



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura



BID

olade  
Organización Latinoamericana de Energía



# Cadena de producción sustentable de Bioqueroseno

vinculada a los territorios rurales  
en América Latina y el Caribe





Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura



**olade**  
Organización Latinoamericana de Energía

# **Cadena de producción sustentable de Bioqueroseno**

vinculada a los territorios rurales  
en América Latina y el Caribe



**Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2017**



Cadena de producción sustentable de bioqueroseno vinculada a los territorios rurales en América Latina y el Caribe por IICA se encuentra bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-Compartir igual 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>) Creado a partir de la obra en [www.iica.int](http://www.iica.int).

El Instituto promueve el uso justo de este documento. Se solicita que sea citado apropiadamente cuando corresponda.

Esta publicación también está disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio Web institucional en <http://www.iica.int>

Coordinación editorial: Orlando Vega  
Corrección de estilo: Olga Patricia Arce  
Diagramación: Karla Cruz  
Diseño de portada: Karla Cruz  
Impresión: IICA Sede Central

Cadena de producción sustentable de bioqueroseno vinculada a los territorios rurales en América Latina y el Caribe / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Banco Interamericano de Desarrollo, Organización Latinoamericana de Energía. – Brasilia : IICA, 2017.  
182 p.; 21,5 cm x 28 cm.

ISBN: 978-92-9248-702-7

1. Biocarburante 2. Energía renovable 3. Aeronaves  
4. Desarrollo de un producto 5. Desarrollo rural 6. Utilización de la tierra 7. Adopción de innovaciones 8. América Latina 9. Caribe I. IICA II. FAO III. BID IV. OLADE V. Título

AGRIS  
P06

DEWEY  
629.134 351

Brasília, Brasil  
2017



## Presentación

**E**l Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) junto a la Organización Latinoamericana y del Caribe de Energía, a través del Proyecto de Acceso a la Energía Sostenible para la Región de ALC (OLADE - CIDA), la Oficina Regional de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO) para ALC y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), han considerado necesaria la ampliación de las discusiones acerca del tema bioqueroseno. Por lo tanto, en el marco del VI Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles, en Cuernavaca, Morelos, México, los días 21, 22 y 23 de agosto de 2012, se programó la realización de un panel para analizar la pertinencia de brindar una opción de desarrollo en torno al bioqueroseno, a sus socios estratégicos y sobre todo a las poblaciones de los territorios rurales.

La presente publicación constituye una contribución para visualizar un modelo conceptual por el cual los segmentos de población urgidos de acceso a oportunidades de desarrollo, sustentabilidad e inclusión social en los territorios rurales de ALC, se beneficiarían con una o varias soluciones de innovación en la cadena de valor de bioqueroseno.

Para arribar a este modelo, se inicia con un detalle de los aspectos generales y de los escenarios actuales del bioqueroseno para la aviación comercial, seguido de un análisis conceptual de competitividad, sustentabilidad y vinculación de la cadena de valor de bioqueroseno en los territorios rurales. Finaliza con una sección de conclusiones desde el enfoque de las oportunidades y desafíos para los eslabones de dicha cadena de valor.

Se espera que el escenario sea propicio para el lanzamiento de una iniciativa en procura de la consolidación de una plataforma intensiva de conocimiento para la innovación agrícola y la sustentabilidad en la cadena de valor de biodiésel y bioqueroseno, ante la comunidad de los principales actores del desarrollo tecnológico, promoción, utilización y mercado de los biocombustibles en ALC. El evento regional de biocombustibles congrega representantes de entidades que realizan investigación de tecnologías avanzadas, además de entidades que apoyan el desarrollo agrícola rural, empresas de negocios y autoridades de los sectores energético, agrícola, industrial, ambiental, comercial y educativo de la región y de organismos internacionales de cooperación técnica.

Esta publicación constituye el punto de partida y queda abierto el debate para promover la creación de capacidad técnica para la vinculación sustentable de la producción primaria en los territorios rurales con los segmentos de uso final de biodiésel y bioqueroseno.

# Reconocimientos

Esta publicación de un modelo conceptual para la innovación en la cadena de valor de bioqueroseno en los territorios rurales de ALC, en condiciones de sustentabilidad e inclusión social, ha sido posible por los significativos aportes brindados por Byron Chiliquinga, Gerente Proyecto OLADE – Canadá, en Quito; Arnaldo Vieira de Carvalho, de la División de Energía, del Banco Interamericano de Desarrollo – BID, en Washington; Felipe Duhart, Oficial Nacional de Bioenergía, Oficina Regional de la FAO para América Latina y Caribe, en Santiago; Jamil Macedo, Secretario Ejecutivo del Programa Cooperativo de Investigación, Desarrollo e Innovación Agrícola para los Trópicos (PROCITRÓPICOS), del IICA, en Brasilia; y Orlando Vega Charpentier, Especialista en Energías Renovables, Sede Central del IICA, en San José.

Asimismo, merece destacarse el decidido apoyo de las Representaciones del IICA en Brasil, Colombia y México, las cuales brindaron un oportuno aval para la consecución de los resultados esperados del proyecto “Innovación agrícola para la sustentabilidad de la cadena de valor de biodiesel y biokeroseno”, financiado en el marco de la Convocatoria 2012 al Fondo Concursable de la Cooperación Técnica del IICA.

Particular mención de reconocimiento a Markus Paul Maria Ascher, Consultor en Brasilia, quien desarrolló los aspectos conceptuales de esta publicación, considerando la viabilidad, la competitividad y la sostenibilidad en la cadena de suministro de materias primas utilizadas para la producción de bioqueroseno, de conformidad con el escenario establecido y las orientaciones provistas conjuntamente por OLADE, FAO, BID e IICA.

# Índice

Lista de tablas . . . . .	viii
Lista de figuras . . . . .	viii
Lista de cuadros . . . . .	ix
Acrónimos . . . . .	xi
Definiciones . . . . .	xiv

## 1. Introducción . . . . . 1

## 2. Estado de situación del bioqueroseno en el mundo . . 5

1. Bioqueroseno – Definición e histórico . . . . .	11
2. Escenario internacional de bioqueroseno para la aviación global comercial . . . . .	15
A. Marco regulador político y financiero: Comercio de derechos de emisión de CO <sub>2</sub> . . . . .	15
- International Civil Aviation Organization (ICAO) . . . . .	15
- Unión Europea: Aspectos más relevantes de las Directivas 2008/101/CE y 2009/29/CE. . . . .	17
- BID: Iniciativa regional de apoyo a Biocombustibles Sostenibles para Aviación en América Latina y el Caribe. . . . .	21
B. Iniciativas <i>multi stakeholder</i> con participación predominante del sector empresarial de aviación . . . . .	24
- Iniciativas y compromisos a nivel internacional o regional . . . . .	24
- Compromisos e iniciativas a nivel nacional (algunos ejemplos): Brasil – Canadá – Estados Unidos – México – España – Alemania . . . . .	32

## 3. Sección downstream: Uso (aplicación) del bioqueroseno y sus método de fabricación . . . . . 39

1. Experiencias con vuelos experimentales e análisis de las mezclas utilizadas para su uso en la aviación . . . . .	41
2. Estado de situación de la rutas tecnológicas para la producción de bioqueroseno . . . . .	45
- Rutas tecnológicas . . . . .	46
- Aplicabilidad e requisitos técnicos de los combustibles alternativos sintéticos aplicados en la aviación Rutas tecnológicas . . . . .	52



3.	Demanda y consideraciones económicas . . . . .	56
4.	Lecciones aprendidas sobre el uso energético de la mezcla y los impactos sobre el ambiente . . . . .	61
<b>4.</b>	<b>Sección <i>upstream</i>: Producción de materia prima, competitividad y sustentabilidad en la cadena de valor de bioqueroseno . . . . .</b>	<b>69</b>
1.	Sustentabilidad de las materias primas para la obtención de bioqueroseno . . . . .	69
A.	Plantas fuentes de materia prima de aceites vegetales . . . . .	73
-	<i>Jatropha</i> . . . . .	73
-	Camelina . . . . .	80
-	Otros . . . . .	82
B.	Celulosa, hemicelulosa y lignocelulosa . . . . .	90
C.	Algas . . . . .	92
2.	Certificación (sección <i>upstream</i> ) . . . . .	95
3.	Demanda y consideraciones económicas – sección <i>upstream</i> . . . . .	100
4.	Aspectos ambientales: disponibilidad de tierra y cambio directo o indirecto en el uso de la tierra . . . . .	104
<b>5.</b>	<b>Vinculación de los territorios rurales a la cadena de valor de bioqueroseno . . . . .</b>	<b>111</b>
1.	El concepto del desarrollo rural territorial (DRT) . . . . .	111
2.	Biocombustibles y desarrollo rural: oportunidades y riesgos . . . . .	115
3.	Caracterización de un modelo de vinculación . . . . .	120
4.	Gestión de conocimiento: Curva de aprendizaje para la adopción del conocimiento técnico científico aplicado, capital humano y ruta para la gestión del conocimiento . . . . .	127
A.	Curva de aprendizaje para la adopción del conocimiento técnico científico aplicado y lecciones aprendidas . . . . .	127
B.	Fortalecimiento de capacidades, capital social y capital humano . . . . .	130
C.	Mapa de ruta para la gestión del conocimiento intensivo . . . . .	132
<b>6.</b>	<b>Conclusiones: Oportunidades y desafío: . . . . .</b>	<b>137</b>
1.	Oportunidades, desafíos tecnológicos e impactos . . . . .	137
2.	Desarrollo de bioqueroseno - líneas prioritarias de acción . . . . .	149
<b>7.</b>	<b>Bibliografía . . . . .</b>	<b>153</b>

## Lista de tablas

Tabla 2.1:	Tendencias globales de inversiones nuevas en energías renovables (mil millones de dólares) . . . . .	10
Tabla 3.1:	Vuelos de prueba experimentales (azul claro) y comerciales (verde claro) significativos entre el 2008 y el 2012. . . . .	42
Tabla 3.2:	Propuesta para la introducción de mezclas obligatorias en la UE . . . . .	59
Tabla 3.3:	Combustibles obtenidos a partir de diferentes fuentes y distintos procesos de transformación, incluyendo la reducción final en las emisiones de GEI. . . . .	65
Tabla 4.1:	Compilación de iniciativas y estándares de certificación de sostenibilidad de bioenergía. . . . .	96

## Lista de figuras

Figura 2.1:	Participación del Sector de Aviación en el las emisiones CO <sup>2</sup> de transporte . . . . .	6
Figura 2.2:	Iniciativa española de producción y consumo de bioqueroseno para aviación . . . . .	37
Figura 3.1:	Intersecciones entre combustibles de aviación, bioenergía y combustibles sintéticos alternativos. . . . .	47
Figura 3.2:	Rutas tecnológicas para la producción de combustibles alternativos. . . . .	50
Figura 3.3:	Procesos termoquímicos para producción de biocombustibles . . . . .	51
Figura 3.4:	Aumento del consumo mundial de combustible de aviación entre 1986 y 2012 . . . . .	56
Figura 3.5:	Escenarios de simulación para la reducción de emisiones mediante la utilización de bioqueroseno en la aviación. . . . .	60
Figura 3.6:	Ciclo de vida de los biocombustibles de aviación (simplificado) . . . . .	62
Figura 3.7:	Emisiones de CO <sub>2</sub> a lo largo de la cadena de los biocombustibles de aviación. . . . .	63
Figura 3.8:	Emisiones de GEI de biocombustibles alternativos en relación con el keroseno obtenido del petróleo . . . . .	64
Figura 3.9:	Emisiones de CO <sub>2</sub> de combustibles alternativos relativos en relación con el keroseno obtenido del petróleo. . . . .	64
Figura 3.10:	Potencial de diferentes biocombustibles para la reducción de emisiones de partículas finas de materia . . . . .	66

Figura 3.1 1a:	Emisiones de GEI de biocombustibles líquidos para el transporte incluyendo las emisiones provocadas pelo cambio en el uso de la tierra . . . . .	67
Figura 3.1 1b:	Emisiones de GEI de biocombustibles líquidos para el transporte excluyendo las emisiones provocadas pelo cambio en el uso de la tierra . . . . .	68
Figura 4.1:	Ciclo de cultivación de la <i>Jatropha</i> (sección <i>upstream</i> ). . . . .	74
Figura 4.2:	Indicación de las condiciones climáticas más favorables para el crecimiento de la <i>Jatropha</i> (30°N, 35 °S) y la Palma de Aceite (4°N, 8 °S). . . . .	77
Figura 4.3:	Planta de <i>Jatropha</i> , variedad Chocomuselo, colectada del Banco de Germoplasma del INIFAP, México . . .	79
Figura 4.4:	Brecha de competitividad del óleo crudo de <i>Jatropha</i> . . . . .	103
Figura 4.5:	Incidencia de la demanda de área agrícola de los biocombustibles sobre el área agrícola total de expansión en ALC . . . . .	106
Figura 4.6:	El abanico de usos de la tierra como base del desarrollo del biocombustible. . . . .	107
Figura 5.1	Posibilidades de intervención gubernamental en diferentes puntos de la cadena de suministro de los biocombustibles . . . . .	121
Figura 5.2:	Enfoques posibles de la ejecución de las políticas relativas al desarrollo sostenible del biocombustible . . . . .	129
Figura 6.1	Análisis de ciclo de vida, herramienta principal para evaluar la viabilidad . . . . .	139

## Lista de cuadros

Cuadro 2.1:	Beneficios y preocupaciones de los biocombustibles. . . . .	8
Cuadro 2.2:	Resumen de la resolución A37-17/2 de la (OACI). . . . .	16
Cuadro 2.3:	Plan de acción estratégico de la IATA. . . . .	26
Cuadro 2.4:	ATAG – Compromiso de acción . . . . .	31
Cuadro 3.1:	Especificaciones operacionales y técnicas para los combustibles de aviación (OBSA, 2008) . . . . .	53
Cuadro 4.1:	Fuentes más investigadas de materia prima para la producción de bioqueroseno . . . . .	72
Cuadro 4.2:	Algunos parámetros técnicos de la <i>Jatropha</i> . . . . .	78
Cuadro 4.3:	Ficha técnica camelina . . . . .	81
Cuadro 4.4:	Doce principios y criterios forman el núcleo de la norma RSB. . . . .	99

Cuadro 4.5:	Región de ALC: Demanda prospectiva del área agrícola en el período 2010 - 2030 (millones de hectáreas). . . . .	106
Cuadro 5.1:	Criterios de éxito para la vinculación de los territorios rurales con los beneficios derivados de la agregación de valor en la cadena de bioqueroseno . . . . .	126
Cuadro 5.2:	Lecciones aprendidas: factores claves por analizar para decidir las políticas públicas con respecto a los biocombustibles / bioqueroseno. . . . .	129
Cuadro 5.3:	El papel de los diferentes sectores en la producción de biodiésel e bioqueroseno a partir de <i>Jatropha curcas</i> . . . . .	133
Cuadro 6.1:	Criterios de competitividad y de sustentabilidad del eslabón agrícola en la cadena de valor de bioqueroseno . . . . .	143

## Acrónimos

ABFA	Advanced Biofuels Association (Asociación de Biocombustibles Avanzados).
ABRABA	Alianza Brasileña para Biocombustibles de Aviación (Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação)
ALTA	Asociación Latinoamericana de Transporte Aéreo.
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil – Brasil.
ASA	Aeropuertos y Servicios Auxiliares. Secretaría de Comunicaciones y Transporte. México
ASAFUG	Australasian Sustainable Aviation Fuel Users Group
ASTM	American Society for Testing and Materials.
BTL	Biomass to Liquid (Biomasa a líquido).
CAAFI	Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative: Iniciativa de Combustibles Alternativos para Aviación Comercial.
CERs / RCE	Certified emission reductions (Reducciones certificadas de las emisiones)
CJO	Crude Jatropha Oil / Aceite Crudo de Jatropha
CO2	Dióxido de carbono
EIA	Energy Information Administration (Administración de Información Energética).
Embraer	Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A.
ERUs / URE	Emission reduction units (Unidades de reducción de las emisiones)
EU ETS	Europe Union Emissions Trading System (Sistema de comercio de las emisiones de la Unión Europea)
FAPESP	Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de São Paulo (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo)
FT	Fischer – Tropsch.
FT – SPK	Fischer – Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene
GEI	Gases de Efecto Invernadero:
GFAAF	Global Framework for Aviation Alternative Fuels (Marco Global para los Combustibles Alternativos de Aviación).
GTL	Gas – to – Liquids.
HEFA	Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (Hidroprocesados y Ácidos Grasos)
HRJ	Hydrotreated Renewable Jet fuel (Biocombustible hidrogenizado para la aviación).
I + D	Investigación y desarrollo
IATA	International Air Transport Association (Asociación Internacional de Transporte Aéreo).

ICAO/OACI	International Civil Aviation Organization (Organización de Aviación Civil Internacional).
ICCAIA	International Coordinating Council of Aerospace Industries Associations (Consejo Coordinador Internacional de Asociaciones de Industrias Aeroespaciales).
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. España.
IEA/AIE	International Energy Agency / Agencia Internacional de Energía.
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
ILUC	Indirect Land Use Change (Cambios Indirectos en el Uso de la Tierra)
INIA	Denominación genérica para los institutos nacionales de investigación agropecuaria.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático).
ITC	Iniciativa Tecnológica Conjunta Clean Sky
LCA	Life cycle analyses / Análisis del ciclo de vida.
MARM	Medio Ambiente y Rural y Marino
MBM	Market Based Measures
NRDC	Natural Resources Defense Council
NOx	Óxidos nitrosos
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OLADE	Organización Latinoamericana y del Caribe de Energía
ONG	Organización No Gubernamental
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PPP	Public Private Partnership (Alianzas Público-Privado)
PROCITROPICOS	Programa Cooperativo de Investigación, Desarrollo e Innovación Agrícola para los Trópicos Suramericanos

RCE, URE	RCE: Reducción Certificada de las emisiones. URE: Unidad de reducción de Emisiones. Instrumentos del mecanismo de Kioto.
RSB	Roundtable for Sustainable Biomaterials
SAFUG	Sustainable Aviation Fuel Users Group
SECCI	Sustainable Energy and Climate Change Initiative / Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático
SENASA	Servicios y Estudios para la Navegación Aérea y la Seguridad Aeronáutica, S.A. – España.
SNECMA	Société Nationale d'Étude et de Construction de Moteurs d'Avion
SPK	synthetic paraffinic Kerosene Queroseno Sintético Paraffinic
SUSTAF	Sustainable Alternative Fuels
SWAFA	Sustainable Way for Alternative Fuel and Energy in Aviation
TUHH	Universidad Técnica de Hamburg – Harburg
UNCSD	United Nations Conference on Sustainable Development, Rio+20
UE	Unión Europea
UFOP	Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP) / Unión para la Promoción del Aceite y de Proteínas Vegetales e. V.
UNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change / Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
UOP	Una compañía Honeywell conocida antiguamente como Universal Oil Products, es una compañía multinacional, que desarrolla y entrega tecnología para la refinación de petróleo, petroquímica y gas.
WWF	World Wildlife Fund



## Definiciones

ABFA	Advanced Biofuels Association (Asociación de Biocombustibles Avanzados) Involucrar a los legisladores federales y estatales para garantizar la neutralidad tecnológica y de materias primas y la sostenibilidad, así como crédito fiscal y la paridad de incentivos entre primera y segunda generación de biocombustibles de generación de iniciativas.
ALTA	Asociación Latinoamericana de Transporte Aéreo: Entidad de derecho privado sin fines de lucro integrada por líneas aéreas de América Latina y el Caribe, cuyo objetivo es congregarse y coordinar los esfuerzos de sus miembros para facilitar el desarrollo del transporte aéreo en América Latina y fortalecer los canales de colaboración y comunicación para el beneficio mutuo de la industria y sus usuarios.
ASTM	American Society for Testing and Materials: Una organización de desarrollo de normas voluntarias. Las especificaciones de ASTM International se utilizan para la certificación de combustible para aviones.
BTL	Biomass to Liquid (Biomasa a líquido) es el proceso para producir biocombustibles líquidos a partir de biomasa, por lo general se refiere a la gasificación y síntesis Fischer-Tropsch (FT).
CAAFI	Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative: Iniciativa de Combustibles Alternativos para Aviación Comercial. Una coalición de compañías aéreas, fabricantes de aeronaves y motores, productores de energía, instituciones de investigación y otros. En conjunto, estos actores están liderando el desarrollo e implementación de combustibles de aviación alternativos para la aviación comercial.
Drop-in	Combustibles de sustitución directa e inmediata, combustibles alternativos que puedan completar o sustituir directamente los combustibles de aviación derivados del petróleo: La entidad oficial que define los estándares del combustible de uso en la aviación comercial es la → ASTM. Cualquier combustible alternativo que cumpla con esas especificaciones sería lo que en inglés se denomina drop-in. Podría ser usado sin realizar modificaciones en las aeronaves y con plenas garantías para la seguridad. Los combustibles alternativos que no cumplan estas especificaciones requerirán un mayor tiempo antes de poder ser utilizados por la aviación comercial, dependiendo de certificaciones de las entidades oficiales, y la capacidad de implementar cambios en los motores y en las aeronaves.
EIA	Energy Information Administration (Administración de Información Energética) de los EE.UU. Departamento de Energía de la Administración de Información de Energía, ofrece un análisis oficial de la energía, información y estadísticas.
EU ETS	El sistema de comercio de las emisiones de la Unión Europea (EU ETS) es una piedra angular de la política de la Unión Europea para combatir el cambio climático y su herramienta clave para reducir las emisiones industriales de gases de efecto invernadero de manera costo - eficientemente. El primer - y aún de lejos el más grande - sistema internacional de subsidios para el comercio de emisiones de gases de efecto invernadero, el EU ETS cubre más de 11.000 de las centrales eléctricas y plantas industriales en 31 países, así como las líneas aéreas.
FT	Fischer-Tropsch: Es una reacción química catalizada en la cual se convierte gas de síntesis, una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno, en hidrocarburos líquidos de diversas formas. Nombrado segundo investigadores alemanes Franz Fischer y Hans Tropsch.

GEI	Gases de Efecto Invernadero: Los principales gases de efecto invernadero que entran en la atmósfera debido a actividades humanas son el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y gases fluorados.
IATA	International Air Transport Association: Grupo empresarial que opera como vehículo de cooperación entre las aerolíneas en la promoción de servicios de transporte aéreo seguro, confiable, seguro y económico - para el beneficio de los consumidores.
ICAO/OACI	International Civil Aviation Organization / Organización de Aviación Civil Internacional: Una organización de las Naciones Unidas responsable de la regulación cooperativa de la aviación civil internacional.
IEA/AIE	International Energy Agency / Agencia Internacional de Energía: Organización intergubernamental que actúe como asesor de política energética a 28 países miembros en sus esfuerzos para asegurar la energía confiable, económica y limpia para sus ciudadanos. Fundada durante la crisis del petróleo de 1973-74, el papel inicial de la AIE era coordinar las medidas en situaciones de emergencia de abastecimiento de petróleo. Como los mercados de energía han cambiado, su mandato se ha ampliado para incorporar la seguridad energética, el desarrollo económico y la protección del medio ambiente.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático): El principal organismo para la evaluación del cambio climático, establecido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para proveer al mundo con una clara visión científica sobre el estado actual del cambio climático y su potencial ambiental y socio- consecuencias-económico.
LCA	Life cycle analyses / Análisis del ciclo de vida (ACV) revisa e analiza el panorama completo de cómo un combustible está producido y utilizado. En el caso de los biocombustibles se refiere en general al análisis de la suma de emisiones de gases de invernadero o emisiones de CO2 desde la iniciación de la producción de materia prima hasta la combustión del combustible en un vehículo o aeronave.
SASOL	Sasol es una compañía integrada de gas y petróleo con destacados intereses químicos. Con sede en Sudáfrica y operaciones a nivel internacional, Sasol cotiza en la Bolsa de Nueva York y en la Bolsa JSE de Johannesburgo. Sasol es el principal proveedor de combustibles líquidos para Sudáfrica, además de un destacado productor internacional de productos químicos. Sasol utiliza las tecnologías propias de Fischer-Tropsch para dedicarse a la producción comercial de combustibles sintéticos y de productos químicos, desde el carbón de baja gradación al gas natural. También fabrica más de 200 productos de combustible y químicos que se venden a nivel mundial. En Sudáfrica, Sasol también explota minas de carbón para proporcionar la activación de sus plantas de combustibles sintéticos. Sasol opera la única refinería de petróleo de Sudáfrica. El grupo produce petróleo en Gabón, suministra gas natural de Mozambique a los clientes finales y a las plantas petroquímicas de Sudáfrica, y cuenta con socios que desarrollan combustibles de gas a líquidos a través de las sociedades mixtas de Qatar y Nigeria.
SWAFEA	Sustainable Way for Alternative Fuel and Energy in Aviation (Camino sustentable de Combustible Alternativo y Energía en la aviación). Una iniciativa para fomentar el desarrollo de combustibles alternativos para la aviación fundada por la Comisión Europea.





# Introducción

El desafío para la vinculación sustentable de los territorios rurales con los beneficios derivados de la agregación de valor en la cadena de bioqueroseno en América Latina y el Caribe (ALC) ha motivado al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) a liderar la elaboración de un documento de trabajo que coadyuve con la articulación de los eslabones de la cadena de valor del bioqueroseno para el desarrollo sostenible y la mitigación de los gases de efecto invernadero y su correspondiente vinculación a los territorios rurales. El proceso se ha desarrollado de manera conjunta con la Oficina Regional de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO) para ALC, la Organización Latinoamericana y del Caribe de Energía (OLADE) y al Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Dicho esfuerzo entre estas instituciones se dirige hacia la identificación de los factores que condicionarían el proceso de adopción del bioqueroseno como motor de desarrollo.

Se pretende la visualización de un modelo conceptual mediante el cual se abriría una ruta de gestión del conocimiento intensivo en la caracterización de las condiciones necesarias de los territorios rurales para la vinculación sustentable a la cadena de valor de bioqueroseno, en lo que concierne a aspectos como:

- El capital humano y características endógenas de los territorios rurales.
- El planteamiento de políticas de desarrollo con objetivos de cohesión social y territorial.
- El aprovechamiento racional de los sistemas ecológicos de conformidad con sus capacidades de uso.
- Los modelos de producción y tipos de cultivos de la agricultura familiar que se promueven.
- Los arreglos internos de organización agrícola para el alcance de economías de escala.
- La curva de aprendizaje para la adopción del conocimiento técnico científico aplicado.

Dicho modelo debe ser congruente con uno de los compromisos asumidos por los ministros y los secretarios de agricultura de las Américas, durante la celebración de la Junta Interamericana de Agricultura, en octubre del 2011, donde se establece: “Estimular innovaciones en diferentes tipos de energía que contribuyan a diversificar la matriz energética y a reducir el impacto ambiental negativo”.

Asimismo, tiene anclaje en la coordinación de política internacional emitida en la Reunión de Ministros de Agricultura del G20, de junio del 2011, mediante el Plan de Acción en Volatilidad de los Precios de los Alimentos y Agricultura, en París, donde se establece:

41. Seguiremos hacia la dirección de los retos y oportunidades que plantean a los biocombustibles, tomando en cuenta las necesidades de la seguridad alimentaria mundial, la energía y el desarrollo sostenible... También reconocemos la importancia de la investigación y el desarrollo de biocombustibles, incluyendo los producidos a través de nuevos procesos o nuevas materias primas, no alimenticias y otros materiales vegetales energéticamente eficientes.

En junio del 2012, una de las recomendaciones de los grupos de trabajo para el Crecimiento Verde del B20: Acciones concretas para Los Cabos, México, establecía que:

Nosotros invitamos a los ministros de desarrollo y finanzas y a las instituciones financieras internacionales para participar en el Club de Crecimiento Verde B20 para hacer crecer las estructuras de financiamiento públicas y privadas para el crecimiento verde y la energía sustentable de las Naciones Unidas para todas las inversiones.

Se insta enfáticamente, a la comunidad de lectores de este documento, a la acción y colaboración de un programa único de la economía verde, que mantenga abierta la ruta de gestión del conocimiento a partir de este planteamiento y que aporte información sobre las experiencias desarrolladas en la producción de materia prima para la obtención de “bioqueroseno”, las asociaciones productivas creadas para satisfacer la demanda, las principales materias primas utilizadas, las pruebas de sustentabilidades de vuelos comerciales, las lecciones aprendidas en el uso comercial, entre otros temas de interés.





## Estado de situación del bioqueroseno en el mundo

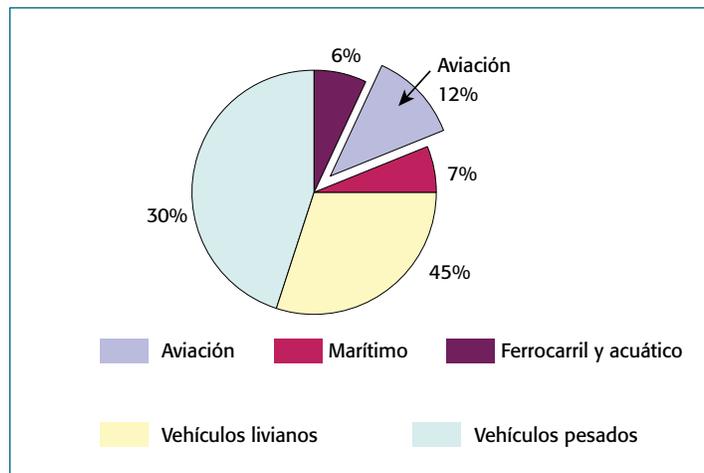
La aviación es responsable del 2% del total mundial de emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) resultantes de la combustión de carburantes fósiles, según un análisis del Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas (IPCC, 2011). Mediante la aplicación de cálculos y escenarios diferentes, esta proporción podría alcanzar el 3% hasta el 4,0 - 4,7% en el 2050.

Por otra parte, el transporte en general es responsable del 23% del total mundial de emisiones de gases de efecto invernadero, tras la generación energética y el uso de la tierra y la aviación, por su parte, del 12% (Figura 2.1) del total de emisiones de  $\text{CO}_2$  de todas las modalidades de transporte (Anexo 7 del informe Stern 2006<sup>1</sup> e IPCC 2011).

---

<sup>1</sup> El Informe Stern sobre la economía del cambio climático (Stern Review on the Economics of Climate Change) se refiere al impacto del cambio climático y el calentamiento global sobre la economía mundial. Fue redactado por el economista Nicholas Stern por encargo del gobierno del Reino Unido y publicado el 30 de octubre del 2006, con 700 páginas de extensión. El informe supone un hito histórico, pues es la primera vez que un gobierno encarga una investigación de este tipo a un economista y no a un climatólogo (<https://goo.gl/uEdw4y>).

**Figura 2.1. Participación del sector de aviación en las emisiones CO<sub>2</sub> de transporte.**



Fuente: IPCC 1999.

En 1997, dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), más de 160 países se comprometieron a reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI). Formalizaron dicho compromiso a través del Protocolo de Kioto, el cual obliga a los países a adoptar las medidas necesarias para que las emisiones de gases de efecto invernadero no crezcan en más de un 15% en el horizonte del 2008-2012, con respecto a los niveles registrados en 1990. Las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la aviación civil internacional quedan excluidas de los compromisos del Protocolo de Kioto. No están excluidas las emisiones procedentes de vuelos domésticos dentro de un mismo país.

En consecuencia, uno de los temas fundamentales abordado en el V Encuentro sobre Aviación y Ambiente 2010<sup>2</sup> fue el rango de posibilidades de aplicación de los biocombustibles en los aviones, como una de las grandes posibilidades de mejora de las condiciones de sostenibilidad del sector.

Las investigaciones que se están llevando a cabo y que avanzan a pasos agigantados, indican que la siguiente generación de biocombustibles podría constituir una alternativa viable para la aviación. El sector confía en que las investigaciones lograrán desarrollar carburantes susceptibles de ser producidos en masa con bajos costos, alto rendimiento y un mínimo impacto medioambiental. El sector de la aviación se ha comprometido a estudiar el uso de biocombustibles que no compitan

2 The 5th Aviation & Environment Summit 2010 <https://goo.gl/t3Mhta>

con la producción de alimentos, un obstáculo importante con el que han chocado otros sectores (ATAG 2012). Actualmente las pruebas realizadas con estos combustibles están muy avanzadas y ya se han realizado vuelos con carburante proveniente de *Jatropha*, camelina y otras fuentes oleaginosas. El gran desafío consiste en cómo aplicar el uso de los biocombustibles en la industria aérea a corto plazo y a gran escala (IATA, 2011a, IATA, 2011b, Ríos Galván, 2010).

Por tanto, es necesario valorar si esta nueva generación de combustibles biológicos podría sustituir en alguna proporción significativa a los carburantes convencionales (CE 2005; Tribunal de Justicia de la Unión Europea 2011; Zelt 2011)<sup>3</sup>. Los compromisos asumidos e iniciativas realizadas por el sector de aviación ofrecen una oportunidad grande de desarrollo y de mercado para los productores agrícolas, pero al mismo tiempo están desafiando el sector agrícola con respecto a su capacidad de reaccionar y cumplir con las exigencias referentes a cantidades, cualidades y los criterios de sostenibilidad en toda la cadena de valor.

Se deberán visualizar los segmentos de población urgidos de acceso a oportunidades de desarrollo, sustentabilidad e inclusión social en los territorios rurales de ALC, que se beneficiarían con una o varias soluciones de innovación en la cadena de valor de bioqueroseno. Si se trata de un biocombustible, los actores a lo largo de la cadena de valor del bioqueroseno, de igual forma deberían participar activamente en la discusión actual sobre posibilidades y oportunidades ofrecidas por la producción de biocarburantes por un lado, y desafíos, riesgos y amenazas por el otro. Se debe invertir en investigación y desarrollo para mejorar la eficiencia en todas las etapas de la cadena de valor y buscar respuestas con respecto a las preocupaciones principales (Cuadro 2.1).

Los sistemas de producción de biocombustibles son de extrema complejidad. En ellos influyen múltiples factores interconectados, como los mercados domésticos y mundiales, el impacto sobre posible cambio climático, asuntos geopolíticos y decisiones sobre políticas públicas vinculadas al tema. Además, ante los altos niveles de dinamismo e incertidumbre propios del surgimiento de una nueva actividad, sus conflictos, tensiones y riesgos latentes, se destaca el dilema “alimentos vs energía” y las potenciales externalidades negativas sobre el medio ambiente y la biodiversidad que podrían ser generadas por una expansión descoordinada del sector en el nivel mundial.

---

3 La aplicación del régimen de comercio de derechos de emisión a la aviación no viola los principios del Derecho consuetudinario internacional controvertido ni infringe el Acuerdo de “Cielos Abiertos”. Tribunal de Justicia de la Unión Europea. COMUNICADO DE PRENSA nº 139/11. Luxemburgo, 21 de diciembre del 2011. Prensa e Información. Sentencia en el asunto C-366/10. Disponible en: <https://goo.gl/LoNXve>

El debate sobre el aumento del uso de los biocombustibles en la aviación debe tener en cuenta los aspectos técnicos, comerciales, ambientales y sociales. Sin embargo, estos deben ser sopesados contra la falta de alternativas a los combustibles fósiles para su uso en la aviación; es decir, si los biocombustibles no se pueden utilizar, ¿cómo se podría suplir a los aviones en el futuro y cómo enfrentaría la sociedad las graves consecuencias económicas y prácticas de una drástica reducción en el transporte aéreo del futuro?

Más allá de una nueva opción de actividad agrícola, el surgimiento y la configuración de la cadena mundial de agroenergía y biocombustibles constituyen la posibilidad de protagonizar un nuevo paradigma con múltiples oportunidades y desafíos. Para los países de ALC, tanto los actuales productores como los potenciales, el desarrollo de la agroenergía y de los biocombustibles representa oportunidades en términos económicos, ambientales, sociales y estratégicos.

**Cuadro 2.1. Beneficios y preocupaciones de los biocombustibles.**

Beneficios de biocombustibles	Preocupaciones de biocombustibles
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aliviar estrés en la demanda mundial de petróleo.</li> <li>• Reducir emisiones de GEI.</li> <li>• Fomentar el desarrollo económico.</li> <li>• Promover la productividad agrícola.</li> <li>• Tener diálogos científicos.</li> <li>• Facilitar y compartir mejores prácticas.</li> <li>• Usar energía renovable, sostenible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuestiones:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Agrícolas</li> <li>- Técnicas                   <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conversión y tratamiento</li> <li>• Distribución y almacenamiento</li> <li>• Presencia de hongos</li> <li>• Rendimiento &amp; emisiones</li> </ul> </li> <li>- Económicas</li> <li>- Ambientales</li> <li>- Sociedad                   <ul style="list-style-type: none"> <li>• La seguridad alimentaria</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> <p>Cada preocupación puede ser aliviada por ciertas prácticas, pero todavía no existe un "biocombustible perfecto". Aquí es dónde la ciencia y la tecnología están siendo desafiadas.</p>

Durante el 2011, la inversión mundial en energías renovables superó por primera vez la de los fósiles. Los datos del informe encomendado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) "Global Trends in Renewable Energy Investment 2012" (PNUMA, 2012) en su quinta edición, detallan que en total fueron más de 279 mil millones de dólares destinados al desarrollo de energía solar, eólica y biomasa, lo cual significó un aumento de un 23% en el 2011

con respecto al 2010. Con tasas de crecimiento anual de dos dígitos, excepto en el 2008, el sector sextuplicó el valor de las inversiones desde el 2004 y todavía las duplicó en relación con el año 2007, el año antes de la crisis.

Lo anterior se debe principalmente al liderazgo de países en desarrollo, donde destacan China, India y Brasil, con cuantiosas inversiones de los 54,7; 13,0 y 8,6 miles de millones de dólares, respectivamente. Los Estados Unidos igualaron con respecto a las inversiones de China, en 54,8 miles de millones de dólares, debido al crecimiento relativo de 558% en el 2011 con respecto al 2010. Europa alcanzó un monto total de inversión del 112,3 miles de millones de dólares, resultado de un crecimiento relativo de un 11% en el 2011 con respecto al 2010.

Investment in renewable power and fuels (including small hydroelectric projects) was \$244 billion in 2012, down 12% from the previous year's record figure of \$279 billion. Despite the setback, 2012's total was still the second-highest ever and 8% up on 2010.

No obstante, la Inversión en energía renovable y combustibles (incluyendo pequeños proyectos hidroeléctricos) fue 244 mil millones de dólares en 2012, un 12% por debajo de la cifra récord del año anterior de 279. A pesar del revés, la inversión total de 2012 aún mantiene un incremento del 8% con respecto al 2010 y una cuantía superior con respecto a los años precedentes del periodo comprendido entre el 2004 y el 2010.

China después de Europa fue el país dominante en 2012 para la inversión en energías renovables por cuanto sus inversiones aumentaron un 22% con respecto al 2011, alcanzando el monto de record \$66.6 mil millones, gracias a un salto en la inversión solar.

Pero también hubo fuertes aumentos en la inversión para varias otras economías emergentes, incluyendo Sudáfrica, Marruecos, México, Chile y Kenya.

Desglosado por sectores, el auge de inversiones nuevas en el sector de biocombustibles ha sido en los años 2006, 2007, 2008 debido a los grandes programas nacionales de biocombustibles en algunos países de mayor renta media y los esfuerzos concentrados de instalar las biorrefinerías de producción. Una vez instaladas las capacidades de producción y refinación para los biocombustibles (predominantemente bioetanol y biodiésel), la necesidad para inversiones nuevas obviamente se comprime. Lo que se mantiene es la demanda por inversiones en investigación y desarrollo (I+D) para ambas secciones upstream and downstream de la cadena de valor de los biocombustibles y la necesidad de fomento de la producción de la materia prima (sección upstream) (IICA 2010b).

**Tabla 2.1. Tendencias globales de inversiones nuevas en energías renovables (miles de millones de dólares).**

Categoría	Inversiones nuevas en miles de millones de dólares									Crecimiento relativo	
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2011-12	2004-11
<b><i>Inversiones nuevas en energías renovables por región</i></b>											
a. Estados Unidos	5,7	11,9	28,2	34,5	36,2	23,3	34,6	54,8	36,0	-34%	26%
b. Brasil	0,5	2,2	4,2	10,3	12,5	7,9	7,9	8,6	5,4	-37%	33%
c. Las Américas (excl. EE.UU. y Brasil)	1,4	3,4	3,4	5,0	5,6	5,9	11,5	8,3	9,5	14%	27%
d. Europa	19,6	29,4	38,4	61,7	72,9	74,7	101,3	112,3	79,9	-29%	19%
e. Medio Este y África	0,6	0,6	1,2	1,7	2,7	1,7	5,0	3,5	11,5	229%	45%
f. China	2,6	5,8	10,2	15,8	25,0	37,2	40,0	54,7	66,6	22%	50%
g. India	2,4	3,2	5,5	6,3	5,2	4,4	8,7	13,0	6,5	-50%	13%
h. Asia y Oceanía (excl. China e India)	6,7	8,3	8,9	11,0	11,5	13,2	18,1	23,8	29,0	22%	20%
<b>Total</b>	<b>39,6</b>	<b>64,7</b>	<b>100,0</b>	<b>146,2</b>	<b>171,7</b>	<b>168,2</b>	<b>227,2</b>	<b>279,0</b>	<b>244,4</b>	<b>-12%</b>	<b>26%</b>
<b><i>Inversiones nuevas en energías renovables por región</i></b>											
1. Eólica	14,4	25,5	32,4	57,4	69,9	73,7	96,2	89,3	80,3	-10%	24%
2. Solar	12,3	16,4	22,1	39,1	59,3	62,3	99,9	158,1	140,4	52%	40%
3. Biocombustibles	3,7	8,9	26,1	28,2	19,3	10,6	9,2	8,3	5,0	-20%	10%
4. Biomasa	6,3	8,3	11,8	13,1	14,1	13,2	13,7	12,9	8,6	12%	8%
5. Pequeñas. Hidroeléctricas	1,5	4,6	5,4	5,9	7,1	5,3	4,5	6,5	7,8	59%	22%
6. Geotérmico	1,4	0,9	1,4	1,8	1,8	2,7	3,5	3,7	2,1	-5%	12%
7. Marine	0,0	0,1	0,9	0,7	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	-5%	30%
<b>Total</b>	<b>39,6</b>	<b>64,7</b>	<b>100,0</b>	<b>146,2</b>	<b>171,7</b>	<b>168,2</b>	<b>227,2</b>	<b>279,0</b>	<b>244,4</b>	<b>-12%</b>	<b>26%</b>

Fuente: Adaptado de PNUMA 2012: Global Trends in Renewable Energy Investment 2012.

# 1. Bioqueroseno - definición e histórico

El término “biocombustibles” hace referencia a una amplia gama de combustibles elaborados a partir de prácticamente cualquier forma de materia orgánica reciente, a diferencia de los combustibles fósiles, que están hechos de materia orgánica que data de hace millones de años. Los biocombustibles pueden clasificarse por tipos (bioetanol, biodiésel, biogás) y por su procedencia (caña de azúcar, maíz, trigo, colza, productos de desecho agrícolas, algas).

Los combustibles para aviación deben ser carburantes de alto rendimiento capaces de funcionar sin riesgos en un amplio espectro de condiciones. Por añadidura, las nuevas generaciones de biocombustibles deben ser sustitutos directos del queroseno convencional (Jet A), ya que de otro modo los fabricantes de aeronaves se verían obligados a rediseñar los motores y las compañías aéreas y los aeropuertos se verían obligados a desarrollar nuevas infraestructuras para el suministro de carburante, lo que retrasaría significativamente la introducción de los biocombustibles. En la actualidad, el sector está comprometido con el desarrollo de biocombustibles de origen sostenible que resulten compatibles con el queroseno Jet A-1; es decir, biocombustibles que puedan mezclarse con los combustibles fósiles convencionales hasta que sea posible producirlos en cantidad suficiente para que sustituyan por completo a estos últimos (ATAG 2012).

**Bioqueroseno** es la denominación genérica para un combustible obtenido a partir de fuentes renovables que pueda ser utilizado en los motores de aviación bien como único componente o, lo que será más habitual, en mezclas con el queroseno convencional (Sánchez, LA; Martínez, JA. 2012). En contra de lo que se publica con frecuencia, el biodiésel, a causa de solidificar a baja temperatura, no es adecuado para utilizarse en aviación.

Se conoce como queroseno a una compleja mezcla de hidrocarburos de longitud de cadena comprendida entre C8 y C15, punto de ebullición comprendido entre 190 a 275 °C y densidad típica en el entorno de 770 - 830 kg/m<sup>3</sup>. Es utilizado en aviación o como combustible de calefacción y, en menor medida, doméstico. Se obtiene en su práctica totalidad a partir del petróleo.

El proceso consta de dos fases principales:

1. Obtención de hidrobiodiésel por hidrogenación de aceites o grasas de origen vegetal o animal. En esta fase, se produce una mezcla de alcanos, predominantemente lineales, con longitud de las cadenas

C15 a C18, que resultan excesivamente pesadas para utilizarlas como combustible de aviación.

2. Isomerización y rotura de las cadenas más largas. Con el objetivo de evitar la precipitación a baja temperatura de sólidos, reduce la longitud media de las cadenas al rango óptimo C10 - C15 y favorece la formación de cadenas ramificadas que presentan un punto de solidificación menor que sus isómeros lineales.

La hidrogenación controlada de aceites y grasas vegetales o animales produce hidrocarburos, predominantemente lineales, y longitud de cadena C15 - C18. Esta corriente, llamada hidrobiodiésel, es un excelente gasóleo de propulsión, pero resulta excesivamente pesada para utilizarse en aviación, debido al riesgo de formación de parafinas sólidas a la baja temperatura imperante a la elevada altitud típica de los actuales vuelos.

## **Histórico**

El objetivo último de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) es lograr una estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. La CMNUCC obliga a todas las partes a elaborar y aplicar programas nacionales y, en su caso, regionales, que contengan medidas para atenuar el cambio climático. El interés de desarrollar una alternativa al queroseno fósil por el sector de aviación está creciendo desde la formalización de este compromiso a través del Protocolo de Kioto. No obstante, el hecho de que las emisiones de GEI de vuelos internacionales quedaron excluidas de los compromisos del Protocolo de Kioto en la época, el sector está consciente de su responsabilidad con las emisiones y de que compromisos más amplios son una cuestión de tiempo. No están excluidas las emisiones procedentes de vuelos domésticos dentro de un mismo país.

Un estudio realizado en el 2003 por el *Imperial College* en Londres (Saynor et al. 2003) investigó alternativas renovables para el queroseno fósil actualmente utilizado por aviones a reacción. En el estudio se concluye que el bioetanol no se puede utilizar para el transporte aéreo, debido a su baja densidad energética y porque no quema de manera efectiva a gran altura. El estudio también concluyó que metanol y biogás no son adecuados para el transporte aéreo, tanto por razones técnicas y de seguridad. Sin embargo, el hidrógeno, el queroseno Fischer-Tropsch

(FT) y el biodiésel teóricamente podrían ser utilizados en la aviación. Más recientemente, la investigación se ha concentrado en la producción biocarburos a través de nuevas rutas como la pirolisis catalítica con refinación<sup>4</sup> y la catálisis de los azúcares de las plantas.

