón
a	b	c	d	$e = a * c$	$f = b * d$
68.250	151.667	0,27	0,3	18427,5	45500,1

Referencias

- Albán, M., Cárdenas, H. 2007. *Biofuels trade and sustainable development: The case of Ecuador's palm oil biodiesel*. International Institute for Environment and Development.
- ANCUPA, 2005. Censo de Palma. 2005
- Arancibia. (sin año). Evaluación Multicriterio: aplicación para la formulación de proyectos de infraestructura deportiva. Universidad de Chile.
- Arboleda. 2008. La Palma Africana en el Pacífico Colombiano: Su Ilegalidad, Consecuencias y Violación de Derechos Territoriales. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Arévalo, L. 2009. Impactos Socioeconómicos de la Producción de Biocombustibles en la Amazonía Peruana. Análisis de las cadenas de Caña de azúcar, Palma aceitera y *Jatropha Curcas*. SNV. Alberto del Campo 411, Magdalena del Mar, Lima, Perú. (Informe)
- Ballenilla, M. 2007. Biocombustibles: Mito o realidad. UMH.
- Banco Mundial. Base de datos. Disponible en <http://datos.bancomundial.pais>.
- BCE (Banco Central del Ecuador). 2011. Boletín Estadístico. Quito, Ecuador.
- Belton, V., Stewart, T. 2002. Multiple Criterial Decision Analysis. An integrated Approach. Kluwer Academic Publishers, Boston. USA.
- Berndes, G, Hoogwijk M. and Van der Broek R. (2003) The contribution of biomass in the future global energy supply: A review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*.
- Biodiesel.parque4x4. <http://biodiesel.parque4x4.com.ar>
- Biodieselpain. <http://www.biodieselpain.com>
- BP, 2008. BP Statistical Review of World Energy. Inglaterra.
- ___, 2010. BP Statistical Review of World Energy. Inglaterra.
- Bruinsma, B. 2009 Producción de biodiesel de palma aceitera y *jatropha* en la Amazonía de Perú y el impacto para la sostenibilidad. Agriterra. Perú.
- Buchholz, T., E. Rametsteiner, T. Volk, V. Luzadis. 2008. Multi Criteria Analysis for bioenergy systems assessments. *Energy Policy*.
- BUN-CA (Biomass Users Network), 2002a. Manuales sobre Energía Renovable: Eólica. Primera edición, San José, Costa Rica.
- _____, 2002b. Manuales sobre Energía Renovable: Solar Fotovoltaica. Primera edición, San José, Costa Rica.
- _____, 2002c. Manuales sobre Energía Renovable: Solar Térmica. Primera edición, San José, Costa Rica.
- _____, 2002d. Manuales sobre Energía Renovable: Hidráulica a pequeña escala. Primera edición, San José, Costa Rica.
- _____, 2002e. Manuales sobre Energía Renovable: Biomasa. Primera edición, San José, Costa Rica.
- Burbano, R. 2009. Metodologías Multicriteriales. Quito, Ecuador.
- Carpintero, O. 2006. Biocombustibles y uso energético de la biomasa: Un análisis crítico. *El Ecologista*.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina). 2004. Fuentes Renovables en América Latina y el Caribe; Situación y Propuestas de Políticas.