En el 2006 se formó la *Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative* (CAAFI) para promover el desarrollo de opciones alternativas de combustible para la aviación que ofrecen mejoras en seguridad, costo y el medio ambiente, además de que aumenta la seguridad de suministro energético para la aviación (ICAO 2010 y CAAFI 2012).

El informe del 2007 “Opciones alternativas tecnológicas para el transporte por carretera y aire” (Schippel et al. 2007), publicado por *European Technology Assessment Group* (ETAG) para el Parlamento Europeo, sugirió que, debido a criterios más estrictos de operación y seguridad de los nuevos combustibles de aviación, los biocombustibles se utilizarán principalmente en el sector del transporte por carretera para el futuro previsible. Sin embargo, esta evaluación se hizo antes de los exitosos vuelos de prueba de aviones Boeing y Airbus, los cuales se constituyeron en el punto de inflexión de la ASTM para el establecimiento de una en el combustible de aviación sintético.

A partir del 2008, los constructores de aviones (Airbus, Boeing y otros), en cooperación con las empresas proveedores de queroseno petróleo y las líneas aéreas comenzaron con los primeros vuelos experimentales (para una lista más detallada refiérase al Capítulo 3).

En setiembre del 2008, el *Sustainable Aviation Fuel Users Group* (SAFUG) se formó para acelerar el desarrollo y comercialización de biocombustibles para la aviación sostenible. El apoyo y asesoramiento fue proporcionado por las principales organizaciones ambientales, incluido el *Natural Resources Defense Council* y la Mesa Redonda sobre Biomateriales Sostenibles (*Roundtable for Sustainable Biomaterials* - RSB). Los miembros del SAFUG, que incluye a muchas de las compañías aéreas más importantes del mundo, se comprometieron a contribuir a regímenes robustos de sostenibilidad y certificación a través del dialogo mundial de múltiples partes de interesados liderado por RSB. Se partió del convencimiento de que la adopción de los biocombustibles sostenibles de aviación constituye un factor clave para llegar a una industria neutral de emisiones de carbono. Todos los miembros se suscribieron a un compromiso de sostenibilidad que estipula que cualquier biocombustible sostenible debe rendir tan bien como o mejor que los combustibles de aviación, basados en el petróleo, pero con un ciclo de vida de carbono más renovable o neutro. El establecimiento

---

4 Pirolisis corresponde a la producción de bio-aceite a partir de biomasa por calentamiento a baja presión y alta temperatura en ausencia de oxígeno (disponible en <http://www.caafi.org>).

del SAFUG y el aumento de inversiones en I+D en el área de los combustibles biojet indican que los biocombustibles cada vez más son considerados como una alternativa viable por los principales actores del sector.

El 1° de setiembre del 2009, la *American Society for Testing and Materials* (ASTM), la organización de desarrollo de normas voluntarias, cuyas especificaciones se utilizan para la certificación de combustible para aviones, aprobó la norma ASTM D-7566, con la especificación estándar para combustible de turbina de aviación que contienen hidrocarburos sintetizados. Fue el primer nuevo combustible para aviones aprobado en más de 20 años.

En Europa, la normativa 2008/101/CE de la UE intenta mitigar el creciente impacto de la aviación sobre el cambio climático mediante la imposición de topes a las emisiones de CO<sub>2</sub>. La medida, que será efectiva a partir del 2012, afectará a todos los vuelos intra o extra comunitarios que despeguen o aterricen en aeropuertos de la UE (CE 2011). El 13 de enero del 2009, se publicó la Directiva 2008/101/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre del 2008 por la que se modifica la directiva 2003/87/CE, con el fin de incluir las actividades de aviación en el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero (CE 2008) (más detalles adelante).

Ante lo que puede significar un incremento en los costes de explotación, las compañías aéreas han considerado las ventajas derivadas de sustituir, total o parcialmente, el actual queroseno fósil por bioqueroseno. Con esta medida evitarían la penalización por emitir más allá de la asignación gratuita reconocida e incluso podrían convertirse en vendedores en el mercado de derechos.

Por esta razón, se ha acelerado el desarrollo de métodos comerciales de producción, que abarcan desde la investigación de nuevas materias primas y métodos de cultivo, hasta los procesos industriales optimizados.

Un paso importante fue la aprobación de la norma ASTM D7566-11 revisada el 1° de julio del 2011. La norma establece las especificaciones para las mezclas que contienen una cantidad de hidrocarburos sintetizados. Los componentes de los combustibles renovables, llamados esteres hidro-procesados y ácidos grasos (HEFA, por sus siglas en inglés *hydroprocessed esters and fatty acids*), son idénticos a los hidrocarburos de origen de petróleo y, por ende, pueden ser empleados como componente “*drop-in*” hasta el 50%. Inmediatamente comenzaron los vuelos comerciales que utilizaban biocombustibles de aviación de diferentes fuentes y en mezclas variadas (véase Capítulo. 3.1, Tabla 3.1).

## 2. Escenario internacional de bioqueroseno para la aviación global comercial

### A. Marco regulador político, financiero y comercio de derechos de emisión de CO<sub>2</sub>

#### **OACI - Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO, por sus siglas en inglés). Cambio climático: el plan de acción**

Un acuerdo global alcanzado por la 37ª reunión de la Asamblea de la OACI en octubre del 2010 estableció un nuevo punto de referencia para los objetivos de la OACI en relación con la aviación y el cambio climático. Se proporciona una hoja de ruta de acción para los 190 Estados Miembros de la organización hasta el 2050 y se les invita a desarrollar planes de acción nacionales para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> con origen en la aviación civil internacional y someterse voluntariamente a la OACI hasta junio del 2012 (ICAO 2010a, 2012a).

Los planes de acción permitirán a los estados presentar las medidas voluntarias específicas que vayan a adoptar con el fin de mejorar la eficiencia y contribuir así a los objetivos ambientales globales establecidas por la Asamblea. Los planes de acción ambiental de la OACI ayudarán a los estados a determinar las medidas más apropiadas para reducir las emisiones de la aviación internacional. También permitirán a la OACI a monitorear el progreso en la consecución de los objetivos mundiales y la ayudarán a direccionar la asistencia técnica específica y financiera según las necesidades específicas. En este sentido, los planes de acción son un medio práctico para los estados de comunicar a la OACI información sobre sus actividades para hacer frente a las emisiones de CO<sub>2</sub> de la aviación civil internacional.

El nivel de detalle de la información contenida en un plan de acción demuestra la eficacia de las acciones y en última instancia permitirá a la OACI medir el progreso mundial hacia el cumplimiento de los objetivos fijados por la Resolución A37-17/2. Los planes deberían contener información como: a) Internacional RTK (*Revenue Tonne Kilometre*), el consumo de combustible, proyecciones con respecto a las emisiones futuras de CO<sub>2</sub> hasta el año 2050; b) lista de las medidas propuestas para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de la aviación civil internacional; y c) información sobre las necesidades de asistencia (financiera, capacitación tecnológica, entre otros) (ICAO 2011a; 2011b).

La OACI ha adoptado medidas inmediatas para ayudar a los estados a preparar sus planes de acción mediante el desarrollo de una guía

de material y un marco para la recopilación, análisis y notificación de emisiones de CO<sub>2</sub> de la aviación.

Las medidas de mercado (*Market Based Measures* - MBM) incluyen: el comercio de emisiones, las emisiones relacionadas con los gravámenes - tasas e impuestos y la compensación de las emisiones. Estas medidas tienen por objeto contribuir a obtener objetivos ambientales específicos, a un costo menor y de una manera más flexible que las medidas reglamentarias tradicionales de obligatoriedad y control. Las medidas de mercado son algunos de los elementos de una estrategia integral de mitigación para hacer frente a GEI procedentes de la aviación internacional, que están siendo considerados por la OACI.

En el 2001, la asamblea de la OACI solicitó al consejo que continuara elaborando orientación para los estados sobre la aplicación de las medidas de mercado para reducir o limitar el impacto ambiental de las emisiones de motores de las aeronaves, particularmente con respecto a la mitigación del impacto de la aviación sobre el cambio climático. Una de las principales conclusiones fue que por medio de un sistema de comercio de emisiones la cantidad total de emisiones tiene un tope y las prestaciones, en forma de permisos para emitir CO<sub>2</sub>, pueden ser compradas y vendidas para cumplir los objetivos de reducción de emisiones. Este sistema podría servir como una medida costo-efectiva para limitar o reducir el CO<sub>2</sub> emitido por la aviación civil en el largo plazo, siempre que esté abierto a todos los sectores económicos.

**Cuadro 2.2. Resumen de la resolución A37-17/2 de la (OACI).**

Resolución A37-17/2 de la OACI: "Declaración consolidada de las políticas y prácticas permanentes de la OACI relativas a la protección del medio ambiente - cambio climático".	
<p>Adoptada con fecha 8 de octubre del 2010 y en relación con el Comercio de Derechos de Emisión establece:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La necesidad de que, en preparación de la 38ª Asamblea General de la OACI (2013), se elabore un marco de referencia relativo a las medidas basadas en criterios de mercado (MBM, por ejemplo: Comercio de Derechos de Emisión).</li> <li>• La Resolución recoge, en su Anexo, los principios rectores de tales medidas basadas en criterios de mercado.</li> </ul>	<p>Anexo - principios rectores para elaborar y aplicar medidas basadas en criterios de mercado (MBM) para la aviación internacional. Aspectos clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las MBM no deberían ser duplicadas y las emisiones de CO<sub>2</sub> de la aviación internacional deberían contabilizarse una sola vez.</li> <li>• Las MBM deberían asegurar el trato justo del sector de la aviación internacional en relación con otros sectores.</li> <li>• Las MBM no deberían imponer una carga económica inadecuada a la aviación internacional.</li> <li>• Las MBM deberían facilitar el acceso adecuado a los mercados de carbono.</li> <li>• Cuando las MBM generen ingresos, se recomienda que se apliquen en primer lugar a la atenuación del impacto de las emisiones de los motores de aeronave en el medio ambiente, y a la asistencia y apoyo a los países en desarrollo.</li> </ul>

Fuente: ICAO 2010.

Los análisis también han indicado que a corto plazo las medidas de carácter voluntario podrían servir como un primer paso hacia las futuras acciones para reducir aún más las emisiones. Estas medidas constituyen un mecanismo mediante el cual la industria y los gobiernos se comprometen a un objetivo o de un conjunto de acciones para reducir las emisiones (ICAO 2012b: Market Based Measures).

Con el fin de aprovechar su participación en la reunión de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible Río+20 en Río de Janeiro en junio del 2012, OACI lanzó su iniciativa global de sostenibilidad *Flightpath to a Sustainable Future*, que reúne a las partes interesadas de la aviación y los biocombustibles de la industria, a través de la realización de una serie de vuelos comerciales con uso de combustibles alternativos con el destino u origen en Río de Janeiro (ICAO 2012c y 2012d; GreenAirOnline 2012).

Los vuelos fueron operados por diferentes aerolíneas, entre ellas Porter Airlines, Air Canada, Aeroméxico, Gol Transportes Aéreos, Líneas Aéreas Azul. Se utilizaron diversas mezclas de combustibles derivados de fuentes como la camelina, aceite de cocina usado, la *Jatropha* y aceite de maíz comestible. Los combustibles fueron proporcionados por ASA de México (Aeropuertos y Servicios Auxiliares), Curcas, SkyNRG y UOP, y el vuelo Azul utilizaría el combustible derivado en parte de la caña de azúcar sostenible, suministrado por Amyris.

La industria de aviación ha sido involucrada en la serie de vuelos a través de los fabricantes de aviones Bombardier, Airbus y Boeing, así como de Aeropuertos de Montreal, la Infraero y la ANAC y el ASA. Azul por separado llevó a cabo un vuelo de prueba a Río de Janeiro Santos Dumont con un combustible derivado de la caña de azúcar sostenible, el cual aún no ha sido aprobado para su uso comercial.

### **Unión Europea: Aspectos más relevantes de las directivas 2008/101/CE y 2009/29/CE.**

La Directiva 2008/101/CE por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE, con el fin de incluir las actividades de aviación en el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero a partir del 1° de enero del 2012, fue adoptada por el Parlamento Europeo y el Consejo el 19 de noviembre del 2008 y publicada en el Diario Oficial de la UE del 13 de enero del 2009. Sus principales elementos son los siguientes:

- a) Directiva 2008/101/CE (CE 2008):
  - 2012 es la **fecha de inicio efectiva** del mercado y afectará a todos los vuelos, tanto interiores como los que tienen

salida o llegada en la UE, si bien los procesos de seguimiento comienzan en el 2010.

- **Techo de asignación.** Los derechos de emisión se calcularán con base en el promedio de emisiones anuales de las aerolíneas durante el período 2004-2006.
  - Para el período comprendido entre el 1° de enero del 2012 y el 31 de diciembre del 2012, la cantidad total de derechos de emisión que se asignará a los operadores de aeronaves corresponderá al 97% de las emisiones medias anuales del período 2004-2006 del sector de la aviación. El objetivo es la reducción de un 3% de las emisiones con respecto al período 2004-2006.
  - A partir del 2013, la cantidad total de derechos de emisión que se asignará a los operadores de aeronaves se rebajarán al 95% de las emisiones medias anuales del período 2004-2006, a menos que la revisión del sistema que se realizará antes el 1° de diciembre del 2014 especifique lo contrario. El objetivo es la reducción de un 5% anual con respecto al período 2004-2006.
- **Método de asignación:** El método de asignación predominante es la asignación gratuita mediante *benchmarks* calculados con base en datos históricos de toneladas-kilómetro, que corresponden al 82% de los derechos de emisión. No obstante, la directiva también prevé una participación significativa de la asignación mediante subasta de un 15% de los derechos.
- **Reserva especial:** Se reserva el 3% del volumen total de derechos del período para asignar a operadores considerados “nuevos entrantes”. Podrán solicitar asignación de derechos de la reserva especial los operadores:
  - Que comiencen a desarrollar una actividad de aviación incluida en el Anexo I una vez transcurrido el año de seguimiento para la asignación en cada período.
  - Cuyos datos sobre toneladas-kilómetro aumenten de media más de un 18% anual entre el año de seguimiento para la asignación en cada período y el segundo año natural de dicho período.
- El sector de la aviación puede **comprar derechos de otros sectores y venderlos** a otras compañías aéreas, pero los operadores de aeronaves no pueden vender sus derechos a instalaciones de otros sectores.

- **Uso de unidades para cumplimiento en el sector de la aviación:** Se crea un tipo especial de derecho de emisión para la asignación a los operadores de aeronaves. Los derechos de aviación únicamente pueden utilizarse para cumplir la obligación de entrega de los operadores de aeronaves. Para cumplir dicha obligación de entrega, los operadores de aeronaves pueden utilizar, además de los derechos de aviación, los derechos de emisión del resto de los sectores de la directiva y CERs y ERUs hasta un determinado límite. La utilización de los mecanismos de flexibilidad que contempla el protocolo de Kioto (RCE, URE) se limita a un máximo del 15%.<sup>5</sup>
- **El esquema solo se aplica a las emisiones de CO<sub>2</sub>** y no se contempla ningún multiplicador por las particularidades de la emisión. Los NO<sub>x</sub> se regirán por otra legislación y se promoverá la investigación sobre los efectos en el cambio climático de la formación de estelas de condensación y cirros por los motores de las aeronaves.
- **Ámbito de aplicación:** La regla general establece que se encuentran incluidos en el ámbito de aplicación todos los vuelos con origen o destino en un aeródromo comunitario, excepto (no sujetos al sistema):
  - Vuelos con fines de investigación científica, entrenamiento y formación.
  - Vuelos humanitarios bajo el mandato de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), los militares, los efectuados por las autoridades aduaneras y la policía, los integrados en operaciones de búsqueda y salvamento y los de asistencia sanitaria y protección civil, incluida la extinción de incendios.
  - Aeronaves de menos de 5700 kg al despegue.
  - Vuelos efectuados de acuerdo con las normas de vuelo visual (Anexo 2, Convenio de Chicago).
  - Vuelos de servicio público, en rutas dentro de las regiones ultraperiféricas (vuelos entre las islas del archipiélago canario) o en rutas cuya capacidad de oferta no supere los 30 000 asientos anuales.

---

5 Diario Oficial de la Unión Europea. (2009) DIRECTIVA 2008/101/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de noviembre de 2008 por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE con el fin de incluir las actividades de aviación en el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. 13.1.2009. L 8/3. Disponible en: <https://goo.gl/xvLh5K>

- Compañías aéreas pequeñas que emitan menos de 10 000 toneladas de CO<sub>2</sub> al año o que operen menos de 243 vuelos en un período de cuatro meses durante tres períodos consecutivos.

Los vuelos oficiales de Monarcas y jefes de Estado y de Gobierno de un país que no sea miembro de la UE estarán excluidos de la nueva directiva. Sin embargo, esta excepción no se mantiene para los reyes y gobernantes de los Estados Miembros, cuyos vuelos sí se incluirán en el régimen de comercio de emisiones.

b) Directiva 2009/29/CE

- Los períodos de comercio tendrán una duración de ocho años a partir del 1° de enero del 2013, por lo que el segundo período que afecta a los operadores aéreos será aquel que haya comenzado el 1° de enero del 2013 y acabe el 31 de diciembre del 2020.
- El porcentaje de RCE y URE que podrán utilizar los operadores aéreos en el período 2013-2020 no será inferior al 1,5% de sus emisiones verificadas.

Desde que entró en vigor el sistema de comercio de emisiones de la UE (EU ETS) ha causado polémica y actualmente está siendo discutido por los actores del sector: La UE introdujo su sistema de comercio de emisiones ya en el 2005. Desde el 1° de enero del 2012, la industria de la aviación también ha sido sometida al sistema. Esto significa que todas las compañías aéreas que vuelen a destinos europeos, deberían disponer de certificados de emisiones por cada tonelada de gases de efecto invernadero emitidos por sus vuelos. La mayoría de ellos se obtiene de forma gratuita, cuanto el restante se tiene que comprar.

A pesar de sus protestas en contra de la tasa del cambio climático de la UE, la mayoría de las compañías aéreas que vuelan a los aeropuertos de la UE (más 1200) entregaron los informes de emisiones para el 2011 en el tiempo (plazo de abril del 2012). Entre ellas, se encuentran todas las empresas de los Estados Unidos, Rusia, Canadá, Japón, Brasil y los Estados del Golfo, que habían protestado contra la inclusión de la aviación en el comercio de emisiones, porque temen el aumento de las tarifas y desventajas competitivas.

La UE insiste en la tasa del cambio climático, siempre y cuando no exista un sistema internacional de derechos de contaminación comerciales. No obstante, diez aerolíneas de China e India se niegan a seguir. Se concedió una prolongación del plazo por la UE, pero se mantuvieron firmes y no entregaron sus informes tampoco hasta la segunda fecha en junio del 2012. Ambos países habían protestado fuertemente en contra de la participación. La Asociación Internacional de Transporte

Aéreo (IATA), en su reciente reunión anual en Beijing, una vez más se manifestó en contra del sistema de comercio de emisiones de la UE y reiteró su llamamiento para un aplazamiento de la entrada en vigor del EU ETS para poder aplicar cambios y alteraciones, argumentando que la prórroga concedida a la China y la India.

En EE.UU. una vez más el sistema de comercio de emisiones de la UE ha sido duramente criticado. La introducción debió ser más cooperativa en búsqueda del consenso. Además, el gobierno de EE.UU. exige a la UE no aplicar la ley. También en Europa, el fabricante de aviones Airbus, la compañía aérea Lufthansa y otros gigantes de Europa se manifestaron en contra del sistema y pidieron una solución a escala global.

### **BID: Iniciativa regional de apoyo a Biocombustibles Sostenibles para Aviación en América Latina y el Caribe**

El BID es uno de los principales actores relacionados con el financiamiento climático en América Latina y el Caribe. Esta institución presenta cuatro grandes “áreas de acción” relacionadas con el financiamiento climático, que son: a) adaptación; b) mitigación; c) fortalecimiento de las instituciones públicas y privadas; y c) acceso a mercados de carbono.

Fue así que como parte del acuerdo entre los países para aumentar el capital del BID, “una cuarta parte del total de préstamos anuales del BID para el 2015 o alrededor de US\$ 3 mil millones al año, servirá para apoyar proyectos en las áreas de cambio climático, energías renovables y sostenibilidad del medio ambiente”. Esta dotación financiera supone un aumento de cinco veces en comparación con los niveles actuales de crédito. Esta meta anual del BID fue incluida como resultado del proceso del Noveno Incremento General de Capital (o GCI-9) procesado durante el 2010. A su vez, estas cuatro áreas se articulan en la estrategia integrada del BID de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático y de Energía Sostenible y Renovable, que fue aprobada en marzo del 2011.

El otro elemento que presenta el BID en el terreno del financiamiento climático es la Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático (SECCI), que tiene como donantes a Alemania, Austria, Corea del Sur, España, Finlandia, Italia, Japón y Reino Unido, además de fondos del propio BID. Esta Iniciativa se enfoca en cuatro áreas estratégicas que son: a) desarrollo y uso de fuentes renovables de energía, de tecnologías y prácticas de eficiencia energética; b) acceso al mercado de carbono; c) biocombustibles; y c) estrategias de adaptación al cambio climático. A través de la realización de estudios técnicos de viabilidad en los países latinoamericanos y caribeños, se identifican proyectos que luego pueden ser desarrollados y financiados por el propio BID.

En cuanto al área de “Desarrollo de biocombustibles”, los cometidos de SECCI son:

- i. “Evaluar la viabilidad económica de fomentar los biocombustibles. Analizar la disponibilidad de materia prima y los costos de producción y evaluar el potencial para desarrollar mercados domésticos y regionales de biocombustibles, tomando en plena consideración los riesgos y beneficios ambientales y sociales.
- ii. Facilitar asistencia para el desarrollo de políticas en materia de biocombustibles en los países. Ayudar a eliminar barreras e introducir políticas e instrumentos financieros que contribuyan al desarrollo de mercados internos, promover acceso a los mercados internacionales y mitigar los efectos ambientales adversos.
- iii. Financiar programas de biocombustibles. Otorgar financiamiento para el desarrollo de materias primas, instalaciones de producción de biocombustibles e infraestructura relacionada. Financiar la adaptación de tecnologías de biocombustibles nuevas y emergentes. Desarrollar instrumentos financieros para someter a prueba y demostrar la eficacia de las nuevas tecnologías. Prestar apoyo a redes y centros de conocimientos”.

En este terreno concreto, el BID lanzó en junio del 2011 una iniciativa regional de apoyo a biocombustibles sostenibles para aviación en ALC, con la intención de colaborar con instituciones públicas y privadas en el desarrollo de una industria de bioqueroseno para aviación, utilizando diferentes materias primas locales (BID 2011). La iniciativa financiará servicios de consultoría, generación de conocimiento, material de difusión y seminarios sobre el uso y producción sostenible de bioqueroseno, con el fin de demostrar su factibilidad en el sector de aviación regional y para la potencial exportación del producto.

El BID se encuentra acompañando a los actores de la industria de aviación y organizaciones, quienes actualmente lideran el desarrollo de combustibles alternativos para aviación, tales como la OACI/ ICAO la Iniciativa del CAAFI, el Foro Económico Mundial (FEM), empresas aéreas individuales, fabricantes de aeronaves y proveedores de tecnología de biocombustibles. Estas instituciones y empresas están trabajando conjuntamente en el desarrollo de reglamentos y metas de reducción de emisiones de carbono para la industria de transporte aéreo, con la meta de desplazar más del 50% del queroseno de aviación por fuentes alternativas, en el ámbito mundial, para el 2050.

Una de las opciones para que las aerolíneas puedan cumplir sus metas de reducción de emisiones de carbono es comprar créditos de carbono. Otra opción consiste en desarrollar combustibles alternativos que ayuden a alcanzar los requerimientos de reducción de emisiones y que simultáneamente contribuyan a la competitividad de la industria, al reducir la volatilidad de los precios de los combustibles. Actualmente, las opciones de combustibles alternativos en este sector son limitadas, debido a las características técnicas requeridas. El proyecto BID posibilitará la investigación y el desarrollo de tecnologías para la producción de sustitutos factibles a los combustibles tradicionales en el sector de aviación.

Esta situación permite que la región de ALC asuma un papel de liderazgo en el suministro de un producto competitivo de elevado valor agregado (así como ha sido el caso del etanol y del biodiésel), mientras contribuye al desarrollo económico local y a la generación de empleos de calidad. Se estima que los costos de producción sean significativamente inferiores para ALC, que para otras regiones, especialmente las principales consumidoras de kerosene de aviación.

Se espera que la primera actividad que reciba apoyo de esta iniciativa es la aplicación de estándares de sostenibilidad y el análisis de ciclo de vida de emisiones de GEI durante el uso y la producción de bioqueroseno, a partir de uno o más insumos (caña de azúcar, *Jatropha*, palma africana, entre otros a ser definidos). Serán realizados análisis comparativos considerando dos conocidos estándares de sostenibilidad: el de la Iniciativa de la Caña de Azúcar Mejorada (BSI) y el de la Mesa Redonda sobre Biomateriales Sostenibles (RSB), así como la Tarjeta de Evaluación de Sostenibilidad de Biocombustibles (biofuels scorecard) del BID (BID 2011b). El principal objetivo de la Scorecard es promover niveles más elevados de sostenibilidad entre los proyectos para la generación de biocombustibles, a través de una herramienta para analizar toda la gama de problemas complejos ligados a estos. Dado que el debate científico en torno a estos temas continúa, la Scorecard debe verse como un proceso en curso, que seguirá actualizándose y revisándose cuando sea necesario.

Este nuevo nicho de mercado para biocombustibles presenta excelentes perspectivas, debido a la fuerte relación con las medidas para mitigar el cambio climático en el sector y por contar con el apoyo y motivación de prácticamente todos los protagonistas del mercado de queroseno de aviación. Se espera encontrar menos obstáculos técnicos y de mercado para los biocombustibles para aviación, debido a la adopción de la característica drop-in en la industria de la aviación, que intrínsecamente no requiere adaptaciones en los motores o en los sistemas de almacenamiento y distribución de los combustibles.

El BID empleará recursos no reembolsables provenientes de su fondo de Energía Sostenible y Cambio Climático (SECCI) para financiar las actividades de esta iniciativa. Los países que han empezado el desarrollo sostenible de bioqueroseno en la región, incluyendo Brasil, México y Colombia, serán los primeros en beneficiarse de estos recursos.

## **B. Iniciativas multi stakeholder con participación predominante del sector empresarial de aviación**

### **Iniciativas y compromisos a nivel internacional o regional (selección)**

#### **a) Asociación Internacional de Transporte Aéreo–(IATA)**

La IATA representa a unas 230 aerolíneas que suponen el 93% del tráfico aéreo regular internacional.

Los miembros se comprometieron a mejorar la eficiencia del consumo del combustible un 1,5% anual hasta el 2020, estabilizar las emisiones de CO<sub>2</sub> con un crecimiento neutro a partir del 2020 y reducir las emisiones hasta el 50% en el 2050, en comparación con los niveles del 2005. El combustible está directamente relacionado con uno de los retos más importantes de la aviación - la reducción de las emisiones de carbono. Para esto el uso de biocombustibles en la aviación en un futuro próximo desempeñará un papel fundamental en el reto de conseguir un crecimiento sostenible del transporte aéreo, entendido el término sostenible como un transporte seguro y viable económicamente, que permita mantener el liderazgo de la aviación y una progresiva reducción de sus emisiones de GEI.

Los biocombustibles son una prioridad para la industria aeronáutica. La IATA ha hecho un llamamiento a todos los actores de las cadenas de valor de combustible para la aviación en el que pide su cooperación para mejorar tres áreas críticas: seguridad, medio ambiente y comercio (IATA 2011a). El transporte aéreo necesita un combustible que ofrezca seguridad, que sea respetuoso con el medio ambiente, cuyo suministro esté garantizado y tenga un costo razonable.

Los biocombustibles sostenibles son seguros, han sido aprobados y las aerolíneas ya los están utilizando en sus vuelos comerciales. Gracias a su capacidad para reducir la huella de carbono del sector aéreo en un 80% con respecto al ciclo de vida del combustible, los biocombustibles sostenibles representan un cambio revolucionario. Sin embargo, aún son caros, el suministro es limitado y su comercialización requiere mayor impulso.

Además de fomentar la cooperación para resolver el problema del suministro que afecta, incluso, a los centros industriales más grandes, IATA instó a los gobiernos a que replanteen sus políticas fiscales y de precios que inflan los costos del combustible, en vista de los grandes beneficios económicos y sociales que aporta la aviación.

La aviación es un catalizador del crecimiento económico y del empleo. Ella genera 3,5 billones de dólares de actividad económica y 33 millones de puestos de trabajo. En el 2011, la factura de combustible del sector será de 176 000 millones de dólares (30% de los costos operacionales de las aerolíneas) con una estimación sobre el precio del crudo de 110 dólares por barril. En el 2012, se espera que la factura de combustible alcance los 201 000 millones de dólares (32% de los costes operacionales) con una estimación sobre el precio del crudo de 100 dólares por barril. Según la previsión, el beneficio global de la industria caería de los 6900 millones de dólares (1,2% de margen neto) en el 2011 hasta los 4900 millones de dólares (0,8% de margen neto) en el 2012. La posición de IATA sobre los combustibles biojet (IATA 2012) es la siguiente:

- La IATA reconoce que los aviones son activos de larga duración y utilizarán combustibles como el queroseno o combustibles alternativos parecidos al queroseno durante muchos años por venir.
- Apoya la investigación, el desarrollo y la introducción de combustibles biojet que cumplan los criterios ambientales, sociales y económicos de sostenibilidad.
- IATA es miembro de la RSB, que ha desarrollado los estándares de sostenibilidad más completos para los biocombustibles.
- La IATA cree que una cuota del 3% a 6% de combustible sostenible de segunda generación de *biojet* se puede lograr para el 2020.

#### **b) Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative (CAAFI)**

CAAFI constituye un esfuerzo de cooperación entre las partes interesadas dirigido a traer combustibles alternativos para la aviación al mercado de forma comercialmente viable y coherente con el ambiente y la sociedad (CAAFI 2012). Es co-patrocinado por la Asociación de Industrias Aeroespaciales (AIA), el Consejo Internacional de Aeropuertos - América del Norte (ACI-NA), la Asociación de Transporte Aéreo de América (ATA) y la Administración Federal de Aviación (FAA) de los EE.UU. Además, CAAFI se compone de aproximadamente 300

**Cuadro 2.3. Plan de acción estratégico de la IATA y escenario esperado de los gobiernos.**

Plan de acción estratégico IATA	Escenario esperado
<p>Las acciones de la industria:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consolidar la cadena de valor.</li> <li>• Atraer a los inversores para construir instalaciones de producción de biocombustibles para la aviación.</li> <li>• Construir plantas de demostración, como primer paso del despliegue a gran escala industrial.</li> <li>• Buscar las sinergias con la producción de biocombustibles para automóviles.</li> <li>• Ampliar las capacidades instaladas.</li> </ul>	<p>Seis pasos para que los gobiernos promuevan la comercialización de biocombustibles sostenibles con éxito:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fomentar la investigación de nuevas materias primas y procesos de refinado, Apoyar la I+D en biocombustibles y la instalación de plantas de demostración.</li> <li>2. Eliminar o reducir el riesgo de inversiones públicas y privadas en biocombustibles para la aviación.</li> <li>3. Crear incentivos públicos para la producción y el uso de biocombustibles en la aviación civil. Incentivar a las aerolíneas que utilicen biocombustible desde las primeras etapas.</li> <li>4. Alentar a los actores para que se comprometan a cumplir criterios internacionales de sostenibilidad. Facilitar los acuerdos a nivel mundial sobre los estándares de sostenibilidad por aplicar.</li> <li>5. Aprovechar al máximo las oportunidades locales de desarrollo ecológico.</li> <li>6. Fomentar coaliciones que engloben todos los eslabones de la cadena de suministro. Incentivar y fomentar cooperaciones público-privadas (<i>Public Private Partnership - PPP</i>).</li> </ol>
<p>Además de</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurar un ambiente competitivo entre los proveedores de combustible en los aeropuertos.</li> </ul> <p>Dejar que el combustible biojet compita en condiciones iguales con el transporte terrestre.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar métodos de contabilidad de biocombustibles fáciles de emplear.</li> <li>• Armonizar las políticas de energía y transporte en general.</li> </ul>	

Fuente: ATAG 2011a.

asociados, incluidas agencias gubernamentales de EE.UU. y fuera de este país, así como las asociaciones comerciales, productores de energía, universidades y organizaciones no gubernamentales.

Por otra parte, CAAFI funciona como un centro de información que facilita el intercambio de información y coordinación de las iniciativas del sector privado y gubernamental de apoyo al desarrollo y comercialización de combustibles alternativos de aviación “drop-in”, es decir, combustibles alternativos que puedan completar o sustituir directamente los combustibles de aviación derivados del petróleo. CAAFI también está explorando el potencial a largo plazo de otras opciones de combustible. Se formó en el 2006 en respuesta a tres cuestiones y desafíos relativos a los combustibles de aviación: a) la seguridad de suministro, b) la accesibilidad y la estabilidad del precio, y c) los impactos ambientales.

Su objetivo es facilitar el desarrollo y la introducción de combustibles alternativos de aviación que reducirán significativamente las emisiones asociadas a las operaciones de la aviación en cantidades comercialmente significativas para mejorar la estabilidad de precios y la seguridad de suministro. El objetivo ambiental se aplica a todas las emisiones. Sin embargo, particularmente la disponibilidad de combustibles alternativos ayudará a los fabricantes de aeronaves y operadores a reducir la huella de carbono de la aviación, así como la aviación vuelve a los niveles de crecimiento proyectados.

CAAFI se organiza en cuatro equipos funcionales: a) Investigación y desarrollo (I+D); b) certificación y capacitación; c) negocios y economía; y d) ambiente. Todas las partes interesadas contribuyen a los paneles en sus áreas de especialización. Con las funciones establecidas y líderes reconocidos, participa activamente y de forma organizada en los foros existentes, por ejemplo, de la ASTM con respecto a la certificación y en el Consejo de Energía de la ATA para los negocios y la economía.

Entre los logros de la organización, se pueden destacar:

- La aprobación de especificación del combustible. Antes que las aeronaves puedan utilizar combustibles alternativos, los combustibles deben cumplir con rigurosos criterios enunciados en las especificaciones del combustible de aviación y los criterios de ajuste a los objetivos. Los requisitos de certificación de la CAAFI exigen que estos combustibles alternativos deben ser “*drop-in*”, por lo que no requiere de nuevos equipos o infraestructura. En agosto del 2009, ASTM Int aprobó una nueva especificación del combustible, la norma ASTM D7566, “combustible de turbina de aviación que contienen hidrocarburos sintetizados”. Esta especificación permite que combustibles alternativos que demuestren que son seguros, eficaces y cumplen con los requisitos técnicos puedan ser desplegados como combustibles de aviación.
- Evaluación de la preparación de combustible. Se creó una “escala de disposición de combustible” que identifica el estado de las tecnologías desde la concepción hasta la producción a grande escala. Se ha distribuido a nivel internacional para su posible uso en la coordinación de esfuerzos y la comunicación de las infraestructuras de investigación.
- Elaboración de un manual para el cálculo de beneficios ambientales y económicos y los costos de los combustibles alternativos para los aeropuertos.
- Mejora en la comprensión de los impactos ambientales del ciclo de vida de la producción y el uso de combustibles alternativos. Se

apoya la I+D de los combustibles bajos en carbono provenientes de materias primas renovables como aceites vegetales, algas y biomasa.

- Certificación de combustible. Se divulgan informaciones relevantes sobre pruebas de vuelo y resultados de los experimentos. Se trabaja para obtener la certificación de los combustibles testados exitosamente.
- Perfil ambiental. Los productores comparten una preocupación con los compradores acerca de una definición coherente de la metodología de análisis adecuado del ciclo de vida.
- Financiamiento de proyectos. El desafío más grande que queda a la introducción de combustibles alternativos de la aviación es la financiación de proyectos a gran escala que estimulen a los productores a proporcionar materias primas y dedicar recursos a la aviación. El financiamiento se hará más accesible, dado que el costo de producción se reduce con los avances tecnológicos en la producción.

**c) *Sustainable Aviation Fuel Users Group (SAFUG)***

En setiembre del 2008, SAFUG se formó para acelerar el desarrollo y comercialización de biocombustibles para la aviación sostenible. El apoyo y el asesoramiento son proporcionados por las principales organizaciones ambientales, entre ellas el Natural Resources Defense Council y la RSB. Los miembros SAFUG, incluidos muchos de las compañías aéreas más importantes del mundo, se comprometieron a contribuir a regímenes robustos de sostenibilidad y certificación a través del diálogo mundial de múltiples partes de interesados liderado por RSB. Se parte del convencimiento de que la adopción de los biocombustibles sostenibles de aviación constituye un factor clave para llegar a una industria neutral de emisiones de carbono. Así, todos los miembros se suscribieron a un compromiso de sostenibilidad que estipula que cualquier biocombustible sostenible debe rendir tan bien como, o mejor, que los combustibles de aviación, basados en el petróleo, pero con un ciclo de vida de carbono más renovable o neutro.

El establecimiento de SAFUG y el aumento de inversiones en I+D en el área de los combustibles biojet indican que los biocombustibles están siendo considerados como una alternativa viable por los principales actores del sector. En algunos países se están formando national chapters de SAFUG, como por ejemplo la ASAFUG en Australia.

**d) Air Transport Action Group (ATAG) (ATAG 2011<sup>a</sup>, 2011b)**

Entre los actores más importantes que firmaron este compromiso, se encuentran los principales constructores de aeronaves: Airbus, Boeing, Bombardier y Embraer, los constructores y proveedores de los turborreactores (CFM, Pratt&Whitney, Rolls Royce), IATA que representa las líneas aéreas, *Airport Council Internacional (ACI)*, *International Coordinating Council of Aerospace Industries Associations (ICCAIA)*, *Civil Air Navigation Services Organisation (CANSO)* y otros.<sup>6</sup>

**e) European Advanced Biofuels Flight Path Initiative**

La Comisión Europea (CE), Airbus, las principales aerolíneas europeas (Lufthansa, Air France/KLM, y British Airways) y los productores de biocarburantes (*Choren Industries*, *Neste Oil*, *Biomass Technology Group* y UOP) presentaron en junio del 2011 en París un compromiso conjunto de desarrollo de estos combustibles para la aviación comercial: la iniciativa “*European Advanced Biofuels Flight Path Initiative*” (CE 2012a, 2012b). La acompaña un Plan de Implementación (“*2 million tons per year: A performing biofuels supply chain for EU aviation*”, CE 2012c). Se enmarca en el Plan Estratégico de Tecnologías Energéticas (“*Strategic Energy Technology Plan -SET-Plan*”) de la UE.

En la hoja de ruta planteada se pretende llegar al 2020 con dos millones de toneladas de biocarburantes de segunda generación usados en vuelos comerciales, aunque los primeros podrían entrar en los aviones entre el 2015 y 2018. El objetivo principal de este acuerdo es alcanzar los dos millones de toneladas de biocarburantes utilizados en la aviación civil de la UE en el 2020. La CE confirma que, antes de presentarla, la iniciativa fue ampliamente discutida y consensuada entre los representantes de energía y transporte y organismos de investigación de los Estados Miembros, las industrias de la aviación y los biocarburantes y las organizaciones no gubernamentales.

El acuerdo lleva asociado un *Flight path*, una especie de cronograma en el que se marcan los tiempos y las actuaciones a llevar a cabo. Hay un aspecto común en los contenidos del acuerdo: todos los biocarburantes se producirán en la UE con sus materias primas y con sistemas de producción y tecnologías de segunda generación. Entre el 2011 y el 2014 se desarrollarán varios proyectos con biocarburantes de síntesis (gasificación con proceso Fisher-Tropsch) y biodiésel con utilización de hidrógeno en el proceso (*Hydrotreated Vegetable Oil – HVO*). En esta primera etapa se realizarán pruebas y algunos vuelos regulares, inversiones y fomento de ayudas para construir las primeras plantas

---

6 Para el compromiso de acción del ATAG, véase Cuadro 2.4.

comerciales, acuerdos de compra entre aerolíneas y productores de biocarburantes y el inicio de construcción de las primeras plantas, que está previsto que estén operando entre el 2015 y 2016.

A medio plazo, entre el 2015 y el 2018 se espera contar con las primeras 2000 toneladas de una de las materias primas por las que se apuesta en esta etapa: aceite de algas. De las primeras plantas mencionadas, se confía en que salga el primer millón de toneladas de HVO y otras 200 000 toneladas de biocarburantes sintéticos para mezclarlas ya con queroseno en los aviones. El final de este medio plazo concluye con el inicio de construcción de la siguiente serie de plantas de segunda generación, que incluye biocarburantes a partir de aceite de algas y de otros aceites y residuos. Todas ellas servirían para abordar la última etapa, con el suministro de las restantes 800 000 toneladas a partir de esos nuevos biocarburantes.

Otras iniciativas y programas en Europa incluyen:

- **ALFA-BIRD:** Reúne a un consorcio multidisciplinario cuyo objetivo es desarrollar el uso de combustibles alternativos en el sector aeronáutico, con los principales socios industriales de la aeronáutica (fabricante del motor, fabricante de la aeronave) e industria de combustible, y organizaciones de investigación que poseen amplia experiencia en los campos de la bioquímica, la combustión, así como la seguridad industrial. Con la Congregando estos conocimientos, el consorcio desarrollará toda la cadena de combustibles alternativos para el transporte aéreo. Las soluciones más prometedoras serán examinadas, desde los convencionales (aceites vegetales, combustibles sintéticos) hasta los más innovadores (datos disponibles en <http://www.alfa-bird.eu-vri.eu/>).
- **ITC Clean Sky:** Es uno de los mayores proyectos europeos de investigación, con un presupuesto estimado de €1,6 mil millones, en partes iguales entre la CE y la industria, durante el período 2008 - 2013. Esta asociación público-privada acelerará los avances tecnológicos de vanguardia y acortará el tiempo de comercialización de nuevas soluciones probadas en demostraciones a escala real. Pretende demostrar y validar los avances tecnológicos para alcanzar los objetivos establecidos por Advisory Council for Aeronautics Research in Europe (ACARE) hasta el 2020:
  - 50% de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> mediante la reducción drástica del consumo de combustible.
  - 80% de reducción de NOx (óxido de nitrógeno).
  - 50% de reducción de ruido externo.
  - Un ciclo de vida del producto verde: diseño, fabricación, mantenimiento y eliminación / reciclaje.

Esto se logrará por las tecnologías en áreas como las cargas y control de flujo, gestión de energía de aviones, NOx y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, helicópteros, aeronaves de transporte regional, la gestión de la trayectoria inteligente, aeronaves de ala fija, entre otros.

**Cuadro 2.4 ATAG – Compromiso de Acción.**



## Compromiso de Acción de la Industria de la Aviación contra el Cambio Climático

**Como líderes de la industria de la aviación, reconocemos nuestras responsabilidades medioambientales y convenimos en la necesidad de:**

- cimentar nuestra acción en los progresos e innovaciones tecnológicas que hacen de la aviación el medio de transporte más seguro y más eficaz, y
- acelerar la acción para mitigar nuestro impacto ambiental, especialmente con respecto al cambio climático, mientras preservamos nuestro papel de entes propulsores del desarrollo sostenible de nuestra sociedad global.

**Por consiguiente, nosotras, las compañías y organizaciones de la industria de la aviación infrascritas, declaramos estar comprometidas con el camino hacia el crecimiento carbono neutral, y aspiramos a un futuro libre de carbono.**

Para este fin, acorde con la estrategia de cuatro pilares unánimemente aprobada en la Asamblea de la OACI de 2007, nos comprometemos a:

1. impulsar el desarrollo y la implementación de nuevas tecnologías, incluyendo combustibles más limpios;
2. seguir optimizando la eficiencia del combustible de nuestra flota y el modo de volar las aeronaves y de efectuar las operaciones en tierra;
3. mejorar las rutas aéreas, la gestión del tráfico aéreo y la infraestructura aeroportuaria; e

4. implementar instrumentos económicos positivos para lograr la reducción de gases con efecto invernadero cada vez que sea costo efectivo.

**Exhortamos a todos los gobiernos a participar en estos esfuerzos:**

1. apoyando y cofinanciando proyectos de investigación y desarrollo apropiados, en busca de avances tecnológicos más ecológicos;
2. tomando medidas urgentes para mejorar el diseño del espacio aéreo (incluyendo la asignación militar y civil del mismo), la infraestructura de la dirección del tráfico aéreo y los procedimientos para aprobar el necesario desarrollo aeroportuario; y
3. desarrollando e implementando un marco global, equitativo y estable de gestión de emisiones para la aviación a través de la OACI, en línea con el Mapa de Ruta acordado por las Naciones Unidas en Bali en diciembre de 2007.

**Nuestros esfuerzos y nuestro compromiso para trabajar en asociación con los gobiernos, otras industrias y representantes de la sociedad civil, arrojarán beneficios significativos en el enfrentamiento al cambio climático y otros retos medioambientales.**

**Exhortamos encarecidamente a otros a unirse a este esfuerzo.**



## **Compromisos e iniciativas a nivel nacional (algunos ejemplos): Brasil - Canadá - Estados Unidos - México - España - Alemania**

### **a) Brasil:**

- i) Alianza Brasileña para Biocombustibles de Aviación (ABRABA):

La ABRABA es una asociación formada por la principal compañía brasileña fabricante de aviones EMBRAER, las empresas de investigación y la industria de biocombustibles de la Unión de Caña de Azúcar: Tiene como objetivo el desarrollo de los biocombustibles para la aplicación en industria de la aviación. La iniciativa fue anunciada en mayo del 2010 (ABRABA 2012).

La preocupación mundial por la incertidumbre de la disponibilidad de combustibles fósiles, hace hincapié en la necesidad de buscar nuevas alternativas. En una crisis mundial del petróleo, la aviación, tanto en el sector militar como privado, puede estar entre los primeros en verse afectados. Por otro lado, la aviación civil necesita con urgencia encontrar alternativas sostenibles y renovables, como la acuicultura de algas y el cultivo de *Jatropha*, para la obtención de biocombustibles, lo que contribuiría a la sustitución de combustibles fósiles.

Motivados por la creciente demanda para satisfacer las necesidades de reducción de emisiones de GEI en la aviación, así como formas de proporcionar la seguridad energética en Brasil, ABRABA surge como un foro para discutir los diversos aspectos del desarrollo de la aviación de biocombustibles y la posición sostenible en esta tecnología que el Brasil debe lograr, como ya se hace en el transporte terrestre. En diferentes regiones del mundo, las compañías aéreas y fabricantes de aviones han realizado vuelos con combustibles alternativos, principalmente bioqueroseno mezclado con queroseno convencional de aviación, a fin de demostrar la viabilidad técnica de los combustibles renovables. A partir del 2008, se están realizando vuelos de demostración con biocombustibles producidos a partir de diversas materias primas.

#### **Objetivos ABRABA:**

- Promover iniciativas públicas y privadas que tienen como objetivo el desarrollo, certificación y producción comercial de biocombustibles sostenibles para la aviación.
- Obtener biocombustibles con niveles equivalentes de calidad, la seguridad de uso, el costo y la capacidad de producción adecuada, en comparación con combustibles derivados del petróleo.

Estos objetivos se lograrán a través del diálogo con los responsables e involucrados de políticas públicas y los actores y participantes de la cadena de valor de biocombustibles para la aviación.

El ABRABA cree que el uso de los biocombustibles sostenibles producidos a partir de la biomasa es esencial para mantener el crecimiento de la industria de la aviación en una economía con bajas emisiones de carbono. La participación de Brasil en proyectos de desarrollo de combustibles alternativos permitirá a los agricultores, técnicos e industrias, crear una base consistente tecnológica. Entre los beneficios que trae al país el establecimiento de una política específica y con una visión para el futuro de la aviación, se encuentran los siguientes:

- Promover el desarrollo tecnológico entre la academia, las agencias reguladoras y los organismos privados.
- Capacitar y promover la integración de la industria nacional en el mercado de los combustibles alternativos.
- Involucrar al sector agrícola y las instituciones de investigación con el fin de buscar material genético de alta productividad y el desarrollo productivo de los cultivos agroenergéticos apropiados.
- Agregar valor a la biomasa producida en el país.
- Evaluar los impactos del uso de biocombustibles sostenibles para la aviación.
- Garantizar la seguridad y la independencia energética de la aviación de defensa.

El grupo ha contado inicialmente con la participación de diez entidades: *Algae Biotecnologia*, *Amyris Brasil*, *Associação Brasileira dos Produtores de Pinhão Manso (ABPPM)*, *Associação das Indústrias Aeroespaciais do Brasil (AIAB)*, *Azul Linhas Aéreas Brasileiras*, *Embraer* – Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A., *GOL Linhas Aéreas Inteligentes*, *TAM Linhas Aéreas*, *TRIP Linhas Aéreas* e *União da Indústria da Cana-de-Açúcar (UNICA)*. ABRABA espera que otras entidades se unan al grupo para contribuir con la propuesta.

- ii) Proyecto integrado destinado a la producción y suministro de biocombustible de aviación sostenible para las compañías aéreas liderado por JETBIO y apoyada por TAM Airlines, Airbus, AirBP y Bio Ventures, Brasil (ATAG 2011c).

El proyecto aborda la implementación de una cadena de valor de la aviación sostenible de biocombustibles, que reúna a los actores clave para promover:

- Investigación y desarrollo de cultivares de élite de *Jatropha* localmente adaptados y sobre las posibilidades de aumentar y ampliar la producción (*scale-up*).

- Optimización de la logística en la cadena de valor.
- Instalación de capacidades de producción de biocombustibles de aviación hasta el 2013.
- Realizar un análisis de las emisiones de carbono del ciclo de vida y estudios de sostenibilidad de la cadena de valor.

En el proyecto se está siguiendo un enfoque múltiple de materia prima para la producción de biocombustibles de aviación. Se centra en el desarrollo de fuentes costo-eficientes y sostenibles, como la *Jatropha* y la caña de azúcar derivada de la biomasa. En los horizontes de medio y largo plazo, conforme se logre llegar a la escala y a los costos adecuados, estas alternativas reemplazarán gradualmente a materias primas disponibles en la actualidad.

La región sudeste de Brasil fue seleccionada para la construcción de la unidad de chorros renovables, ya que representa por lo menos el 60% del combustible para aviones y el 40% del consumo de diésel en el país. Por otra parte, la región es beneficiaria de la mejor dotación logística e infraestructura industrial de la nación. El objetivo del proyecto es iniciar la producción de biocombustible de aviación a finales del 2013 para abastecer inicialmente los aeropuertos de Sao Paulo y de Río de Janeiro, desde donde la mayoría de los vuelos internacionales operan en Brasil.

iii) Cooperación Boeing, Embraer y la FAPESP:

BOEING, EMBRAER y la FAPESP acordaron una colaboración en investigación y desarrollo de los biocombustibles para la aviación para fortalecer la creación de una industria sostenible en Brasil (EMBRAER 2011). También participan en esta iniciativa Azul Airlines, GOL Transportes Aéreos, TAM Líneas Aéreas y agencias de viaje como consultores estratégicos. Hasta finales del 2012, se desarrollará un estudio detallado sobre las oportunidades y los retos de la creación de una industria en Brasil para la producción y distribución de combustible de aviación bioderivado, sostenible y económicamente eficiente. El estudio incluirá una hoja de ruta de tecnología y sostenibilidad, la cual será elaborada mediante una serie de talleres públicos, así como por un consejo asesor estratégico que le dará una orientación general y apoyo institucional. Líneas aéreas, fabricantes y proveedores de combustible, especialistas en medio ambiente, grupos comunitarios y agencias gubernamentales formarán parte del consejo.

El estudio contribuye a la creación de un centro de investigación centrado en el desarrollo de biocombustibles sostenibles para la aviación. La misión del centro será producir ciencia que le ayudará a llenar los vacíos técnicos, comerciales y la sostenibilidad

necesarias para permitir la creación de nueva cadena de suministro del combustible de aviación en Brasil.

**b) Estados Unidos:**

- i) SAFUG, véase Capítulo 2.2.2.1 encima.
- ii) *Midwest Aviation Sustainable Biofuels Initiative* (MASBI):

Está integrado por United Airlines, Boeing, UOP de Honeywell, el departamento de aviación de Chicago y el Fondo de Energía Limpia, la iniciativa pretende promover el desarrollo de la aviación de biocombustibles en una región de 12 estados comprometidos significativamente con la sostenibilidad de la materia prima de biomasa, del desarrollo de la tecnología, de la creación de empleo y de la comercialización (MASBI 2012).

**c) México:**

Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA). Bioturbosina: Proyecto a largo plazo:

La aviación en México consume 10 millones de litros diarios de combustible. Para satisfacer con biocombustibles la mitad de esta demanda, se requiere articular la cadena de producción desde la siembra de las materias primas hasta las refinerías de bioturbosina. La iniciativa liderada por ASA buscará atender en el 2040 cerca del 50% de la demanda mexicana de turbosina con biocombustibles, lo cual significaría producir diariamente cinco millones de litros. Actualmente solo se tienen listos 100 000 litros de bioturbosina, apenas 0,1% de la demanda diaria en México (CNNExpansión 2011). Por el momento no hay ni infraestructura ni materia prima suficientes para incrementar la producción. En México tampoco hay ni una sola refinería de bioturbosina, por lo que se deberían buscar inversionistas que estuvieran dispuestos a invertir entre 100 y 200 millones de dólares (mdd) para construir la primera. Por el momento este proceso se lleva a cabo en Estados Unidos.

A diferencia del etanol producido a partir de maíz amarillo, la bioturbosina debería ser un combustible de la segunda generación, al cual también se le denomina biocombustible celulósico. Estos biocombustibles se producen con materias-primas no alimenticias como residuos agroindustriales y gramíneas forrajeras de alta producción de biomasa. Su producción es significativamente más compleja, comparada a los de primera generación y todavía no se comercializa.

En cuanto a las materias primas, el estado de Chiapas tiene un proyecto para incrementar su producción de 10 000 hectáreas

de *Jatropha* a 40 000. Sin embargo, esta cantidad aún resulta insuficiente, ya que para abastecer la demanda proyectada se tendrían que sembrar miles de hectáreas más. Por el momento, se estudia la posibilidad de producir bioturbosina a partir de salicornia, una planta que podría irrigarse con agua de mar. Las algas marinas también son una opción viable para México, ya que el país posee miles de kilómetros de litorales y de terreno improductivo junto a estos, donde se podrían instalar las granjas de producción de aceite de alga.

Plan de vuelo bioturbosina (Ríos Galván 2010):

Desarrollo para los biocombustibles para aviación en México:

- El plan de vuelo es un ejercicio para trazar la ruta de cómo llegar a tener biocombustibles sustentables de aviación en México.
- Involucra a todos los actores importantes que deben estar en el proceso de identificación de los elementos críticos.
- Tiene como objetivo identificar y analizar los elementos existentes y faltantes en la cadena de suministro de los biocombustibles de aviación.

Metas del plan de vuelo:

- Concentrar esfuerzos de organizaciones civiles, instituciones gubernamentales, empresariales y de investigación dirigidas a la producción de biocombustibles.
- Revisar aspectos legales, disponibilidad de insumos, cadenas de producción, infraestructura de refinación, formas de suministro y viabilidad económica.
- Integrar los talentos de los sectores participantes.
- Hacer partícipes activamente a los actores mediante sus ideas, propuestas, experiencia y compromiso en este desafío.
- Establecer acciones para cubrir con biocombustible el 1% de la demanda nacional para el 2015, (40 millones de litros anuales) y el 15 % para el 2020 (más de 700 millones de litros).

Alcances: Análisis a fondo de cada uno de los elementos:

- Características geográficas, climatológicas, margen de productividad, entre otros.
- Impacto ambiental, económico y social.
- Productores.
- Almacenamiento y transportación.
- Refinación.
- Beneficios para las aerolíneas comerciales.
- Infraestructura y proceso de almacenamiento y suministro en las instalaciones de ASA.

#### d) España:

Diversificación energética frente al queroseno tradicional - iniciativa española de producción y consumo de bioqueroseno para aviación:

El Ministerio de Medio Ambiente y Rural y Marino (MARM), a través de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, el Ministerio de Fomento a través de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA), el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) junto con el organismo de Servicios y Estudios para la Navegación Aérea y la Seguridad Aeronáutica (SENASA), firmaron un convenio para el impulso de una iniciativa española de producción y consumo de bioqueroseno para aviación.

Trece empresas de los sectores aéreo y energético se han adherido al convenio y participarán en su desarrollo. Las empresas privadas que colaborarán en el convenio han firmado un “acuerdo voluntario de participación de entidades asociadas a la iniciativa española para la producción y consumo de bioqueroseno en aviación”. Estas empresas son: Airbus, Camelina Company España, CEPSA, CIEMAT, CLH, RSB (EPFL), IBERIA, Residuos y Refinados Iberia SL, Pullmantur Air, REPSOL Comercial de Productos Petrolíferos S.A., Tecnología y Biomasa Sostenible S.L. (TECBIO), TECNALIA y UOP LLC.

**Figura 2.2** Iniciativa español de producción y consumo de bioqueroseno para aviación



Fuentes: <http://www.camelinacompany.es/proyectos> , [www.bioqueroseno.es](http://www.bioqueroseno.es)

El objeto del convenio y del acuerdo voluntario es impulsar la producción de bioqueroseno para su empleo por la aviación en España, desde la producción de materias primas sostenibles, hasta el uso comercial de las aeronaves. Se busca con ello analizar y explotar el potencial de generación de riqueza y empleo de esta cadena de producción y consumo, lo cual fortalecerá y posicionará tanto al sector aéreo español, como a las industrias implicadas en todo el ciclo productivo. La implementación de esta cadena ayudaría a cumplir los objetivos de diversificación energética en un país netamente importador de petróleo (Gobierno de España 2011). Los datos manejados en los estudios realizados hasta el momento indican que existe potencial en España para el cultivo de plantas como la camelina, ya cultivada en España y en la actualidad en ensayos piloto.

**e) Alemania:**

Paralelamente al lanzamiento del *European Advanced Biofuels Flight Path Initiative* y para apoyar la implementación de los objetivos estipulados, en junio del 2011, un grupo de 20 compañías aéreas, empresas de aviación, universidades y productores de biocombustibles lanzaron la *Aviation Initiative for Renewable Energy in Germany* (AIREG) (AIREG 2011, Airliners.de 2011).

La iniciativa busca promover el uso de las energías renovables en el tráfico aéreo en Alemania y tiene como objetivo aumentar la cuota de las energías renovables en el aire a través de la coordinación de las actividades de investigación y el fomento de la introducción en el mercado de los combustibles de aviación “amigables con el clima”.

Los miembros fundadores son universidades, líneas aéreas, operadores de aeropuertos, fabricantes de aeronaves y de los productores de combustible: *Air Berlin*, *Bauhaus Luftfahrt*, *Booz & Co.*, *British Airways GmbH*, *Centro Alemán de Investigación de la Biomasa (Deutsches Biomasseforschungszentrum - DBFZ)*, *Sociedad Alemana para la Aeronáutica y del Espacio (Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt - DGLR)*, *Lufthansa AG*, *Deutsche Post AG*, *Centro Alemán de Técnica Aeroespacial (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR)*, *EADS*, el Aeropuerto de Munich, *Forschungszentrum Jülich GmbH*, el Sistema ISCC, *JatroSolutions GmbH*, la Universidad de Lüneburg, *MTU Aero Engines*, *Rolls-Royce Alemania Ltd.*, *Universidad Técnica de Hamburg-Harburg (TUHH)*, *TUIfly* y *VERBIO Vereinigte BioEnergieAG*.



Capítulo

3

## **Sección *downstream*: Uso, aplicación del bioqueroseno y los métodos de fabricación**

Uno de los avances más apasionantes para la aviación en los últimos tiempos es la posibilidad sustituir el carburante convencional de los aviones, el queroseno de aviación o Jet A, por biocombustibles sostenibles.

La situación de dependencia actual del sector con respecto a los combustibles fósiles resulta insostenible a largo plazo, pero creemos que, mediante la innovación, los biocombustibles de nueva generación podrán desarrollarse de forma sostenible en el futuro. Las investigaciones que se están llevando a cabo y que avanzan a pasos agigantados indican que la siguiente generación de biocombustibles podría constituir una alternativa viable para la aviación. El sector confía en que las investigaciones lograrán desarrollar carburantes susceptibles de ser producidos en masa con bajos costos, alto rendimiento y un mínimo impacto medioambiental. Es importante destacar que el sector de la aviación, a través de un número siempre creciente de iniciativas colaborativas (algunas de ellas descritos en el capítulo anterior), se ha comprometido a estudiar el uso de biocombustibles que no compitan

con la producción de alimentos, un requerimiento importante con el que han chocado otros sectores (ATAG 2012).

El compromiso del SAFUG (ver Capítulo 2) estipula que para ser considerados sostenibles, los biocombustibles deben tener un rendimiento equivalente o superior al del carburante basado en el queroseno, pero con un impacto de CO<sub>2</sub> inferior durante la totalidad de su ciclo de vida. La palabra clave para los biocombustibles es sostenibilidad. De hecho, el rendimiento ambiental de algunos biocombustibles es peor que el de los combustibles fósiles que se busca sustituir.



Se ha sugerido que muchas de las fuentes de biocombustibles de “primera generación” —como el bioetanol, que proviene principalmente del maíz y la caña de azúcar— pueden contribuir a acentuar la escasez de alimentos en los países en vías de desarrollo, ya que para su producción se utilizan terrenos de cultivo y agua que de otro modo se destinarían a la producción alimentaria. En reacción a estas preocupaciones, los biocombustibles sustentables de aviación deberían ser producidos a partir de fuentes renovables que no establecen la competencia en el uso de los recursos tierra y agua para los cultivos de alimentos destinados a las regiones vulnerables. Las empresas del sector tratan de conciliar los intereses de la agricultura, de los investigadores académicos, expertos en ambiente, refinerías y empresas del sector aeroespacial en todo el mundo para establecer la infraestructura local necesaria para desarrollar una industria de biocombustibles sostenible y económicamente viable.

Los biocombustibles de nueva generación que en la actualidad se encuentran en fase avanzada de desarrollo para su uso en aviación, como las algas y la *Jatropha*, son cultivos de rápido crecimiento, sin usos alimentarios.

Durante la última década, diversos estudios e informes han investigado el potencial para el uso de los biocombustibles en la aviación (véase Capítulo 2). Más recientemente, financiados por la UE, los EE.UU.,

bancos de fomento y otros, varios proyectos de I+D se han puesto en marcha para trazar un camino por seguir para la introducción de los biocombustibles sostenibles que ayuden a reducir la dependencia de los combustibles fósiles en el transporte aéreo y las emisiones de gases de efecto invernadero por el sector del transporte aéreo.

## 1. Experiencias con vuelos experimentales y análisis de las mezclas utilizadas para su uso en la aviación

Actualmente se están investigando y desarrollando diversas materias primas y tecnologías de conversión en el mundo para la producción de biocombustibles para la aviación. Los primeros vuelos experimentales se realizaron a partir del 2008 y –en lo sucesivo a la aprobación por ASTM de *hydrotreated renewable jet fuel* (HRJ) de ser utilizado en la aviación comercial– ya en el año 2011 comenzaron los vuelos comerciales que utilizan combustibles *biojet*.

En la actualidad, se llevan a cabo numerosos experimentos y pruebas con nuevos combustibles. Los actores involucrados en la realización de estas pruebas son:

1. Los grandes constructores de aeronaves, principalmente Airbus, Boeing, Bombardier, EMBRAER y otros.
2. Un número siempre creciente de las líneas aéreas comerciales, de todas las partes del mundo (véase Tabella 2.1).
3. Los principales constructores de los motores de reacción, tales como *CFM International*, *GE Aviation*, *Honeywell Aerospace*, *International Aero Engines (IAE)*, *MTU Aero Engines*, *Pratt & Whitney*, *Rolls Royce*, *SNECMA (Société Nationale d'Etudes et de Constructions de Moteurs d'Aviation)* y otros.<sup>7</sup>
4. Los productores de los combustibles alternativos como, por ejemplo: *Honeywell-UOP (Universal Oil Products, filial completa de Honeywell)*, *Neste Oil*, *SG Biofuels Solazyme*.

---

<sup>7</sup> Las empresas constructores de motores de propulsión están bastante ligadas con otras, a través de participaciones de acciones, corporaciones afiliadas, empresas *joint ventures*, acuerdos de cooperación. A IAE, por ejemplo, nació en 1983 de una cooperación entre *Rolls-Royce*, *Pratt & Whitney*, *Japanese Aero Engines Corporation (JAEC)*, *MTU Aero Engines* y *Fiat Avio*. De forma parecida la *CFM International* es un *Joint Venture* de *SNECMA* y *General Electric*, en cuanto a *Engine Alliance* es otro *Joint Venture* de *General Electric* y *Pratt & Whitney*.

5. Actores de índole diferentes como agencias gubernamentales, por ejemplo, el Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales (*Natural Resources Defense Council -NRDC*) y también organizaciones no-gubernamentales como por ejemplo el *World Wildlife Fund* (WWF).

**Tabla 3.1. Vuelos de prueba experimentales (azul claro) y comerciales (verde claro) significativos entre el 2008 y el 2012.**

Fecha	Línea aérea	Aeronave, tipo, motores de reacción	Empresas participantes (constructores de motores, suministradores de combustible)	Materia prima utilizada, mezcla (%) Número de motores	Trayectoria Observaciones
02/2008	Viregin Atlantic	Boeing 747	– Boeing	Mezcla de aceites de coco y babassu 20% Un motor (de cuatro)	London → Ámsterdam
02/2008	Airbus	Airbus A380	– Airbus	GTL (gas to liquid)	Bristol → Toulouse
12/2008	Air New Zealand	Boeing B747-400 Rolls-Royce RB-211	– Boeing – Rolls-Royce	<i>Jatropha</i> 50%, un motor (de cuatro)	Programa de vuelos de prueba organizadas por Boeing. El desempeño fue tan bueno como (o mejor) de combustible Jet A. (Boeing 2009)
01/2009	Continental Airlines	B737-800 Motores CFM56-7B	– GE Aviation – Pratt&Whitney – Honeywell UOP – CFM	Mezcal de <i>Jatropha</i> y algas 50%, un motor	
01/2009	JAL Japan Airlines	B747-300 Motores Pratt & Whitney JT9D	– Sapphire Energy (algas) – Terasol Energy ( <i>Jatropha</i> )	Mezcla de camelina (42%), <i>Jatropha</i> (7,5%) y algas (0,5%) 50%, un motor (de cuatro)	
02/2009	JetBlue	Airbus	– Airbus, – IAE -International Aero Engines – Honeywell UOP	Algas	
06/ 2010	EADS	Diamond Aircraft D42 New Generation Motores AE300 Austro Engines	– IGV GmbH (Institut für Getreideverarbeitung, Alemania) – Biocombustibles del Chubut S.A. – VTS Verfahrenstechnik Schwedt	Algas 100%	Berlin Airshow, vuelos de prueba. Primero vuelo con biocombustibles hecho 100% de algas.
11/2010	TAM	Airbus 320 Motores CFM56	– Airbus – CFM	<i>Jatropha</i> 50%	Rio de Janeiro → Rio de Janeiro, 45 minutos
04/2011	All Nippon Airways	Boeing 787 Dreamliner	– Boeing	Aceite de cocina	Vuelo de entrega, Everett → Tokio; primer vuelo de biocombustibles transpacífico
06/2011	Honeywell	Gulfstream 450 Rolls-Royce Tay		Camelina	EE.UU. → Paris Air Show

Fecha	Línea aérea	Aeronave, tipo, motores de reacción	Empresas participantes (constructores de motores, suministradores de combustible)	Materia prima utilizada, mezcla (%) Número de motores	Trayectoria Observaciones
06/2011	Boeing	Boeing 747-8F Motores General Electric GEnx-2B		Camelina 15 % En todos los cuatro motores	Boeing sitio de construcción → Paris Air Show
06/2011	KLM	Boeing 737-800		Aceite de cocina	Ámsterdam → Paris; Primero vuelo comercial en todo el mundo
Entre 07/2011 y 01/2012	Lufthansa	Airbus A321	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Airbus</li> <li>– Neste Oil</li> </ul>	Mezcla de 80% de camelina, 15% de <i>Jatropha</i> y 5% de sebo 50%	Cuatro veces al día, durante un período de seis meses, Hamburgo ← → Frankfurt Total de 1.187 vuelos, Reducción de las emisiones de CO <sub>2</sub> de 1.471 toneladas
07/2011	Finnair	Airbus A319		Aceite de cocina 50% en ambos motores	Ámsterdam → Helsinki
07/2011	Interjet	Airbus A320-214, motores CFM56-5B4/3	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Airbus,</li> <li>– Honeywell UOP,</li> <li>– Global Energías Renovables</li> </ul>	<i>Jatropha</i> 27%	Ciudad de México → Tuxtla <i>Jatropha</i> , cultivada por productores de Chiapas
08/2011	Aeroméxico	Boeing 777		<i>Jatropha</i> 25%	Cd. de México → Cd. de Madrid; Primero vuelo comercial transatlántico
09/2011	Aeroméxico	Boeing 737		Camelina 25%	Ciudad de México → San José, Costa Rica,
10/2011	Air France	Airbus A321		Aceite de cocina 50% en ambos motores	Toulouse → París / Orly
10/2011	Air China	Boeing 747-400	<ul style="list-style-type: none"> <li>– PetroChina Co Ltd,</li> <li>– Pratt &amp; Whitney</li> <li>– Honeywell's UOP LLC</li> </ul>	<i>Jatropha</i> 50% biofuel Un motor (de cuatro)	Primero vuelo de la China que aplica biocombustibles. <i>Jatropha</i> de origen chinos.
10/2011	Iberia	Airbus A320	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Honeywell-UOP</li> <li>– Combustible certificado por Repsol</li> </ul>	Camelina 50%	Madrid → Barcelona
10/2011	Thomson Airways	Boeing 757-200	<ul style="list-style-type: none"> <li>– SkyNRG</li> <li>– Dynamic Fuels</li> </ul>	Aceite de cocina	Birmingham → Arrecife
11/2011	Continental Airlines	Boeing 737-800,	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Solazyme,</li> <li>– Honeywell's UOP</li> </ul>	Algas 40 %	Houston → Chicago Primer vuelo comercial utilizando biocombustible hecho en base de algas
12/2011	Thai Airways	Boeing 777-200	<ul style="list-style-type: none"> <li>– PTT,</li> <li>– Rolls Royce</li> <li>– Boeing</li> </ul>	Aceite de cocina	Bangkok → Chiang Mai.

Fecha	Línea aérea	Aeronave, tipo, motores de reacción	Empresas participantes (constructores de motores, suministradores de combustible)	Materia prima utilizada, mezcla (%) Número de motores	Trayectoria Observaciones	
12/2011	Alaska Airlines y Horizon Air	Boeing 737		Aceite de cocina 20%	75 vuelos entre Seattle y Washington DC	
	Alaska Airlines	Bombardier Q 400			Seattle → Portland	
01/2012	Lufthansa	Boeing 747	– Neste Oil	<i>Jatropha</i> , camelina y gordura animal 50 % Un motor	Frankfurt – Washington, vuelo transatlántico como punto final de la prueba de largo plazo entre Frankfurt y Hamburgo	
01/2012	Etiihad Airways	Boeing 777-300ER	– SKYNRG	Aceite de cocina	Vuelo de entrega Seattle → Abu Dhabi	
03/2012	LAN Chile	Airbus 320 Motores CFM56-5B	– SkyNRG – Air BP Copec	Aceite de cocina 31%	Santiago de Chile → Concepción	
04/ 2012	Porter Airlines	Bombardier Q400		Camelina 50%	Toronto → Ottawa	
04/ 2012	Qantas Airways	Airbus A 320		Aceite de cocina	Sídney → Adelaide	
	Jetstar Airways	Airbus A320		Aceite de cocina	Melbourne → Hobart	
	KLM Royal Dutch Airlines	B777		Aceite de cocina	Ámsterdam → Río de Janeiro	
04/2012	All Nippon Airways, Japón	Boeing 787 Dreamliner		Aceite de cocina	Vuelo de entrega desde la factoría de Boeing en Everett → Tokio	
06/2012	Porter Airlines	Bombardier Q400		Camelina	Mon-treal → Toronto	Participan- do de la Iniciativa de la OACI <i>Flighpath to a Sustainable Future</i> , con ocasión del Río+20
06/2012	Aeroméxico	Boeing 777-200	– ASA	Mezcla de aceite de cocina, <i>Jatropha</i> y camelina	Ciudad de México → Sao Paulo	
06/ 2012	Air Canada	Airbus A319	– SkyNRG – Airbus	Aceite de cocina	Toronto→ Ciudad de México	
Junio 2012	GOL	737-800	– UOP de Honeywell	Mezcla de maíz no comestible y aceite de cocina		
Junio 2012	Azul	Embraer E195 Motores GE-CF34-10E	– Embraer – Amyris	Caña de azúcar	Campinas → Río de Janeiro	

Fuente: Compilación propia

Los combustibles para aviación deben ser carburantes de alto rendimiento capaces de funcionar sin riesgos en un amplio espectro de condiciones. Por añadidura, las nuevas generaciones de biocombustibles deben ser sustitutos directos del queroseno convencional (Jet A), ya que de otro modo los fabricantes de aeronaves se verían obligados a rediseñar los motores y las compañías aéreas y los aeropuertos se verían obligados a desarrollar nuevas infraestructuras para el suministro de carburante, lo que retrasaría significativamente la introducción de los biocombustibles. En la actualidad, el sector está comprometido con el desarrollo de biocombustibles de origen sostenible que resulten compatibles con el queroseno Jet A-1; es decir, biocombustibles que puedan mezclarse con los combustibles fósiles convencionales (*drop-in*) hasta que sea posible producirlos en cantidad suficiente para que sustituyan por completo a estos últimos. En las experiencias de prueba que han sido realizadas el biocombustible es mezclado, porque su contenido energético es ligeramente menor que el del combustible tradicional JetFuel A.

Algunos de los biocombustibles de “primera generación”, como el bioetanol, simplemente no pueden utilizarse en aviación. Aunque en el 2010 se produjeron 86 miles de millones de litros de etanol en el mundo para el transporte terrestre, se trata de un combustible inapropiado para la aviación, porque se congelaría al volar a gran altitud. Para poder ser utilizados en aviación, los biocombustibles deben ser capaces de operar a temperaturas elevadas, deben tener un punto de congelación muy bajo y su costo debe ser competitivo en comparación con el del carburante procedente del petróleo.

## **2. Estado de situación de la rutas tecnológicas para la producción de bioqueroseno**

Como se puede deducir de la Tabla 3.1, en todas las partes del mundo actualmente se están investigando y desarrollando diversas materias primas (feedstocks en inglés) para la producción de biocombustibles para la aviación. Para poder analizar la adecuación de un combustible a su uso en el transporte aéreo y específicamente para conocer su efecto sobre la sostenibilidad, es clave conocer tanto la materia prima a partir de la que se obtiene el combustible como también el modo en que este se produce.

Las materias primas más prometedoras y utilizadas serán analizadas en el Capítulo 4. Existen diferentes tecnologías de conversión para que un combustible sea apto de ser empleado en la aviación. También existe una serie de requisitos y exigencias técnicas que deben cumplirse, lo cual se analiza a continuación.

## Rutas tecnológicas

A continuación se presentan las diferencias entre los conceptos de biocombustible y bioenergía. El término biocombustible (en ocasiones biocarburantes, biolíquidos o incluso biofuels) se refiere a los combustibles líquidos o gaseosos para el sector de transporte o para la generación de energía, que son predominantemente producidos por la biomasa (Demirbas 2008, IICA 2010, Machado 2010). Bioenergía es un término más amplio que se refiere a la energía derivada a partir de biomasa (generalmente sólida) e incorpora varios tipos de energía como puede ser la biomasa para leña en los hogares (véase Figura 3.1).

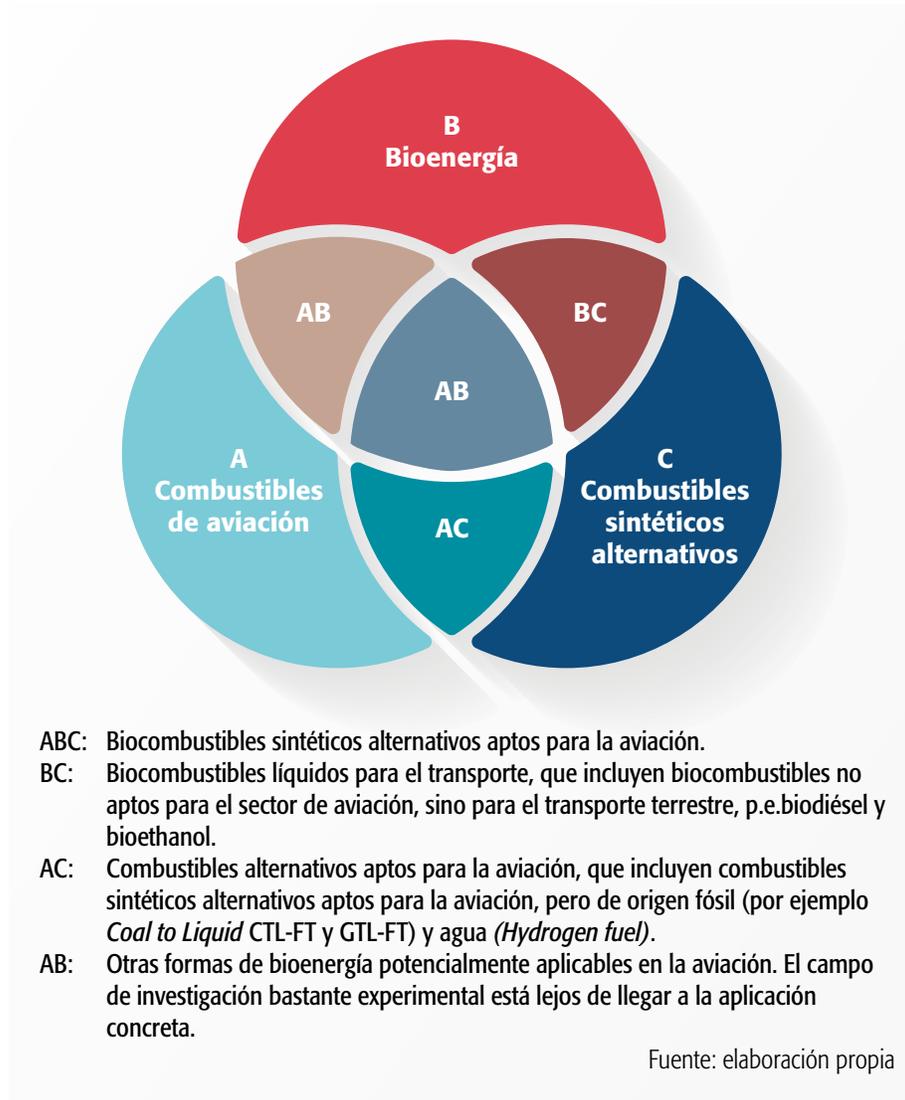
Con respecto a los biocombustibles una clasificación recientemente popularizada incluye los términos biocombustibles de primera, segunda y tercera generación, pero no hay definición técnica estricta para tales designaciones. De hecho existe una considerable controversia entre las definiciones de esas “generaciones de biocombustibles”, pero en general la principal distinción entre ellos es la materia prima utilizada y los avances tecnológicos necesarios para obtenerlos (Machado 2010).

Los **biocombustibles de 1<sup>ra</sup> generación** son producidos de azúcar, amida y aceites de una parte específica (frecuentemente comestible) de plantas tradicionales como caña de azúcar, trigo, maíz, palma aceitera y soya. Esos biocombustibles (etanol y biodiésel) ya son producidos y comercializados en cantidades significativas por diversos países, que responden actualmente por 1,5% de 2,0% del total de combustibles de transporte en el mundo. Su expansión, sin embargo, levanta algunas preocupaciones, principalmente en lo que se refiere al uso de la tierra.

Los **biocombustibles de 2<sup>da</sup> generación**, también llamados biocombustibles celulósicos, son producidos de materias primas no alimenticias como residuos agroindustriales y gramíneas forrajeras de alta producción de biomasa. Su producción es significativamente más compleja, comparados a los de 1<sup>ra</sup> generación y todavía no se han comercializado. Se clasifican según el proceso utilizado en la conversión de la biomasa: bioquímicos –producidos por hidrólisis enzimática, fermentación– y termoquímicos –producidos por pirolisis, gasificación y síntesis de Fischer-Tropsch. Las tecnologías para una conversión de biomasa celulósica a biocombustibles son existentes, pero todavía no aplicadas en producción de gran escala.

Los **biocombustibles de 3<sup>ra</sup> generación** se producen a partir de la materia prima modificada genéticamente, de modo que facilita los procesos subsecuentes. Los agentes de conversión (microorganismos, algas) también son modificados genéticamente para que el proceso sea más eficiente.

**Figura 3.1. Intersecciones entre combustibles de aviación, bioenergía y combustibles sintéticos alternativos.**



Una alternativa más cercana sería de los **biocombustibles 1.5 generación** (Ganduglia 2008), que incluirían aquellos producidos por tecnologías convencionales, pero con materias primas alternativas a las utilizadas actualmente, menos sensibles a la competencia con la producción de alimentos. Entre estas se encontrarían diversas especies arbustivas o arbóreas perenes oleaginosas u otras con potencial de desarrollarse en zonas áridas o semi-áridas de tierras marginales, como *Jatropha*, camelina y microalgas. El llamado **biocombustible celulósico** es producido con base en cualquier celulosa, hemicelulosa

o lignina, derivado de la biomasa renovable, y que logra una reducción de las emisiones de gases del efecto invernadero durante el ciclo de vida en un 60% por debajo del valor de referencia. (EE.UU. 2007)

Por otro lado, se llama **combustible sintético** (Figura 3.1) a la gasolina, el queroseno y el gasóleo, obtenidos mediante procesos termoquímicos a partir de carbón, de gas natural o de biomasa. Por extensión, también puede usarse para otros productos combustibles (por ejemplo metanol, dimetiléter o butano) y para otros tipos de materias primas “no convencionales” (por ejemplo las arenas bituminosas o los residuos plásticos). Ya sea que la materia prima fuese carbón, gas natural o biomasa, se suele hablar de procesos y productos **CTL** (del inglés *Coal-to-Liquids*), **GTL** (*Gas-to-Liquids*) o **BTL** (*Biomass-to-Liquids*) respectivamente (Figura 3.2). Los combustibles sintéticos obtenidos de la biomasa suelen llamarse también biocombustibles, incluidos tanto al BTL como al bioetanol y el biodiésel, los cuales se obtienen mediante fermentación, un proceso sustancialmente diferente de la transformación termoquímica utilizada para el BTL (Figura 3.2).

Los tres principales procesos de producción de combustibles sintéticos son:

- Licuefacción directa del carbón.
- Producción de gas de síntesis (CO + H<sub>2</sub>) seguida de síntesis FT.
- Producción de gas de síntesis seguida de síntesis de metanol y a continuación transformación del metanol en gasolina y/o gasóleo.

Hay básicamente dos categorías de combustibles sintéticos: los líquidos Fischer-Tropsch y los combustibles crudos sintéticos. Los crudos sintéticos (*syncrude*) se obtienen de fuentes fósiles como el petróleo extra pesado, esquisto<sup>8</sup> y de arena bituminosa, y pueden ser usados para los mismos propósitos que el petróleo convencional. Al igual que el petróleo, el crudo sintético debe ser refinado y procesado para conseguir varias formas de productos basados en el petróleo, como es el diésel, la gasolina o el queroseno. Procesar los combustibles sintéticos, especialmente el syncrude, tiende a dañar el ambiente. Al necesitar más procesamiento que el petróleo, crean más emisiones de CO<sub>2</sub> y otros agentes contaminantes.

Los combustibles sintéticos alternativos con potencial futuro de ser empleados en la aviación (**combustibles alternativos de aviación**) pueden agruparse en función de su fuente y forma de obtención. Incluyen, además del bioqueroseno, combustibles Fisher – Tropsch

---

<sup>8</sup> Un grupo de rocas sedimentarias bituminosas, caracterizado por la preponderancia de minerales laminares y que aloja en sus poros materia orgánica, pudiendo producir gas o petróleo.

sintetizados a partir de carbón (CTL – FT), gas natural (GTL – FT), biomasa (BTL – FT) e hidrogeno y se encuentran en diferentes estados de avance tecnológico (OBSA 2009).

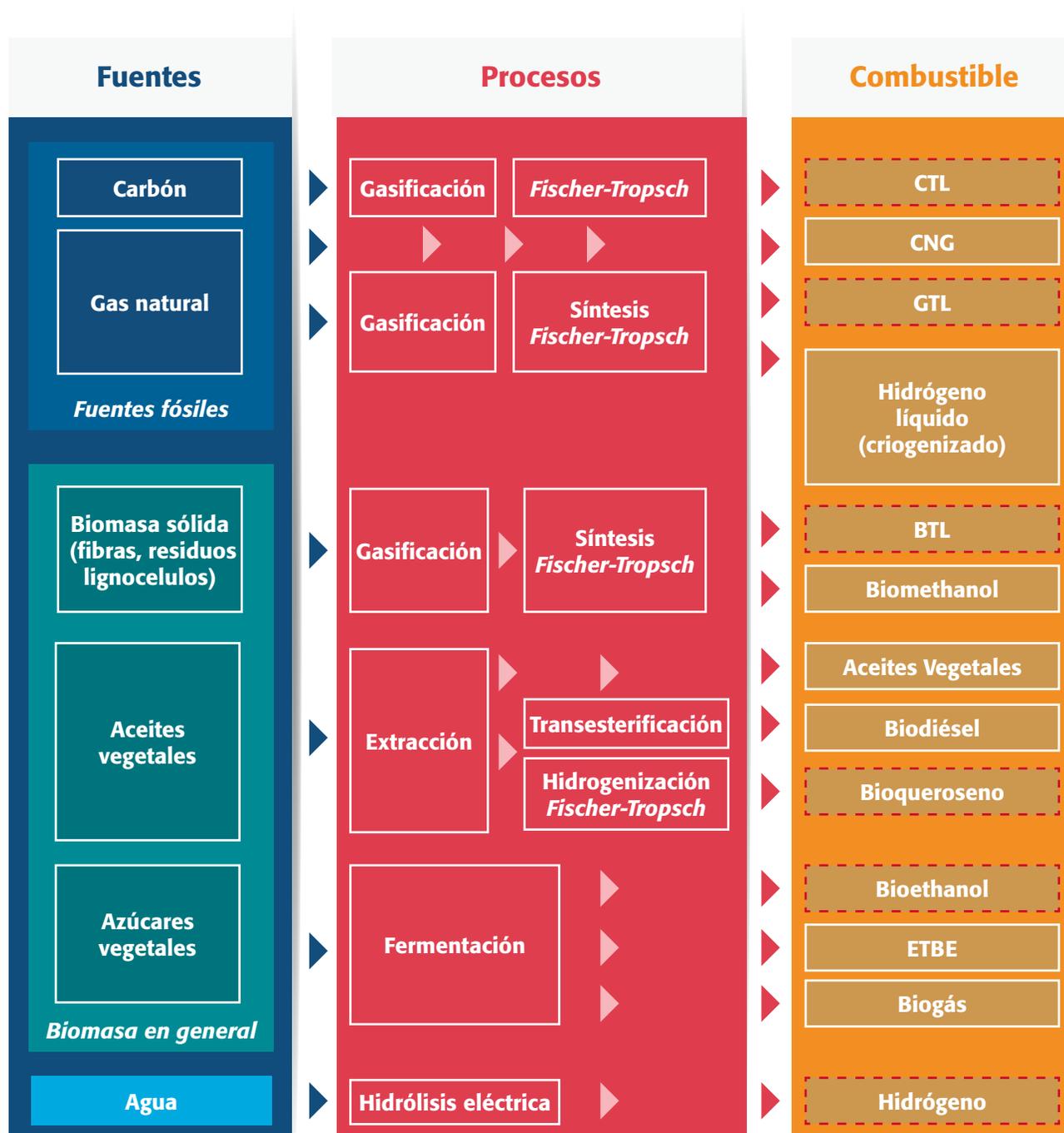
Los biocombustibles de aviación pueden producirse a través de las rutas tecnológicas de conversión termoquímica o conversión bioquímica, con las rutas termoquímicas dominando la mayor parte de las inversiones y de los emprendimientos al corto y medio plazo, porque se basan en las tecnologías más maduras (CALDECOTT y TOOZE 2009).

Las rutas termoquímicas aplicadas en la conversión de la biomasa se basan en la utilización de calor como fuente de transformación de la biomasa, por dos abordajes básicos (Figura 2.3, Machado 2010). El primero es la gasificación de la biomasa y su conversión en hidrocarburos y el segundo es la licuefacción de la biomasa directamente por pirólisis de alta temperatura o licuefacción de alta presión. El bio-óleo, resultado de la licuefacción, puede ser “hidro-tratado” para producir HRJ. Los bio-oleos son extractados de *feedstocks* avanzados con un alto contenido de aceite como la *Jatropha*, camelina o algas (CALDECOTT y TOOZE 2009).

Estos métodos han sido desarrollados para la conversión de la biomasa residual obtenida a partir de las actividades agrícolas y forestales y de las industrias de transformación agro-alimentaria y de la madera en energía útil. La elección del proceso de conversión depende del tipo y cantidad de biomasa disponible, de la forma deseada de la energía, es decir, las necesidades de uso final, de las normas ambientales, de factores económicos y otros factores específicos de proyecto.

La gasificación es un proceso que convierte un insumo sólido o líquido en un gas (gas pobre) con características básicamente combustibles, por su oxidación parcial a temperaturas intermedias (400-900 °C), por encima de las recomendadas para pirólisis y por debajo de las recomendadas para combustión. Los principales compuestos resultantes son monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y nitrógeno (N<sub>2</sub>), cuyas concentraciones varían de acuerdo con las condiciones operacionales utilizadas. Ese gas es conocido como gas pobre, debido a la cantidad de aire inferior, lo que significa que posee bajo poder calorífico. En el proceso se suministran cantidades restringidas de oxígeno, con el objetivo principal de producir una mezcla gaseosa especial, conocida como gas de síntesis (o syngas), básicamente rica en hidrógeno y monóxido de carbono y cuya combustión es más eficiente que aquella del combustible original. Así, el gas de síntesis puede ser quemado directamente en motores de combustión interna, usado para producir metanol e hidrógeno o aún convertido en combustible sintético por el proceso FT.

**Figura 3.2. Rutas tecnológicas para la producción de combustibles alternativos.**



--- Combustibles sintéticos alternativos con potencial de ser empleados en la aviación, en diferentes estados de avance tecnológico (OBSA 2012).

CTL - del inglés *Coal-to-Liquids*

BTL - del inglés *Biomass-to-Liquids*

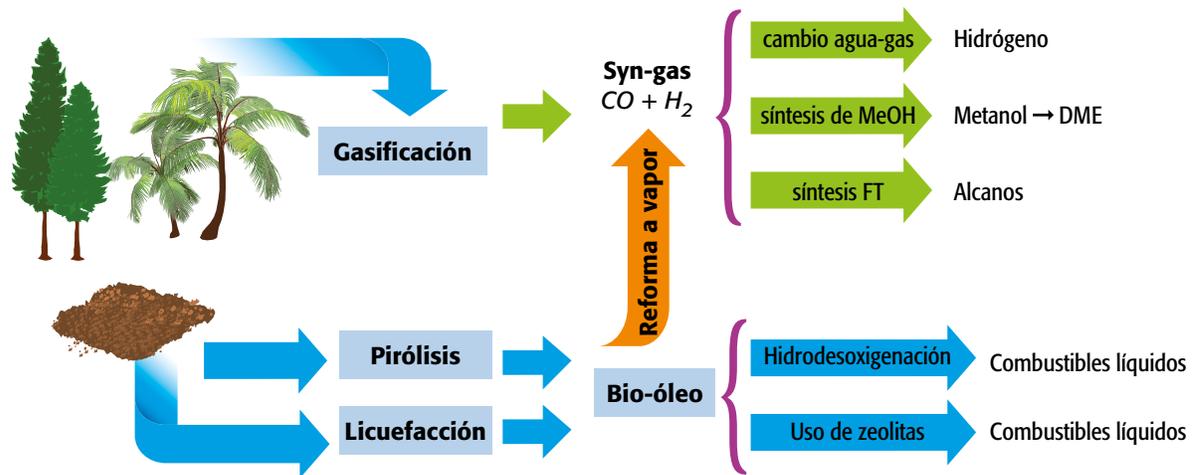
ETBE - *Ethyl tert-butyl ether*

GTL - del inglés *Gas-to-Liquids*

CNG - del inglés *Compressed Natural Gas*

Fuente: Elaborado con base en Wuppertal Institut 2006 y OBSA 2012.

**Figura 3.3. Procesos termoquímicos para producción de biocombustibles.**



El proceso FT es un método mediante el cual se obtienen combustibles líquidos tales como gas oil, gasolina, queroseno, entre otros a partir de monóxido de carbono e hidrógeno gaseosos. Este procedimiento fue ideado por los químicos alemanes Hans Tropsch y Franz Fischer, en 1920. El procedimiento FT se realiza en condiciones de alta temperatura y presión, para aumentar el rendimiento del proceso. La reacción se acelera mediante catalizadores de hierro o cobalto. Las principales reacciones del procedimiento tienen varias etapas, que incluyen al principio la absorción de monóxido de carbono sobre el catalizador, luego el comienzo de la polimerización al formarse un grupo metilo y más tarde la polimerización para obtener el hidrocarburo. (González 2010).

Las ventajas de este proceso consisten en la baja proporción de azufre encontrada en el *gas-oil* obtenido a través del proceso FT, lo cual es favorable para el ambiente, y el alto contenido de cetano, que se debe a su baja proporción de compuestos aromáticos.