- _____, 2008. Consideraciones ambientales en torno a los biocombustibles líquidos. Serie Medio ambiente y desarrollo No 137, Santiago de Chile.
- Cigolotti, V., Massi, A., Polletinni, F., 2008. Biofuels as opportunity for MCFC niche market application, *Science Direct*, 33, 2999 – 3003
- CMMAD. (Comisión Mundial para el Medio Ambiente), 1986. *Nuestro futuro común*. Madrid.
- COM. 2003. Comisión de las Comunidades Europeas. Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council, of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport
- _____. 2006. Comisión de las Comunidades Europeas. Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo: Programa de Trabajo de la energía renovable. Las energías renovables en el siglo XXI: construcción de un futuro más sostenible.
- De la Torre, A., P. Fajnzylber, J. Nash. 2009. Desarrollo con menos Carbono. Respuestas Latinoamericanas al desafío del cambio climático. Estudios del Banco Mundial sobre América Latina y el Caribe. Washington
- De Santi, G. 2008. Biofuels in the European Context: Facts and Uncertainties. Joint Research Center. European Commission.
- DED, 2008. Energía Renovable para Galápagos. Quito-Ecuador.
- DENA. Agencia Alemana de Energía. Disponible en: <http://www.renewables-made-in-germany.com/es/energia-eolica>. Accesado 26/01/2009
- DOE (Department of Energy). 2010. Biomass Energy Data Book.
- _____. 2011. Energy Efficiency and Renewable Energy, www.eere.energy.gov/RE/bio_fuels.html
- Dufey, A. 2007, *Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas*, Instituto Internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo, Londres.
- EBB (European Biodiesel Board). “Statistics,” www.ebb-eu.org/stats.php, Accesado: 15 de abril de 2010.
- Eide, A. 2008. The right to food and the impact of liquid biofuels (agrofuels). FAO. Roma
- Falasca, S. y Ulberich, A. 2008. Las especies del género *Jatropha* para producir biodiesel en Argentina. Revista Virtual REDESMA.
- Falconí, F., 2002. Economía y Desarrollo Sostenible. ¿Matrimonio Feliz o divorcio anunciado? El caso de Ecuador. Quito-Ecuador.
- FAO, 2008. El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia
- Farrell, A., Plevin, J., Turner, B., Jones, A., O’Hare, M., Kammen. D. 2006. Ethanol Can Contribute To Energy and Environmental Goals. *Science*, Vol 311, January 27, 2006.
- FEDAPAL. Fondo Monetario Internacional. Disponible en: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2010/01/weodata/weoselser.aspx?c=213&t=1>. Accesado 13/dic/2010
- FMI (Fondo Monetario Internacional). Base de datos. Disponible en: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2010/01/weodata/weoselser.aspx?c=213&t=1>
- Funtowicz, S. O. y J. R. Ravetz, 1993. Science for the post-normal age. *Futures* 25 (7): 739-755.

- _____, 1994. The worth of a songbird: ecological economics as a post-normal science. *Ecological Economics*, 10, pp.197-207.
- García L. Luis A. 2004. Aplicación del Análisis Multicriterio en la evaluación de impactos ambientales. Tesis Doctoral. Programa de Doctorado de Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Georgescu-Roegen, 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- _____, 1989. La Ley de la Entropía y el Problema Económico. *Ecología: Medios Últimos y Limitaciones Biofísicas*.
- Giampietro, M., Ulgiati, S., 2005. Integrated assessment of large-scale biofuels. *Critical Reviews. Plant Sciences* 24 (20), 365–384.
- Goebertus, J. 2008. Palma de aceite y Desplazamiento forzado en la zona bananera: “trayectorias” entre recursos naturales y conflicto. *Colombia Internacional* 67.
- Graefe, L. 2009. The Peak Oil Debate. *Economic Review*. Federal Reserve Bank of Atlanta. U.S.A.
- Gual, Miguel, 2008. Presentación sobre modelos de crecimiento económico durante Curso de Economía Ecológica. Flacso. Quito, Ecuador.
- Guasch, D. 2006. Evaluación de sostenibilidad del sistema energético mundial. Universidad Pontificia de Comillas, España.
- Holling, C., D. Schindler, B. Walker y J. Roughgarden, 1995. Biodiversity in the functioning of ecosystems: An ecological synthesis. *Biodiversity Loss: Economics and Ecological Issues*.
- Hoogwijk, M., Faaij, A., Van der Broek, R., Berndes G., Gielenc D., Turkenburga W., 2003. Exploration of the ranges of the global potential of biomass for Energy, *Biomass and Bioenergy* 25: 119 – 133.
- Huerga, I. Producción de biodiesel a partir de cultivos alternativos: Experiencia con *Jatropha Curcas*. UNL.
- IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). 2006. Energía Eólica, Madrid, España.
- IEA (International Energy Agency), 2004 ‘Biofuels for Transport An International Perspective. Paris.
- _____, 2007. Biofuel Production, Energy Technologic Essentials.
- _____), 2008. World Energy Outlook. Head of Communication and Information Office, Paris Cedex 15, France.
- _____, 2009. World Energy Outlook. Head of Communication and Information Office, Paris Cedex 15, France.
- _____, 2010. Medium-Term Oil and Gas Markets.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. *Synthesis Report, An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- IPS (Inter Press Service), 2006 *Biofuel Boom Sparks Environmental Fears*. Inter Press Services News Agency.
- ITPOES (Industry Taskforce on Peak Oil & Energy Security), 2010. The Oil Crunch. Londres, Inglaterra.
- Janulis, P., 2004. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. *Renewable Energy* 29 (6), 861–871.
- *Jatropha*. <http://jatropha.es>