Considerada la producción de biocombustibles, un problema del proceso FT es que no se consigue producir selectivamente gasolina (C7-C11) o diésel (C14-C20) sintéticos sin generarse una gran cantidad de otros productos. Se ha tratado de cambiar las propiedades de los catalizadores para alterar la selectividad, pero los intentos para alterar la distribución aún no han sido exitosos (Huber *et al.* 2008; Goyal *et al.* 2008). Además, las plantas necesarias para realizar el proceso FT tienen un alto costo de instalación y conjuntamente impactan negativamente medio ambiente, dado que la emisión de  $CO_2$  en este tipo de plantas es alta.

También es posible la producción de biocombustibles a través la ruta bioquímica que parte de azúcares y almidón, pero actualmente se encuentra en fase experimental de laboratorio. Los azúcares son fermentados y deshidratados en tanto el almidón requiere primero ser convertido en azúcares a través de un tratamiento enzimático (tecnología *alcohol-to-jet*).

Asimismo, el hidrógeno se ha sugerido como un combustible de aviación del futuro. En realidad, los aviones de hidrógeno requerirían nuevos motores y fuselajes, que es poco probable que se realice hasta por lo menos varias décadas. Por lo tanto, los combustibles líquidos de los nuevos tiempos son la única alternativa realista para el transporte aéreo comercial. Estos incluyen los nuevos combustibles sintetizados a partir de gas GTL y carbón CTL, así como los derivados de la biomasa. El sector evalúa que el hidrógeno –usado ya en sistemas de células de combustible– podría ser una alternativa para los motores de aviación a partir del 2050 (ATAG 2012).

Cabe mencionar que el uso potencial de los combustibles sintéticos para aviones es solo uno de una amplia gama de soluciones a largo plazo que se introducen o se considera que podrían reducir la sostenibilidad del transporte aéreo. El objetivo clave es mejorar la eficiencia. En el futuro más inmediato, proyectos en alianza público – privada como el de €1600 millones, Iniciativa tecnológica conjunta (ITC): Empresa Común Clean Sky (2007-2013), cuyo objeto es aumentar la eficiencia mediante la aceleración del desarrollo del nuevo motor y el diseño de las aeronaves y otras medidas. Los aviones nuevos que entran en servicio actualmente consumen un 70% menos de carburante que los de hace 40 años, mientras las operaciones con aeronaves han logrado reducir el consumo de carburante un 20% en los últimos 10 años (reducción del consumo del 5% en 2004-2005, de conformidad con las Estadísticas del Transporte Aéreo en el Mundo, (World Air Transport Statistics, WATS).

### **Aplicabilidad y requisitos técnicos de los combustibles alternativos sintéticos aplicados en la aviación**

No todos los combustibles existentes pueden ser utilizados en aviación, aunque se utilicen fácilmente para el transporte terrestre. Las condiciones de seguridad que operan en la aviación son mucho más estrictas y restrictivas (OBSA 2010). Al mismo tiempo, las condiciones de operación, de temperatura y de presión condicionan el uso de combustibles que mantengan propiedades físicas específicas en estas condiciones (fluidez, viscosidad, entre otros). Deben evitarse posibles causas de problemas de re-encendido de motores, arranque en frío,

solidificación y depósitos de impurezas, degradación de determinados materiales de motores y depósitos como los usados en juntas u otros. Por todo esto es muy importante el desarrollo de investigación y ensayos donde se evalúen todos los parámetros del comportamiento de cualquier combustible alternativo.

Las aeronaves modernas usadas en el transporte comercial de pasajeros y carga utilizan como combustible JetA o JetA-1, producido a partir de petróleo y en un pequeño porcentaje desde arenas bituminosas (Venezuela y Canadá) (Chevron 2006) y CTL (Suráfrica). Para garantizar la seguridad, estos combustibles deben cumplir especificaciones operacionales y técnicas compatibles con las aeronaves y su operación (motores, circuitos, depósitos, fases de vuelo), como fue ilustrado en el Cuadro 2,1 (OBSA 2009):

### **Cuadro 3.1. Especificaciones operacionales y técnicas para los combustibles de aviación.**

<b>Especificaciones operacionales y técnicas para los combustibles de aviación</b>	
1)	Densidad energética: cantidad de energía proporcionada por unidad de peso o de volumen (mínimo 42,8 MJ/kg).
2)	Fluidez del combustible para su paso de los depósitos hacia el motor, determinadas entre otras por la viscosidad, temperatura de solidificación (Jet A -40°C, Jet A1 -47°C) y densidad física (peso por volumen).
3)	Compatibilidad con los materiales de las aeronaves.
4)	Capacidades lubricantes y termo-estabilidad.
5)	Disponibilidad y asequibilidad: suministro suficiente en los aeropuertos y económicamente asequible.
6)	Necesidad de aditivos.
7)	Capacidad para mantener estas características durante todo el vuelo, a pesar de las diferencias de altitud, presión y condiciones climáticas extremas.

Fuente: OBSA 2009

La entidad oficial que define los estándares del combustible de uso en la aviación comercial es la ASTM. Cualquier combustible alternativo que cumpla con esas especificaciones sería lo que en inglés se denomina drop-in. Es decir, podría ser usado sin realizar modificaciones en las aeronaves y con plenas garantías para la seguridad. Los combustibles alternativos que no cumplan estas especificaciones requerirán un mayor tiempo antes de poder ser utilizados por la aviación comercial, dependiendo de certificaciones de las entidades oficiales y la capacidad de implementar cambios en los motores y en las aeronaves.

En el caso de los combustibles de sustitución directa e inmediata (*drop-in*), siempre que el grado de mezcla permitido fuera indistinto (comprendido en un rango de mezcla de combustible alternativo de 0 a 100% con respecto al combustible convencional), no habría ninguna dificultad en su implementación, aunque podría presentar dificultades el seguimiento, por cuestiones de cálculo de emisiones, la trazabilidad en su uso. Sin embargo, si el combustible no es *drop-in* o existen especificaciones mínimas de grado de mezcla, su implementación en las redes de suministro supone una serie de inconvenientes adicionales, económicos y estratégicos. Para evitar mezclas en las infraestructuras de suministro, sería necesario multiplicarlas individualizándolas por tipo de combustible. Si se desean evitar las mezclas en los depósitos de las aeronaves, podrían existir problemas de abastecimiento en determinados destinos, escalas o aeropuertos donde un mismo combustible no pudiese ser suministrado.

Los combustibles sintéticos FT (GTL – FT, CTL – FT y BTL – FT) no contienen hidrocarburos aromáticos, lo que reduce la peligrosidad de las emisiones para la calidad del aire. Sin embargo esta ausencia de compuestos aromáticos conlleva dos desventajas técnicas:

- i. La densidad del combustible FT inicial estará por debajo del mínimo establecido en las especificaciones del Jet.
- ii. Los compuestos aromáticos expanden los elastómeros (gomas) utilizados en el circuito de distribución de combustible y, por tanto, su ausencia podría ser causa de derrames.

Sin embargo, estas desventajas desaparecen cuando el combustible FT no es utilizado en forma pura sino en mezcla con el combustible convencional, aunque las ventajas sobre la calidad del aire disminuyen (ICAO 2007).

El número de átomos de carbono condiciona las propiedades físico-químicas del compuesto final. El biodiésel solidifica alrededor de 0 °C, mientras que el combustible convencional no lo hace hasta -40 °C (-47 °C Jet-A1). Esto es clave dadas las bajas temperaturas de crucero y el riesgo para la seguridad que supondría que el combustible no llegara correctamente a los motores. Podría controlarse con aditivos, aunque llevaría a un complejo proceso para su aprobación y certificación para su uso en aviación (ICAO 2007).

## Normas para combustibles renovables de aviación

Un paso importante fue la aprobación de la norma ASTM D7566-11 revisada el 1º de julio del 2011. La norma establece las especificaciones para combustibles de turbina de aviación que contienen una cantidad de hidrocarburos sintetizados. A través de las nuevas disposiciones incluidas en ASTM D7566, ya se pueden mezclar los combustibles renovables con los combustibles convencionales civil y militar, hasta el 50%. Los componentes de los combustibles renovables, llamados esteres hidro-procesados y ácidos grasos (HEFA – por sus siglas en inglés *hydroprocessed esters and fatty acids*), son idénticos a los hidrocarburos que se encuentran en el combustible de origen de petróleo. La norma ya cuenta con criterios para el combustible producido a partir de carbón, gas natural o biomasa a partir de la síntesis de FT.

La norma aprobó dos rutas para los combustibles “*drop-in*” mediante la utilización de biomasa como materia prima:

1. Bio-SPK (*Bio derived Synthetic Paraffinic Kerosene*), que emplea óleo vegetal obtenido de fuentes como *Jatropha*, camelina, algas, babassu, sebo e otros óleos residuales.
2. FT-SPK (*Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene*), que utiliza biomasa sólida como materia prima, que será convertida mediante pirólisis en óleo de pirólisis o mediante gasificación en syngas antes de ser procesada en FT-SPK.

Además de cumplir con los requisitos técnicos los combustibles alternativos de aviación, deberían tener un alto contenido calórico tanto en relación con su peso como también con su volumen para no comprometer la capacidad del sector de obtener ganancias (Daggett *et al.* 2006).

La investigación de laboratorio de las propiedades técnicas de los combustibles alternativos de aviación ha mostrado cualidades iguales o hasta superiores de los combustibles elaborados con base en el petróleo. Mediante la comparación de seis combustibles alternativos elaborados con base de carbón, gas natural, camelina y sebo, tres de ellos elaborados aplicando el proceso FT, los otros tres vía *extensive hydroprocessing*, Corporan *et al.* (2011) analizaron la estabilidad termal, la capacidad de elevación de elastómero y las emisiones de combustión, y realizaron el análisis detallado químico para proporcionar la perspicacia en su funcionamiento y deducir el comportamiento potencial de estos combustibles de ser puestos en práctica.

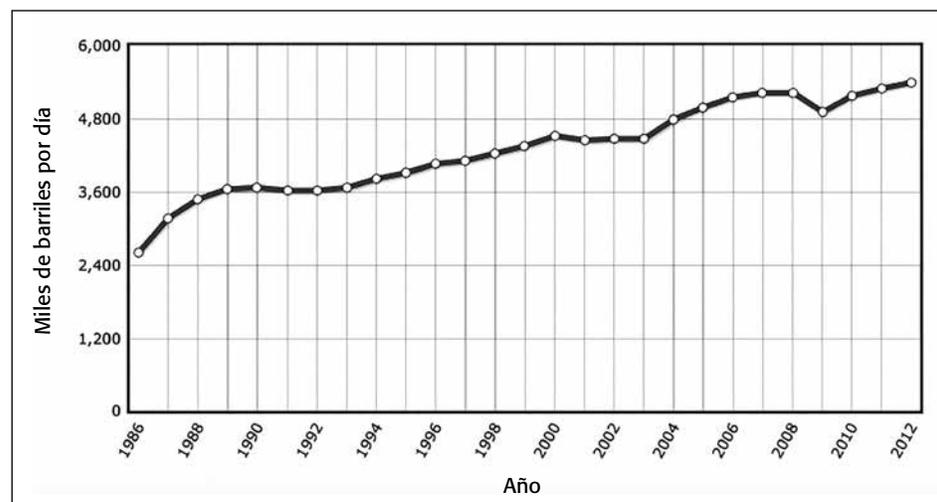
De modo general, este estudio demuestra que los combustibles de parafina derivados de feedstocks diferentes y producido vía la síntesis FT

o el hidrotreamiento pueden proveer de combustibles de propiedades físico-químicas muy similares a combustibles convencionales y con las características de combustión para el empleo en motores de turbina. Estos tipos de combustibles pueden ser considerados como *drop-in* viables si las carencias con respecto a la lubricidad y la densidad baja se logran solucionar.

### 3. Demanda y consideraciones económicas

Con la globalización y una economía mundial siempre creciendo a pesar de las crisis que sacude a una u otra parte del mundo, el consumo de combustibles de aviación está creciendo cada vez más (Figura 3.4), a una tasa media de cambio de 1,8% anual durante el periodo 1990 - 2010. El sector de la aviación transporta al año 2200 millones de pasajeros en todo el planeta y es un elemento esencial en una sociedad globalizada. Las 2092 compañías aéreas del mundo suman una flota de casi 23 000 aeronaves (ATAG 2012). Según las estimaciones de la IATA, en el 2050 los pasajeros serán ya 16 000 millones. El crecimiento constante del tráfico plantea a la industria de la aviación comercial el reto simultáneo de atender esta demanda y reducir las emisiones que genera.

**Figura 3.4. Aumento del consumo mundial de combustible de aviación entre 1986 y 2012 (en miles de barriles/día).**



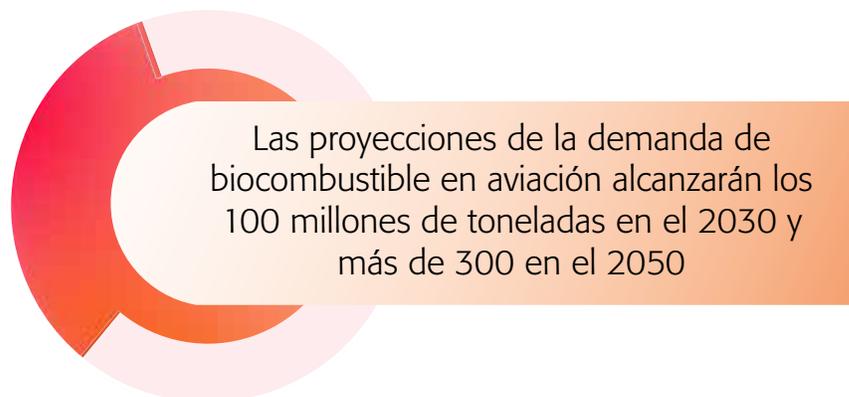
Fuente: Base de datos disponible en <https://goo.gl/tVKwpq>

El sector de aviación apuesta a que el precio del biojet fuel podrá ser competitivo gracias al aumento de la producción y comercialización de los biocombustibles y a futuros incentivos económicos similares al de otros biocarburantes. El continuo crecimiento del tráfico aéreo, con el consecuente incremento de emisiones de gases de efecto invernadero, ha llevado al sector de la aviación a definir los objetivos de sustitución en 1% del total del combustible empleado por las compañías aéreas en todo el mundo en el 2015, que pasaría del 10% en el 2017 al 15 % en el 2020 (IATA 2012).

Además, la integración de la aviación en el régimen de comercio de derechos de emisión (EU ETS), en el 2012, unido al incremento de precios del petróleo y su alta volatilidad, con un impacto crítico en el beneficio de las aerolíneas, supone un nuevo acicate para la utilización de biocombustibles en aviación. El nuevo mercado en Europa se abrió a partir del inicio del 2012 con la aplicación de las nuevas normativas referidas al control de las emisiones de CO<sub>2</sub> en Aviación (véase Capítulo 2 y nota de pie n.º 5). A partir del 1º de enero, las aerolíneas deberán adquirir y entregar derechos de emisión por sus vuelos con origen o destino a aeropuertos de la UE, lo que implicará que las compañías aéreas soliciten de forma generalizada el suministro de este tipo de combustibles.

Para disponer de tiempo suficiente para desarrollar los combustibles y tecnologías al respecto, inicialmente el sector de la aviación se había comprometido a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a partir del 2020, con la meta de llegar a la mitad de las emisiones del 2005 en el 2050. Esta reducción de las emisiones será el resultado de un conjunto de medidas con las que, además de los biocombustibles, se esperan contribuciones relevantes mediante mejoras tecnológicas, la optimización de la gestión del tráfico aéreo y con un esquema mundial de medidas económicas. En el camino hacia la consecución de estos objetivos, los principales retos de esta industria vuelven a ser los medios, recursos y fuentes de financiación. Además, otras piezas claves de la cadena son sin duda la investigación e innovación, factores determinantes para hallar soluciones viables en las distintas áreas geográficas y para el incremento de la productividad.

El combustible se ha convertido en el principal costo de gestión del sector de aviación, que representa hasta un 30% de los costos operacionales directos. A largo plazo, la seguridad del suministro es también crucial para un sector que actualmente depende totalmente de combustibles fósiles.



Solamente en la China se pronostica una demanda de 28 millones de toneladas en el 2015 (ChinaDaily 2011).

El incremento de precios de los combustibles fósiles y otras medidas económicas, como el comercio de derechos de emisiones en Europa, no son los únicos aspectos para valorar los esfuerzos de fomento de producción y comercialización de biocombustibles. También se puede contar con otros beneficios ambientales, económicos y sociales asociados.

Con el aumento de la producción y comercialización, conjuntamente con futuros incentivos económicos que favorezcan un nivel de ayudas equivalente al de otros biocarburantes, es previsible que el precio del biojet fuel sea competitivo. Por otro lado, el uso de biocombustibles en aviación permite reducir el CO<sub>2</sub> a lo largo de todo el ciclo de vida del combustible y mejorar la calidad del aire en las proximidades a aeropuertos, sin contenido de azufre y un menor contenido en partículas. También permite aminorar el consumo de combustible por una mayor densidad energética (superiores a un 1%), diversificar y asegurar el suministro, y generar empleo.

La creación de una demanda garantizada de biocombustibles de aviación es crucial para llegar a cantidades empleadas capaces de reducir las emisiones GEI considerablemente. Para crear esta demanda se están discutiendo la introducción de mezclas obligatorias (Caldecott y Tooze 2009).

El resultado de una demanda insuficiente es que para las compañías petroleras y suministradoras de combustibles o nuevas *start-ups* es arriesgado construir la infraestructura e invertir en I+D, que se precisa para entregar cantidades comercialmente viables de biocombustibles de aviación, a pesar de que las tecnologías innovadoras se están desarrollando a pasos acelerados. Las numerosas iniciativas cooperativas del sector (véase Capítulo 2) y la reclamación continua a los tomadores de decisiones políticos de crear los incentivos para crear un ambiente más favorable para el desarrollo de la cadena productiva en todos sus aspectos son reacciones lógicas ante esta situación.

Para contribuir con la factibilidad de estas inversiones, de modo que en los próximos 5 a 15 años los biocombustibles de aviación puedan ser producidos y suplidos en cantidades comerciales, los proveedores tienen que estar más seguros de futura demanda de su producto. La introducción de mezclas obligatorias –tal como fue adoptado por muchos países para incentivar los biocombustibles líquidos del transporte terrestre etanol y biodiésel– crearía una demanda confiable y predecible (Tabla 3.2).

Este mandato estipularía claramente que una proporción creciente de combustible de aviación debe provenir de fuentes renovables y que la proporción requerida se elevaría según lo que técnica y económicamente sería viable, de manera que permita a los proveedores anticipar la demanda y realizar las inversiones necesarias para instalar las capacidades de producción.

**Tabla 3.2. Propuesta para la introducción de mezclas obligatorias en la UE.**

Año	Mezclas obligatorias de biocombustibles (propuestas)	Factor demandado de reducción de emisiones <sup>9</sup> (propuesta)	Porcentaje de reducción de emisiones GEI en relación con el queroseno convencional	Emisiones evitadas en el tráfico de la UE en millones de toneladas de CO <sub>2</sub> con base en el consumo proyectado
2020 - 2029	20%	0,25	15%	36,95
2030 - 2039	40%	0,25	30%	80,80
2040 - 2049	60%	0,25	45%	109,95
2050	80%	0,25	60%	138,66

Fuente: Caldecott y Tooze 2009.

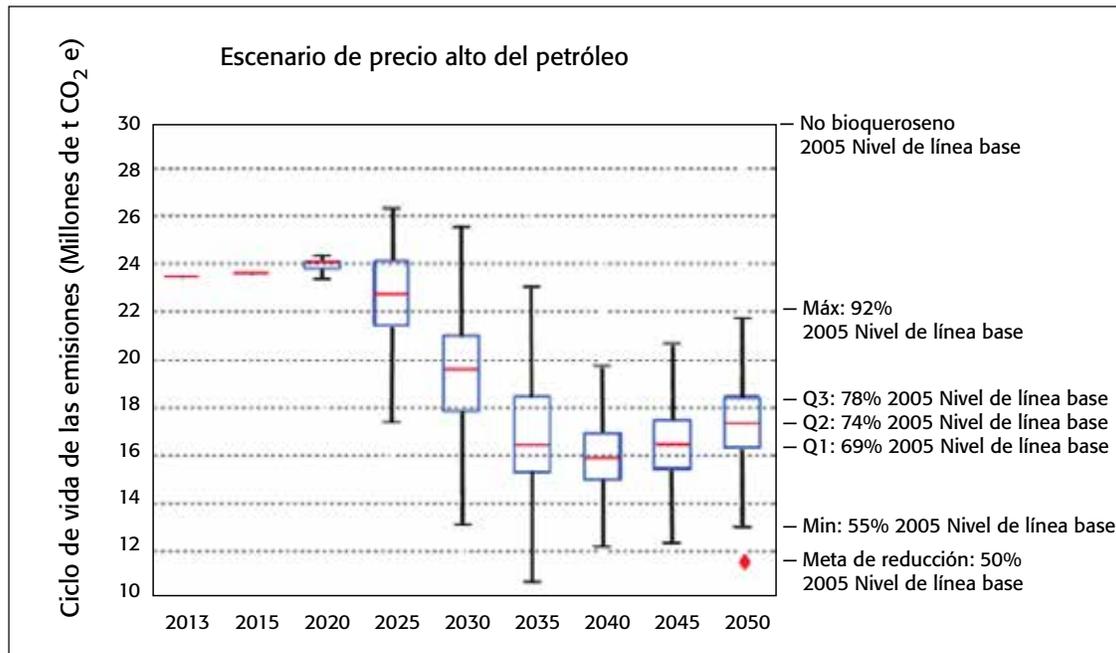
Otra simulación reciente (Agusdinata *et al.* 2011, Figura 3.5) llegó al resultado de que con la proporción más probable de la adopción de los biocombustibles, la mezcla de 50% no sería suficiente para alcanzar el objetivo de las reducciones en un 50% del nivel del 2005 en el año 2050. De igual forma, bajo la suposición de un precio alto del petróleo la reducción llegaría aproximadamente al 74% del

<sup>9</sup> El factor de emisiones del biocombustibles se refiere a las emisiones durante el ciclo de vida, según las emisiones durante la fase de cultivación de biomasa (incluidos los cambios directos en el uso de la tierra), la producción, el tratamiento, el transporte y la distribución. Se expresa en relación con emisiones durante el ciclo de vida del queroseno estándar. El factor de emisiones propuesto es el 0,25, meta estimada de ser alcanzable si se consideran resultados de biocombustibles producidos, por ejemplo en base de camelina, lo cual muestra un potencial de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> encima de los 80% (Caldecott y Tooze 2009 y SustainableOils 2009).

nivel del año 2005 (rango de 55 hasta 92%). El estudio combina el análisis de ciclo de vida mediante diferentes materias primas y rutas tecnológicas (extracción e hidrogenización de aceites vegetales de camelina y de algas, respectivamente, y gasificación y síntesis FT de lignocelulosa proveniente de árboles de crecimiento rápido, paja de maíz y *switchgrass*)– con un modelo económico de una cadena oferta-demanda que considera específicamente los factores económicos que influyen las decisiones de los actores de la cadena (productores de materia prima, biorefinerías, líneas aéreas, políticos, entre otros). Para evaluar las decisiones de los actores, se desarrolló una previsión de la lógica de oferta de acuerdo con factores como coacciones en el uso de la tierra, así como costos de producción, avances tecnológicos y la dinámica del sector en tres escenarios de precio del petróleo: bajo, referencial y alto.

Si continúa el crecimiento el sector de aviación con una tasa supuesta de 2% al año y sin emplear biocombustibles, el nivel de las emisiones aumentaría hasta el 128% en relación con la línea base del año 2005. Se asume que las emisiones solamente aumentarían alrededor del 0,67% debido a los mejoramientos constantes en la eficiencia de los motores. Otra observación interesante es que la viabilidad de los *feedstocks* depende mayormente de dos factores: a) el precio del petróleo y b) la disponibilidad de tierra.

**Figura 3.5. Escenarios de simulación para la reducción de emisiones mediante la utilización de bioqueroseno en la aviación.**



Fuente: Agusdinata *et al.* 2011.

## 4. Lecciones aprendidas sobre el uso energético de la mezcla y los impactos sobre el ambiente

La motivación principal para las numerosas iniciativas en I+D que se han puesto en marcha recientemente consiste en trazar un camino por seguir para la introducción de los biocombustibles sostenibles, para ayudar a reducir la dependencia de los combustibles fósiles en el transporte aéreo y reducir las emisiones de GEI por el sector del transporte aéreo.

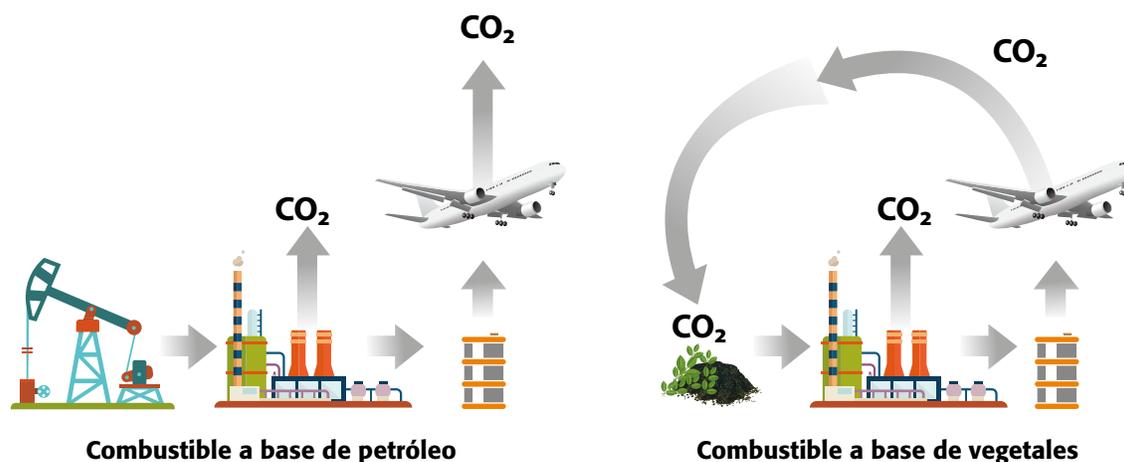
El problema del cambio climático junto con la dependencia del petróleo y la inestabilidad en los precios del combustible tradicional está centrado, cada vez más, en la atención del uso de combustibles alternativos. Como lo señala la IEA, la actual dependencia energética de los combustibles fósiles no es sostenible, tanto en términos de seguridad de suministro como de impacto ambiental. La bioenergía, en todas sus variantes, tiene potencial para cubrir, por lo menos en parte, el crecimiento previsto en la demanda energética.

A esta necesidad de estabilidad y seguridad en los mercados del combustible mediante la diversificación y el uso de fuentes locales frente a importaciones, se suman otras necesidades tanto ambientales como socioeconómicas. Tras la inclusión de la aviación en el sistema europeo de comercio de derechos de emisión, el uso de biocombustibles permitiría un crecimiento económico no sometido a los costos asociados a las emisiones de CO<sub>2</sub> de los combustibles tradicionales. Pese a estos potenciales beneficios del uso de la bioenergía y otras alternativas, este conlleva también riesgos significativos que deben ser cuidadosamente analizados.

El principio de ahorro del bioqueroseno es simple y se basa en el ciclo del carbono: las plantas absorben CO<sub>2</sub> de la atmósfera por medio de la fotosíntesis y el biocombustible está hecho a partir de la biomasa extraída de las plantas. Así que al ser quemado, el biocombustible devuelve a la atmósfera el CO<sub>2</sub>, pero solo en un 50%, comparado con los combustibles fósiles (Figura 3.6).

Los combustibles sintéticos CTL y GTL (FT) y ULS-Jet, al provenir de fuentes fósiles, tienen un efecto sobre el cambio climático similar al que tendría el combustible convencional, y en la mayoría de los casos incluso mayor (Figuras 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 y Tabla 3.3). En el caso del BTL, al proceder de biomasa, se alcanza una cierta reducción comparativa en el CO<sub>2</sub> emitido. El uso de electricidad no emite GEI durante la operación, pero puede hacerlo durante su generación. La combustión del hidrógeno no emite GEI, pero la propia obtención del hidrógeno líquido puede emitir muchos más que el combustible convencional.

**Figura 3.6. Ciclo de vida de los biocombustibles de aviación (simplificado).**



En relación con la Figura 3.6 que expone el principio básico del ciclo de carbono, es importante tener en cuenta que tanto los beneficios como los impactos en la sostenibilidad de estos combustibles alternativos deben ser analizados considerando de forma integrada todo el ciclo de vida (figuras 3.7 y 3.8)<sup>10</sup>. Para los biocombustibles, las emisiones durante el cultivo y procesamiento de la materia prima vegetal y para el transporte supera, en algunos casos, a las producidas durante la combustión. La fertilización química nitrogenada utilizada convencionalmente para mejorar la productividad de los cultivos se traduce en emisiones de óxido nitroso, un gas con un efecto invernadero casi 300 veces superior al del CO<sub>2</sub>. Los biocombustibles de segunda generación, que usan residuos orgánicos o que proceden de plantas perennes en terrenos degradados, presentan un mayor potencial para la reducción de las emisiones de GEI que los combustibles de primera generación.

De la misma manera, hay que considerar los efectos de las emisiones de otros GEI además del CO<sub>2</sub>. En cuanto a que no hay duda que los combustibles alternativos representan una opción potencial para reducir los impactos de clima del sector de aviación, esta reducción tradicionalmente es expresada como una proporción entre los GEI emitidos por la aplicación del combustible alternativo en relación con aquellos del producto desplazado (Stratton *et al.* 2011). Sin embargo, esto no hace caso de los impactos provocados por los efectos de combustión non-CO<sub>2</sub> en la atmósfera superior. Obviamente, incluir tanto las emisiones non-CO<sub>2</sub> de la combustión como también las emisiones efectuado en la sección *downstream* y durante el transporte del propio combustible - por ejemplo un Queroseno Sintético Paraffinic

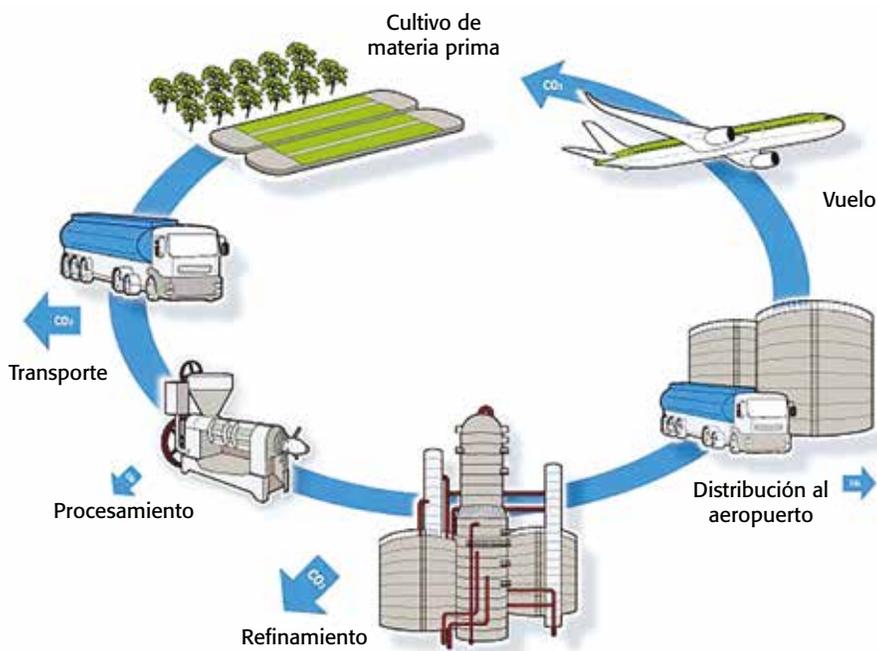
<sup>10</sup> Para una buena síntesis de los límites de la metodología LCA, refiérase a REAP *et al.* 2008.

(SPK) - disminuye el mérito relativo del combustible SPK en relación con el *jetfuel* convencional.

Las emisiones de GEI de los biocombustibles, medidas durante todo su ciclo de vida, presentan grandes divergencias en los balances de carbono según la tecnología usada para su refinado, la localización de la producción y del destino de uso final y los métodos productivos, siendo en ocasiones las emisiones de GEI mayores que las procedentes de los combustibles fósiles.

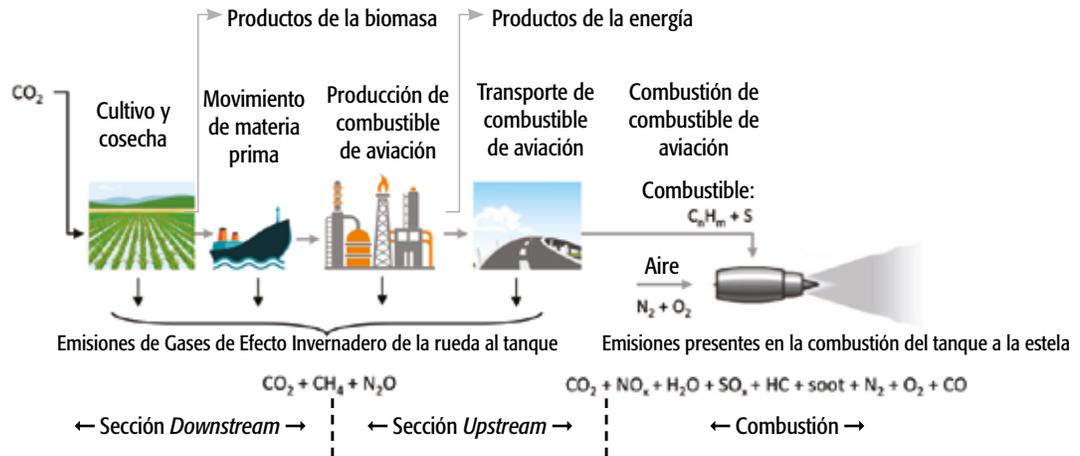
Las emisiones de GEI procedentes de la fase de combustión son compensadas por las fijadas desde la atmósfera a la planta durante el cultivo (Figura 3.6). Sin embargo la conversión de usos del suelo de zonas estables a cultivadas, la mecanización, el uso de fertilizantes y de energías no renovables durante el procesado y el transporte son fuentes importantes de emisión de GEI. La deforestación para cultivo conlleva un elevado balance negativo (que produce emisiones en lugar de reducir las), tanto desde la eliminación del sumidero de carbono como desde la liberación por oxidación del carbono almacenado en el suelo. Si además esta deforestación se realiza mediante quema (habitual en zonas tropicales), las emisiones de GEI se incrementan considerablemente.

**Figura 3.7. Emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo de la cadena de los biocombustibles de aviación.**



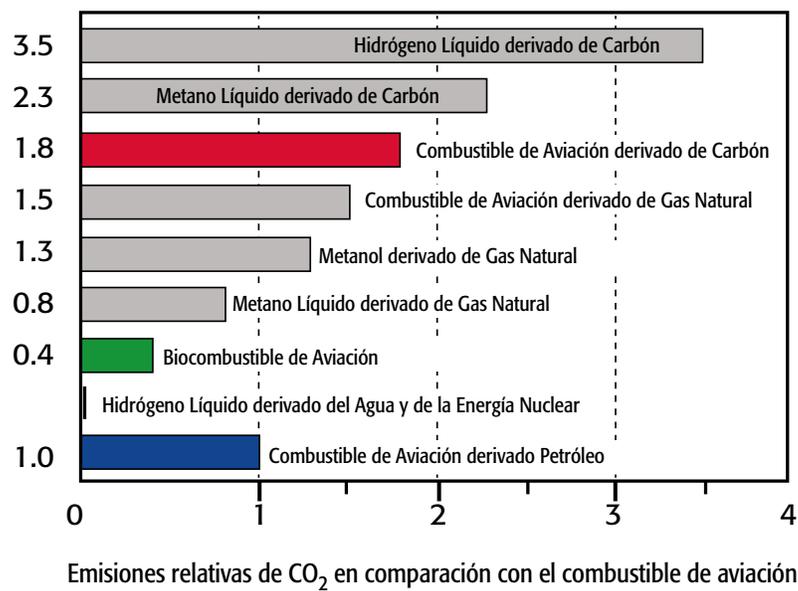
Fuente: De Guzmán, Doris. 2010. Chinese bio-jet fuel coming soon: En: ICIS Green Chemicals Monitoring the development of green within the chemical industry. June 7, 2010. <https://goo.gl/JDddJm>

**Figura 3.8. Emisiones de GEI de biocombustibles alternativos en relación con el keroseno obtenido del petróleo.**



Fuente: adaptado de Stratton *et al.* 2011.

**Figura 3.9. Emisiones de  $CO_2$  de combustibles alternativos en relación con el keroseno obtenido del petróleo.**



Fuente: Daggett *et al.* 2006.

La Tabla 3.3 muestra el potencial de los biocombustibles de transporte terrestre (biodiésel y etanol) obtenidos a partir de diferentes fuentes y distintos procesos con respecto a la reducción final en las emisiones de gases efecto invernadero. La procedencia de la fuente del combustible es clave, dado que el transporte genera también emisiones (IEA 2004).

Los biocombustibles de tercera generación, a partir de algas, presentan el mayor potencial reductor de emisiones. No requieren grandes superficies, por lo que no generan cambios de uso del suelo; además, las condiciones controladas limitan las emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera. Debe considerarse también que la distancia entre el punto de producción de la fuente energética, de su tratamiento y el de consumo final es también un condicionante de las emisiones de GEI. Si el transporte de materia prima (por ejemplo semillas de colza) se realiza, por ejemplo, mediante transporte terrestre, este consume también combustible. Esto es particularmente significativo cuando se realizan grandes exportaciones de materias primas (más que de combustible procesado) de unos países a otros.

**Tabla 3.3. Combustibles obtenidos a partir de diferentes fuentes y distintos procesos de transformación, incluyendo la reducción final en las emisiones de GEI.**

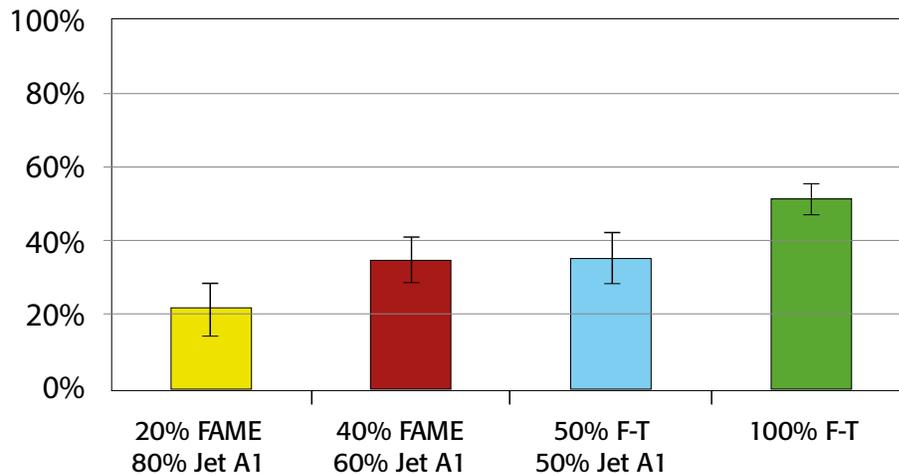
Combustible	Fuente	Tecnología	CO <sub>2</sub> -eq g/km	GEI Reducción en %
<i>Línea base: diésel</i>	<i>Petróleo</i>	<i>Refino</i>	<i>198</i>	<i>0</i>
Biodiésel	Colza (local)	Transesterificación	123	38
Biodiésel	Soja (local)	Transesterificación	94	53
Diésel	Biomasa eucalipto (Báltico)	Gasificación /FT	-16	108
Diésel	Biomasa eucalipto (Báltico)	Pirólisis	72	64
<i>Línea base: gasolina</i>	<i>Petróleo</i>	<i>Refino</i>	<i>231</i>	<i>0</i>
Gasolina	Biomasa eucalipto (Báltico)	Gasificación /FT	-10	104
Etanol	Biomasa chopo	Hidrólisis enzimática -	28	112
Etanol	Maíz (local)	Fermentación	65	72
Hidrógeno	Biomasa eucalipto (Báltico)	Gasificación	11	95

Fuente: OBSA 2010, IEA 2004.

Los biocombustibles, en este caso las mezclas de 20 y 40% de FAME (ésteres metílicos de ácidos grasos) con combustible fósil, respectivamente 50 y 100% de biocombustible FT, también muestran un potencial para una reducción significativa con respecto a las emisiones de partículas finas de materia (Lobo et al. 2011), otro indicador ambiental de importancia en relación con la calidad del aire en las grandes áreas metropolitanas.

Como reacción a las críticas en el final de la década pasada con respecto a la aplicación de los biocombustibles en el sector de transporte –tanto terrestre como aéreo– se notó un cambio de paradigma en las políticas públicas: a) los biocombustibles para ser empleados requieren de certificación de la sustentabilidad ecológica, económica y social a lo largo de la cadena de valor; y b) además del requisito de la producción sustentable, cada vez más se enfatiza que la aplicación de los biocombustibles contribuya a la reducción de las emisiones GEI. Esto también se refleja en los compromisos hasta ahora mayormente voluntarios del sector de aviación cuyos objetivos incluyen la reducción de las emisiones de GEI.

**Figura 3.10. Potencial de diferentes biocombustibles para la reducción de emisiones de partículas finas de materia.**



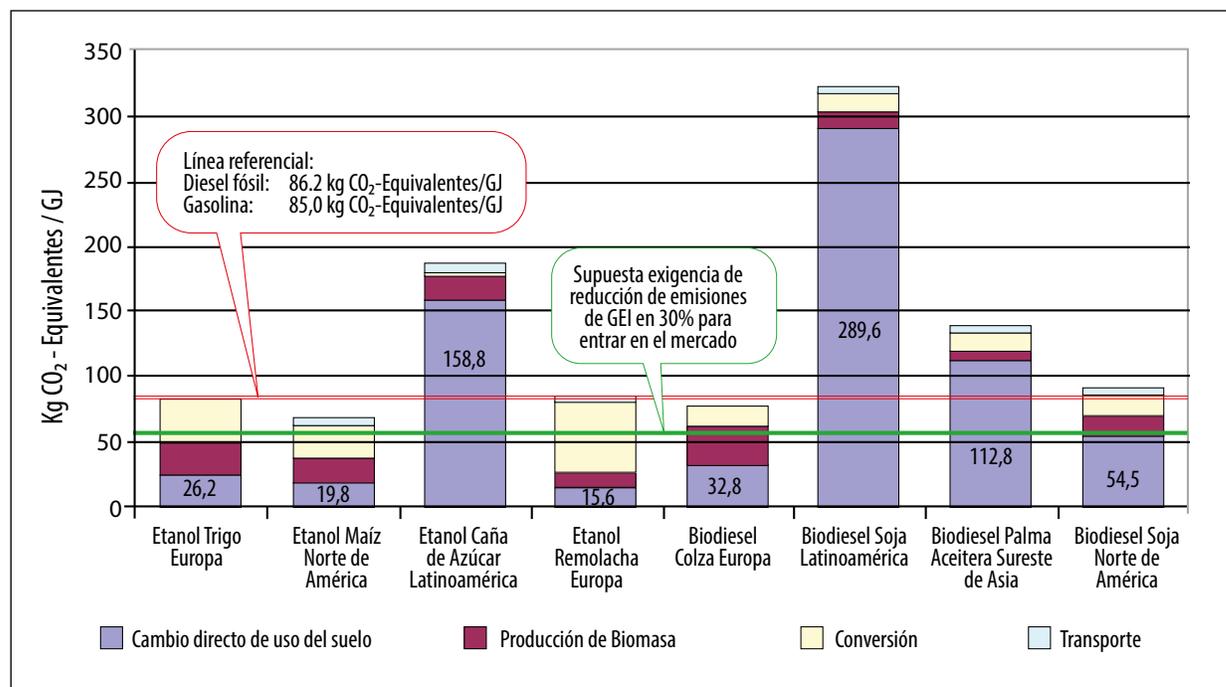
Fuente: Lobo et al. 2011.

En el futuro, la evidencia de la reducción de emisiones GEI será requerida y tendrá influencia enorme en los precios de los biocombustibles en comparación con los tradicionales. Entonces es esencial el cálculo exacto y comprobación de las emisiones, con y sin inclusión de las emisiones generadas por cambios en el uso de la tierra. Se discute, por ejemplo, como requisito para entrar en el mercado una reducción de 30% y 40%, respectivamente, de las emisiones GEI.

Las figuras 3.11a y 3.11b muestran el resultado de biocombustibles líquidos para transporte terrestre producidos a partir de fuentes y localidades diferentes, en relación con los combustibles fósiles como referencia (línea roja: diésel fósil = 86,2 kg CO<sub>2</sub>-equivalentes/GJ; gasolina = 85,0 kg CO<sub>2</sub>-equivalentes/GJ) y la supuesta obligación de reducción (línea verde). Los biocombustibles se tornarían competitivos, si se logran producir evitando emisiones de GEI provocados por el cambio directo en el uso de la tierra.

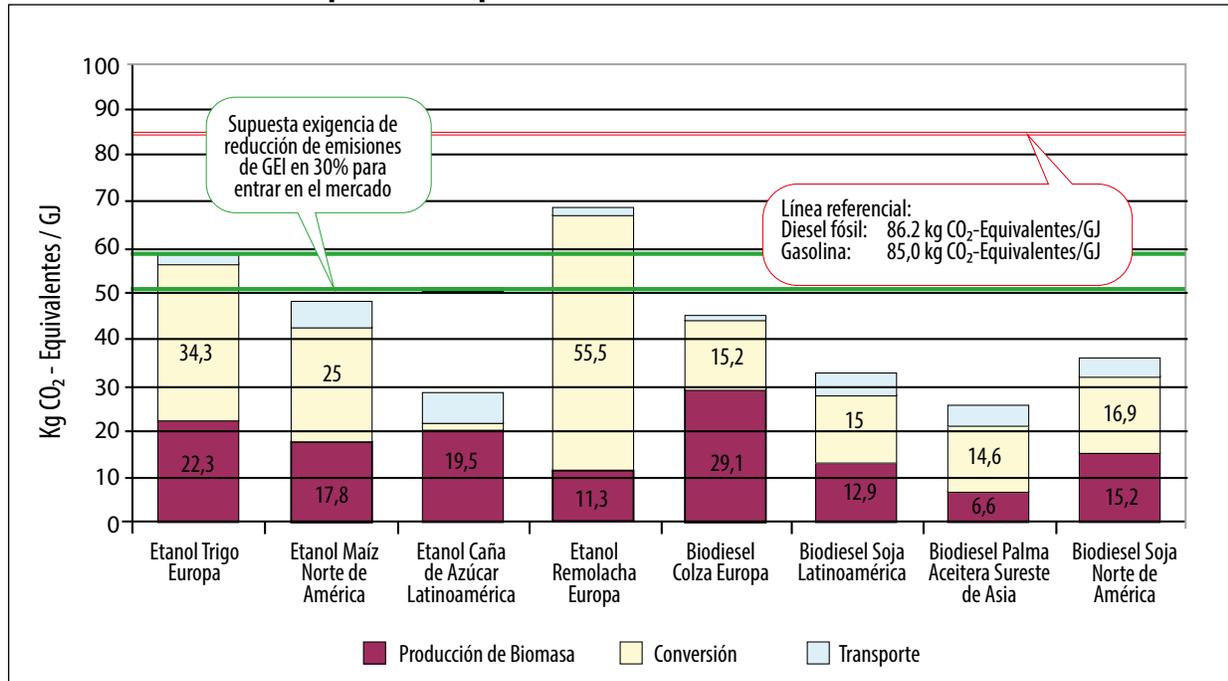
Es preciso armonizar enfoques a la hora de evaluar los balances respecto de los gases de efecto invernadero y otros efectos ambientales de la producción de biocombustibles si se aspira a lograr los resultados deseados (FAO 2008). Los criterios para la producción sostenible pueden contribuir a mejorar los efectos ambientales de los biocombustibles, pero deberán centrarse en los bienes públicos mundiales y basarse en normas internacionalmente convenidas y no dejar a los países en desarrollo en situación de desventaja para competir. Los mismos productos agrícolas básicos no deben ser objeto de un tratamiento diferente, según se vayan a utilizar para la producción de biocombustibles o con fines tradicionales como el consumo humano o la producción de piensos.

**Figura 3.11ª. Emisiones de GEI de biocombustibles líquidos para el transporte incluyendo las emisiones provocadas por el cambio de uso de la tierra.**



Fuente: UFOP 2008

**Figura 3.11b. Emisiones de GEI de biocombustibles líquidos para el transporte excluyendo las emisiones provocadas por el cambio de uso de la tierra.**



Fuente: UFOP 2008



**Sección *upstream*:**  
**Producción de materia  
prima, competitividad  
y sustentabilidad  
en la cadena de valor de bioqueroseno**

**1. Sustentabilidad de las materias  
primas para la obtención de  
bioqueroseno**

Las siguientes son tres las motivaciones principales que llevan a los actores del sector de aviación a invertir en la I+D de la cadena de los combustibles alternativos de aviación en general y de los biocombustibles de aviación en particular:

**i. La consideración económica:**

- En relación con los consumidores del producto final –las líneas aéreas– la búsqueda de cualquier emprendimiento de

bajar los costos de operación. Los gastos destinados a combustibles son una de las principales expensas de las operadoras, con propensión a aumentar, en virtud de la escasez de las reservas de energías fósiles.

- Con respecto a los productores y proveedores del combustible alternativo, la búsqueda de nuevas oportunidades comerciales.

**ii. La consideración ambiental:**

- La reducción de las emisiones de carbono y de los GEI, respectivamente. Los carburantes deberían atender a los criterios de sustentabilidad, entre otros, la disminución en el porcentaje mínimo definido para la emisión de GEI en comparación con queroseno fósil (véase Capítulo 3.3 y Tabla 3.2), con el fin de que sean también aceptados por una población cada vez más crítica. Siendo esta una consideración ambiental, se torna la responsabilidad social con la conciencia creciente de la sociedad.

**iii. La consideración de seguridad en el suministro:**

- Para las líneas aéreas, es transcendental disminuir la dependencia del combustible fósil para tener seguridad en el suministro, de manera que se puedan definir estrategias a corto, mediano y largo plazo, según el aumento considerable en las operaciones de la aviación civil en las próximas décadas.

En el sector de aviación, se ha manifestado una apertura a emplear combustibles alternativos originarios de otras fuentes extrínsecamente de la biomasa, por ejemplo: CTL, GTL o hidrogeno (véase figuras 3.1 y 3.2). Esta apertura se da siempre que estos biocombustibles se desempeñen de acuerdo con los requisitos técnicos y de seguridad, sin requerir adaptaciones en los motores y simultáneamente y si cumplen con las consideraciones técnicas y operativas para los combustibles de aviación.

Esto abre la ventana para el ingreso del sector agrícola en la sección upstream de esta cadena de valor como suministrador de materia prima; no obstante, se establecen paralelamente una serie de consideraciones y desafíos.

Con el objetivo de aumentar la utilización de bioqueroseno en la aviación civil, los desafíos principales son: a) producir biomasa posible de ser empleadas en la producción de bioqueroseno en cantidades requeridas sin comprometer el mercado de productos alimenticios y la sustentabilidad en los sistemas del uso de la tierra; b) construir cadenas de producción y de suministro eficientes que permitan una provisión segura al respetar las preocupaciones ecológicas, económicas y sociales; y c) motivar al pasajero y a la industria de aviación a aceptar el empleo de carburantes de tal índole, a pesar de costos superiores, a mediano plazo.

La discusión sobre la controversia, “sí” o “no”, en qué situación y hasta qué grado la producción de biocombustibles compite con la producción de alimentos de forma directa o indirecta, está acompañando la implementación y ampliación de los programas de biocombustibles para el transporte terrestre en muchos países y los principales mercados desde hace algunos años (IICA 2010b). En respuesta a esta discusión, aun siendo conducida y para evitar de manera posible críticas en esta dirección, el sector de aviación adoptó en sus compromisos voluntarios la posición de que los combustibles alternativos no deberían competir con la producción de alimentos.

El objetivo final entonces es obtener biocarburantes a partir de productos que no compitan con la tierra fértil necesaria para la producción de alimentos. Los candidatos ideales son materias lignocelulosas o lípidos procedentes de distintas especies de algas. En la actualidad, estas variantes se encuentran en un estado técnico no suficientemente desarrollado para producción en gran escala y comercialmente viable. A corto y mediano plazo, la opción más viable y consecuentemente perseguida por los actores del sector de aviación es utilizar aceites vegetales o residuos orgánicos. Los últimos pueden provenir tanto de los procesos agrícolas, como la cosecha, procesamiento (por ejemplo: el cebo originario de los grandes mataderos de Suramérica o los residuos del procesamiento de la caña de azúcar utilizada por la empresa Amyris en Brasil), así como procesos de su uso, como los aceites de cocina reciclados. Aunque apenas es relevante la materia prima sobre las características del producto, los criterios de selección de las más apropiadas serán: disponibilidad, economía y sostenibilidad.

Criterios para la selección de las opciones de aportación de biomasa:

- Rendimientos de biomasa altos y maximizados en función del área: que la producción de materia seca o aceite vegetal por hectárea sea considerable.
- El empleo y el aprovechamiento de recursos naturales (especies no o poco utilizadas, tierras degradadas) hasta entonces no o subutilizados.
- Requerimiento bajo de insumos energéticos (nutrientes, fertilizantes) y de agua.
- Que los cultivos presenten una alta resistencia a factores abióticos, sobre todo referente al requerimiento hídrico (resistentes a la sequía) y a factores bióticos (plagas y enfermedades).
- Que las técnicas de cultivo requeridas sean conocidas o fáciles de desarrollar y mínimas.
- La posibilidad y opción de utilizar la biomasa producida para otras finalidades además del uso energético (Kaltschmitt 2012).

Aunque la elección del cultivo dependerá, de las condiciones edafoclimáticas, la viabilidad energética de un cultivo está relacionada con:

- La proporción energética. Será favorable si el valor de la energía obtenida es el doble o triple que la utilizada para obtener el combustible.
- La producción por hectárea.
- Los aspectos ambientales. Los cultivos perennes producen un menor impacto ambiental que los cultivos anuales, ya que se necesita menor número de labores culturales.
- El costo de la bioenergía. Depende de diversos factores, como la ubicación, el costo de la tierra, las ganancias de los agricultores y la producción obtenida.
- Logística de la materia prima: cosecha, pre-procesamiento, almacenamiento, manipulación y transporte.

#### **Cuadro 4.1. Fuentes más investigadas de materia prima para la producción de bioqueroseno.**

##### **Fuentes más investigadas de materia prima para la producción de bioqueroseno**

###### **A. Aceites vegetales:**

- *Jatropha (Jatropha curcas)*, para las regiones tropicales y subtropicales.
- Camelina (*Camelina sativa*), para las regiones templadas, además de otros cultivos, como:
  - Halófitos: Salicornia, hierba salada, espárrago de mar (*salicornia bigelovii*)
  - Palmas: Babasú (*orbignya speciosa*), coco (*cocos nucifera*), Macauba (*acrocomia aculeata*)
  - Shiny Leaf Yellowhorn, Chinese Flowering Chestnut (*Xanthoceras sorbifolium*).
  - Pongamia Pinnata (también *Milletia pinnata*).
  - Crambe (*Crambe abyssinica*).
  - Mostaza etíope (*Brassica carinata*).
  - Otros.

###### **B. Lignocelulosa:**

- *Switchgrass*
- *Sauce (salix spp.)*
- *Populos spp.*
- Eucaliptos (del hábitat *mallee* como p.e.: *E. sociales*, *E. gracilis*, *E. oleosa*, *E. incrassata*, *E. diversifolia*).
- Otros árboles y arbustos, preferiblemente de ciclo corto.
- Residuos forestales, agrícolas y domiciliarios

###### **C. Algas:**

- Macroalgas
- Microalgas

###### **D. Desechos orgánicos:**

- Aceite de cocina
- Sebo

El sector aeronáutico ha evitado polémicas con respecto a las opciones de producción de materias primas consideradas tradicionales y de alcance de corto plazo, como los aceites vegetales de palma, soja, colza, entre otros aceites comestibles.

Por el contrario, en el uso de materias primas se están considerando aquellas no aptas para consumo humano, provenientes de desechos y residuos de procesamiento, y de rendimientos aceptables en suelos áridos o degradados.

En el Cuadro 4.1, se presenta un listado (sin pretensión de ser completo) de las fuentes de materia prima más investigadas para la producción de bioqueroseno.

## **A. Plantas fuentes de materia prima de aceites vegetales**

### ***Jatropha***

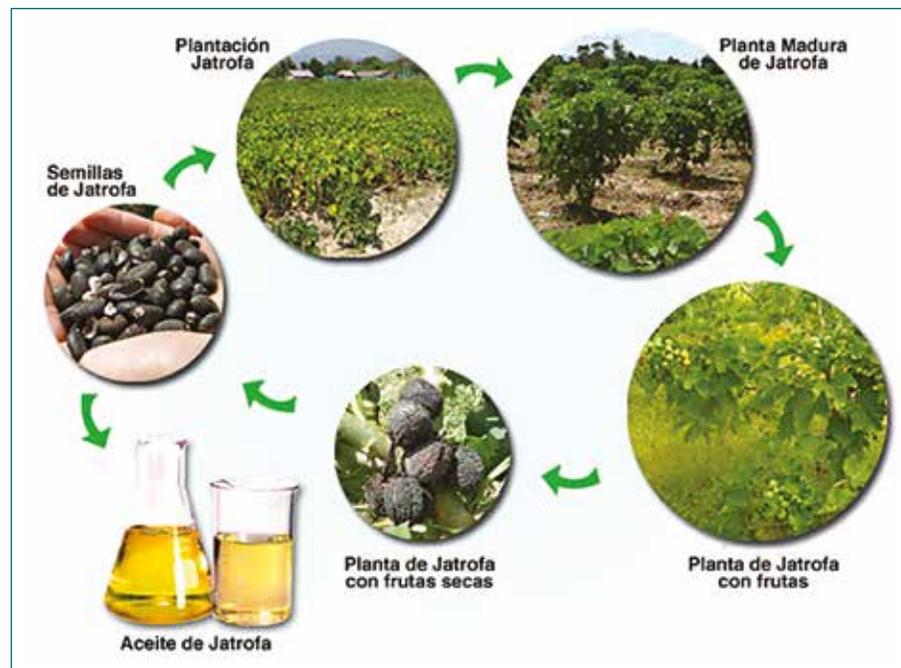
Una de las opciones más promisoras como fuente de materia prima para los biocombustibles de aviación es la *Jatropha* (*Jatropha curcas*). Es un género de aproximadamente 175 suculentas, arbustos y árboles –algunos son de hojas caducas, como *Jatropha curcas*– de la familia de las Euforbiáceas. Las plantas de este género crecen de forma nativa en África, Norteamérica y el Caribe. La *Jatropha curcas* tiene su centro de origen en la América Central.

La planta *Jatropha* puede desarrollarse en los suelos pobres y en regiones con alta o baja precipitación pluvial, pero los mejores rendimientos se obtienen en suelos arenosos de fertilidad media a escasa, no adecuados para cultivo de alimentos en zonas tropicales y subtropicales del mundo. La *Jatropha* crece bajo condiciones subtropicales, puede soportar condiciones extremas de sequía severa y baja fertilidad del suelo.

Debido a que la *Jatropha* es capaz de crecer en suelos pobres, puede ayudar a la recuperación de tierras y restauración de áreas erosionadas. Además, como no es un alimento o un cultivo forrajero. Desempeña también un papel importante en la disuasión de ganado y protege los alimentos u otros cultivos de valor comercial o alimentario. Es una planta que produce semillas con un alto contenido de aceite. Las semillas son tóxicas y, en principio, no comestibles.

Ha sido divulgado con frecuencia la opinión de que “... la *Jatropha* es una planta que presenta una extraordinaria ventaja como fuente de materia prima (aceite) para biodiésel respecto de cualquiera de los cultivos hasta el momento empleados en esta industria (girasol, colza y soja), dado que nunca antes se ha empleado como aceite alimentario por ser una planta con marcado contenido en sustancias tóxicas (forbolesteres)”. Este argumento solamente es válido cuando se aprovecha la capacidad de este arbusto de crecer bajo condiciones poco apropiadas para la producción de alimentos. A su vez tiene consecuencias en los rendimientos esperados y en la viabilidad económica del sistema de producción aplicado. En caso de sembrarla en terrenos fértiles, aptos para la producción de alimentos, los actores involucrados deben estar dispuestos a enfrentar la controversia “biocombustibles vs alimentos”.

**Figura 4.1** Ciclo de cultivo de la *Jatropha* (sección *upstream*)



Fuente: Sin Autor. 2011. México estrena su primer vuelo verde. En: Noticias Más Verde Digital. 04 de abril de 2011. Disponible en: <https://goo.gl/xFmvNs>

Otra argumentación en este debate propone lo opuesto del argumento común, de que las materias primas para los biocombustibles deberían resultar de fuentes no alimenticias:



El área productiva agrícola y forestal mundialmente es limitada. Entonces, la competencia “alimentos – fibra – energía” no es por la biomasa, sino por el área. Si se aplica un uso racional de la tierra, la producción de biomasa puede ser aumentada considerablemente en las áreas disponibles, sin ceder a las exigencias de sostenibilidad. Este potencial puede y debe ser explotado sucesivamente, a través de la estimulación de la demanda y la apertura de nuevos mercados con precios económicamente viables con respecto a los costos de producción. El mercado energético estaría predestinado para esta tarea. Cuando hubiera escasez en el suministro de biomasa barata con finalidad de consumo energético, puede sustituirse fácilmente por energía fósil.

Para que funcione este raciocinio y para evitar la competencia entre alimentos y energía, las reglas de los mercados deberían ser modeladas y equilibradas, de tal manera que, en promedio, se pague el mayor precio para los alimentos, un precio promedio para la utilización de la biomasa en la producción industrial y el precio más bajo para la utilización energética de la biomasa, es decir, su transformación en biocombustibles.

Retirando todas las subvenciones y otras medidas de fomento, hoy día, la relación entre las tres utilidades de la biomasa, alimentos – fibra – energía, respectivamente entre estos tres mercados, ya habría una aproximación a esta situación. Conseguida esta relación, los tres mercados se complementarían uno al otro y, el uso energético de la biomasa, al final de cuenta y al nivel global, contribuiría a la seguridad alimentaria, porque desde el punto de vista de la economía de alimentos habría sobreproducción, a través de las cantidades de *cash crop* producidos con fines primeramente energéticos, pero opcionalmente aplicables en la producción de alimentos.

Por otra parte, la *Jatropha* es un cultivo prometedor con una variedad de aplicaciones. La tecnología está en su fase inicial y al borde de la comercialización. Las expectativas son altas. Los primeros desarrollos ya están en marcha, pero hasta ahora, ha sido poco lo realizado. El interés actual en la *Jatropha* por parte de inversionistas, agricultores y organizaciones no gubernamentales se debe primordialmente a su potencial como cultivo energético. De sus semillas se puede extraer aceite con buenas características para la combustión directa en motores de encendido por compresión o para la producción de biodiésel. Además, el aceite puede servir de base para la fabricación de jabón. La torta residual del prensado de la semilla es un buen fertilizante y también puede ser utilizado para la producción de biogás.

La *Jatropha* a nivel mundial ha mostrado indicadores biológicos para el aprovechamiento de su aceite como biocombustible. No obstante, esta planta por su condición de silvestre y perenne requiere de un proceso de domesticación y de desarrollo de conocimiento que permita la construcción del dominio tecnológico en relación con el manejo agronómico y agroindustrial para determinar su viabilidad técnica y económica en condiciones locales.

Durante los últimos años, los institutos nacionales de investigación agrícola (INIA) en varias partes del mundo, incluso en ALC, realizaron una serie de trabajos fundamentales para la domesticación de esta planta:<sup>11</sup>

- Se realizó la colecta e introducción de materiales genéticos y su respectiva caracterización y evaluación para conocer el grado de variabilidad genética y los atributos de interés agronómicos (Brasil, Colombia, México y otros países), así como las áreas biofísicas potenciales para la producción competitiva.
- Se desarrollaron descriptores morfológicos y agronómicos de tipo cualitativo y cuantitativo para determinar el grado de similitud y variación genética de las accesiones estudiadas.
- Se están identificando las zonas agroclimáticas potenciales en la región de ALC no asociadas a seguridad alimentaria, así como las variables asociadas para la producción de *Jatropha* con alto rendimiento biológico: zona agroecológica, piso térmico, precipitación (unimodal y bimodal), fertilidad del suelo, textura, temperatura máxima, mínima y promedio, acidez del suelo y profundidad efectiva del suelo.

---

11 Mayores detalles e información abundante sobre el estado actual y los avances en el conocimiento de la *Jatropha* están disponibles a través de la "Red *Jatropha* LAC" administrado por el Programa Cooperativo de Investigación, Desarrollo e Innovación Agrícola para los Trópicos Suramericanos (PROCITROPICOS), mediante el contacto [procitropico@procitropicos.org.br](mailto:procitropico@procitropicos.org.br) y en las páginas web del IICA/PROCITROPICOS ([www.procitropicos.org.br](http://www.procitropicos.org.br)) y de la Plataforma *Jatropha* Colombia (<https://goo.gl/VKsoGT>) de CORPOICA.

**Figura 4.2. Indicación de las condiciones climáticas más favorables para el crecimiento de la *Jatropha* (30° N, 35 °S) y la palma de aceite (4° N, 8 °S).**



Fuente: Jongschaap *et al.*, 2007.

- Se realizó la caracterización en cantidad y calidad de todos los componentes del fruto (pulpa, cascarilla, torta y aceite) que permitirá el desarrollo de un modelo integral y funcional de uso en sistemas productivos con los siguientes usos funcionales: biofertilizantes (pulpa), cogeneración de energía (cascarilla) y torta (alimentación animal).
- El análisis del perfil lípido permitió corroborar que el aceite de *Jatropha* presenta principalmente cuatro grupos de ácidos grasos (ácido oleico, ácido linoléico, ácido palmítico y ácido esteárico), en una proporción mayor de los dos primeros ácidos grasos. La alta proporción de ácido oleico y linoléico son la explicación de las ventajas comparativas de aceites con otros (palma, soya) por la viscosidad y punto de nube.
- Se está trabajando en mejorar la sincronización floral, en la detoxificación de la torta que queda tras la extracción del aceite y que presenta propiedades nutricionales promisorias, para ser aprovechada como ración animal, y en la explotación, identificación y descripción de las prácticas agrícolas más adecuadas para el cultivo de la *Jatropha*, con la premisa de que debería ser manejada como cultivo de bajo insumo.

En condiciones óptimas, la *Jatropha* puede producir más de seis toneladas de semilla por hectárea con un contenido de aceite arriba del 40% (Cuadro 4.2).

#### Cuadro 4.2. Algunos parámetros técnicos de la *Jatropha*.

Parámetro	Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo
Rendimiento de semilla	Tonelada seca/ hectárea	0,3	1,5	6,0 (8,0)
Requerimiento de lluvia para producción de semillas	Milímetros/año	600	1.000	1500 (2000)
Contenido de aceite de semillas	% de la masa	20%	34%	40% (47%)
Rendimiento de aceite después de prensado	% de semillas de insumo		34%	40%
Contenido energético por kilogramo de aceite	MJ/kg		37	

Fuente: FACT Foundation. 2010.

La *Jatropha* puede integrarse en los sistemas agrícolas tradicionales de la agricultura familiar en los países en desarrollo. Puede ser plantada como un cerco vivo alrededor de los campos agrícolas o en suelos pobres o degradados para controlar la erosión. Cuando el residuo de semillas prensadas se reintegra al suelo, ocurre un reciclaje de nutrientes y se conserva la productividad del suelo. Además, la producción de semilla, cosecha y su transformación en biocombustible proporcionan oportunidades de empleo adicionales.

Asimismo, los biocombustibles producidos a partir de la *Jatropha* pueden utilizarse para el transporte y la producción de electricidad, de manera que las comunidades locales tienen la posibilidad de alcanzar su independencia energética. Cualquier exceso de biocombustibles que se produjera se puede vender si se adecúan las condiciones locales del mercado. El aceite también puede ser utilizado para la producción de jabón, lo que proporciona una actividad rentable a las comunidades.

La producción de la *Jatropha* solo debería tener lugar cuando exista suficiente tierra para la producción local de alimentos. De esta manera, intercalar cultivos de *Jatropha* con cultivos de alimentos es también una buena opción, además de que las inversiones para la agricultura también generarán un aumento en la producción de alimentos.

Este sistema de producción muy probablemente tendrá que competir con la producción industrial. Sin embargo, los pequeños productores desempeñan un papel importante en la mayoría de los proyectos de *Jatropha* (GEXSI 2008), pero la estructura de la industria puede cambiar drásticamente. Una opción podría ser la combinación de plantaciones manejadas con la producción contratada en pequeñas parcelas, lo cual permita responder a las exigencias de producir una commodity en escala, por un lado, y ofrecer opciones de desarrollo para la agricultura familiar y los pequeños productores, por el otro.

**Figura 4.3. Planta de *Jatropha*, variedad Chicomuselo, colectada del Banco de Germoplasma del INIFAP, México**



Fotografías: Orlando Vega

Un estudio sobre los impactos del cambio directo en el uso de la tierra (direct Land Use Change - dLUC) para establecer plantaciones de *Jatropha* con fines energéticos en varios países concluye lo siguiente “Si se cultiva adecuadamente, la *Jatropha* puede brindar beneficios sociales, ambientales y económicos en América Latina, así como contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero hasta en un 60 por ciento en comparación con el combustible de aviación fósil” (Bailis y McCarthy 2011).

El estudio utilizó los criterios de sustentabilidad desarrollados por la RSB, con el propósito de evaluar las condiciones reales de explotación en una amplia gama de proyectos de *Jatropha* en América Latina. Se realizaron entrevistas exhaustivas con los productores de *Jatropha* y se utilizaron mediciones en campo para desarrollar el análisis de la sostenibilidad de los proyectos actuales.

Los estudios de *Jatropha* realizados incluyeron fincas de menor y gran escala, desde aquellas de menos de 10 hectáreas a las de miles de hectáreas. Los investigadores usaron un robusto marco analítico en condiciones de mundo real para comparar las condiciones de la tierra antes y después del cultivo de *Jatropha*.

Un hallazgo decisivo en el estudio identificó el uso previo del suelo como el factor más importante que determina los beneficios en los efectos de gas invernadero al utilizar un combustible de *Jatropha*. Si se planta *Jatropha* en tierras que previamente eran bosques, arbustos o pastizales, los beneficios pueden desaparecer por completo. Si por el contrario, el cultivo se planta en tierra vacía o degradada, entonces el carbono adicional se almacenaría y la reducción de emisiones podría ser mayor al 60%.

Esta investigación resalta que los agricultores deberán poner mayor atención al uso previo del suelo en el momento de decidir dónde ubicar los proyectos de *Jatropha*. Otro hallazgo es que los proyectos iniciales de *Jatropha* sufrieron la falta de variedades de semillas desarrolladas, lo que provocó bajos rendimientos en la cosecha. El avance en la tecnología de semillas de *Jatropha* a través de la investigación privada y pública es crítico y muchos países de América Latina están ahora involucrados en apoyar el desarrollo de dicha tecnología.

Otro estudio del 2008 encomendado por el WWF muestra que, de las aproximadamente 900 000 hectáreas plantadas de *Jatropha* en el 2008, menos del 2% se ubicaron en terrenos anteriormente (cinco años) utilizados para la producción de alimentos (GEXSI 2008).

## **Camelina**

Camelina sativa es una especie de planta herbácea perteneciente a la familia Brassicaceae. Es nativa de Europa del Norte y Asia Central, pero se ha introducido en América del Norte, posiblemente como una maleza en el sector del lino. Es una planta que se ha cultivado tradicionalmente como una oleaginosa en cultivos para producir aceite vegetal. Este aceite se usa tradicionalmente para la producción de jabones, pinturas, mientras que los residuos de extracción se utilizan para la alimentación animal. El aceite de camelina históricamente también se utilizó en alimentación humana. Hay muchas pruebas arqueológicas que demuestran que ha crecido en Europa por 3000 años aproximadamente. También fue un importante cultivo de aceite en Europa oriental y central, y actualmente se ha seguido cultivando en algunas partes de Europa. Este aceite se puede utilizar como biocarburante en sustitución total o parcial del queroseno en aviones.

Es un cultivo herbáceo oleaginoso que produce una cantidad importante de aceite y que además, tiene la particularidad de que en función de su resistencia a heladas y sequías se puede cultivar en climas templados y fríos, como el de Estados Unidos, Europa o en el sur de América del Sur (Chile, Argentina). La camelina constituye una excelente alternativa para terrenos de secano en desuso o con bajas productividades, terrenos de barbecho, así como cultivo de rotación con el cereal tradicional.

Su cultivo se está investigando por los niveles excepcionalmente altos (hasta un 45%) de ácidos grasos omega 3 de sus semillas, lo cual es poco común en fuentes vegetales. Más del 50% de los ácidos grasos obtenidos en frío mediante presión son poliinsaturados. Los principales componentes son el ácido alfa-linolénico- C18: 3 (omega-3, ácidos grasos, aproximadamente 35-45%) y ácido linoleico - C18: 2 (omega-6 ácidos grasos, aproximadamente 15-20%). El aceite obtenido es también rico en antioxidantes naturales, tales como tocoferoles, lo que lo hace muy estable y resistente a la oxidación y el enranciamiento. El contenido de vitamina E en el aceite de camelina es de aproximadamente 110mg/100g. Se espera una producción de 1500 hasta 1700 kilogramos de semillas de camelina por hectárea en condiciones favorables (Cuadro 4.3).

**Cuadro 4.3. Ficha técnica sobre camelina.**

Criterios técnicos	Camelina sativa		
Robustez	Altamente resistente al frío y a la sequía		
Ciclo	Cultivo anual de ciclo corto (85 hasta 100 días)		
Tecnología	Cultivo mecanizado con maquinaria convencional		
Inversión	Baja inversión en establecimiento del cultivo. Siembra directa / cero labranza. Bajas cantidades de semillas en el establecimiento del cultivo. Baja fertilización.		
Terrenos	Terrenos marginales y en rotación con cereales		
Composición de semillas	Contenido de aceite: 29-41%	Contenido de proteína: 23-30%	
Rendimiento de semilla (kg seca/hectárea)	Mínimo 600	Promedio 1100 (1200)	Máximo 1500 (1700)
Emisiones	Elevada reducción neta de emisiones de GEI		

Fuente: CCE 2012; Putnam *et al.*1993; McVay y Lamb 2008.

Un estudio realizado por la Universidad Tecnológica de Michigan (Shonnard *et al.* 2010) mide las emisiones de dióxido de carbono del queroseno obtenido de la camelina a lo largo de su ciclo de vida útil, desde la plantación del cultivo hasta la generación de emisiones de escape. Los resultados demuestran que el queroseno de camelina es uno de los biocombustibles derivados de materias primas agrícolas que produce menores emisiones de GEI. El análisis de ciclo de vida

concluyó emisiones de 22,4 g CO<sub>2</sub> equiv/MJ en caso del bioqueroseno y 18,0 g CO<sub>2</sub> equiv/MJ para el biodiésel, lo que representa una reducción de las emisiones de GEI en un 75% y un 80%, respectivamente, en comparación con el queroseno de petróleo<sup>12</sup>. Esto se debe a las características únicas que posee este cultivo: su bajo consumo de fertilizante, su alto rendimiento de aceite y la disponibilidad de sus coproductos, como harina y biomasa, para otros usos.

Para evitar el conflicto con la producción de alimentos, se recomienda plantar la camelina en terrenos marginales o –una alternativa bastante interesante– como cultivo de rotación durante períodos de barbecho. El aceite de camelina fue analizado por las principales empresas de producción de biodiésel y se identificaron las proporciones de mezcla idóneas para su producción, lo cual cumple con la norma de calidad europea EN 14214<sup>13</sup>, sin presentar ningún inconveniente en producción ni consumo.

## Otros

### a) *Halófitas: Salicornia bigelovii*

Con las críticas relacionadas con la competencia con los cultivos alimentarios y el uso del suelo, la búsqueda de alternativas en áreas no aptas para la producción de alimentos es una conclusión lógica. Plantas halófitas que prosperan en terrenos salinizados ofrecen una alternativa. El Instituto Masdar, con el apoyo de Arabia Saudita, Boeing, Etihad Airways (aerolínea de Emiratos Árabes Unidos) y Honeywell UOP, desarrollará en Abu Dhabi, un parque que va a utilizar agua de mar para hacer crecer la *Salicornia* (*Salicornia bigelovii*, también conocida como hierba salada, espárrago de mar, hinojo marino). La *salicornia* es una halófito que crece en solución salina. Sus semillas ricas en aceite pueden ser transformadas en biocombustibles.

El proyecto pretende demostrar la viabilidad económica de la utilización de la acuicultura integrada para proveer de biocombustibles para la aviación, lo cual es consistente con los objetivos de Abu Dhabi de alcanzar el 7% de energías renovables para el 2020. El proyecto se centra en una demostración en una granja acuícola de 2 kilómetros cuadrados.

---

12 En otras publicaciones consta una posible reducción de las emisiones de GEI en un 84% en comparación con el queroseno de petróleo (información disponible en <http://www.susoils.com/dynamic-content/csArticles/articles/000000/000046.htm>)

13 Normativa de calidad como garantía para la producción y uso de bioqueroseno en EE.UU. presente a lo largo de los últimos cinco años.

Situada en el desierto, fuera de la tierra cultivable, sería suplida por un canal de agua de mar. Esta agua provendría principalmente de estanques de acuicultura para la cría de peces o camarones. Al salir de estas cuencas, el agua se carga con material orgánico (heces) y se eliminaría un problema de contaminación. En dicha granja, esta agua enriquecida fertiliza los campos de hinojo marino. Los campos de salicornia funcionarían como campos de arroz. Sin embargo, la sal de esta planta supone un problema para la mecanización de las operaciones. Las semillas se prensan y se convierten en biocombustible para aviones convencionales y de otro tipo. Esta integración de la producción (que es la acuicultura integrada) proporciona alimentos (pescado, camarón) y biocombustibles, además de que prescinde de la utilización de agua dulce o tierras de cultivo, con pocos requerimientos de insumos (fertilizantes, alimentos) y escaso efecto ambiental. Por lo tanto, la huella de carbono de los biocombustibles, que aún debe ser evaluada por el Instituto Masdar y su impacto ambiental, supone una mejora considerable (MIT 2010; Masdar Institute 2010).

#### b) Babassú

Otro cultivo promisorio es el Babassú (*Attalea speciosa* u *Orbignya speciosa*). Es una imponente palmera con tronco erecto de hasta 20 m de alto y 30-40 cm de ancho. Luce en el ápice una densa corona de hojas pinnadas, erecto-patentes, formadas por segmentos linear-lanceolados.

El babasú se encuentra distribuido en toda la región amazónica y en la Orinoquia, pero también en las tierras bajas de Paraguay, Bolivia y especialmente Brasil, donde los bosques de estas palmeras cubren más de 200 000 km<sup>2</sup>, lo que corresponde con su amplia tolerancia a los climas tropicales. En el Cerrado brasileño, el babasú crece en zonas con 1200 mm de lluvia al año, con seis o más meses de sequía. En esta zona ecológica, se encuentra en los suelos bien drenados, donde su tolerancia al mal drenaje es baja; abunda más en los bosques de galería a lo largo de los cursos de agua. En las zonas con más de 1500 mm de lluvia al año y menos de seis meses de sequía, se encuentra en los suelos de las partes altas y de los valles, donde forma manchas o zonas de babasú. Se conoce poco del manejo del babasú en plantaciones artificiales, ya que mayormente se explotan las plantaciones naturales.

Las semillas producen un aceite comercialmente conocido como aceite de babassú. Para extraerlo, las semillas recogidas en la naturaleza se machacan y se exprimen en prensas hidráulicas o se tratan con disolventes químicos. El aceite, cuyo contenido varía por semillas del 60% al 70%, es transparente, emana un olor similar a las nueces y es líquido a 20-30°C.

El aceite de babassú se utiliza ampliamente sobre todo en la preparación de cosméticos, debido a sus propiedades suavizantes (aceites y cremas para el cuerpo y para el cabello, jabones, entre otros.). También se utiliza con fines alimenticios en la producción de margarinas y como lubricante y, a veces, como componente de los carburantes de los motores diésel. Tiene gran interés económico como fuente de aceite para alimentación y para usos industriales. En Brasil se colectaron aproximadamente 117 000 toneladas en el 2006 (Santos, 2008)

El rendimiento en las plantaciones naturales es bajo, en promedio de 1,5 t/ha/año en Maranhão, Brasil, aun cuando existen evidencias que este rendimiento se puede duplicar. Sin embargo, todavía 3 t/ha/año es un rendimiento bajo, ya que *Orbignya oleífera* puede rendir 5 t/ha/año, lo cual indica el potencial para mejorar el rendimiento del género. Asimismo, el ingreso económico obtenido de la semilla del babasú puede ser complementado con el ingreso por otras actividades a partir de la misma palma, como con el palmito.

También se puede generar gas de síntesis, metanol y coque a través de la pirolisis (destilación seca). Se han registrado rendimientos de hasta 30 Tm/ha-año de nueces, lo que representa 4,5 t de coque, 6,5 t de gas de síntesis y 4,5 t de metanol. Ya se ha empleado en porcentajes menores en mezclas de biocombustibles en vuelos de prueba (véase Tabla 2.1)

El empleo del aceite de babassu como biocombustible (predominantemente como biodiésel pero también como bioqueroseno) levanta críticas en Brasil: El babassú es uno de los productos más importantes para la extracción de aceite y es autóctono de las regiones Sur de Pará, oeste de Maranhão, norte de Tocantins y oeste de Piauí.

De fácil y rápida proliferación, la palma demora cerca de 12 años para iniciar la producción. La recolección y extracción de la almendra del coco de babasú, actividad que responde por la renta familiar de más de 400 mil mujeres en los estados de Pará, Maranhão, Tocantins y Piauí, ha sufrido un revés significativo desde que se descubrió el potencial calorífico del carbón vegetal producido a partir del coco entero o de su cáscara y del aceite a partir de las almendras. La cuestión social de las “quebraderas de coco” es muy compleja (por lo general son “sin tierra”). Recolectan, tradicionalmente, los cocos de palmas localizadas en toda la región, independientemente de la situación de tenencia de la tierra. No es posible mantener una industria de biodiésel solamente con este tipo de proceso extractivo (Reporter Brasil 2009).

### c) *Coco (Cocos nucifera)*

El cultivo del cocotero (*Cocos nucifera* L. y otros nombres comunes coquero, palma de coco) esta difundido por todo el mundo y es de

los árboles más cultivados en el planeta. Su importancia económica es tan significativa que el desarrollo de varias culturas en los trópicos ha estado ligado al cultivo del coco. Su uso es diverso, al punto que se han enumerado más de 300 usos. Entre los principales se pueden mencionar: frutos, aceite, agua fresca y fibras.

Las hojas de este cultivo se usan para techar viviendas, para velas de embarcaciones, entre otros. También los tallos se utilizan en construcción. La cultura del coquero posee amplia adaptabilidad, ya que puede cultivarse en áreas donde otras culturas tradicionales no se establecerían de forma sustentable. Además, tiene gran potencial para la producción de aceite, cuyo contenido en la copra varía de 65% a 72%, en coqueros gigantes, y de 65% a 66% en el híbrido, hasta alcanzar hasta 4000 kg/ha. Este cultivo posee gran importancia social y económica, pues contribuye a la generación de renta y empleos, el arraigo de las familias al campo, el suministro de materia prima para la producción de biocombustibles y la sostenibilidad de ecosistemas frágiles.

En la actualidad, se estudian diversos procedimientos para la producción de bioqueroseno. El aceite de coco es un aceite vegetal que contiene cerca del 90% de triglicéridos saturados extraídos mediante el prensado de la pulpa o la carne del coco, fruto del cocotero.

Se realizó un estudio de la viabilidad del combustible para aviación de la destilación de un biodiésel (destilación FAME: obtención de bioquerosenos a partir de la destilación del metil éster de aceite de coco, que toma como bioqueroseno la fracción ligera de esa destilación) generado a partir de aceite de coco. Este estudio muestra lo siguiente:

- La densidad, el poder calorífico y la viscosidad del bioqueroseno obtenido cumplen con los límites establecidos por la normativa al respecto.
- En cuanto a mezclas de 5%, 10% 20%, las tres cumplen los límites establecidos en la normativa de queroseno con respecto a densidad, lubricidad, poder calorífico y viscosidad. Esto implica que el bioqueroseno analizado en este trabajo podría ser viable como combustible de aviación utilizado con queroseno comercial hasta un máximo del 20% del volumen (Rodríguez de la Rubia 2010).

En la comparación de seis biocombustibles procedentes de cultivos de *Jatropha*, croton, calodendrum y coco, así como de aceites comerciales de girasol y soja, obtenidos todos ellos mediante transesterificación con metanol y utilizando hidróxido de sodio como catalizador, se llegó a la conclusión general que el éster de coco es el que más se aproxima al queroseno, mientras que el resto de ésteres estudiados muestra

propiedades muy cercanas al diésel de automoción (Wagutu *et al.* 2009). Este ha sido empleado en porcentajes menores en mezclas de biocombustibles en vuelos de prueba (véase Tabla 3.1).

#### d) *Macaúba*

Macaúba o coyol (*Acrocomia aculeata jacq.*) es una palmera nativa de los bosques tropicales que alcanza de 10 a 15 de altura y un diámetro de 20 a 30 cm. Es nativa de las sabanas, cerrados y florestas abiertas de América tropical y concurre en muchas áreas afectadas por acción antropológica. Presenta gran dispersión en Brasil y en países vecinos como Colombia, Bolivia y Paraguay. En Brasil se han desarrollado poblamientos naturales en casi todo el territorio, pero las mayores concentraciones están localizadas en Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso y Mato Grosso do Sul, y se han difundido ampliamente en las áreas de Cerrado.

En Brasil se estudian y utilizan especies perennes como, por ejemplo, las palmeras oleíferas (dendé, macaúba y buritis) de alto rendimiento de aceite, con productividades superiores a 4000 kg de aceite/ha y adaptadas a las distintas condiciones edafoclimáticas, incluso biomasa diversos, principalmente cerrado, caatinga y bosque amazónico. Existen, entonces, perspectivas reales de utilización de la macaúba como materia prima para producción de biodiésel en Brasil. Esta palmácea se destaca por el su potencial para la producción de grandes cantidades de aceite por unidad de área, además de la posibilidad de utilización en sistemas agrosilvopastoriles.

El fruto es la parte más importante de la planta, cuya pulpa es consumida *in natura* o usada para extracción de grasa comestible; la almendra suple un aceite claro con calidades semejantes al de la aceituna. Existen varios relatos de utilización tradicional de la macaúba como fuente de aceite para fines alimenticios, fabricación de jabón y quema para fines de iluminación y calentamiento. Presenta significativo potencial de producción, debido al elevado contenido de aceite y capacidad de adaptación a densas poblaciones. Las productividades potenciales por área se asemejan a la del *dendê* (palma aceitera), las cuales pueden llegar a más de 5 t de aceite/ha de tipo oleico-palmítico y 1,4 t de aceite de tipo láurico, a partir de plantíos con una densidad de 200 plantas/ha.

Los frutos están conformados por cerca de un 20% de cáscara, 40% de pulpa, 33% de endocarpio y 7% de almendra. Los contenidos de aceite son ligeramente mayores en la pulpa (60%), en relación con la almendra (55%). Así como de la palma aceitera, se extraen dos tipos de aceite de la macaúba. De la almendra se retira un aceite fino que representa alrededor del 15% del total de aceite de la planta, rico en ácido láurico (44%) y oleico (26%), con un potencial para utilizaciones

nobles, en la industria alimenticia, farmacéutica y de cosméticos.

El aceite extraído de la pulpa, con mayor potencial para la fabricación de biodiésel, es dominado por ácido oleico (53%) y palmítico (19%) y tiene buenas características para el procesamiento industrial, pero presenta serios problemas de pérdida de calidad con el almacenamiento. Así como ocurre con la palma aceitera, los frutos deben ser procesados luego de la cosecha, pues se degradan rápidamente, lo que aumenta la acidez y perjudica la producción del biocombustible. Las tortas producidas a partir del procesamiento de la pulpa y de la almendra se aprovechan en raciones animales con óptimas características nutricionales y buena palatabilidad. Aún continúa siendo un importante subproducto el carbón producido a partir del endocarpio (cáscara rígida que envuelve la almendra), en vista de su elevado poder calorífico.

Actualmente se realizan estudios para desarrollar sistemas de producción, donde la macaúba se cultiva en siembras experimentales. Para ello las investigaciones se enfocan en el mejoramiento genético, siembra, fertilización, espaciamiento entre plantas e informaciones necesarias para el establecimiento de sistemas de producción sostenible.

Una gran ventaja de la macaúba es la posibilidad de la producción consorciada con otras especies. Se pueden producir alimentos (frijol, maíz) durante el establecimiento del cultivo y después de cuatro años, cuando las palmeras llegan a la altura de 7 a 10 metros y tengan una producción normal de frutos, se puede plantar capín para la crianza de ganado. De esta manera, constituye un sistema integrado con buen rendimiento, pues el ganado se alimenta del capín y de los frutos que eventualmente caen de los árboles, y el estiércol producido por los animales fertiliza las palmeras (Bhering 2009).

#### e) *Brassica carinata*

La mostaza etíope (*Brassica carinata* A.) es una especie oleaginosa del género *Brassica* perteneciente a la familia *Brassicaceae* (*Crucíferas*). Se encuentra emparentada con otras especies del género *Brassica* como son la colza o canola (*B. napus*), la mostaza india (*B. juncea*), la mostaza negra (*B. nigra*), el nabo (*B. rapa*) y el grupo de las coles (*B. oleracea*), y se le incluye dentro del grupo de las mostazas.

Se trata de una especie vegetal autóctona de Etiopía, donde se cultiva a pequeña escala como hortaliza, ya que se consumen sus hojas y como planta oleaginosa, pues sus semillas contienen un 32% de aceite. El aceite extraído de la mostaza etíope es la segunda fuente de aceite comestible en Etiopía.

La *B. carinata* se desarrolla con un mínimo de precipitaciones anuales de 400 mm. No soporta condiciones de anegamiento, por ello las

precipitaciones superiores a los 700 mm pueden ser perjudiciales por anoxia en los tejidos de la raíz y por mayor incidencia de enfermedades de tipo fúngico. Es resistente a sequías invernales y la benefician las lluvias de primavera durante la floración y el cuajado de los frutos. Prefiere temperaturas bajas durante el desarrollo, de 20°C en promedio. Las temperaturas muy altas durante la floración no favorecen la formación del grano, ya que acortan su ciclo. Es sensible a las bajas temperaturas durante el período que va desde la germinación hasta el estado de roseta. Su cultivo se puede realizar en suelos con una amplia gama de pH, aunque su rango óptimo se encuentra entre 5,5 y 7,0, y soporta niveles de hasta 7.7. Resiste cierta salinidad, incluso algo de acidez. Es indiferente al fotoperíodo. En el hemisferio norte de América, su área de dispersión va desde el Ecuador hasta Canadá; en el hemisférico sur, ostenta una opción para las áreas con condiciones semejantes en Argentina, Chile, el sur de Brasil, Paraguay y Uruguay.

Fuera de su lugar de origen, *B. carinata* presenta un enorme interés para la agricultura en zonas de clima semiárido, como lo demuestran estudios realizados en el ámbito mundial, debido a que presenta una mejor adaptación y comportamiento agronómico. Se presenta con grandes perspectivas como cultivo alternativo para estas zonas, ya que a partir del aceite de sus semillas se puede elaborar biodiésel, mientras que el resto de la planta produce biomasa que podría ser aprovechable con fines térmicos, por ejemplo, en el proceso de transesterificación durante el proceso de obtención del biodiésel.

Su alto potencial productivo la hace capaz de producir hasta un 32% más que las variedades de colza tradicionales, aun en condiciones de sequía. Esta productividad se debe principalmente a que posee: un sistema radicular más desarrollado que el de la colza, que le permite extraer agua de mayores profundidades; un desarrollo rápido y exuberante de materia verde en estado de roseta; ciclos de floración y maduración más largos; una mayor producción de frutos por unidad de superficie, debido a sus ramificaciones secundarias, terciarias y cuaternarias y a su resistencia a la dehiscencia de las silicuas, lo que facilita la cosecha y evita el desgrane.

El aceite que proviene del género *Brassica* constituye la tercera fuente de aceites vegetales después del aceite de soja y de palma, del que se emplean *B. rapa*, *B. napus*, *B. juncea* y *B. carinata*. Juntas totalizan una superficie media anual que oscila entre 24 y 31 millones de hectáreas en los últimos cinco años, con una producción anual de 37 a 50 millones de toneladas en el mundo. La colza es la más importante, mientras que la mostaza etíope, por el contrario, ocupa el último lugar.

La calidad de un aceite depende de su composición en ácidos grasos y del destino, sea alimentario o no alimentario. En las especies del género *Brassica*, el aceite presenta elevada proporción de ácidos grasos

de cadena larga: ácido eicosenoico (20:1) y ácido erúxico (22:1). Desde el punto de vista industrial, los aceites vegetales ricos en ácido erúxico se utilizan para la producción de lubricantes, plásticos y biodiésel. El aceite de *B. carinata* posee de forma natural un alto porcentaje de ácido erúxico, entre el 38% y el 45%.

Se están creando e investigando diferentes cultivares en varias partes del mundo. El cultivar “Sincron”, logrado luego de siete años de ensayos en Italia, que alcanza 1,5-1,7 m de altura, produce 4,0-4,8 t de semilla por ha, con un 33-35% de aceite, con alto contenido de ácido erúxico (47%) y buenas características tecnológicas para producir biodiésel. El cultivar “Resonance”, promovido por la empresa canadiense Agrisoma<sup>14</sup> fue desarrollado específicamente para la producción de biocombustibles. Honeywell UOP ha producido bioqueroseno a partir de este cultivar aplicado en vuelos de prueba (Agrisoma 2012; Biofuels Digest 2012; Greenair 2012).

f) *Algarrobo aceitero (Pongamia pinnata L. o Milletia Pinnata)*

El Algarrobo Aceitero (Habas de la India, Favas Indianas) es un árbol natural de la India, al que últimamente se le han encontrado muchas utilidades. El pongamia puede resistir intensas radiaciones solares y altas temperaturas entre 0° y 50°. Por ser leguminosa, es altamente resistente a las sequías y crece en tierras no aptas para cultivo de productos agrícolas y no necesita fertilizantes a base de nitratos. Tiene una gruesa raíz axonomorfa o pivotante, que puede alcanzar grandes profundidades, en busca de agua, junto con una densa red de raíces laterales, que le permiten soportar largos períodos de sequía. La amplia sombra que proporciona, ralentiza la evaporación del agua de la superficie del suelo y su estructura de raíces ayuda a la fijación del nitrógeno que recoge los nutrientes del aire para el suelo. El árbol puede crecer en zonas arenosas y rocosas, incluida piedra caliza, en fin, en la mayoría de los suelos, hasta con las raíces en contacto con agua salada.