- Johnston. 2006. Evaluating the Potential for Large-Scale Biodiesel Deployments in a Global Context. Wisconsin, USA.
- Kallivroussis, L., Natsis, A., Papadakis, G., 2002. RD—rural development: the energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece. *Biosystems Engineering* 81 (3), 347–354.
- Kapp, William, 1976. The Open System Character of the Economy and Its Implications. *Economics in the Future: Towards a New Paradigm*. Londres.
- Kingswood, A. 2010. Estudio Exploratorio de la Producción de Biodiesel a partir de Aceite de Jatropha Curcas en Chile. Universidad de Chile. (Tesis)
- Krugman, P. 2007. Macroeconomía: introducción a la economía. Reverte ediciones. Barcelona
- Limburg, Karin, Robert O’Neill, Robert Costanza y Stephen Farber, 2002. Complex Systems and Valuation. *Ecological Economics* 41:409–420
- Ling, Cristopher, 2005. Biomass production: a substitute to reforestation? Environmental Science Seminar.
- Luffiego, M. y José María Rabadán, 2000. La Evolución del Concepto de Sostenibilidad.
- Martínez-Alier. J. 1999. Introducción a la economía ecológica. Rubes editorial. Primera ed. Sicilia, Italia.
- MEER. 2009 Políticas y estrategias para el cambio de la matriz energética del Ecuador.
- Moreira. J. 2005 Agreeing and Disagreeing in Policy Debate on Global Biofuels Development, Renewable Energy Partnerships for Poverty Eradications and Sustainable Development.
- Munda, G. (sin año). Multicriteria Analysis for Land-Use Management. Environment and Management.
- Munda, G. 2001. Métodos y Procesos para la Evaluación Ambiental Integrada. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra, España.
- _____. 2002. Social Multi-Criteria Evaluation (SMCE): Methodological Foundations and Operational Consequences. *European Journal of Operational Research*. Bellaterra. Barcelona, España.
- Murphy, S. 2007, *The multilateral trade and investment context for biofuels: Issues and challenges*, IIED, London/ IATP, Minneapolis, USA.
- Naredo, Juan, 1996. La economía en evolución. Ed. Siglo XXI, segunda edición. Madrid.
- _____, 2006. El Problema Ambiental: Limitaciones del Enfoque Económico. Naturaleza y Tratamiento Económico del Problema Ambiental.
- NBB (National Biodiesel Board) www.biodiesel.org/resources/biodiesel_basics/default.shtm
- Neste Oil, 2009. “Neste Oil Builds Europe’s Largest Renewable Diesel Plant in Rotterdam,” press release. Espoo, Finland
- Norgaard, Richard, 1984. El Potencial del Desarrollo Coevolucionista. *Land Economics*. 60 (2): 160-173.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2008, Report on Economic Assessment of Biofuel Support Policies, Trade and Agriculture Directorate Committee for Agriculture, OECD, Paris.
- Oestling, A. 2001 *Bioethanol Added to Fuel*, European Parliament Briefing Note No07/2001,