Este árbol es investigado en Australia como fuente importante de energía para la naciente industria del biodiésel. Puede crecer en zonas que no son empleadas para producir alimentos. En la India se emplea un biodiésel, llamado Honge oil, extraído con simples procesos técnicos de las semillas de la *Pongamia pinnata*, en pequeños pueblos sin luz para construir su propia red eléctrica a partir de generadores de diésel

---

14 Organización orientada a la investigación y el desarrollo que está utilizando un paquete tecnológico único que permita el desarrollo de nuevos productos en cultivos agrícolas, en particular para crear nuevos cultivos de biocombustibles que suplan el mercado de bioenergéticos.

y así hacer funcionar bombas de agua y disponer de luz. En Australia también se investiga como fuente para la producción de bioqueroseno. (Grasshoff 2011, Queensland Sustainable Jet Fuel Initiative 2011).

g) *Otros:*

- *Croton megalocarpus*
- *Crambe (Crambe abyssinica)*
- *Shineleaf Yellowhorn (Xanthoceras sorbifolium)*
- *Moringa oleifera*
- *Chinese Tallow tree (Sapium sebiferum)*
- *Árbol del sebo (Triadica sebifera)*
- *Ocuba (Virola surinamensis)*
- *Copaiba (Copaífera langsdorfii)*
- *Caucho (Hevea brasiliensis)*
- Y otros más

## **b. Celulosa, hemicelulosa y lignocelulosa**

El origen de la biomasa se halla en la función cloroflica que, a partir del CO<sub>2</sub> atmosférico y el agua, sintetiza la estructura celular de los vegetales. La biomasa así formada está compuesta por sustancias sólidas, de preferencia polisacáridos (celulosa, hemicelulosa, almidón, azúcares y otros) que retienen humedad evaporable por secado y, en menor medida, componentes en estado líquido en condiciones ambientales (lípidos, terpenoides, jugos, entre otros).

Gracias a la tecnología actual, los componentes en estado líquido son procesados con cierta facilidad, hasta el extremo de ser la materia prima origen de los biocarburantes comerciales:

- De los lípidos, se produce el biodiésel.
- Los jugos azucarados de uva, caña o remolacha originan el bioetanol.
- Los amiláceos constituyen un grupo especial intermedio entre los dos anteriores. Se presenta en forma sólida (almidón, inulina), pero son fácilmente hidrolizados hasta obtener una disolución acuosa de azúcares y, a partir de aquí, se procesan como líquidos.

Por el contrario, la parte sólida de la biomasa resulta refractaria a su conversión a biocarburantes líquidos o biolíquidos en condiciones económicas. Pese a la intensa labor investigadora, su utilización en la actualidad está restringida a combustibles sólidos o, en menor medida, biogás. Desde un punto de vista técnico y económico, la obtención de biocarburantes a partir de biomasa presenta problemática diversa según se trate de procesar la mayor fracción leñosa o la menos abundante líquida o fácilmente soluble.

Los sistemas conocidos para la obtención de hidrocarburos a partir de biomasa sólida son (véase también Capítulo 3, Figura 3.2):

- Conversión biológica, 2ª generación, en fase de investigación avanzada. Algunas unidades de demostración, probablemente más apropiada en la obtención de oxigenados para biogasolinas. Algunos autores incluyen en este apartado al biodiésel a partir de algas.
- Pirolisis, 2ª generación, avanzada, a partir de líquidos orgánicos, existen algunas unidades de procesamiento para una próxima comercialización. Por lo común seguida de H<sub>2</sub>. A partir de sólidos, lignocelulosa.
- B.T.L. (*Biomass To Liquid*), proceso F-T, 2ª generación, en fase de investigación avanzada. Es incierta la fecha de comercialización.

Una consideración importante acerca de todos los procesos de conversión a hidrocarburos es la inevitable pérdida de rendimiento en masa, a causa de la eliminación del oxígeno contenido en las moléculas de biomasa, más acentuada en el caso de los materiales lignocelulósicos cuyos componentes fundamentales son celulosa, hemicelulosa y lignina. Los dos primeros están formados por cadenas de azúcares y tienen un contenido en O<sub>2</sub> del orden del 50% en peso, mientras que para la lignina, como polímero fenólico, es del 30%. Los lípidos ofrecen resultados más favorables: la proporción de oxígeno está en el entorno de 11%.

**Conversión biológica:** El material lignocelulósico ofrece las mayores oportunidades para la producción de compuestos oxigenados, cuyo conocimiento tecnológico se encuentra en una etapa preindustrial. La producción de hidrocarburos no parece tan favorable. No obstante, existen múltiples vías de investigación, todas ellas en etapa incipiente.

**Pirolisis:** el esquema de proceso así como el rendimiento en hidrocarburos es distinto según se trate de materia prima sólida o líquida. Dado que los potenciales insumos en estado líquido no son abundantes y, en muchas ocasiones, las rutas del biodiésel o hidrobiodiésel son más efectivas, el mayor interés de los investigadores se centra en desarrollar procesos con viabilidad técnica y económica para procesar sólidos. Probablemente, el mayor problema por resolver es la formación de carbón (coque). El tiempo de calentamiento resulta crítico para reducir su producción.

**Gasificación y síntesis de FT-BTL:** La producción de hidrocarburos a partir de materia prima sólida –carbón– ha sido utilizada con éxito tecnológico, si bien en circunstancias excepcionales al margen del

mercado (Alemania durante la Segunda Guerra Mundial, SASOL en la Unión Sudafricana, a raíz del embargo petrolífero). Este proceso es considerado como uno de los más prometedores para alcanzar los objetivos de utilización de energías renovables en el transporte. Sin embargo, sustituir carbón por biomasa conlleva nuevos problemas tecnológicos que están retrasando la implementación de la fase comercial.

Entonces los desafíos para tornar esta cadena de valor económicamente viable y competitiva con el petróleo están ubicados en la sección *downstream*.

Para la sección *upstream* se presenta una amplia gama de plantas – ya cultivadas o no– con alta producción de biomasa por unidad del tiempo como posibles fuentes de materia prima: árboles y arbustos, preferiblemente de ciclo corto: p.e. *Eucalyptos spp*, *Salix spp*, *Populos spp*, *Cynara cardunculus*, *Paulownia spp*, *Acacia spp* y muchos otros, incluso varias gramíneas que presentan potencial impresionante de formar biomasa sólida. Otra fuente importante son los residuos e desechos sólidos forestales y de la agricultura.

Los sistemas de producción son múltiples, en situaciones edafoclimáticas muy variadas, con factores de producción diferentes en cada caso, entre ellos los siguientes: rendimiento del cultivo (toneladas de materia seca), insumos requeridos (semillas, fertilizantes), requerimiento de prácticas agrícolas y actividades de manejo, grado posible de mecanización, infraestructura existente, distancia hasta las biorrefinerías de conversión, eventuales cambios en el uso de la tierra, distancia hasta los mercados, entre otros. Existe bastante experiencia y conocimiento en las ciencias agrícolas y forestales para optimizar los sistemas de producción con respecto a los criterios de sostenibilidad económica, social, ecológica, además del asunto relacionado con las emisiones GEI.

Una vez avanzado en el desarrollo tecnológico de la sección *downstream* y alcanzado un nivel de producción en escala industrial, es indispensable el análisis de ciclo de vida de los flujos de entrada y salida, para poder validar en qué situación y cuál cultivo o combinación de cultivos ofrece una opción económicamente viable y ecológicamente óptima.

### **c. Algas**

Otra de las posibles alternativas es un biocombustible producido a partir de algas, las cuales capturan CO<sub>2</sub> en su rápido crecimiento y pueden cultivarse en agua salina en zonas desérticas, lo que garantizaría que no compitiesen por recursos valiosos para la producción de alimentos como el agua dulce y los terrenos cultivables. Una extensión de una hectárea de algas puede producir suficiente aceite para fabricar

30 000 litros / año de combustible de aviación. Una extensión de terreno equivalente a Bélgica sería suficiente para proporcionar carburante a todos los aviones comerciales del mundo.

Entre las especies de macro algas económicamente explotadas se encuentran *Macrocystis*, *Nerocystis*, *Alaria*, *Laminaria sp.*, *Palmaria sp.*. Por carecer sus células de envoltura lignocelulósica, favorece el tratamiento de su materia orgánica.

La *Macrocystis pyrifera* es especialmente interesante por su productividad vinculada con una alta eficacia fotosintética. Puede alcanzar hasta 46 cm de longitud y obtener en una explotación en forma de “granja marina” con un rendimiento aproximado de 76 T/ha-año de materia seca, que posee un potencial energético de unos 10,8 MJ/kg. Este cultivo rebrota después de cada corte, por lo que solo hay que sembrar anualmente. Se debe explotar en granjas marinas, con el fin de facilitar su posterior recolección.

También hay que destacar entre las algas el cultivo de las algas unicelulares o micro algas, principalmente de los géneros *Chlorella*, *Scenedesmus* y *Spirulina*. Desde hace muchos años, se ha considerado su gran valor potencial para la producción de alimentos, hasta tener en la actualidad conocimientos bastante completos acerca de la fisiología, nutrición, crecimiento, reproducción de estos microorganismos. Aunque su importancia radica en su alto contenido en proteínas (alrededor del 50% de la materia seca en muchas especies), se ha pensado en utilizar el resto de la biomasa como fuente energética. La productividad de estos vegetales es de 100 T/ha-año aproximadamente y la *Chlorella* puede alcanzar valores hasta de 125 T/ha-año.

Actualmente se utilizan algas unicelulares en grandes bolsas de tratamiento de aguas residuales, donde se reproducen con gran facilidad, lo que genera una considerable cantidad de biomasa que puede ser cosechada y transformada en metano por digestión anaerobia.

Las algas más investigadas son:

- *Botryococcus braunii*
- *Chlorella*
- *Dunaliella tertiolecta*
- *Gracilaria*
- *Pleurochrysis carterae*
- *Sargassum*

La planta acuática que quizás haya recibido más atención en los últimos años es el jacinto de agua dulce (*Eichornia crassipes*), especie de alga de origen tropical, cuyo crecimiento es óptimo entre los 26° y 28° C y nulo si la temperatura del agua baja a los 10° C. En condiciones térmicas

y nutritivas adecuadas, su crecimiento y consiguiente reproducción vegetativa son extraordinariamente rápidos: una mata aumenta al día su peso fresco en un 10% y se duplica el número de individuos cada 12 o 15 días. Se estima que su productividad media es superior a las 30 T/ha-año en peso seco (del 6 al 8% del peso fresco) y en algunos casos se han obtenido rendimientos de hasta 150 T/ha-año de materia seca (Fernández Rey, Javier. Sf.).

Una característica interesante del jacinto de agua es su capacidad de depuración de aguas residuales de todo tipo, ya que tanto la materia orgánica como las sales inorgánicas quedan absorbidas por la planta y retenidas en sus tejidos, así el agua queda libre de estas. Las plantas empleadas como descontaminantes no se pueden usar posteriormente como alimento animal, pero si pueden ser utilizadas como materia prima en la producción de energía. Debido a su alto contenido en agua, el empleo más indicado para ese fin es la producción de metano por digestión anaerobia (se registran la obtención de hasta 400 m<sup>3</sup> de biogás por tonelada de materia seca, con un contenido de metano del 60%).

Frente a todos estos aspectos favorables, cabe destacar que el jacinto de agua es la plaga acuática más importante en aguas dulces y puede ocasionar daños importantes, como de tipo físico (obstrucción de vías de agua) y biológico (destrucción de la fauna piscícola). Por ello, es recomendable la máxima precaución ante su posible uso, ya que los intentos de eliminación por cualquier tipo de procedimiento han sido infructuosos después que la especie se ha establecido en un hábitat favorable.

La producción de algas con fines de producción de biocombustibles es una actividad emergente y varias empresas en todo el mundo están invirtiendo fuertemente en I+D sobre de las tecnologías propicia, entre ellas, las siguientes empresas:

- Estados Unidos: *Solazyme, Honeywell UOP, Solix Biofuels, BioCentric, Energy Cavitation Technologies, Sapphire Energy, Imperium Renewables, Simply Green Biofuels*
- México: *Biofields*
- Israel: *Seamibiotic, TransAlgae*
- Brasil: *Amyris*
- Alemania: *Subitec, Cyano Biotech GmbH, Phytolutions, IGV, Hezinger AlgaeTec, Novagreen, Blue Biotech, Phyton Energy, Breen Biotec*
- Austria: *See Algae Technology*

## 2. Certificación

El mercado para la bioenergía está en rápida expansión y ha recibido grandes inversiones en los últimos años debido a lo siguiente:

- a) la necesidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por el uso de combustibles fósiles, que ocasionan cambios climáticos;
- b) la necesidad de fortalecer la seguridad energética, por la diversificación de las fuentes y de los países productores; y
- c) la agenda de desarrollo, con el objetivo de suministrar acceso a la energía en las regiones pobres en energía y renta adicional para comunidades rurales.

Para maximizar estos beneficios sin crear nuevas presiones ambientales o sociales, son necesarias la gestión y la planificación de la bioenergía. Una manera para mejorar consiste en la creación de un conjunto de criterios y principios de sustentabilidad internacionalmente aceptables (Tabla 4.1.).

En los últimos años, se han efectuado diversas iniciativas para abordar las repercusiones ambientales y socioeconómicas asociadas con la producción de biocombustibles o de materias primas específicas para producir biocombustibles. Estas iniciativas comprenden los marcos reglamentarios, las normas voluntarias, los sistemas de certificación y las fichas de evaluación. Algunas de estas cubren toda la cadena de suministro, mientras que otras abarcan solamente una parte. Además, algunas de estas iniciativas aún están en desarrollo o en vías de experimentación, mientras que otras ya están en ejecución o implementación.

La Comisión Europea (CE), como cuerpo ejecutivo responsable de la aplicación de las decisiones de la UE, ha autorizado los primeros sistemas de garantía de sostenibilidad para biocombustibles. Con esta medida se quiere asegurar que los carburantes de origen vegetal no dañen entornos naturales y contaminen menos que los combustibles fósiles. El objetivo de la Unión Europea (UE), como comunidad política de sus estados miembros, es que para el 2020 por lo menos el 10% de los combustibles usados por el sector del transporte sean de origen renovable y se produzcan de modo responsable y sostenible.

Los biocarburantes pueden ser una respuesta respetuosa con el ambiente para sustituir los combustibles fósiles. Ahora bien, hay que evitar que la selva tropical y las turberas ricas en carbono se conviertan en plantaciones de palma aceitera o de caña de azúcar. También

**Tabla 4.1. Compilación de iniciativas y estándares de certificación de sostenibilidad de bioenergía.**



*Sustainability Aspects/Issues Addressed under the Initiatives Reviewed*

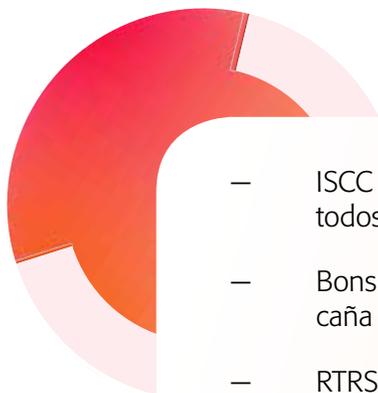
	REGULATORY FRAMEWORKS										VOLUNTARY STANDARDS / CERTIFICATION SCHEMES										SCORCARDS									
1. ENVIRONMENTAL	1.1 Land-use changes (both direct and indirect)	1.2 Biodiversity and ecosystem services	1.3 Productive capacity of land	1.4 Crop management and agrochemical use	1.5 Water availability and quality	1.6 GHG emissions	1.7 Air quality	1.8 Waste management	1.9 Environmental sustainability (cross-cutting)	2. SOCIO-ECONOMIC	2.1 Land tenure/access and displacement	2.2 Rural and social development	2.3 Access to water and other natural resources	2.4 Employment, wages and labour conditions	2.5 Human health and safety	2.6 Energy security and access	2.7 Good management practices and continuous improvement	2.8 Social sustainability (cross-cutting)	3. GOVERNANCE	3.1 Compliance	3.2 Participation and transparency	4. FOOD SECURITY	4.1 Food availability	4.2 Food access	4.3 Food utilization	4.4 Food stability	4.5 Food security (cross-cutting)			
	Swiss Confederation	EU Renewable Energy Directive (RED)	Low Carbon Fuel Standard (LCFS) - California (USA)	Renewable Fuel Standard (RFS2) - USA	Renewable Transport Fuel Obligation (RTFO) - UK	Testing Framework for Sustainable Biomass ("Cramer Criteria") - The Netherlands	Social Fuel Seal - Brazil	Biomass Sustainability Order (BioNACHV) - Germany	Biomass Sustainability Order (BIOCAO) - Switzerland	Bonuscro (BSI)	Council on Sustainable Biomass Production (CSBP)	Global Bioenergy Partnership (GBEP)	Green Gold Label 2: Agriculture Source Certification (GGLS2)	International Sustainability & Carbon Certification (ISCC)	Nordic EcoLabelling of Fuels	Roundtable on Responsible Soy (RTS)	Roundtable on Sustainable Biomass (RSB)	SEKAB Verified Sustainable Ethanol Initiative (RSB)	Sustainable Biodiesel Alliance (SBA)	IDB Biofuels Sustainability Scorecard	WB/WWF Biofuels Environmental Sustainability Scorecard									

The BEFSCI Compilation of Bioenergy Sustainability Initiatives (2011) is available here: [www.fao.org/bioenergy/foodsecurity/beefsci/compilation](http://www.fao.org/bioenergy/foodsecurity/beefsci/compilation)



debe asegurarse que se produzca una disminución tangible de la emisión de gases de efecto invernadero en comparación con la de los combustibles fósiles. Para ello, la sostenibilidad de los biocarburantes debe demostrarse a través de los Estados Miembros o de regímenes voluntarios aprobados por la CE.

La CE ha reconocido hoy siete regímenes voluntarios:



- ISCC Régimen alemán financiado públicamente que cubre todos los tipos de biocarburantes.
- Bonsucro EU Iniciativa sobre los biocarburantes basados en caña de azúcar, centrada en Brasil.
- RTRS EU RED Iniciativa sobre los biocarburantes basados en soja, centrada en Argentina y Brasil.
- RSB EU RED Iniciativa que cubre todos los tipos de biocarburantes.
- 2BSvs Régimen instaurado por el sector francés, que cubre todos los tipos de biocarburantes.
- RSBA Régimen instaurado por Abengoa para cubrir su cadena de abastecimiento.
- Greenergy Régimen instaurado por Greenergy, centrado en el etanol de caña de azúcar de Brasil.

La CE está negociando con otros regímenes voluntarios para ver cómo pueden mejorarse sus características de forma que se ajusten a las condiciones de sostenibilidad de los biocarburantes.

Se trata de impedir que los biocombustibles usados y comercializados en Europa no procedan de bosques tropicales u otros ecosistemas de gran importancia para el ambiente. Además, la medida tiene como objetivo impedir que se usen biocombustibles procedentes de cultivos

que sirvan para producir alimentos en países en desarrollo. Por último, para lograr la nueva certificación, se deberá garantizar que las emisiones de dióxido de carbono, principal responsable del efecto invernadero y del cambio climático, sean un 35% menos que las de los combustibles fósiles, la lo cual se debe considerar toda la cadena de producción.

Se ha previsto que esas cifras aumenten dentro de unos años: hasta el 50% para el 2017 y hasta el 60% para el 2018. La certificación es un modo de promover ese aumento y de convertirlo en sostenible. Los biocombustibles certificados por estos sistemas, tanto producidos en los estados miembros de la UE como importados del exterior, podrán ser comercializados en cualquier Estado Miembro.

Los siete sistemas seleccionados son de empresas y organizaciones no gubernamentales y el mecanismo consiste en el trabajo de auditores independientes que verifican el uso anterior de las tierras donde ahora se producen cultivos para biocombustibles.

### ***The Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB)***

La RSB es una iniciativa que tiene el objetivo de desarrollar un patrón de garantía en un abordaje de múltiples interesados directos (multi-stakeholders). Reúne a todos los sectores de la actividad relacionados con los biocombustibles, incluso agricultores; productores de biocombustible; la industria del transporte; las organizaciones no gubernamentales (ONG) medioambientales y sociales; institutos de investigación; gobiernos y representantes de inversionistas para definir principios y criterios basados en prioridades y experiencias regionales.

La misión de la RSB es asegurar que los biocombustibles cumplan la promesa de mitigación del cambio climático, desarrollo económico y seguridad energética, sin causar daños ambientales o sociales, tales como la deforestación y la inseguridad alimentaria. Uno de los requerimientos principales de la norma RSB es que los biocombustibles, a lo largo de su ciclo de vida, deben tener emisiones de GEI significativamente menores comparadas con las emisiones de los combustibles fósiles.

La norma desarrollada por la RSB consiste en una serie de documentos normativos así como documentos de apoyo. Esta norma cubre todas las partes de la cadena de suministro, desde la producción de materia prima hasta el suministro del biocombustible para su consumo y observa los impactos negativos que puedan ser causados por los biocombustibles. Los doce principios y criterios que forman el núcleo de la norma RSB describen los requerimientos principales para la producción sostenible de biocombustibles, tales como la necesidad de consultar a los grupos de interés locales, las emisiones de GEI, la conservación de ecosistemas importantes y la mitigación de inseguridad alimentaria en la región de operación.

El propósito de la norma RSB es su utilización como un sistema de certificación a través de organismos de certificación independientes. El modelo de certificación de la RSB está basado en la gerencia del riesgo, un modelo que asegura seguridad y solidez y al mismo tiempo es flexible para los operadores participantes. Para satisfacer las necesidades de los operadores, la norma propone varias opciones de cadenas de custodia (segregación 100%, balance de materia, entre otros). También es posible certificar a grupos de productores. La RSB se compromete a trabajar con transparencia, tomar decisiones por consenso e incluir todos los grupos de interés.

**Cuadro 4.4. Doce principios y criterios forman el núcleo de la norma RSB.**

<b>Doce principios y criterios de la norma RSB</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las operaciones de biocombustibles cumplirán con todas las leyes y reglamentos aplicables.</li> <li>• Las operaciones para la producción sostenible de biocombustibles se planificarán, implementarán y mejorarán continuamente mediante una Evaluación del Impacto Ambiental y Social (ESIA, por sus siglas en inglés) abierta, transparente y de consulta y un análisis de viabilidad económica.</li> <li>• Los biocombustibles contribuirán a la mitigación del cambio climático para reducir significativamente las emisiones de GEI a lo largo del ciclo de vida del combustible en comparación con los combustibles fósiles.</li> <li>• Las operaciones de biocombustible no violarán los derechos humanos ni los derechos laborales y promoverán el trabajo digno y el bienestar de los trabajadores.</li> <li>• En regiones pobres, las operaciones de biocombustible contribuirán al desarrollo social y económico de los pueblos y comunidades locales, rurales e indígenas.</li> <li>• Las operaciones para la producción de biocombustibles garantizarán el derecho humano a recibir alimentación adecuada y a mejorar la seguridad alimentaria en regiones de inseguridad alimentaria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las operaciones de biocombustible evitarán los impactos negativos sobre la diversidad biológica, los ecosistemas y otros valores de conservación.</li> <li>• Las operaciones de biocombustible implementarán prácticas con el fin de revertir la degradación del suelo o para mantener la salud del suelo.</li> <li>• Las operaciones de biocombustible mantendrán o mejorarán la calidad y cantidad de recursos hídricos superficiales y subterráneos, y respetarán los derechos al agua formales o consuetudinarios existentes.</li> <li>• La contaminación del aire debida a operaciones de biocombustibles se reducirá al mínimo a lo largo de la cadena de suministro.</li> <li>• El uso de las tecnologías en las operaciones para la producción de biocombustibles buscará maximizar la eficiencia productiva y el desempeño social y ambiental, y minimizar el riesgo de causar daños al ambiente y a las personas.</li> <li>• Las operaciones de biocombustible respetarán los derechos a la tierra y los derechos al uso de la tierra.</li> </ul>

### **3. Demanda y consideraciones económicas - sección *upstream***

El efecto de los biocombustibles en los precios de los alimentos sigue siendo objeto de un intenso debate, como también ocurre con su capacidad para contribuir a la seguridad alimentaria, la mitigación del cambio climático y el desarrollo agrícola. Los biocombustibles, a la vez que compensarán solo una parte modesta del consumo de energía fósil, tendrán efectos mucho más importantes en la agricultura y la seguridad alimentaria.

La demanda de materias primas agrícolas para la producción de biocombustibles líquidos será un factor de peso para los mercados agrícolas y la agricultura mundial durante el próximo decenio y tal vez más allá. Esta demanda podría ayudar a invertir la tendencia a la baja que desde hace tiempo afecta a los precios reales de los productos básicos, y crear así tanto oportunidades como riesgos. Todos los países deberán hacer frente a los efectos del desarrollo de los biocombustibles líquidos – independientemente de que participen o no directamente en ese sector – ya que todos los mercados agrícolas se verán afectados. (FAO 2008).

El rápido aumento de la demanda de materias primas para la producción de biocombustibles ha contribuido al alza de los precios de los alimentos, aun cuando la atribución no ha sido de la dimensión que se delató pocos años atrás. Además, existe el consenso de que los biocombustibles solo son uno de los diversos factores que causan este aumento. Sin embargo, esto representa una amenaza directa para la seguridad alimentaria de las personas pobres que son compradores netos de alimentos (en valor), tanto en las zonas urbanas como en las rurales. Una buena parte de la población pobre del mundo gasta en alimentos más de la mitad de los ingresos de sus hogares e incluso en las zonas rurales la mayoría de los pobres son compradores netos de alimentos. Se necesita establecer con urgencia redes de seguridad para proteger a las personas más pobres y vulnerables del mundo y garantizar su acceso a una alimentación adecuada. Ahora bien, esas redes de seguridad deberán estar bien orientadas y no obstruir la transmisión de las señales de los precios a los productores agrícolas.

A largo plazo, el aumento de la demanda y de los precios de los productos agrícolas básicos puede crear oportunidades de desarrollo agrícola y rural. Sin embargo, las oportunidades de mercado no pueden superar las barreras sociales e institucionales que se interponen al crecimiento equitativo con factores de exclusión como el de género, el de origen étnico y la falta de poder político. Además, no basta con

que aumenten los precios de los productos básicos. Urge invertir en investigaciones que mejoren la productividad y la sostenibilidad, así como instituciones habilitadoras, infraestructura y políticas acertadas. Para lograr un desarrollo rural de base amplia, es esencial que se dé prioridad a las necesidades de los grupos de población más pobres y menos dotados de recursos.

El sector de aviación tuvo la “suerte” de que el empleo de bioqueroseno en las operaciones de vuelo “se atrasó” en comparación con el empleo de biocombustibles en el sector de transporte terrestre, debido a mayores exigencias tecnológicas y de seguridad y rutas tecnológicas todavía no desarrolladas para la producción industrial económicamente viable. En cuanto a las políticas públicas para incentivar y reglamentar la aplicación de biocombustibles en el transporte terrestre, en muchos países se establecieron medidas obligatorias y de fomento, incluso mezclas obligatorias sucesivamente crecientes, a partir de mediados del 2000 (IICA 2010b); la aviación ganó una ventana de algunos años.

Ante el panorama de los biocombustibles, en su mayoría empleados en el transporte terrestre mediante el bioetanol y biodiésel, y sus efectos en la evolución de precios de alimentos, la capacidad de contribuir a la seguridad alimentaria, la mitigación del cambio climático y el desarrollo agrícola, el sector de aviación hace énfasis en que se debe exigir que el bioqueroseno no se obtenga de materia prima apta para la producción de alimentos ni se generen cambios en el uso de la tierra, de manera que no se tumba vegetación natural ni se utilicen terrenos aptos para alimentos.

Asimismo, el sector de aviación muy probablemente no puede evitar por completo entrar en este debate por las siguientes razones:

- a) Los biocombustibles líquidos compiten directamente con los derivados del petróleo. Dado que los mercados energéticos tienen un mayor tamaño que los agrícolas, los precios de la energía tenderán a impulsar los precios de los biocombustibles y sus materias primas agrícolas.
- b) Las materias primas para la generación de biocombustibles compiten por los recursos productivos con otros cultivos agrícolas; en consecuencia, los precios de la energía tenderán a influir en los precios de todos los productos agrícolas que dependen de la misma base de recursos. Por la misma razón, producir biocombustibles a partir de cultivos no alimentarios de ninguna manera supondrá eliminar necesariamente la competencia entre los alimentos y los combustibles.
- c) Con la aparición de los biocombustibles, incluido el bioqueroseno, como una nueva e importante fuente de demanda, se aumentaría

la presión sobre los medios de producción agrícola (tierra, agua, mano de obra, semillas, nutrientes, energía...). Esto contribuiría eventualmente al aumento de los precios de los recursos usados para su producción, lo cual obviamente tendría un efecto en el sector de alimentos y otros productos agrícolas.

- d) Muchas de las materias primas discutidas (véase Capítulo 3.1), especialmente los aceites vegetales, incluida la camelina, también ofrecen la posibilidad de ser aprovechadas de forma diferente de la conversión energética, por ejemplo: en la industria farmacéutica y de cosméticos o hasta como alimentos.
- e) Aunque los cultivos principalmente aptos para terrenos marginales en muchos casos consiguen mejores rendimientos cuando se producen en situaciones edafoclimáticas más favorables y los sistemas de producción deben encontrar el punto de equilibrio para definir su viabilidad económica, es poco probable que la producción acontezca exclusivamente en terrenos marginales.

Como se mostró en el Capítulo 3.4, para que los biocombustibles sean aceptados, requieren de la comprobación a través del análisis de ciclo de vida de la sustentabilidad ecológica, económica y social a lo largo de la cadena de suministro, además del requisito de una reducción de las emisiones GEI. Con las tecnologías actuales, la competitividad de los biocombustibles dependerá de estos factores y de los precios relativos de las materias primas agrícolas y los combustibles fósiles. La relación diferirá según los cultivos, los países, los lugares y las tecnologías empleadas en la producción de biocombustibles.

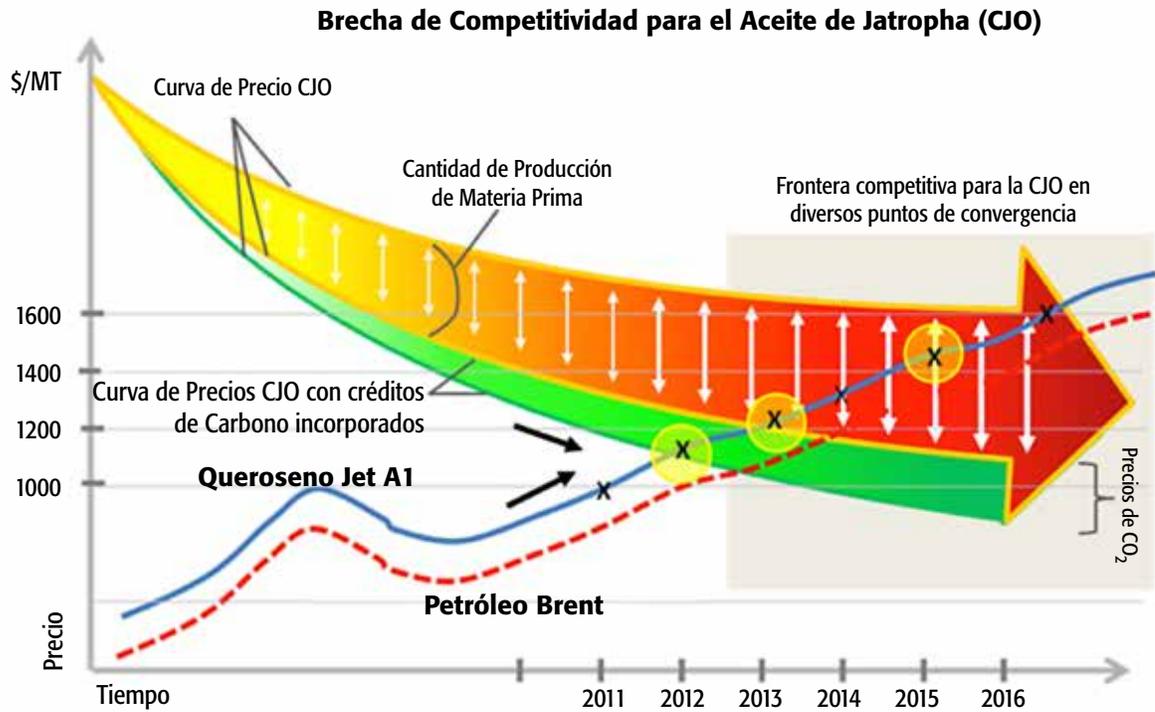
Las exigencias del sector aeronáutico señalan que las materias primas para el bioqueroseno deberían provenir de fuentes no alimenticias y en su mayoría producirse en terrenos no aptos para la producción de alimentos. Esto no solamente facilita la aceptación de la sociedad, sino también la identificación de los sistemas de producción, rutas tecnológicas y cadenas de suministro más competitivas, si se consideran las exigencias de sostenibilidad y reducción de emisión de GEI.

Si el factor limitante es el área productiva agrícola y forestal disponible en el mundo, la competencia 'alimentos ↔ energía' y 'alimentos ↔ aprovechamiento sustancial en la industria ↔ energía', respectivamente, no sería por la biomasa sino por el área. Si se aplica un uso racional de la tierra, la producción de biomasa puede aumentarse considerablemente en las áreas disponibles sin ceder en las exigencias de sostenibilidad.

Este potencial puede y debe ser explorado sucesivamente a través de la estimulación de la demanda y apertura de mercados nuevos con precios económicamente viables que no superen en mucho los

costos de producción. La tendencia ideal del mercado energético se pronostica para esta tarea: Cuando haya escasez en el suministro de biomasa competitiva con finalidad de consumo energético, esta podría ser sustituida fácilmente por energía fósil.

**Figura 4.4. Brecha de competitividad del aceite crudo de Jatropha.**



Fuente: JATRO, 2012. Biojet fuel pricing.

Durante los últimos cinco años, la competitividad de los biocombustibles de transporte terrestre ha aumentado considerablemente en función de los avances tecnológicos en las rutas de conversión, las capacidades de producción instaladas y una mayor oferta de materia prima. Asimismo, con la excepción del etanol producido a partir de la caña de azúcar en el Brasil, cuyos costos de producción son más bajos con respecto a los países productores de biocombustibles a gran escala, en general, estos todavía no pueden competir sin subsidios con los combustibles fósiles, incluso ante los elevados precios del crudo de la actualidad.

Sin embargo, la competitividad puede cambiar en consonancia con las modificaciones de los precios de las materias primas y la energía, y el desarrollo de la tecnología. En la competitividad influyen también directamente las políticas aplicadas. La competitividad varía enormemente según el biocombustible, la materia prima y el lugar de producción de que se trate, y la viabilidad económica varía en la misma medida en que los países hacen frente a los cambiantes precios de mercado de los insumos y el petróleo, así como en virtud de avances tecnológicos en la propia industria.

Específicamente para el bioqueroseno, todavía existe un alto potencial de reducir los costos de la producción agrícola y la elaboración de biocombustibles a través de innovaciones tecnológicas. Las inversiones en materia de investigación y desarrollo son fundamentales para el futuro. Ello es válido tanto en la innovación agronómica como en la de las tecnologías de conversión. Las investigaciones y el desarrollo en materia de tecnologías de segunda generación, en particular, podrían fortalecer considerablemente el papel de los biocombustibles en el futuro. La Figura 3.5. muestra la brecha de competitividad del aceite crudo de *Jatropha* (CJO) en escenarios donde se presenta un aumento en el volumen producido, una reducción de los costos de producción, un aumento del precio del petróleo con respecto al queroseno Jet A1, empleados o no los créditos de carbono.

#### **4. Aspectos ambientales: disponibilidad de tierra y cambio directo o indirecto en el uso de la tierra**

Se ha generalizado la percepción de que la tierra arable está totalmente ocupada o que existe poco margen para ampliarse a nuevos cultivos. Las cifras para ALC muestran lo contrario, ya que existe aún un gran potencial para su aumento. Parte de esta tierra arable disponible podría ser utilizada para cultivos energéticos que si están acompañados de un paquete de políticas y programas bien diseñados, podrían beneficiar a miles de pequeños productores rurales que actualmente se encuentran en condiciones de pobreza, sin comprometer los bosques ni la seguridad alimentaria de la región.

Sin embargo, si se comparan los datos de la región de América Latina con las situaciones particulares de cada uno de los países, de acuerdo con el Land and Water Development Division de la FAO, en World

Soil Resources Report 90, citado por Gazzoni (2009), se conforman los siguientes tres grandes grupos según la disponibilidad de área cultivable potencial:

- **Baja disponibilidad:** Chile, República Dominicana, El Salvador, Haití, Jamaica, Honduras, Trinidad y Tobago, Costa Rica, Belice, Guatemala y Panamá. Este grupo de países tendría límites inferiores a un millón de hectáreas de suelos altamente adecuados.
- **Mediana disponibilidad:** Cuba, Nicaragua y Guyana Francesa, con disponibilidades de hasta cinco millones de hectáreas, lo que muestra una situación confortable para la oferta interna de biocombustibles, alimentos y otros productos agrícolas y con un pequeño margen para exportaciones agrícolas.
- **Alta disponibilidad:** Ecuador, Surinam, Guyana, Paraguay, Uruguay, México, Perú, Venezuela, Colombia, Bolivia, Argentina y Brasil, con disponibilidad entre 6 y 343 millones de hectáreas. Esto permite la expansión de cualquier tipo de agricultura, incluso para proveer de alimentos y biocombustibles a otros países.

De acuerdo con la FAO, el potencial total de expansión de la agricultura de ALC, en términos de suelos altamente adecuados, es de 599,9 millones de hectáreas.

Esta disponibilidad confrontada con la demanda prospectiva de cultivos anuales (116,0 millones de hectáreas), cultivos perenes (9,9 millones de hectáreas), bosques (7,7 millones de hectáreas) y biocombustibles (9,5 millones de hectáreas) para el período 2010 - 2030, determina una demanda positiva de área de 143,1 millones de hectáreas, de conformidad con estimaciones realizadas en el estudio de Gazzoni (2009).

Con referencia al Cuadro 4.5, si se relaciona la demanda de área agrícola de los biocombustibles sobre el área agrícola total de expansión, se demandaría únicamente una proporción de un 2,4% con respecto a la expansión total de tierra que ha sido proyectada para el año 2030, conforme se aprecia en la Figura 4.5.

Los sistemas de biocombustible pueden desarrollarse en diversas situaciones de uso de la tierra (Figura 4.6) (Bass et al. 1998, en Dubois 2008). Los métodos de gestión convencionales permiten diferenciar eficientemente entre los usos con arreglo a criterios físicos. Sin embargo, conforme evolucionan las demandas de la sociedad, las oportunidades de mercado y los derechos de las partes interesadas, el uso efectivo de la tierra cambia y no solo por factores físicos, sino también porque las necesidades se modifican.

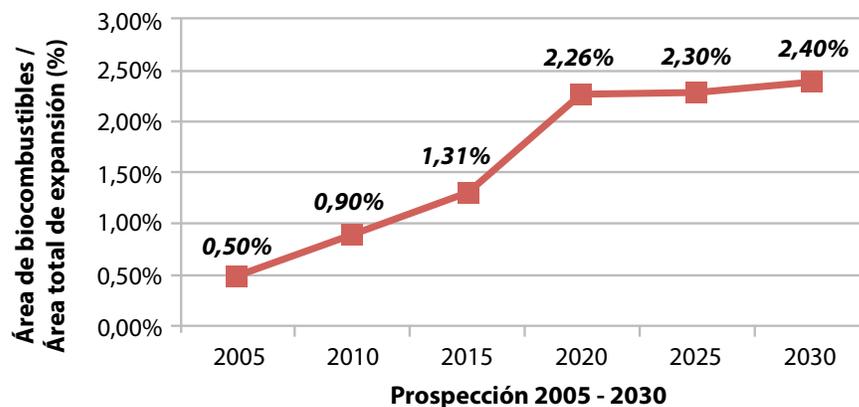
**Cuadro 4.5. Región de ALC: Demanda prospectiva del área agrícola en el período 2010 - 2030 (millones de hectáreas).**

Año	Biocombustibles	Cultivos anuales	Cultivos perennes	Pasturas 1/	Bosques	Total	Área de expansión
2005	3,0	144,0	19,8	550,0	12,0	728,8	599,9
2010	5,0	175,0	20,0	557,0	13,3	770,3	558,4
2015	7,0	197,0	22,0	553,0	14,7	793,7	535,0
2020	11,8	215,0	24,4	539,0	16,2	806,4	522,3
2025	12,0	234,0	26,9	516,0	17,9	806,8	521,9
2030	12,5	260,0	29,7	485,0	19,7	806,9	521,8
Incremento	9,5	116,0	9,9	-65,0	7,7	78,1	

Nota: 1/ Se espera que el área utilizada con pasturas disminuya aproximadamente en 65,0 millones de hectáreas.

Fuente: Gazzoni 2009.

**Figura 4.5. Incidencia de la demanda de área agrícola de los biocombustibles sobre el área agrícola total de expansión en ALC.**



Al evaluar las repercusiones medioambientales, económicas y sociales de los usos de la tierra, es importante tomar en consideración la dinámica que los determina. La trayectoria de cubierta vegetal responde de manera diversa a las necesidades de los medios de vida según las modalidades cambiantes en el tiempo.

**Figura 4.6. El abanico de usos de la tierra como base del desarrollo del biocombustible.**



Fuente: Bass et al. 1998, en Dubois 2008.

Las consecuencias de los biocombustibles para las emisiones de GEI – una de las principales motivaciones que subyacen al apoyo que recibe el sector de los biocombustibles– difieren según la materia prima, el lugar, la práctica agrícola y la tecnología de conversión. Las repercusiones más importantes están determinadas por los cambios en el uso de la tierra –por ejemplo, como resultado de la deforestación– a medida que se expanden las zonas agrícolas para satisfacer la creciente demanda de materias primas para la producción de biocombustibles.

Otros posibles efectos negativos para los recursos de tierras y aguas y para la biodiversidad tienen lugar principalmente como resultado de los cambios en el uso de la tierra. La producción acelerada de biocombustibles, impulsada por el apoyo a las políticas, aumenta considerablemente el riesgo de que se produzcan cambios en gran escala en el uso de la tierra, además de otras amenazas conexas para el ambiente.

Existen otras lecciones aprendidas sobre otros tipos de usos de la tierra. Las experiencias en materia de ordenación de recursos forestales indican que:

- En el terreno pocas veces funcionan las estrategias de “control y mando/sanciones y barreras”, porque no son rentables y son difíciles de cumplir.
- Las estrategias participativas aplicadas a la ordenación sostenible de los recursos tienen mayores probabilidades de conseguir resultados duraderos, pero suponen a corto y mediano plazo costos significativos de transacción (los costos de interacción). Para reducirlos, conviene seleccionar las partes interesadas según su importancia e influencia e involucrar en las negociaciones de acuerdos a los representantes de los grupos de interesados: organizaciones de pequeños productores y organizaciones comunitarias (Dubois y Lowore 2000; Abramovay y Magalhães 2007).
- El empleo de planes voluntarios, tales como la certificación, ha respondido fundamentalmente a impulsos externos y con frecuencia a la iniciativa de donantes. Los subsidios proporcionados por estos ayudan a las empresas de la comunidad a obtener la certificación, pero pueden minar la toma de decisiones de la empresa. A pesar de beneficios extra-comerciales de la certificación, como el reconocimiento y la credibilidad, el motor de la certificación es la promesa de una mayor seguridad de mercado. Si tal seguridad no existe, las comunidades suelen abandonar la certificación tras un período inicial de gracia durante el cual el apoyo de donantes y certificadores había conocido su apogeo (Bass *et al.* 2001).

Las iniciativas voluntarias son las que inspiran la mayor parte del trabajo realizado en la actualidad sobre los instrumentos de desarrollo sostenible del biocombustible (véanse las secciones 2.2.2 y 4.2).

Se señaló la influencia del cambio del uso de la tierra en los balances de GEI de la producción de biocombustibles. A la hora de examinar los posibles efectos de la creciente producción de biocombustibles en términos de emisiones, es necesario un entendimiento más profundo de la medida en que se puede conseguir un aumento de la producción

mediante una mejor productividad de la tierra o a través de la ampliación del área cultivada; en este último caso, la categoría de la tierra también resulta importante. Las técnicas de producción agrícola contribuyen asimismo al cálculo de los balances de GEI.

Aproximadamente el 80% del incremento de la producción mundial de productos agrícolas durante los últimos 50 años ha sido resultado del aumento del rendimiento y el 20% restante ha sido consecuencia de la ampliación del área cultivada y de una mayor frecuencia de cultivo (FAO 2003; Hazell y Wood 2008).

La tasa de crecimiento de la demanda de biocombustibles en los últimos años supera con creces los valores históricos de crecimiento de la demanda de productos agrícolas y de aumento del rendimiento de los cultivos. Esto sugiere que el cambio del uso de la tierra y las repercusiones ambientales conexas podrían convertirse en un problema más importante con respecto a las tecnologías tanto de primera como de segunda generación. Por ejemplo, en diferentes escenarios de cambio directo en el uso de la tierra (*direct Land Use Change* - dLUC) para el establecimiento de plantaciones de *Jatropha* en la región del Cerrado en Brasil, se llegaron a calcular valores de una reducción de las emisiones GEI en torno del 60% con respecto al escenario referencial cuando fueron establecidas en áreas anteriormente utilizadas como pastizales y, contrariamente, hasta un incremento en emisiones en torno del 85% cuando se establecieron tumbando la vegetación natural del cerrado (Bailis y Baka 2010).

A corto plazo, esta demanda podría satisfacerse mediante el aumento del área destinada a los cultivos para biocombustibles mientras que, a medio y largo plazo, podrían empezar a dominar la mejora de las variedades de cultivos para biocombustibles, los cambios en las prácticas agrarias y las nuevas tecnologías, tales como la conversión celulósica. Serán fundamentales mejoras significativas del rendimiento y grandes avances tecnológicos para la producción sostenible de materias primas para biocombustibles, con el fin de reducir al mínimo el cambio del uso de la tierra en áreas que ya están siendo cultivadas y la conversión de tierras que en la actualidad no se emplean para el cultivo, como los pastizales y los bosques (FAO 2008).

Hay que señalar que aún no existe consenso en la forma de contabilizar las emisiones de GEI. El debate es especialmente intenso en relación con los efectos indirectos que puede producir el incremento en la producción de biocombustibles, en particular para el cambio indirecto del uso de la tierra (*indirect Land Use Change* – iLUC). El factor iLUC se refiere a la destrucción indirecta de masa forestal para dedicarla a la producción agrícola a partir de los requerimientos de más espacio para producir la biomasa necesaria en la producción de biocombustibles. Estos efectos indirectos son muy difíciles de identificar y evaluar pero,

evidentemente, modificarían a la baja los efectos sobre la reducción de GEI. Algunos estudios basados en modelos de equilibrio parcial indican que son considerables los efectos del factor iLUC, planteados específicamente para el cultivo de maíz en Estados Unidos, donde se apuesta más por la utilización de residuos vegetales en la producción de biocombustibles.

Durante el desarrollo de la norma de la RSB resultó evidente que, si bien es posible cambiar el comportamiento de cada uno de los operadores y mejorar la sostenibilidad de las operaciones para la producción de biocombustibles, es menos sencillo tratar muchos de los impactos a gran escala o macro impactos en el nivel de cada operador. Los grandes impactos pueden surgir de interacciones macroeconómicas entre los mercados de alimentos, forraje, combustible y fibras, y es necesario tratar los impactos indirectos.

La certificación voluntaria por sí sola puede no resultar la mejor herramienta para tratar los impactos indirectos, ya que en un nivel macro probablemente estén más allá del control del granjero o de los productores de biocombustibles que buscan la certificación. Sin embargo, los grupos de interés cada vez son más conscientes de que los impactos indirectos son una consecuencia no prevista de la expansión de los biocombustibles y de la necesidad de considerar dichos efectos para dar rendir cuentas de manera apropiada. El potencial de los impactos negativos indirectos es alto y, siguiendo el espíritu del principio de precaución, quienes respaldan el biocombustible sostenible deben estar seguros de que sus buenas intenciones no producirían consecuencias imprevistas.

Un estudio encargado por la RSB reveló que si bien existen considerables diferencias en la manera de tratar los impactos indirectos, la mayoría de las reglamentaciones los toman en cuenta. Debido a la incertidumbre con respecto a la mejor manera de cuantificar los impactos indirectos en un sistema de certificación de operaciones individuales, el estudio sugirió el desarrollo de un mecanismo para promover los biocombustibles con un menor riesgo de causar impactos negativos indirectos.



# Vinculación de los territorios rurales a la cadena de valor de bioqueroseno

## 1. El concepto del desarrollo rural territorial (DRT)

La reorientación ocurrida en el desarrollo socioeconómico y en los sistemas institucionales de América Latina a partir de la década de los ochentas genera significativas transformaciones en el medio rural de la región. La centralidad asignada en las políticas públicas a la promoción de las exportaciones y a la atracción de inversiones externas contribuye a conformar un dinámico sector de productores y empresarios agrícolas, agroindustriales y comerciales vinculados con los mercados internacionales. El substancial crecimiento de las exportaciones y las importaciones agrícolas, ocurridas en el marco de la estrategia de apertura económica implementada en estos países son una clara expresión de los resultados alcanzados con las medidas económicas y los estímulos a la liberalización y expansión del comercio internacional.

Por otra parte, diversos factores como la reducción o el traslado al sector privado, funciones públicas esenciales de apoyo al desarrollo agrícola (investigación, extensión, fomento productivo, financiamiento) y los débiles mecanismos de encadenamiento entre el sector más dinámico de la agricultura, la agroindustria y los agronegocios, con extendidos grupos de productores familiares o con los territorios más deprimidos de la región, generan un paisaje rural más complejo, con situaciones productivas y económicas más diversas (Alfaro 2006).

La diversificación de las actividades agrícolas, la acentuación de los procesos de diferenciación social de los territorios, la multiplicación de las actividades rurales no agrícolas, la intensificación de los movimientos migratorios internacionales y desde los espacios rurales a las áreas urbanas o de los espacios rurales deprimidos hacia otros territorios de mayor dinamismo económico, llevan a la configuración de un medio rural con fuertes necesidades y demandas.

El estado enfrenta la necesidad de buscar estrategias alternativas para revertir los desequilibrios regionales, resolver las apremiantes situaciones de exclusión social y buscar mecanismos eficaces para promover el desarrollo territorial, la generación de empleo y el bienestar en las comunidades rurales. Las medidas de descentralización y fortalecimiento de los gobiernos locales y los intentos dirigidos a diseñar diversas iniciativas de desarrollo rural encuentran en el enfoque del DRT una opción que pareciera responder adecuadamente a la búsqueda de una ruta alternativa para impulsar las transformaciones requeridas por el medio rural de la región.

El enfoque territorial del desarrollo rural promueve la articulación y armonización, en el territorio, de políticas sectoriales, fundamentadas en procesos de planificación participativa con los actores sociales e institucionales y en función de una visión compartida del territorio. En el ámbito territorial, este esfuerzo conjunto se consolida en un plan estratégico para el desarrollo, cuyo objetivo es potenciar su riqueza cultural, ambiental y productiva, como base para fortalecer y mejorar las condiciones de vida y generar nuevas alternativas para sus habitantes. Para ello, se requiere de mecanismos de acceso a activos productivos y servicios, así como la generación y aprovechamiento de nuevas oportunidades económicas, empleos e ingresos dignos, facilidades crediticias apropiadas, y el desarrollo de instituciones y capacidades tanto técnicas como de gestión.

Para Schejtman y Berdeguér (2003), son varios los elementos o componentes de un enfoque que permita plantear cambios significativos en las estrategias de desarrollo rural y de superación de la pobreza o por lo menos en los proyectos de campo orientados a dichos propósitos:

- a) La incorporación de la dimensión territorial en las propuestas de desarrollo, en el sentido de considerar que el ámbito de acción de la propuesta va más allá del espacio agrícola.
- b) La heterogeneidad social de los espacios o territorios, de forma que se pueda ir más allá de la focalización de las iniciativas en las familias rurales pobres e incorporar o convocar a los distintos agentes que tienen presencia relevante en el espacio rural.
- c) En relación con el elemento anterior, la incorporación de empleos agrícolas y no agrícolas como destinatarios de acciones orientadas al incremento de la productividad.
- d) El énfasis en las articulaciones entre los sectores agrícola, industrial y de servicios, incluso la agroindustria y el agrocomercio como motores potenciales del propio desarrollo agrícola.
- e) Un quinto elemento derivado de los tres anteriores es la incorporación de los vínculos urbano-rurales en la definición del espacio de acción relevante, en lugar de reducirse a espacio agrícola.
- f) La creciente relevancia que se da al componente institucional del desarrollo rural, a partir sobre todo de los aportes de las ciencias sociales en la década de los noventas.

La integración de los conceptos de espacio rural como territorio, de heterogeneidad social de los agentes, de multisectorialidad en el empleo, de articulación intersectorial, de incorporación de los vínculos urbano-rurales y de relevamiento de lo institucional, permite intentar una síntesis que recoja los aportes de distintas experiencias, propuestas y teorías denominada DRT.



### **Definición del DRT**

Es un proceso de transformación paralelo y entrelazado de las dimensiones económica, institucional, social, cultural y ambiental de los territorios rurales, en función de políticas públicas concertadas y del esfuerzo mancomunado entre las diversas organizaciones de la sociedad civil e instancias públicas nacionales y locales.

Permite contribuir a la cohesión social y territorial, tanto nacional como transfronteriza, y al bienestar social y económico de la gente vinculada con los territorios.

De la definición anterior se desprende que el DRT descansa sobre dos pilares estrechamente relacionados, la transformación productiva y el desarrollo institucional, cuyo contenido es necesario precisar:

- a) La transformación productiva tiene el propósito de articular competitiva y sustentablemente a la economía del territorio con mercados dinámicos, lo que supone cambios en los patrones de empleo y producción de un espacio rural determinado.
- b) El desarrollo institucional tiene como objetivo estimular la concertación de los actores locales entre sí y entre ellos y los agentes externos relevantes, así como modificar las reglas formales e informales que reproducen la exclusión de los pobres en los procesos y los beneficios de la transformación productiva.

El medio rural de América Latina y el Caribe muestra, desde esta perspectiva, la conformación de una clara diversidad territorial, que de forma generalizada pueden ser agrupadas en tres categorías (Alfaro 2006):

- a) Espacios rurales **dinámicos**. Son espacios rurales plenamente incorporados a los procesos de desarrollo de la economía, con un aprovechamiento de las oportunidades ofrecidas por la creciente integración de los mercados y con diversos tipos de encadenamientos territoriales, nacionales e internacionales. En algunos casos, estas vinculaciones son un resultado de la orientación predominante de las políticas económicas, las inversiones dirigidas a fortalecer el sector exportador de las economías y la atracción de inversiones en actividades agrícolas y rurales no agrícolas, tales como el turismo, los agronegocios, los servicios o las agroindustrias.
- b) Espacios rurales **estancados**. El potencial de desarrollo no se impulsa enteramente por no contar con los instrumentos (políticas, proyectos, fondos, sistema institucional local) con los cuales es posible inducir su diversificación y reconversión productiva. Por lo general, se encuentran en estos espacios empresas agrícolas, agroindustriales o comerciales con formas tradicionales de funcionamiento o con poca capacidad de impulsar el desarrollo territorial. En ciertos casos establecen vínculos contractuales con productores familiares, quienes abastecen parte de la demanda de estas agrupaciones.
- c) Espacios rurales en **declive**. Corresponden al asiento de grupos de productores familiares dedicados a la producción de alimentos y materias primas destinadas al mercado doméstico, cuyas

actividades productivas tradicionales enfrentan problemas de precios o de incapacidad para competir con los productos agrícolas importados. La ausencia de recursos para dar un uso productivo a los activos, la ausencia de encadenamientos y la pérdida de dinamismo de las escasas empresas agrícolas o agroindustriales establecidas, el debilitamiento de la base de recursos naturales locales, las dificultades para generar empleo e ingresos para la subsistencia de las familias y la ausencia o debilidad de las organizaciones comunales, reducen las posibilidades de desarrollo sustentable.

El desarrollo rural territorial también favorece la colaboración público-privada local y estimula la innovación social. Parte del rescate y valoración de los conocimientos y saberes locales y posibilita un diálogo creativo entre los sistemas de conocimiento, tanto tradicional como moderno. Además, ofrece oportunidades para acceder a tecnologías e información, así como la capacidad para involucrarse activamente en procesos nacionales e internacionales en beneficio del propio territorio.

## **2. Biocombustibles y desarrollo rural: oportunidades y riesgos**

La producción de biocombustibles se sustenta en la biomasa, que depende de la agricultura y silvicultura. Ahora bien, según las condiciones en que se desarrolla su producción, los biocombustibles pueden contribuir a fomentar o frenar el desarrollo rural. En otras palabras, los impactos de la producción de biocombustibles sobre la economía o desarrollo rural pueden resultar positivos en algunos casos y negativos en otros; por lo tanto, pueden traducirse en términos de oportunidades y riesgos.

Las oportunidades están relacionadas con los potenciales beneficios que los biocombustibles brindan a las comunidades rurales en términos de ingresos adicionales o creación de empleos; los riesgos se asocian con los casos de profundización de la pobreza rural, en varios países en desarrollo involucrados en la producción de etanol o biodiésel, además de asuntos sobre seguridad alimentaria (IICA 2010) y los impactos en el ambiente, como los cambios indirectos en el uso de la tierra (iLUC, por sus siglas en inglés, indirect land use change).

Las preocupaciones que despiertan los efectos perjudiciales potenciales de la deforestación y la competencia entre la producción de alimentos y biocombustible han determinado que surja una demanda de

instrumentos de sostenibilidad, tales como normas, criterios e indicadores, cuya aplicación deba ceñirse a una reglamentación obligatoria o a planes voluntarios, por ejemplo a la certificación.

Si se pretende asegurar que los biocombustibles contribuyan al logro de los objetivos de desarrollo del milenio y en particular al primero de ellos –la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza– es esencial que el desarrollo de los biocombustibles no solo evite perjudicar, sino que en lo posible fomente las estrategias en materia de medios de vida de pequeños productores y comunidades de zonas rurales (Dubois 2008).

La creación de un mercado de biocombustibles tiene el potencial de fortalecer la economía agrícola, incrementando el valor de los productos agrícolas que sirven de materias primas para la elaboración de los biocombustibles. La experiencia de varios países que ya están involucrados en la producción de biocombustibles muestra que esta trae beneficios para algunos sectores productivos agrícolas y vulnera a otros (Germain Lefèvre y Ramírez 2010):

- 1) **Oportunidad.** La producción de biocombustibles contribuye a mejorar los ingresos de las comunidades rurales, según se detalla a continuación:
  - a) Ante el aumento en la demanda de determinados productos agrícolas que sirven de materia prima para la fabricación de biocombustibles, la producción de biocombustibles contribuye a incrementar o mantener los precios de estas materias primas agrícolas. Esta tendencia se ha comprobado en varios países industrializados (maíz en EE.UU. y colza en la UE) y países como Brasil, Tailandia, Filipinas, entre otros.
  - b) Al generarse una mayor demanda para determinados productos agrícolas, los programas de biocombustibles pueden incrementar en forma significativa el empleo en las áreas rurales. En EE.UU. la industria de biocombustibles emplea entre 147 mil y 200 mil empleos en la producción de materia prima y construcción de plantas y su funcionamiento. En Brasil, por su parte, la industria del etanol emplea alrededor de medio millón de trabajadores. Se estima que en Colombia se crearán 170 mil empleos en la industria del etanol con la aplicación de la normativa que exige mezcla de etanol.
  - c) En comparación con los monocultivos (caña, soya, maíz), los cultivos oleaginosos como la *Jatropha* y la *Pongamia* son opciones más interesantes para crear más y mejores

empleos. La cosecha suele hacerse en forma manual y la mecanización no resulta ser una ventaja como en los monocultivos. Además, el proceso de conversión del aceite al biodiésel puede realizarse a pequeña escala dado que es sencillo y no requiere de temperaturas y presiones elevadas.

Por otro lado, si la industria de los biocombustibles, actualmente en expansión, crea empleos, difícilmente puede compensar las pérdidas de empleo resultante de la agricultura intensiva. Para los grandes hacendados, la mecanización de la cosecha puede ser una opción más ventajosa que la contratación de mano de obra adicional o el pago de mejores salarios. En este caso, el mayor riesgo asociado a los BC es que estos aceleren el proceso de mecanización de las cosechas, con los mismos efectos sociales atribuidos a los monocultivos tradicionales.

- d) La fabricación de biocombustibles añade valor a la materia prima agrícola. La creación de valor agregado contribuye a mejorar los ingresos de las comunidades rurales cuando los agricultores tienen una participación en las ganancias/beneficios que surgen a lo largo de la cadena de valor; además, las plantas de procesamiento proporcionan empleos más calificados y mejor remunerados que los empleos en la producción de materia prima. El valor de los recursos agrícolas utilizados como materia prima se incrementa con el procesamiento, como por ejemplo, la fermentación. En Brasil, el pago recibido por los trabajadores de las plantas procesadoras de etanol es en promedio 30% más elevado que el de los involucrados en la cosecha de la caña.

También las fábricas que transforman productos agrícolas en biocombustibles generan productos residuos/subproductos, de los cuales pueden beneficiarse cuando estos se utilizan como insumos en la industria. Por ejemplo subproductos de alto contenido proteico que sirven de alimento para el ganado y otros animales de cría, el cascarón de la semilla de la *Jatropha* se usa como fertilizante, otros residuos se usan como fuente de energía o en la industria de farmacéuticos y cosméticos (glicerina). Se vislumbra el surgimiento de futuras “biorrefinerías” que añadirán valor agregado a las materias primas agrícolas.

- e) Los biocombustibles de segunda generación hacen posible el uso de nuevas materias primas agrícolas y otras tradicionalmente subutilizadas o desechadas; conforme los biocombustibles de 2a generación hagan un mayor uso

de residuos agrícolas y forestales (por ser de fácil acceso y de costo reducido), su valor irá creciendo. La creación de mercados para estas materias primas puede generar nuevas oportunidades de ingresos para los agricultores o trabajadores rurales.

Los riesgos asociados a esta primera oportunidad son los siguientes:

Si bien algunos productores se benefician de los precios elevados de sus cultivos, esto puede repercutir negativamente en los costos de producción de la ganadería, porcicultura y avicultura, que utilizan estas materias agrícolas para la alimentación animal. Los problemas de encarecimiento de los costos de producción para algunos sectores y de competencia entre alimentos y biocombustibles pueden ir reduciéndose con el desarrollo de los biocombustibles de 2ª generación. Las nuevas tecnologías de producción asociadas a estos últimos harán posible el uso de una diversidad más amplia de materias primas y la apertura de nuevos mercados para algunas formas de biomasa tradicionalmente subutilizadas (por ejemplo, desechos de silvicultura y agricultura).

**2) Oportunidad:** La producción de biocombustibles a pequeña o mediana escala tiende a proporcionar más beneficios a los pequeños productores que la producción de biocombustibles a gran escala. Las comunidades rurales pueden beneficiarse de los biocombustibles en la medida que los pequeños agricultores logren tener una participación no solo en la producción de materias primas, sino también en la fabricación de los biocombustibles. De allí surge la importancia de diseñar políticas públicas para asegurar que los agricultores se beneficien de dicho proceso.

Por ejemplo, en EE.UU. los agricultores se favorecen entre cinco y diez veces más de la presencia de una fábrica de etanol, cuando tienen una participación accionaria en ella. También existen programas públicos y privados, que permiten a los pequeños agricultores tener una mayor participación en la economía de los biocombustibles y, por lo tanto, obtener más ingresos por sus cultivos cada año:

- Desde finales de los ochentas, el Estado de Minnesota (EE. UU.) ha estado aplicando un programa para favorecer a los pequeños agricultores y cooperativas, con el pago de US\$0,20 el galón de etanol por los primeros 15 millones de galones producidos por una fábrica. Como resultado del programa, 12 de las 14 fábricas creadas funcionan como cooperativas de agricultores y estas actualmente producen el 40% del etanol vendido en los EE.UU.

- Radicada en Colorado, la compañía Blue Sun Biodiesel ha estado promoviendo la participación de los agricultores en la propiedad de las instalaciones de producción de biocombustibles. A los agricultores se les ha garantizado un mercado para sus materias primas y un beneficio adicional por la venta de biodiésel. En cambio, cada agricultor ha invertido \$5000 en la empresa y ha cambiado parte de sus cultivos por la colza. La compañía ha logrado abastecer de biodiésel producido localmente a buses escolares, urbanos y camiones de reparto. Actualmente, se busca replicar el modelo en el estado de Nuevo México.
- En Brasil, cada año los pequeños productores de caña se adueñan de alrededor del 30% de la superficie de caña y negocian con los grandes hacendados (dueños del resto de la superficie y de los ingenios donde se procesan el azúcar y la caña) un acuerdo para compartir los beneficios de la industria cañera.

Los riesgos derivados de esta segunda oportunidad:

La producción de biocombustibles a larga escala está ganando terreno con respecto a la producción de pequeña escala. Se han podido realizar considerables economías con el procesamiento y la distribución de los biocombustibles. En varios países, la producción de biocombustibles a gran escala ya ocupa una posición dominante. También es muy probable que la producción de biocombustibles de 2a. generación (con base en la celulosa) estimule el proceso de concentración de la industria por la necesidad de contar con instalaciones de producción intensiva en capital.

**3) Oportunidad.** Con la fabricación de biocombustibles en las áreas rurales, se crean las condiciones para que las comunidades rurales puedan auto-aprovisionarse de combustible para fines de transporte (de personas o mercancías); los mismos agricultores podrían disminuir sus costos de producción con el uso de etanol o biodiésel en su maquinaria agrícola. La posibilidad del autoabastecimiento en biocombustibles es también una ventaja en lugares alejados o remotos, donde factores como la lejanía o el mal estado de las carreteras encarecen los precios de los combustibles tradicionales. Esta oportunidad obviamente no es válida en caso de producción de materia prima con destino al bioqueroseno.

Asimismo, los biocombustibles pueden ser aprovechados para otros usos además del transporte en las comunidades rurales, por ejemplo, como fuente de energía en la industria y para satisfacer las necesidades de calefacción, cocción de alimentos y alumbrado.

En Mali ya existen experiencias interesantes donde las mujeres obtienen el aceite de la *Jatropha* y lo utilizan como combustible para cocer alimentos; adicionalmente, el proceso de combustión es más limpio que con el diésel, como ha sido reportado por el Mali Folk Center (ver sitio web de la organización en <http://www.malifolkecenter.org/>).

### **3. Caracterización de un modelo de vinculación**

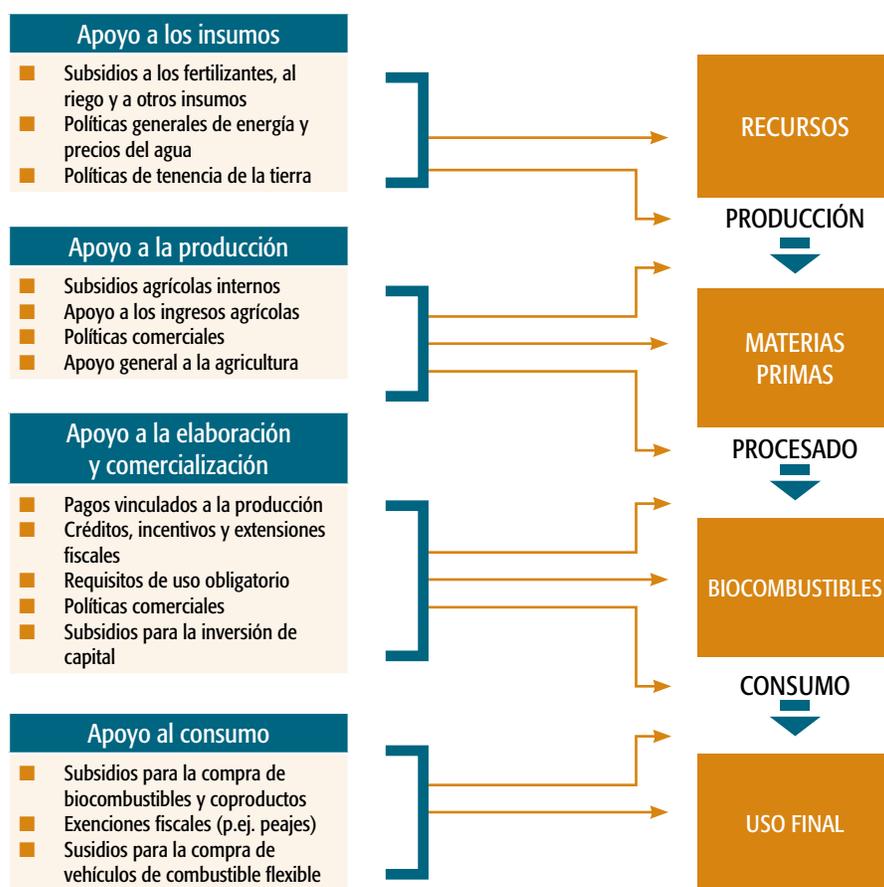
El concepto de cadena hace referencia a una visión integral de un proceso productivo, que permite contemplar adecuadamente su eslabonamiento, es decir la representación de nuevas formas y vínculos que se desarrollan en una economía y que implican la convivencia de un conjunto de actores y de actividades relacionadas entre sí para obtener un producto en un espacio dado (Infante y Tobón 2010). En este concepto y su derivación, el enfoque de cadenas es entonces una herramienta ordenadora que permite representar una realidad económica en su globalidad. El enfoque de cadenas ha sido adoptado como un instrumento plenamente incorporado al diseño de políticas públicas para el desarrollo del sector agropecuario y agroindustrial.

Las cadenas agroindustriales de los biocombustibles, cuyo eslabón final es energético, está en el extremo de las cadenas que se inician con la producción primaria de las materias primas y ofrecen y demandan flujos de servicios, mercaderías y dinero hacia atrás y hacia delante. El gobierno interviene en distintos puntos de estas cadenas, regulando su operación y aplicando estímulos o subsidios que favorecen a algunos de los actores que en ella participan (Figura 5.1).

Como se ha mostrado, el desarrollo de los biocombustibles tiene efectos directos, positivos y negativos. En ciertas condiciones de normatividad y estímulo, los efectos positivos priman sobre los negativos. Por ejemplo, el beneficio de la disminución en la contaminación ambiental resultante del uso de biocombustibles en principio sobrepasa al costo de los estímulos tributarios y de incentivos que concede el gobierno para promover su desarrollo. Sin embargo, si se excede la magnitud o duración, el otorgamiento de tales estímulos puede llevar a que el balance neto social y económico resulte comprometido negativamente. Estos temas han sido objeto de un debate mundial sobre las externalidades que produce la producción, comercialización y consumo de los biocombustibles, y se han centrado en los siguientes aspectos, algunos discutidos en los capítulos anteriores:

- El impacto de los biocombustibles en la seguridad alimentaria.
- El balance neto ecológico y ambiental de los diversos agrocombustibles.
- El balance energético de los biocombustibles (relación entre la energía contenida en el combustible y la energía consumida para fabricarlo) frente al de los combustibles de origen fósil.
- La incidencia del consumo de biocombustibles altamente subsidiados, en el incremento del precio de los combustibles.
- La reducción de la generación masiva de empleo rural permanente, resultante de la mecanización utilizada para disminuir los costos unitarios de producción a lo largo de toda la cadena productiva, particularmente en los primeros eslabones que son de naturaleza agrícola.
- La necesidad de ofrecer participación a los pequeños productores nacionales, tanto de biocombustibles como de sus materias primas y la de atraer a los grandes inversionistas nacionales y extranjeros.

**Figura 5.1. Posibilidades de intervención gubernamental en diferentes puntos de la cadena de suministro de los biocombustibles.**



Fuente: FAO 2008.

- El impacto que puede tener el desarrollo de los biocombustibles en la distribución de la propiedad y tenencia de la tierra, pues se trata de un tipo de inversión que requiere grandes extensiones para aprovechar las economías de escala, requisito para competir exitosamente en los mercados internacionales. Este aspecto también aparece como una externalidad preocupante, porque puede conducir a la concentración de la propiedad de la tierra en manos de unos pocos y grandes inversionistas.
- La incidencia que han tenido los biocombustibles en correlacionar los precios de los combustibles con los precios de los alimentos, que se acentúa conforme los biocombustibles representan un mayor porcentaje en la matriz energética.
- Cuando la naturaleza de las medidas regulatorias son de corte altamente proteccionista, impiden la creación y consolidación del nuevo mercado de los biocombustibles con competencia sana y abierta.

Sepúlveda (2007) describe tres posibles escenarios de adopción, según las posibles implicaciones de la adopción de biocombustibles como motor de crecimiento sobre la cohesión social y territorial, y los acelerados cambios tecnológicos (segunda generación), así como en las estructuras de mercado en este sector en aproximación (“especulación informada”). Se parte de la premisa de que la incorporación de los biocombustibles transformará la dinámica del proceso de desarrollo de los territorios rurales, consecuentemente, sus impactos diferirán a lo largo del tiempo y entre territorios. A continuación se hace referencia a estos tres escenarios:

**(E1): Escenario de corto plazo:  
Biocombustibles más trabajo - más seguridad alimentaria**

En este caso, se parte del supuesto que los bienes producidos por la agricultura son alimentos y biocombustibles. Ambos carecen de características especiales, por lo que es posible aplicar el instrumental de la teoría clásica para explicar la decisión óptima de destinación de los medios de producción y de los posibles efectos sobre los precios relativos, así como la distribución de los factores de producción y su correspondiente pago (renta y salario). En el supuesto de que se den rendimientos de escala constantes y que la producción de biocombustibles se realice en condición próxima de competencia perfecta, esta se ajusta de acuerdo con su oferta y demanda, sin mayor alteración, ya sea sobre los precios relativos a los biocombustibles, como a los alimentos.

## **(E2): Escenario de mediano plazo: Rol fundamental de la tecnología**

Es un segundo nivel del mismo proceso de transformación de la dinámica territorial. Si se asume la posibilidad de rendimientos de escala internos y poca movilidad laboral, el mercado induce a la combinación óptima de producción de alimentos y biocombustibles, tomando como referencia los principios básicos (frontera de posibilidades de producción y los precios relativos de los bienes). Los rendimientos de escala internos para los biocombustibles podrían propiciar la concentración de la producción en pocas empresas y generarían una demanda creciente por la tierra, lo cual es el principal factor productivo para los biocombustibles (véase también los planteamientos del capítulo 3.3). El exceso de demanda se resolvería con un mayor precio, el cual probablemente presionaría los costos de producción y afectaría los precios relativos de los bienes. Podría presentarse una tendencia a la concentración de la tierra en manos de los empresarios más eficientes.

## **(E3): Escenario de largo plazo: Modo de producción determinante de la distribución**

Si se mantiene el supuesto de los rendimientos a escala internos y se asume además movilidad laboral, la principal diferencia con el caso anterior radica en el modo empleado para el aprovechamiento de las economías de escala internas. Al igual que en E2, se generaría un exceso de demanda por tierra, lo cual incrementaría el costo de ambos bienes (tierra y mano de obra).

El sector productivo de biocombustibles generaría condiciones de mayor demanda por el recurso tierra para aprovechar las ventajas de las economías de escala y, por consiguiente, aumentar la producción con el propósito primordial de suplir la demanda energética de materia prima como respuesta al posible escenario de aumento en el precio de los biocombustibles, inducido por la diferencia en el tamaño y la concentración de la tierra.

Este mayor precio hace que la demanda por mano de obra se desplace, lo cual impactará positivamente en los salarios, pero en menor proporción que el aumento en el precio de los biocombustibles, lo que generaría un desplazamiento de trabajadores del sector “alimentos” al sector que produce biocombustibles.

Los impactos positivos de los biocombustibles como actividad dinamizadora del desarrollo se hacen más evidentes en el último escenario. Si a la par de los grandes productores de biocombustibles existen asociaciones, cooperativas, entre otros pequeños grupos productivos, hay mayores posibilidades de encadenamientos que generen más y mejores empleos. Eso podría ayudar a compensar el encarecimiento en el precio de los biocombustibles y de los alimentos.

La participación de los pequeños agricultores en la producción de materias primas para biocombustibles es importante tanto por razones de equidad como de empleo.

La propiedad de segmentos de valor agregado de la cadena de producción también es fundamental para comprender los beneficios del desarrollo rural y los efectos totales del multiplicador económico asociado con la bioenergía.

Cuando los productores de biomasa tienen dinero invertido en estos segmentos de valor agregado (por ejemplo, en las etapas de procesamiento), los beneficios son múltiples.

La propiedad por parte de los agricultores de las instalaciones de procesamiento reduce el riesgo de suministro de materia prima para la planta, ya que los agricultores tienen un interés personal en asegurar un suministro de alta calidad de materia prima a la instalación.

El efecto económico multiplicador en las comunidades rurales se ve fuertemente reforzado cuando los agricultores reciben una participación mayor de las ganancias producto de las actividades de valor agregado (ONU-Energía 2007).

Los beneficios locales se pueden fortalecer si se organiza a los pequeños productores como un grupo para satisfacer el volumen de materia prima y las necesidades de confiabilidad de las instalaciones de conversión. En zonas donde las grandes corporaciones dominan la industria de la bioenergía, las cooperativas agrícolas desempeñan un papel muy útil en vincular estas grandes firmas con los agricultores independientes.

No obstante, cuando la elaboración y la comercialización son cada vez más complejas y centralizadas, la agricultura de plantaciones representa una solución a la necesidad de la integración vertical de la producción con otros procesos.

La necesidad de inversiones en gran escala es otro ejemplo en el que la agricultura de plantaciones puede resultar ventajosa. Si los

inversionistas tienen que construir las infraestructuras de apoyo tales como el riego, las carreteras y muelles de atracamiento, la escala de la operación que se requiera para compensar los costos será incluso mayor.

En consecuencia, es probable que en zonas poco pobladas o de población dispersa, la producción de cultivos para biocombustibles se desarrolle a escala de plantaciones.

Algunos ejemplos de alianzas productivas entre grandes y pequeños productores (Colombia, Brasil, otros países) sugieren que este mecanismo permitiría asegurar una equitativa distribución de los beneficios obtenidos de la producción de aceite y de biocombustibles (Infante y Tobón 2010). A través de estas alianzas se establece una relación de mutua conveniencia entre un promotor o gestor –que en la mayoría de los casos es una empresa integrada a la fase de extracción– con un conjunto de pequeños agricultores que se unen para participar de forma organizada en el proceso productivo y para compartir los riesgos y beneficios.

Es muy probable que la economía de los biocombustibles del futuro se caracterice por una mezcla de tipos de producción, algunos dominados por grandes empresas con un alto coeficiente de capital, algunos marcados por las cooperativas agrícolas que compiten con grandes compañías –posiblemente protegidas por políticas de apoyo– y otros donde los biocombustibles líquidos se produzcan en una escala menor y sean utilizados localmente. Sin embargo, mientras más involucrados estén los agricultores en la producción, procesamiento y uso de los biocombustibles, más probabilidades tienen de participar de sus beneficios (ONU-Energía 2007).

En términos generales, para los tres escenarios, se hace evidente que el alza de los precios de las commodities genera impactos en los precios de los comestibles y, por ende, en el bolsillo de los consumidores, lo que podría transferirse de los consumidores (urbanos) hacia los productores rurales y contribuir a cierto tipo de redistribución de ingresos entre los sectores (Sepúlveda 2007).

En el Cuadro 5.1 se presentan diez criterios de éxito para la vinculación de los territorios rurales con los beneficios derivados de la agregación de valor en la cadena de bioqueroseno:

**Cuadro 5.1. Criterios de éxito para la vinculación de los territorios rurales con los beneficios derivados de la agregación de valor en la cadena de bioqueroseno.**

- 1. Inclusión.** Promoción de un modelo inclusivo de gestión en los territorios rurales dirigido hacia la apropiación social y económica de tecnologías para la generación de energías renovables, la agregación de valor y, sobre todo, el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades rurales.
- 2. Asertividad.** En la identificación de las barreras y el planteamiento de alternativas para mejorar las condiciones de acceso a la energía, particularmente las energías renovables.
- 3. Empoderamiento.** Desarrollo de habilidades y destrezas en el uso eficiente de energías renovables, en un marco de participación conjunta de las comunidades rurales y las autoridades locales.
- 4. Participación coordinada.** Identificación previa de los diferentes actores involucrados en el uso eficiente de energías renovables para garantizar la coincidencia de intereses, desde la comunidad hasta las instancias del Estado, generar sinergia y asegurar la gestión de proyectos energéticos.
- 5. Impacto.** Contribución del acceso a la energía renovable, a las oportunidades de empleo y generación de ingreso para las comunidades rurales y pequeños propietarios de los medios de producción.
- 6. Transparencia.** Cumplimiento de los plazos establecidos y aplicación de la regulación pertinente, alejado del juego político, esto es, ajustado a los criterios establecidos para la viabilidad técnica y financiera del proyecto, y administrado bajo un razonable riesgo de inversión inherente a las energías renovables y a la eficiencia energética.
- 7. Modelo.** La identificación de un adecuado insumo energético renovable (fuente renovable de energía) y de un esquema de conversión energética (proceso de producción), basado en criterios de sustentabilidad y desarrollado para ser replicable.
- 8. Tecnología.** Que sea lo menos dañina posible para el ambiente, en especial en relación con la emisión de GEI, el balance energético y su impacto sobre el cambio climático, pero también sobre la deforestación.
- 9. Gestión del conocimiento.** Desarrollo del conocimiento, innovación técnica y casos concretos para demostrar mejores prácticas para la conversión eficiente de la energía.
- 10. Coherencia.** Integración de los instrumentos de implementación de política pública con los emprendimientos de energías renovables en los territorios rurales, mediante acuerdos o alianzas estratégicas.

Fuente Vega, O. 2011. Criterios de éxito (correo electrónico). San José, Costa Rica. Especialista en Agroenergía y Biocombustibles. Programa de Innovación para la Productividad y Competitividad. IICA, Sede Central.

## **4. Gestión de conocimiento: curva de aprendizaje para la adopción del conocimiento técnico científico aplicado, capital humano y ruta para la gestión del conocimiento**

### **A. Curva de aprendizaje para la adopción del conocimiento técnico científico aplicado y lecciones aprendidas**

Para poder explotar al máximo las oportunidades para el desarrollo rural y evitar de la mejor manera las posibles desventajas, amenazas y riesgos, es indispensable adoptar y aplicar el conocimiento técnico científico y las lecciones aprendidas, tanto en casos de introducción y fomento de la producción de biocombustibles, como también de otros cultivos o sistemas de uso de la tierra.

Los sistemas de biocombustible son sistemas complejos debido a que:

- Intrínsecamente se componen de tres elementos heterogéneos: el suministro de materia prima, la tecnología de conversión y el uso de energía.
- Estos elementos sufren simultáneamente la influencia de factores ambientales, económicos y sociales.
- Pueden tener diversas finalidades, desde el suministro de energía para el país hasta la autonomía energética de la comunidad.
- Su funcionamiento tiene lugar en diferentes escalas, desde los grandes planes descentralizados hasta los planes de aldea (Dubois 2008).

En el desarrollo del biocombustible también influyen fuertemente las tendencias mundiales presentes, tales como la transición a una economía de mercado, la mundialización o globalización, el alza y volatilidad del precio del combustible y las crecientes preocupaciones acerca del cambio climático. Sin embargo, el desarrollo del biocombustible ha de orientarse tanto hacia los medios de vida individuales, como hacia la satisfacción de las necesidades energéticas mundiales y nacionales.

Tal como se ilustra en la Figura 5.1 los enfoques e instrumentos con los que se busca conseguir un desarrollo sustentable del biocombustible se pueden caracterizar con arreglo a su índole obligatoria o voluntaria, así como a su escala de aplicación (Dubois 2008; Van Dam et al. 2006).

**Figura 5.2. Enfoques posibles de la ejecución de las normativas relativas al desarrollo sustentable del biocombustible.**



Fuente: Dubois 2008, adaptado de Van Dam *et al.* 2006.

Para conseguir potenciar un modelo de desarrollo, sostenible será menester apoyar las iniciativas mediante el respeto de la ley. En muchos países el proceso judicial podrá ser lento. Los costos legales a menudo sobrepasan la capacidad financiera de los grupos rurales más débiles como pequeños agricultores y pueblos indígenas, y la ejecución de los derechos de estos sujetos puede verse impedida por los nexos que acercan a inversionistas poderosos a una minoría política selecta

Se reconoce cada vez más que las políticas y estrategias de planificación del uso de la tierra y ordenación de los recursos naturales modernas deben tener en cuenta factores «impredecibles» y «desconocidos»; eso explica la incertidumbre en el uso de la tierra y en la ordenación de los recursos naturales (Dubois 2008). Las políticas y estrategias deberían tener un carácter adaptativo y conformarse a un proceso de aprendizaje. Además, la dinámica de los cambios ambientales y socioeconómicos debería ser objeto de un control continuo. Se debería, asimismo, considerar con un enfoque adecuado la dimensión política del uso de la tierra y la ordenación los recursos naturales, incluidas las relaciones de poder.

La incertidumbre no se produce tan solo por circunstancias ecológicas, sino también por circunstancias socioeconómicas. En zonas rurales, conduce a diferentes formas de vulnerabilidad. El desarrollo sustentable debe, pues, tener como propósito manejar en el espacio y el tiempo los cambios que resultan de las interacciones entre los factores ecológicos, económicos y sociopolíticos.

El fomento de la producción de biocombustibles en general y de bioqueroseno en especial está marcado por grandes intereses nacionales e internacionales. Sin embargo, la sustentabilidad del desarrollo de los biocombustibles no ocurrirá automáticamente y requerirá un análisis cauteloso y profundo de los gobiernos.

Hay varios factores claves que deben analizarse previamente para decidir las políticas, alcances y viabilidad de la implementación de proyectos en cada país para el desarrollo de este sector, partiendo de lecciones aprendidas, comprensiones y conocimientos como los que se muestran en el Cuadro 5.2.

**Cuadro 5.2. Lecciones aprendidas: factores claves por analizar para decidir las políticas públicas con respecto a los biocombustibles / bioqueroseno.**

Lecciones aprendidas	
	<p><b>Seguridad alimentaria:</b> La producción de biocombustibles podría influir en el tema alimentario, debido al aumento del precio de la tierra, a los efectos en los precios (mercado) y en la disponibilidad de otros productos de consumo humano, en el reemplazo de actividades de ganadería y agricultura. También en la inocuidad de alimentos genéticamente modificados y en la situación de cultivos y variedades.</p>
	<p><b>Bienestar social e inclusión socioeconómica y desarrollo rural:</b> Una fuente de energía sustentable no solamente deberá crear una prosperidad adicional en los países importadores de esta, sino también en los países productores. Este beneficio que no solo debe ser para los grandes inversionistas de los proyectos, sino también para las comunidades vecinas. De este modo, la concentración de la propiedad y de los beneficios económicos (lo cual ocurre especialmente en las economías de escala) es uno de los riesgos que deben evitarse mientras se desarrolla este nuevo sector, por ejemplo, a través de la inclusión de pequeños productores en la cadena productiva.</p>
	<p><b>Rentabilidad y competitividad:</b> La racionalidad económica de la producción y exportación de los biocombustibles se relaciona con los precios del petróleo, precios de las materias primas y sustitutos, y el consumo de combustibles fósiles con fuertes subsidios. A esto se suman las necesidades de infraestructura. Adicionalmente, los procesos de certificación a los cuales serán expuestos los biocombustibles tendrán sus costos y es necesario analizar quiénes serán los actores que los asumirán. Es necesario desarrollar instrumentos de financiamiento y de inversión y alcanzar niveles de eficiencia en la producción de biocombustibles a través de avances tecnológicos.</p>

## Lecciones aprendidas



**Gases efecto invernadero (GEI):** La reducción de emisiones de GEI no está comprobada para todos los biocombustibles. Esto dependerá básicamente del uso de la tierra anteriormente de la producción agro-energética, del tipo de cultivo y las tecnologías aplicadas. Así, si los procesos de elaboración de biocombustibles tienen un consumo de petróleo a lo largo de la cadena productiva, pueden resultar en una reducción del 0% o inclusive en un incremento de emisiones. Además, la producción a gran escala puede tener efectos en el aumento de las emisiones de GEI, debido a la degradación de los sumideros de carbono y a la deforestación.



**Biodiversidad, recursos naturales:** La producción no controlada y desmedida de los biocombustibles pudiese tener efectos negativos sobre la diversidad biológica y uso de recursos naturales: fragmentación y la degradación de los hábitats, contaminación y eutrofización del agua y la sobreexplotación de suelos, entre otros. La biodiversidad se podría ver especialmente afectada por la expansión de la frontera agrícola y la erosión. En la producción hay varios factores por tomar en cuenta: el uso controlado del recurso agua, manejo de aguas residuales que contienen carga orgánica y sólidos suspendidos; contaminación del aire en procesos industriales, producción de vinazas y glicerina.



**Políticas públicas y diálogo:** Es necesaria la concertación de políticas e instrumentos para evitar impactos sociales y ambientales: certificación + controles + gestión. De la misma manera, debe promoverse el diálogo entre los actores y fortalecer la implementación de sistemas de monitoreo y estándares para el control ambiental, económico y social.

Fuente: Adaptado de CAC 2009.

## B. Fortalecimiento de capacidades, capital social y capital humano

El fortalecimiento de la cohesión territorial de los países y la inclusión social en los territorios rurales ofrece diversos e importantes beneficios potenciales para las sociedades. Entre ellos, cabe destacar el logro de mayor seguridad y soberanía alimentarias, sustentabilidad, mejoramiento de la gobernabilidad democrática y construcción de ciudadanía plena. Con este fin, urge fortalecer las capacidades creativas e innovadoras de la población rural, las instituciones públicas y las organizaciones de la sociedad civil en los territorios de la región, de manera que se establezcan mecanismos incluyentes de acceso al desarrollo, que conduzcan a la cohesión social y territorial.

Los procesos continuos de fortalecimiento de capacidades, el aprendizaje colectivo y la innovación social son esenciales para el DRT. Por eso, el fortalecimiento de habilidades y destrezas, capacidades y talentos humanos se plantea como una actividad permanente de todas

las estrategias de DRT. Para que los y las habitantes de los territorios puedan generar nuevas oportunidades y beneficiarse efectivamente de las existentes, es fundamental fortalecer las capacidades de las personas, las entidades y las organizaciones para la gestión de sus territorios (CAC, IICA y RUTA. 2010).

El término capital social hace referencia a las normas, instituciones y organizaciones que promueven la confianza y la cooperación entre las personas, en las comunidades y en la sociedad en su conjunto. En aquellas formulaciones del paradigma del capital social que se concentran en sus manifestaciones colectivas, se plantea que las relaciones estables de confianza y cooperación pueden reducir los costos de transacción, producir bienes públicos y facilitar la constitución de actores sociales o incluso de sociedades civiles saludables (Durston 1999).

La educación formal y no formal y la apropiación de nuevos conocimientos, conceptos, habilidades, actitudes y valores son componentes esenciales y factores de éxito en procesos de DRT. Para que la gente de los territorios pueda generar y beneficiarse efectivamente de oportunidades existentes, es fundamental fortalecer sus capacidades, así como las de las entidades y organizaciones para la gestión de sus territorios. También es importante tomar en cuenta los procesos de aprendizaje informal que tienen lugar en diversos espacios socioculturales, donde las prácticas desarrolladas por los sujetos en la cotidianidad contribuyen a dar respuesta efectiva a sus necesidades.

Para la formación de capacidades en DRT, cabe considerar la pertinencia del enfoque crítico-reflexivo, a fin de desarrollar diversas capacidades teórico-prácticas en las personas participantes para incidir en su realidad sociocultural. Los programas de formación de formadores deben contribuir a desarrollar capacidades que integren el saber, el saber hacer y el ser, de manera que puedan tener un desempeño autónomo y crítico. Se debe partir del reconocimiento de que los sujetos que participan en la formación son actores capaces de provocar cambios transformadores de su realidad territorial. En estos procesos formativos, el conocimiento se construye con base en las experiencias de vida y los conocimientos previos, con materiales de apoyo y facilitación educativa. La formación de capacidades promueve el intercambio de saberes y el inter-aprendizaje, fomentando la búsqueda conjunta de soluciones a las problemáticas de interés (CAC, IICA y RUTA. 2010).

El papel de la extensión en el desarrollo rural territorial consiste en el establecimiento de condiciones vinculantes para la cohesión social y la cohesión territorial simultáneamente. Mediante los esfuerzos de los extensionistas por propiciar la cohesión social y territorial, se estarían integrando a los diversos grupos sociales que buscan fortalecer el tejido social por medio de actividades productivas generadoras de empleo y de ingreso en los territorios rurales.

La gestión del conocimiento, por medio de una nueva forma de gestión sustentable de los recursos naturales o de la implementación de una ruta tecnológica de avanzada, no es condición suficiente para procurar el desarrollo sustentable de un territorio rural. Se requiere del ejercicio de las funciones de extensión para llevar a buen término la cooperación técnica o alguna otra modalidad de intervención en los territorios rurales. En el tema de los biocombustibles y otras energías renovables, la extensión puede y debe generar un impacto positivo en las economías y el desarrollo de los territorios rurales, simultáneamente con la mitigación y adaptación al cambio climático, sin comprometer el acceso a los alimentos.