- ONU, 1998. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Osorio, Ana, 2000. *La Economía de los Recursos Naturales: Un Asunto de Límites y Necesidades para la Humanidad*. Ecos de Economía No. 15.
- Palazuelos, E., Fernández, C., 2008. Dilemas Estratégicos de la Transición Energética en China, *Economía de la Energía*, No. 842.España.
- Parson, K. 2005, “Jatropha in Africa fighting the desert and creating wealth” Ecoworld
- Perezagua, Emiliano. Presente y futuro de la Energía Fotovoltaica. Endesa.
- Petroecuador. 2009. Cifras Petroleras. Quito, Ecuador.
- Pleanjai, Somporn., 2004 Environmental Evaluation of Biodiesel Production from Palm Oil in a Life Cycle Perspective. *The Joint International Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE)” Hua Hin, Thailand*
- Ramírez, M., 2008a. Palma: Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles. Una Alternativa para la generación de empleos e ingresos. SNV. Tegucigalpa, Honduras, Centroamérica.
- _____, 2008b. Piñón: Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles. Una Alternativa para la generación de empleos e ingresos. SNV. Tegucigalpa, Honduras, Centroamérica.
- REN21, 2010. Renewables 2010. Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat.
- Retscreen, 2006. Análisis de Proyectos de Energía Eólica. Ministerio de Recursos Naturales. Canadá.
- Revenga. (sin año). Rising food prices: policy options and World Bank response. Banco Mundial.
- RFA (Renewable Fuel Association). Disponible en <http://www.ethanolrfa.org>
- _____, 2005. Homegrown for the Homeland Ethanol Industry Outlook 2005’ Renewable Fuels Association, Washington DC.
- Romer, 2006. Macroeconomía Avanzada. McGraw-Hill/Interamericana de España.
- Russi, Daniela, 2008a. Social Multi-Criteria Evaluation and Renewable Energy Policies: Two case studies. PhD Programme in Environmental Sciences. Institute of Environmental Sciences and Technology.
- _____, 2008b. An Integrated Assessment of a Large Scale Biodiesel Production in Italy. Killing several birds with one stone? *Energy Policy*.
- Sagar, A., 2005. Alleviating Energy poverty for the world’s poor, *Energy Policy*, 33: 1367 – 1372.
- Samuelson, P. 2006. Economía. McGraw-Hill. México.
- Sánchez, S., 2003. Energías Renovables Conceptos y Aplicaciones. WWF – Fundación Natura, Quito, Ecuador.
- Searchinger, T., R. Heimlich, R., Houghton, F. Dong, A. Elobeid, J. Fabiosa, S. Tokgoz, D. Hayes, T. Yu. 2008. Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land Use Change. *Science*. U.S.A.
- Secretaría de Energía Argentina, 2004. Descripción, Desarrollo y Perspectivas de las Energías Renovables en la Argentina y en el Mundo. Argentina.
- SENPLADES, 2007. Plan nacional de Desarrollo. Quito, Ecuador.
- SIEE-OLADE (Organización Latinoamericana de Energía). Sistema de Información Económica Energética.
- Solow, Robert. 1957. “Technical change and the aggregate production function”, *The Review of Economics and Statistics*, MIT press.

- _____, 1974. "The Economics of Resources or the Resources of Economics", *American Economic Review*.
- Sonnet, Fernando, 2007. ¿Biocombustibles o alimentos? Un análisis desde la teoría económica. Asociación Argentina de Economía Agraria. Córdoba.
- Spash, Clive, 1999. The Development of Environmental Thinking in Economics. *Environmental Values*, 8 (1999): 413–435. Cambridge.
- _____, 2007. The economics of climate change impacts à la Stern: Novel and nuanced or rhetorically restricted? *Ecological Economics*, 63 (2007) 706-713.
- Stern, 2006. Stern Review: The Economics of Climate Changes.
- Turón, L. Alberto. 2000 Visualización de información en el proceso Analítico Jerárquico. (AHP). Grupo Decisión Multicriterio. Zaragoza, España.
- Ulgiati, S., 2001. A comprehensive Energy and Economic Assessment of Biofuels: When Green is not enough, Critical reviews in Plant Sciences.
- UNFCCC (Secretaría de las Naciones Unidas para el Cambio Climático), Disponible en <http://unfccc.int/2860.php>. Accesado: 26 de febrero de 2009.
- Van Hauwermeiren S., 1999. Manual de Economía Ecológica. Ildis, 2da. Ed. Quito, Ecuador.
- Venturi P. and Venturi G., 2003. Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. *Biomass and Bioenergy*.
- Vera, J. 2007. El Programa de Biocombustibles en Colombia. Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia.
- Viguera, 2008. Los precios del petróleo en mercados globales, financiarizados y opacos. Comité Científico de ATTAC. España
- Villarraga, A. 2007. Oportunidades de negocio para las empresas de biodiesel a partir de aceite de palma en Colombia: Una perspectiva. Universidad de Bucaramanga. Colombia.
- Watson, R. 2000. Land Use, Land-Use Change, And Forestry. Cambridge University Press. Cambridge, UK
- WCED. (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo), 1988. *Nuestro futuro común*. Madrid (España): Editorial Alianza.
- Wolf J., Bindraban P.S., Luijten J.C., Vleshouwers L.M., 2003. Exploratory study on the land area required for global food supply and the potential global production of bioenergy. *Agricultural Systems*.