La bioenergía, en particular aquella cuya fuente de aprovisionamiento está constituida por los residuos agrícolas de cosechas y la lignocelulosa, ofrece un rango de alternativas donde se pueden conciliar sistemas productivos o combinar algunos de ellos para el mejoramiento de las condiciones de vida de los territorios rurales, a través del acceso a la energía y la creación de espacios y estilos de vida más saludables.

### **C. Mapa de ruta para la gestión del conocimiento intensivo**

Estimulado por los grandes intereses nacionales e internacionales en el fomento de la producción de biocombustibles en general y de bioqueroseno en especial, en los últimos años se han formado diversas iniciativas de actores interesados (multi-stakeholder initiatives, véase también Capítulo 1.2.2) en los niveles nacional, regional o global. Se trabaja por mejorar y alcanzar la viabilidad integral de las cadenas de valor de los biocombustibles del bioqueroseno, incluyendo las secciones upstream y downstream, respectivamente. El término viabilidad integral, en un sentido más holístico, encierra todos los aspectos sociales y ambientales a lo largo de la cadena de valor, además de los aspectos económicos generalmente asociados con el término viabilidad.

Especialmente para la sección upstream, es necesario construir canales de comunicación efectivos entre investigadores y productores, de manera que los resultados de la I+D se transfieran al campo. La extensión cobra relevancia, pues actualmente, por ejemplo, en el caso de la *Jatropha*, los productores utilizan especies silvestres de baja productividad y rendimientos que no generan una renta significativa en los primeros años del cultivo. Esto también plantea la necesidad de establecer un mecanismo que defina los precios al productor agrícola. La transferencia de I+D permitiría incluso una gestión más sustentable de los residuos de la industrialización de la *Jatropha*. La asociatividad entre productores de pequeña escala, aún de aquellos que emprendan el cultivo de esta planta en procesos de agricultura familiar, puede

convertirse en un elemento que facilite el acceso a recursos financieros y la obtención de certificaciones de sustentabilidad.

Como ejemplo concreto, a continuación se ostenta una iniciativa para promover la innovación en cultivo de *Jatropha* para impulsar la producción de biocombustibles y bioqueroseno. Mediante el mejoramiento genético, la definición de zonas agroclimáticas adecuadas y la aplicación de tecnologías sustentables de cultivo y cosecha, la *Jatropha curcas* podría ser una fuente rentable y eficiente de biocombustibles en ALC, sin que su producción compita con la seguridad alimentaria. Con base en este concepto, especialistas apoyados por el IICA y el PROCITROPICOS delinearán la ruta por la que transitaría esta actividad productiva en la región (Cuadro 5.3).

### **Cuadro 5.3 El papel de los diferentes sectores en la producción de biodiésel y bioqueroseno a partir de *Jatropha curcas*.**

**Workshop Panamericano de Sustentabilidad en las Plantaciones de *Jatropha***  
**Brasilia, 01 diciembre del 2011**  
Mesa redonda:  
El papel de los diferentes sectores en la producción de biodiésel y bioqueroseno a partir de *Jatropha curcas*

**Propósito**  
Contribuir con la identificación de las diferentes tareas que permitirían desplegar el desarrollo y la investigación de la *Jatropha* como materia prima para el segmento de biodiésel (transporte terrestre) y del bioqueroseno para la aviación comercial.

Los Miembros de la mesa redonda<sup>15</sup>, junto con los demás participantes del Workshop<sup>16</sup>, identificaron los principales desafíos para lograr la viabilidad económica y la sustentabilidad socio ambiental del cultivo de piñón manso, a lo largo de los diversos segmentos de la cadena de agregación de valor: en la investigación y la producción de materia prima (*upstream*), en los procesos de transformación y en la industria de conversión de energía (*downstream*). En esta mesa redonda también se consideró el entorno del sector gubernamental y regulador.

#### **Investigación y producción de materia prima**

Se requiere el desarrollo de cultivares comerciales adaptados a las condiciones ambientales de cada región como primera prioridad para enfrentar los problemas de los bajos rendimientos. Tales cultivares se obtendrían como resultado de los esfuerzos realizados en el mejoramiento genético del cultivo, proceso para el cual se necesitarán esfuerzos colectivos de los distintos centros de I+D en la región. Con la carencia de recursos suficientes para I+D, los esfuerzos de investigación deben orientarse a los aspectos que permitirían superar los bajos rendimientos y la baja rentabilidad del cultivo:

- ✓ Mejoramiento genético. La amplia variabilidad genética que posee la Región Mesoamericana constituye uno de los cimientos para un proyecto conjunto que permita la obtención de las variedades mejoradas junto con sus respectivas validaciones de campo en diferentes zonas agroclimáticas. Se debe recurrir a un ciclo completo de I+D para la capitalización de la información generada y la gestión de bancos activos de germoplasma.

15 Moderador: Markus Ascher / IICA – PROCITROPICOS. Relator: Orlando Vega / IICA – Sede Central

16 Iniciativa de la Associação Brasileira dos Produtores de Pinhão-Manso (ABPPM) y de Curcas Brasil, con el apoyo de Embrapa Agroenergía, de Embrapa Cerrados, de la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA, por sus siglas en inglés) y del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

**Workshop Panamericano de Sustentabilidad en las Plantaciones de *Jatropha***  
**Brasilia, 01 diciembre del 2011**

Mesa redonda:

El papel de los diferentes sectores en la producción de biodiésel y bioqueroseno a partir de *Jatropha curcas*

- ✓ Zonificación del cultivo. La consolidación de la cadena de agregación de valor para la *Jatropha* requiere una zonificación agroclimática del cultivo. Se requiere de la certeza y de criterios técnicos para la validación de las zonas de cultivo con óptimo potencial de desarrollo, en cuanto a condiciones favorables de clima, disponibilidad de agua y suelos que no compitan con el cultivo de alimentos.
- ✓ Sistemas de producción. Se requiere la implementación de sencillas prácticas de producción para mantener a niveles aceptables el rendimiento. Es necesario implementar un sistema de manejo agronómico eficiente que incluya un adecuado balance entre el genotipo del cultivo y la influencia del ambiente, para procurar una incidencia favorable sobre la expresión productiva del cultivo y los rendimientos por unidad de insumo. La eficiencia del sistema de producción también tiene alcance sobre el balance energético y de emisiones, de tal forma que se han evidenciado una magnitud positiva y una reducción significativa, respectivamente.

Para lograr adecuados niveles de abastecimiento de materia prima, se visualiza la importancia de la promoción de la asociación y la capacitación a los productores con criterios de sustentabilidad. La escalabilidad de experiencias piloto a la explotación comercial del cultivo debe alcanzarse mediante la gestión de la asociación y organización de los productores. Se debe consolidar un eficiente proceso de transferencia y difusión de tecnologías, realizado mediante un programa de asistencia técnica dirigido a capitalizar el conocimiento generado en I+D.

Se debe construir y consolidar el canal de comunicación entre los investigadores y los productores. Se llama al IICA a integrar los esfuerzos para I+D aprovechando la capacidad demostrada en redes. Para dar respuesta a este desafío, se presentará ante la junta directiva de PROCITROPICOS / IICA la iniciativa de la plataforma de *Jatropha* para la facilitación de las acciones en I+D.

Además, se deberá encontrar un mecanismo adecuado para la definición del precio al productor agrícola. Se debe sustentar el ingreso de los productores de *Jatropha* debido a las condiciones por las cuales el cultivo no genera una significativa renta durante los primeros cuatro años después del establecimiento de las plantaciones.

### **Procesos de transformación**

La *Jatropha curcas* es una de las oleaginosas que podría suplir de aceite para atender la demanda de biodiésel y bioqueroseno. Una vía para el alcance de la viabilidad económica del cultivo debe ser la integración de la cadena de valor, que incluye el eslabón de la producción primaria en conjunción con los destinos finales de uso del aceite de *Jatropha*. La visión original había sido la obtención de biodiésel a partir del aceite de *Jatropha curcas*. Ahora se suma la oportunidad de inversión para la producción de bioqueroseno.

Se requiere consolidar la credibilidad de los diferentes sectores, incluso gobierno y emprendedores. Se requiere una locomotora que promueva las acciones para la consolidación de una cadena de valor apoyada por la demanda de mercado. Las señales claras del gobierno son importantes para el sector empresarial en el proceso de liderar el fomento del cultivo. La I+D aplicada es otro acelerador de este proceso.

### **Entorno**

El sector productivo reconoce la relevancia de inclusión de los órganos oficiales en los aspectos de la extensión rural para el desarrollo del cultivo, con el objetivo de una efectiva transferencia tecnológica y de una oportuna gestión del conocimiento hacia los productores. Asimismo, para recuperar de forma sustentable las áreas plantadas de piñón manso, se requiere de fondos para la investigación y de líneas de financiamiento agrícola. El sector gubernamental podría realizar las anteriores acciones de fomento si se cuenta con una adecuada zonificación del cultivo. Los gobiernos deben procurar el financiamiento cuando se haya madurado la tecnología, a fin de administrar el riesgo que podría representar el fomento del cultivo. A partir de una zonificación agroclimática, se podrá superar una de las barreras para el financiamiento del cultivo.

**Workshop Panamericano de Sustentabilidad en las Plantaciones de *Jatropha***  
**Brasilía, 01 diciembre del 2011**

Mesa redonda:

El papel de los diferentes sectores en la producción de biodiésel y bioqueroseno a partir de *Jatropha curcas*

Los modelos de desarrollo persiguen la inclusión social y la agricultura familiar como una base para el crecimiento del cultivo. El sistema de cultivo de *Jatropha* debe ser posicionado en los lineamientos de políticas y programas que promuevan la producción de pequeños productores. La integración de la agricultura familiar es importante para desarrollar el cultivo como un sistema agroforestal que permita la conservación del recurso suelo y del agua e incluso la mitigación del cambio climático.

Muchas de las normas de sustentabilidad han surgido del sector privado y de ONG. La certificación de los sistemas de producción dependerá de la capacidad de organización del productor, pero debe evitarse la imposición de barreras a la producción y comercialización. Por el contrario, las normas de certificación no deben ser mayores que las que han sido aplicadas a otros cultivos por el Gobierno. La capacidad de los productores de asumir los requerimientos de desempeño podría ser alcanzada con la aplicación prácticas tecnológicas sustentables, por ejemplo, el desarrollo de sistemas de producción que contribuyan con la reducción de emisión de gases de efecto invernadero.

### **Conclusión**

Con base en la discusión generada en esta mesa redonda, se pueden elegir las prioridades para construir una plataforma de apoyo a las actividades para el mejoramiento de la *Jatropha*.

Se desea avanzar con un proceso panamericano de domesticación y de desarrollo de conocimiento de *Jatropha curcas* que permita la construcción del dominio tecnológico en relación con el manejo agronómico y agroindustrial para determinar su viabilidad técnica y económica en las diversas regiones panamericanas. Para ello se perfila una agenda común que permita encauzar los esfuerzos colaborativos en I+D en *Jatropha curcas* en la América, a través de grupos de trabajo que tendrían a cargo la siguiente temática:

Grupos de trabajo asociados a temas de *Jatropha curcas*

Grupos de Trabajo	Temática
GT1	Mejoramiento genético
GT2	Paquete tecnológico / prácticas agrícola
GT3	Sincronización floral
GT4	Postcosecha y coproductos
GT5	Zonificación agroclimática
GT6	Sustentabilidad

Serán priorizadas las siguientes actividades:

- Zonificación agroclimática: estructurar un proyecto de zonificación agroclimática siguiendo parámetros validados o referenciados para indicación de áreas aptas para cultivo de la *Jatropha curcas* y definir el potencial de producción de aceite de *Jatropha* en las diferentes regiones de las Américas.
- Descriptorios morfológicos de *Jatropha* para mejoramiento genético: adoptar los 65 descriptorios morfológicos y agronómicos de tipo cualitativo y cuantitativo de *Jatropha curcas* L. de la plataforma *Jatropha* Colombia.
- Campos de evaluación: preparación de un proyecto panamericano para determinar el grado de similitud y variación genética con las accesiones seleccionadas para implementación en campos de evaluación en distintos países panamericanos, con un marcado y contrastante modelo suelo-clima para medir la interacción genotipo-ambiente, donde se incorporen productores de moléculas para combate a las plagas y enfermedades.

Fuente: IICA - PROCITROPICOS





# Conclusiones: oportunidades y desafíos

## 1. Oportunidades, desafíos tecnológicos e impactos

Más allá de una nueva opción de actividad agrícola, el surgimiento y configuración de las cadenas de valor de agroenergía y biocombustibles constituyen la posibilidad de protagonizar un nuevo paradigma con múltiples oportunidades y desafíos. Para los países de ALC, tanto los actuales productores como los potenciales, el desarrollo de los biocombustibles representa oportunidades en términos económicos, ambientales, sociales y estratégicos (IICA 2010b).

Los sistemas de producción de biocombustibles son de extrema complejidad. En ellos influyen múltiples factores interconectados, como los mercados domésticos y mundiales, el impacto sobre el posible CC, asuntos geopolíticos y decisiones sobre políticas públicas vinculadas al tema.

Además, ante los altos niveles de dinamismo e incertidumbre propios del surgimiento de una nueva actividad, sus conflictos, tensiones y riesgos latentes, se destaca el dilema “alimentos vs energía” y las potenciales externalidades negativas sobre el ambiente y la biodiversidad que podrían ser generadas por una expansión descoordinada del sector a nivel mundial. Con la implementación y el fomento de los programas de producción y uso de biocombustibles de transporte terrestre en muchos países a partir de la mitad de la década del 2000, diversos de los posibles conflictos, tensiones y riesgos latentes se tornaron evidentes en alguna u otra situación. Durante la última década las fortalezas y oportunidades, delimitaciones y amenazas de los biocombustibles han sido discutidas ampliamente.

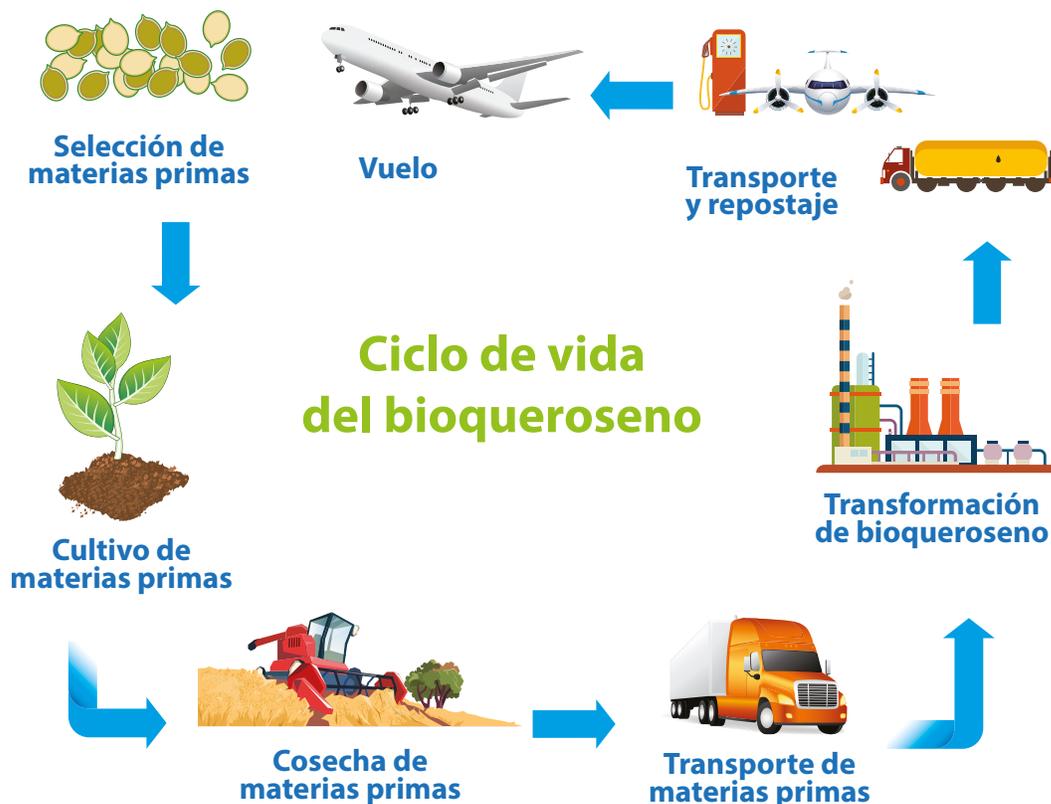
### **a) Importancia del análisis del ciclo de vida**

El sector de aviación civil tiene la gran ventaja de poder aprovecharse de estas discusiones y de la búsqueda de soluciones para evitar algunos de los errores y polémicas. Dado que las aeronaves seguirán siendo el único medio de transporte que dependerá por un tiempo prolongado de combustibles líquidos, la industria de aeronavegación y el área de investigación deberían desarrollar y probar alternativas nuevas. Lo cierto es que las materias primas fósiles son agotables. Para que la solución no desemboque en un nuevo problema, es necesario adoptar un enfoque integrado de todo el ciclo de vida de las alternativas planteadas e incluso de las interrelaciones entre unas alternativas y otras.



El consenso sobre la introducción del ciclo de vida como herramienta principal de evaluación de procesos y sostenibilidad de obtención de biocombustibles de hecho ha sido uno de los avances más importantes en la discusión sobre el empleo de los biocombustibles, tanto en el transporte terrestre como en el aéreo.

**Figura 6.1. Análisis de ciclo de vida, herramienta principal para evaluar la viabilidad.**



Fuente: OBSA 2012.

## b) Criterios para el empleo de combustibles alternativos en la aviación

La seguridad es un aspecto clave del transporte aéreo y que siempre debe estar garantizada, por lo que hay que suponer que los procesos de ensayo y certificación serán largos y complicados. Para que los biocombustibles de aviación representen una alternativa factible y sustentable, deben cumplir los siguientes criterios durante todo el ciclo de vida del combustible:

- **Seguridad**  
Sus características físico químicas deben garantizar que no suponen un riesgo para la aeronave o los pasajeros.
- **Equivalencia tecnológica (compatibilidad)**  
Equivalencia tecnológica (drop-in) al combustible convencional,

de modo que no se requieran modificaciones tecnológicas en las aeronaves o en los sistemas de distribución, sino que sea posible utilizar todos los sistemas actualmente en funcionamiento.

- **Alta densidad energética**  
Se espera que permita a las aeronaves actuales cubrir las distancias para las que fueron diseñadas sin afectar negativamente a la eficiencia energética. Su densidad energética debe ser similar o mejor a la del combustible convencional.
- **Resistencia a temperaturas extremas**  
Debe resistir sin problemas las condiciones extremas a las que lo someten las particulares condiciones de operación de los vuelos de presión y temperatura.
- **Sustentabilidad**
  - Reducción neta de las emisiones de gases efecto invernadero en todo el ciclo de vida: la captura de CO<sub>2</sub> de la fuente del combustible, menos las emisiones requeridas para su procesado y transporte, constituyen su reducción neta del CO<sub>2</sub>.
  - Procedente de materiales producidas conforme a criterios de sostenibilidad: suelo, agua, competencia, justicia social y biodiversidad (véase también Capítulo 3.3).

### **c) Aspectos beneficiosos generados por la implementación de las cadenas de biocombustibles**

Otro consenso mayoritario en la discusión sobre el empleo de los biocombustibles en el sector de transporte se derivado de aquel sobre la aplicación de la herramienta del análisis de ciclo de vida. Este se refiere a la aprehensión de que si los biocombustibles, en principio, presentan una alternativa a los combustibles fósiles, entonces su viabilidad integral –su balance energético, ambiental, económico y social– depende mucho de factores como las materias primas utilizadas, las rutas tecnológicas, la infraestructura de transporte y conversión, cambio directos o indirectos del uso de la tierra y otros. En consecuencia, cada caso debe comprobarse a través del análisis del ciclo de vida.

Entre los aspectos más relevantes generados por la implementación de las cadenas de biocombustibles, incluida la cadena específica del bioqueroseno, de acuerdo con Ganduglia et al. (2009), se pueden enumerar los siguientes puntos:

- Disposición de alternativas al petróleo para paliar las posibles crisis de precios (dado que son fuentes agotables

- y monopolizadas), mayor independencia energética de los países y mayor seguridad en el abastecimiento energético.
- Mejoras ambientales a partir de la reducción de emisiones contaminantes.
  - Generación de inversiones y empleo, directo e indirecto, regional y rural, lo cual crea nuevas posibilidades de inserción para las pequeñas y medianas empresas agropecuarias y la agricultura familiar.
  - Diversificación productiva del sector agropecuario.
  - Agregación de valor a la cadena agroindustrial.
  - Oportunidad para el desarrollo de economías regionales postergadas, a partir del cultivo energético en áreas marginales.

La producción, comercio y uso de los biocombustibles deben asumir dentro de sus objetivos la necesidad de garantizar los beneficios sociales, ambientales y económicos de los actores involucrados. Esto se debe evaluar a partir de las fuerzas que actúan como motivadoras, las cuales son de diferente naturaleza (estratégicas, económicas, ambientales y sociales), actúan y se combinan de diversas maneras para diferentes países, aunque en algunas ocasiones estas fuerzas son contrarias y se pueden anular (CEPAL 2011).

El creciente mercado de los biocombustibles presenta nuevas oportunidades de renta para los agricultores, incluso los pequeños. Sin embargo, la distribución de beneficios en los hogares podría no ser equitativa, ya que existe evidencia de un mayor beneficio masculino en contra de los miembros femeninos del hogar (FAO 2008). Además, los derechos de los trabajadores y las condiciones socioeconómicas en las plantaciones a gran escala de biocombustibles pueden ser precarios, donde las trabajadoras a menudo se encuentran en desventaja.

Experiencias comparadas indican que la producción de algunos biocombustibles, en concreto etanol, es más competitiva si recae en economías de escala relacionadas con producción industrial a gran escala. Esto se debe al elevado costo asociado al procesado. Mientras que el potencial para la generación de empleo, particularmente poco especializado, puede ser significativo, evidencias preliminares indican una rápida reconversión a la mecanización y descenso de la mano de obra utilizada.

Por otra parte, en situaciones de inseguridad con respecto a la propiedad de la tierra, las explotaciones a gran escala pueden llevar a un desplazamiento (de las tierras) de las comunidades vulnerables, particularmente las indígenas. Los impactos sociales del desarrollo de los biocombustibles dependerán del cultivo y del sistema productivo utilizado. Cuando es económicamente viable, los cultivos a pequeña

escala de *Jatropha* y uso a escala local de aceite vegetal crudo pueden revitalizar economías rurales y mejorar la mecanización, irrigación y transporte y descentralizando el suministro energético (OBISA 2009). Adicionalmente, la producción de biocombustibles proporciona subproductos como la glicerina, piensos para el ganado y fertilizantes.

A pesar de que la producción de biocombustibles sigue siendo reducida en el contexto de la demanda total de energía, deben reconocerse las posibilidades de provocar ciertos efectos negativos inesperados en la tierra, el agua y la biodiversidad que resultan especialmente preocupantes. Esto realza la necesidad del desarrollo y perfeccionamiento de instrumentos como el ordenamiento territorial o la zonificación económica-ecológica, así como la implementación de buenas prácticas agrícolas (agricultura de conservación), elementos fundamentales para atenuar las externalidades negativas de la producción de biocombustibles.

#### **d) Competitividad de los sistemas de producción**

Para mantener la competitividad de los sistemas de producción de bioqueroseno, será fundamental que se muestren avances tecnológicos en las vertientes upstream y downstream:

- En la producción de materia prima, que deberá centrarse en productos de alta densidad energética, de fácil producción y transporte, sin conflictos con la producción de alimentos o de otros productos de la agricultura. En este particular, la celulosa y la hemicelulosa son las moléculas orgánicas con más ventajas para producir energía de bajo costo. Los desechos orgánicos y las algas representan excelentes alternativas para el mediano plazo. Estas últimas dependen fuertemente del desarrollo tecnológico para producción masiva.
- En los procesos de transformación, que conduzcan a biocombustibles más eficientes y de más bajo costo, con reducido impacto ambiental adverso, más seguros para inventario, transporte y uso.

De la misma forma, es necesario potencializar la capacidad de gestión del “negocio” de biocombustibles. Existen algunas experiencias exitosas en cuanto a la producción y comercialización de biocombustibles, como el caso de la introducción del etanol en la matriz energética de Brasil. Esta experiencia podría ser objeto de un programa de cooperación para capacitar empresarios y formuladores de políticas públicas de los demás países de ALC.

Una de las limitaciones del bioqueroseno todavía es su alto costo de producción en relación con los combustibles fósiles. Factores como

el precio internacional del petróleo, el costo de transformación del biocombustible y el precio de los usos alternativos de los cultivos, desempeñan un papel importante en la determinación de la rentabilidad, en costos de oportunidad y, por consiguiente, en los incentivos para producir biocombustibles. Estos aspectos deben ser considerados en el diseño de políticas públicas, de tal manera que se generen los incentivos adecuados para la producción de biocombustibles.

El aumento de cultivos energéticos puede provocar cambios importantes en la estructura agraria, como una mayor concentración de producción y tenencia, y en la aparición de nuevos tipos de actores y normas. También se generarían cambios significativos en la estructura económica, principalmente por la creación de economías de escala, y se aumentarían las presiones sobre recursos naturales, ecosistemas y sobre el empleo agrícola.

#### **Cuadro 6.1. Criterios de competitividad y de sustentabilidad del eslabón agrícola en la cadena de valor de bioqueroseno.**

Se requiere de un adecuado nivel de robustecimiento y maduración de la tecnología para la utilización de la biomasa en la conversión a bioqueroseno, que contribuya al alcance de la competitividad de los sistemas agrícolas. También se debe propiciar la sustentabilidad mediante la creación de capacidades humanas y técnicas junto con la adecuada gestión del uso de recursos renovables en los territorios rurales.

La siguiente lista de criterios de competitividad y sustentabilidad contiene algunos aspectos relevantes que podrían tomarse en cuenta para la agregación de valor en el eslabón agrícola de la cadena de bioqueroseno (lista no exhaustiva, únicamente como referencia):

- a. Inclusión social.** Se identifican adecuadamente los segmentos de población beneficiaria, su localización espacial en el territorio rural y el **rango de soluciones tecnológicas para la agregación de valor en el eslabón agrícola.**
- b. Sustentabilidad.** Se realiza un balance de emisiones de GEI y se consideran medidas de conservación de los recursos suelo, agua, bosque y los elementos de la biodiversidad.
- c. Aspectos socioeconómicos:**
  - Las iniciativas agrícolas contienen la particularidad de escalabilidad; esto es que pueden ser extendidas o replicadas en la medida en que crece el mercado y conforme se desarrollan la infraestructura, la capacidad de manejo de recursos humanos y el conocimiento.
  - Las iniciativas propician la agregación de valor y el efecto multiplicador. Es decir, los actores están involucrados en la producción y el procesamiento mediante la participación de sus beneficios.
  - Se contribuye a fortalecer la organización agroempresarial de los pequeños productores para satisfacer el volumen de materia prima y las necesidades de confiabilidad de las instalaciones de conversión energética, o bien, a vincular agricultores independientes a grandes firmas bajo un modelo de alianza e inclusión social.
- d. Complementariedad.** Se identifican las ventajas comparativas en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), como la disponibilidad y acceso a tecnologías de conversión eficientes y ambientalmente amigables, potencial, diversidad y usos alternativos de materia prima con origen en fuentes renovables, valor de los subproductos y mejores prácticas agrícolas.
- e. Gestión.** Se promueve la construcción y desarrollo de capacidades (técnicas, administrativas, negociación e inversión) y se fortalecen la institucionalidad y el mejoramiento continuo para la difusión de lecciones aprendidas y el conocimiento acumulado.

Fuente: Vega, O. 2011. Criterios de éxito (correo electrónico). San José, Costa Rica. Especialista en Agroenergía y Biocombustibles. Programa de Innovación para la Productividad y Competitividad. IICA, Sede Central.

En concreto, el aumento en la demanda por biocombustibles podría generar un aumento de los precios de los cultivos energéticos y no energéticos, y una reducción de los productos derivados de la producción de biocombustibles. La ganadería y la silvicultura no estarían exentas de ser afectadas por los biocombustibles. El efecto en el sector ganadero puede manifestarse a través de cambios en los precios del alimento para animales. Este efecto podría estar alineado con el objetivo de algunos países de fortalecer el ingreso de las zonas rurales.

Es importante que los países diseñen políticas de biocombustibles que promuevan y aseguren su rentabilidad. También deben determinar los beneficios de la producción de biocombustibles, de manera que alcancen a las zonas rurales y garanticen y promuevan el acceso a alimentos de los sectores más desprotegidos.

### **e) Impulsos para el DRT**

Si bien la producción de biocombustibles trae oportunidades de desarrollo rural, esto no se logrará de manera automática; es necesaria la adopción de determinadas políticas públicas para aprovechar o potenciar estas oportunidades. En otras palabras, de no ser atendidas de manera adecuada, las oportunidades se perderán.

La producción de biocombustibles puede fomentar el desarrollo rural con la creación de empleo y la generación de ingresos adicionales, siempre y cuando se definan y viabilicen las modalidades por las cuales los pequeños agricultores pueden participar activamente en esta nueva actividad económica, más allá de ser meramente proveedores de materias primas. Para ello se deberá dar prioridad a los siguientes aspectos: i) Las iniciativas de producción de biocombustibles a pequeña escala con enfoque de negocios inclusivos que benefician a los pequeños agricultores y sus familias; y ii) los proyectos de biocombustibles elaborados a partir del aceite vegetal usado y desechos orgánicos generados por las empresas (Germain Lefèvre y Ramírez 2010).

Adoptando una perspectiva a más largo plazo, en la medida en que la demanda de biocombustibles provoque una constante presión al alza sobre los precios de los productos agrícolas, se deben aprovechar las oportunidades para el desarrollo agrícola y la mitigación de la pobreza. Esto requiere superar algunos de los obstáculos a largo plazo que han dificultado el crecimiento del sector agrícola en muchos países en desarrollo durante demasiado tiempo. La aparición de los biocombustibles como una nueva fuente de demanda de productos agrícolas fortalece el argumento para aumentar las inversiones e incrementar los niveles de asistencia al desarrollo, orientadas al sector agrícola y las áreas rurales.

Hay que prestar una especial atención para garantizar que los agricultores tengan acceso a los insumos necesarios, como por ejemplo, el riego, los fertilizantes y las variedades mejoradas de semillas a través de mecanismos que apoyen el mercado. Las posibilidades de los países en desarrollo para beneficiarse de la demanda de biocombustibles se acelerarían considerablemente mediante la eliminación tanto de las subvenciones a la agricultura y los biocombustibles como de las barreras comerciales, que actualmente benefician a los productores de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en detrimento de los productores de los países en desarrollo (FAO 2008).

Desde la perspectiva social, la promoción de desarrollo y del empleo rural surgen como uno de los objetivos primordiales de los gobiernos de la región para incentivar la producción de biocombustibles y al mismo tiempo mejorar las condiciones de los pequeños agricultores y sus medios de vida. Si bien existe un potencial importante para la materialización de dichos objetivos, también existen riesgos e importantes trade-offs que se deberán considerar y sopesar. En ese sentido, en aquellos países en que la promoción de los biocombustibles persigue el doble objetivo estratégico de desarrollo rural junto a la creación de polos de exportación, un tema clave que surge para los gobiernos es la necesidad de promover la coexistencia de sistemas de producción a gran y pequeña escala. Mientras que los sistemas a gran escala son, por lo general, globalmente competitivos y orientados a la exportación, los sistemas a pequeña escala ofrecen mayores oportunidades para la creación de empleo y reducción de la pobreza (CEPAL 2011).

## **f) Relaciones entre grandes y pequeños productores**

El sector privado debe ampliar su visión acerca del papel que pueden desempeñar los pequeños productores en la producción/fabricación de biocombustibles, y buscar nuevas formas de entendimiento con estos últimos para que ambos sectores saquen provecho de esta actividad económica:

- i. El sector privado y, en particular, la gran empresa deben visualizar a los pequeños productores no solo como proveedores de materias primas, sino también como socios, cuyo potencial les permitirá desempeñar un papel en las diferentes fases de la cadena productiva de los biocombustibles. Por ejemplo, los pequeños agricultores pueden proveer las semillas y participar en la extracción y refinado de aceite, a fin de obtener mayor valor agregado por sus productos. Por lo tanto, habrá que evaluar la escala más eficiente de producción de aceite ya que se necesita cierto volumen de

producción para alcanzar la viabilidad económica y tener un mejor control de la calidad del producto final. La formación de asociaciones o cooperativas será de importancia para unir esfuerzos y desarrollar estas unidades de producción.

- ii. Los pequeños productores deben aprovecharse de los ingresos asociados a los subproductos que se obtienen a lo largo de la cadena productiva del etanol y biodiésel. El aprovechamiento de los subproductos puede ser crucial para asegurar la rentabilidad, por lo que deben buscarse mecanismos de pago a los agricultores por la venta del aceite y por la torta de la semilla u otro subproducto que se genere a partir de la materia prima.
- iii. Para responder a la mayor demanda de materias primas energéticas, el sector privado (ingenios) debe asociarse y trabajar conjuntamente con las cooperativas y los pequeños agricultores en lugar de comprar grandes extensiones de tierra. Un sistema de asociación (partnership) permite evitar el desplazamiento de comunidades y potenciar el desarrollo rural, ya que la gran empresa puede proveer asistencia técnica y financiamiento, lo cual es necesario para que los pequeños productores mejoren su rendimiento y sus ingresos. Recuérdese que la concentración de la tierra y el desplazamiento de comunidades son una de las críticas más acerbadas de las organizaciones sociales hacia los biocombustibles.

Las relaciones contractuales en la cadena de biocombustibles en la mayoría de los casos son bastante informales (Infante y Tobón, FAO 2010). Si bien pueden existir reglas para establecer el pago de la materia prima o de subproductos y para determinar la distribución de los beneficios obtenidos de la extracción, en muchos casos estas relaciones están sometidas a acuerdos verbales y de buena voluntad. En los últimos años, se ha promovido el avance hacia esquemas más formales para organizar los vínculos entre los agricultores y las plantas extractoras. Es necesaria una mayor seguridad en el suministro de la materia prima, pues todavía se observa la ausencia de modelos de contratos que contengan los términos comerciales, técnicos, económicos y jurídicos que regulen ordenadamente dichas relaciones.

### **g) Reducción de las emisiones GEI**

Hay que llevar a cabo medidas eficaces para asegurar que los biocombustibles presten una contribución positiva a las reducciones de emisiones de GEI y así minimicen otras consecuencias ambientales negativas. Es necesario lograr una mejor comprensión de los efectos de los biocombustibles en el cambio de uso de la tierra, que generará

las consecuencias más importantes en las emisiones de GEI, además de otros efectos en el ambiente. Los criterios para una producción sostenible de biocombustibles pueden ayudar a garantizar la sostenibilidad. Sin embargo, es fundamental que estos criterios sean evaluados y aplicados de forma cuidadosa, solo en bienes públicos mundiales, y que se diseñen de tal forma que eviten la creación de barreras comerciales adicionales y no supongan obstáculos indebidos para países en desarrollo que quieran aprovechar las oportunidades ofrecidas por los biocombustibles (FAO 2008).

## **h) Cambios - directos o indirectos - en el uso de la tierra**

La producción de la materia prima para los biocombustibles en muchos casos requiere un cambio directo en el uso de la tierra. Como en ALC existen países con baja, mediana y alta disponibilidad de tierra (Capítulo 3.4), entonces este cambio puede acontecer en áreas anteriormente utilizadas para otros cultivos, áreas degradadas o hasta áreas con vegetación natural (véase también Figura 3.6). Obviamente la recuperación de áreas degradadas o ineptas para la producción de alimentos ofrece la mejor opción para alcanzar la viabilidad integral deseada para la producción de biocombustibles. El uso improductivo de las tierras está asociado a múltiples factores que limitan el aprovechamiento de su potencial. La estructura de propiedad se caracteriza por tener un alto grado de concentración y por generar rentas que no tienen relación con su capacidad productiva, lo cual es causa principal de la deficiente operación del mercado de tierras.

En el futuro, uno de los retos más importantes para las políticas de desarrollo agropecuario es la aplicación de medidas orientadas a lograr una utilización más eficiente de las tierras disponibles. Tales medidas deben responder al doble objetivo de apoyar con incentivos a quienes deciden modificar el uso actual cuando es improductivo o ineficiente y, a la vez, aplicar mecanismos para desestimular el uso actual e inducir su reconversión productiva.

## **i) Políticas públicas**

Las políticas gubernamentales continuarán desempeñando un rol clave en el desarrollo de la industria. No obstante, se debe considerar que estas políticas son costosas y de largo plazo y, por lo tanto, su costo-efectividad debe ser evaluado de cara a los objetivos de política establecidos tras la promoción de los biocombustibles. Los gobiernos deben asegurar que los beneficiarios de dichas políticas son aquellos grupos objetivos que inicialmente se deseaba beneficiar con estas políticas de promoción, como los pequeños agricultores, entre otros. Es conveniente ser cautos

al establecer objetivos de política razonables para los biocombustibles y acompañarlas de instrumentos de promoción coherentes, para lo cual es fundamental el desarrollo y fortalecimiento de las capacidades de implementación. Este es y será un tema crucial para la materialización de los beneficios que las iniciativas de biocombustibles pueden generar (CEPAL 2011).

Existe una problemática general, común en todos los países, para la promoción y establecimiento de programas sostenibles de biocombustibles; sin embargo, se deben reconocer particularidades, que requieren soluciones y planteamientos específicos de cada caso. Existen dificultades que están asociadas con la necesidad de establecer un marco regulatorio que permita: a) claridad para que los inversionistas puedan apostarle al proyecto; b) en algunos casos más que en otros, incentivos fiscales; y c) analizar los trade-off que ocasionaría la posibilidad de establecer esquemas que desincentiven la importación de biocombustibles (salvo en caso de desabastecimiento), a fin de potenciar la madurez de un mercado interno con productores nacionales, entre otros.

En general, las medidas regulatorias adoptadas para apoyar el desarrollo de los biocombustibles son numerosas y tienen influencia directa sobre diversos sectores de la economía. No obstante, la ejecución de este conjunto de medidas ha tenido limitaciones y, en algunos casos, ha carecido de rigor técnico, como por ejemplo, la falta de identificación y coordinación entre los actores del proceso, aun al interior del mismo gobierno o la falta de consistencia en la aplicación de los instrumentos regulatorios con respecto a las reglas del juego planteadas en su creación, por ejemplo, el manejo de los precios internos de los combustibles. Es aconsejable evitar políticas como las prohibiciones a la exportación y los controles de precios directos, que en la práctica pueden empeorar y prolongar la crisis mediante el bloqueo de los incentivos de precios para los agricultores e impedirles aumentar la producción.

## **j) Financiación**

En el camino hacia la consecución de los objetivos asociados con el fomento de la producción de biocombustibles, los principales retos de esta industria vuelven a ser los medios, recursos y fuentes de financiación. Continúa el interés por involucrarse en proyectos de producción de biocombustibles, siempre que se les garantice a los agentes la recuperación de su inversión, por medio de reglas claras que aseguren un clima adecuado para la actividad. Superar las dificultades existentes significa realizar un trabajo conjunto entre gobiernos y representantes de las bases productivas de los países.

## 2. Desarrollo de bioqueroseno - líneas prioritarias de acción

Se plantean las siguientes líneas prioritarias de acción adicionales a los criterios de competitividad y sostenibilidad enunciados en el Cuadro 6.1, para que los gobiernos promuevan la comercialización de biocombustibles sostenibles con éxito:

- Desarrollar, completar o revisar los objetivos de política y marcos políticos adecuados para promover la producción de los biocombustibles en varios países de la región, considerando diversos aspectos clave tales como:
  - El objetivo específico establecido para el desarrollo del sector.
  - La necesidad de fortalecer la coordinación entre los sectores energético, agrícola y ambiental con miras a establecer políticas integradas.
  - La posibilidad de formar capacidades y facilitar herramientas de planificación energética como medio de favorecer el diálogo intersectorial.
  - El esquema de negocios a gran escala o cooperación entre gran y pequeña escala y los incentivos y mecanismos que aseguren un acceso equitativo a la propiedad y al valor a lo largo de la cadena de producción.
  - La especificidad local y horizonte de tiempo.
  - Promover el acceso a las tecnologías de biocombustibles, incluso aquellas más avanzadas.
  - Promover el desarrollo de salvaguardias ambientales, inversión en buenas prácticas y adhesión a estándares de sustentabilidad.
  - Establecer las condiciones para promover el desarrollo de una industria inclusiva de pequeños productores.
  - El acceso a créditos blandos, garantías, instrumentos de mitigación de riesgo y cooperación con organismos financieros internacionales para reducir el riesgo.
  - Evaluar y revisar periódicamente las políticas de promoción de biocombustibles de cara a los beneficios/objetivos que se desean alcanzar, procurando que los grupos beneficiados sean en efecto aquellos originalmente establecidos.

- Promover el desarrollo del sector en torno al concepto de biorrefinerías, lo cual incluya el aprovechamiento de coproductos asociados que mejoren la viabilidad económica.
- Avanzar en la identificación y cuantificación de los co-beneficios ambientales y sociales de los biocombustibles para poder hacer una correcta evaluación del costo-efectividad de las políticas.
- Evaluar la viabilidad económica de fomentar los biocombustibles. Analizar la disponibilidad de materia prima y los costos de producción, y evaluar el potencial para desarrollar mercados domésticos y regionales de biocombustibles, tomando en plena consideración los riesgos y beneficios ambientales y sociales.
- Apoyar la I+D en biocombustibles y bioqueroseno y fomentar la investigación de nuevas materias primas y procesos de refinado.
- Eliminar o reducir el riesgo de inversiones públicas y privadas en biocombustibles para la aviación.
- Consolidar la cadena de valor.
- Atraer a los inversionistas para construir instalaciones de producción de biocombustibles para la aviación.
- Apoyar a la instalación de plantas de demostración, como primer paso del despliegue a gran escala industrial.
- Buscar las sinergias con la producción de biocombustibles para automóviles.
- Ampliar las capacidades instaladas.
- Crear incentivos públicos para la producción y el uso de biocombustibles en la aviación civil. Incentivar a las aerolíneas para que utilicen biocombustible desde las primeras etapas.
- Alentar a los actores a que se comprometan a cumplir criterios internacionales de sostenibilidad y facilitar los acuerdos a nivel mundial sobre los estándares de sostenibilidad por aplicar.
- Aprovechar al máximo las oportunidades locales de desarrollo ecológico.

- Fomentar coaliciones que engloben todos los eslabones de la cadena de suministro. Incentivar y fomentar cooperaciones público-privadas. Facilitar asistencia para el desarrollo de políticas en materia de biocombustibles en los países. Ayudar a eliminar barreras e introducir políticas e instrumentos financieros que contribuyan al desarrollo de mercados internos, promover acceso a los mercados internacionales y mitigar los efectos ambientales adversos.
- Financiar programas de biocombustibles. Otorgar financiamiento para el desarrollo de materias primas, instalaciones de producción de biocombustibles e infraestructura relacionada.
- Financiar la adaptación de tecnologías de biocombustibles nuevas y emergentes. Desarrollar instrumentos financieros para someter a prueba y demostrar la eficacia de las nuevas tecnologías, incluso préstamos para programas experimentales y para la comercialización de nuevas tecnologías e innovaciones. Prestar apoyo a redes y centros de conocimientos.
- Asegurar un ambiente competitivo entre los proveedores de combustible en los aeropuertos. Dejar que el combustible biojet compita en iguales condiciones con el transporte terrestre.
- Desarrollar métodos de contabilidad de biocombustibles fáciles de emplear.
- Armonizar las políticas de energía y transporte en general.





## Bibliografía

- ABRABA (Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação). 2012. Formada a Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação. Disponible en [goo.gl/V4fjNu](http://goo.gl/V4fjNu)
- Abramovay, R; Magalhães, R. 2007. The access of family farmers to biodiesel markets: partnerships between big companies and social movements. São Paulo, Brasil, Universidad de São Paulo. Disponible en [goo.gl/mslVy8](http://goo.gl/mslVy8)
- Agusdinata, DB; Zhao, F; Iileji, K; Delaurentis, D. 2011. Life Cycle Assessment of Potential Biojet Fuel Production in the United States. Environmental Science & Technology 45(21): 9133–9143. DOI: 10.1021/es202148g
- Agrisoma Biosciences Inc., Canada. 2012. First Biojet Test Flight Program to Use New Resonance™ Energy Feedstock Launches in Ottawa. Canada, 18 abr. Disponible en [goo.gl/rajlds](http://goo.gl/rajlds)
- AIREG (Aviation Initiative for Renewable Energy in Germany). 2011. AIREG – Connecting Know-How, Propelling Progress. Disponible en [goo.gl/guLRDm](http://goo.gl/guLRDm)
- Airliners, Alemania. 2011. AIREG: Neue Initiative für Biokraftstoffe. Alemania, 08 jun. Disponible en [goo.gl/vRM6u2](http://goo.gl/vRM6u2)

- Alfaro Mora, J. 2006. Desarrollo territorial rural en América Latina: discurso y realidades. Asociación Española de Economía Agraria (AEEA) / Sociedad Portuguesa de Estudios Rurales (SPER) VI Coloquio Ibérico de Estudios Rurales. Disponible en [goo.gl/qF38hz](http://goo.gl/qF38hz)
- ATAG (Air Transport Action Group). 2011a. Powering the future of flight - The six easy steps to growing a viable aviation biofuels industry. Disponible en [goo.gl/AjNiJK](http://goo.gl/AjNiJK)
- \_\_\_\_\_. 2011b. Compromiso de acción de la industria de la aviación contra el Cambio Climático. Disponible en [goo.gl/yZMzXN](http://goo.gl/yZMzXN)
- \_\_\_\_\_. 2011c. A Multi-Stakeholder Approach In Brazil. Disponible en [goo.gl/hcMwtC](http://goo.gl/hcMwtC)
- \_\_\_\_\_. 2012. Biocombustibles sostenibles. Disponible en [goo.gl/HcugoQ](http://goo.gl/HcugoQ)
- Bailis, RE; Baka, JE. 2010. Greenhouse Gas Emissions and Land Use Change from Jatropha Curcas-Based Jet Fuel in Brazil. Environ. Sci. Technol 44(22):8684–8691. Disponible en [goo.gl/CsTTYK](http://goo.gl/CsTTYK)
- Bailis, R; McCarthy, H. 2011. Carbon impacts of direct land use change in semiarid woodlands converted to biofuel plantations in India and Brazil. GCB BIOENERGY (3)6:449–460. Disponible en [goo.gl/jccMwv](http://goo.gl/jccMwv)
- Bass, S; Hawthorne, W; Hughes, C. 1998. Forests, biodiversity and livelihoods: linking policy and practice. Issues paper for DFID. Londres, Reino Unido.
- Bass, S; Thornber, K; Markopoulos, M; Roberts, S; Grieg-Gran, M. 2001. Certification's impacts on forests, stakeholder and supply chains: instruments for sustainable private sector forestry series. Londres, Reino Unido, Instituto Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo (IIMAD). Disponible en [goo.gl/Q8GQtT](http://goo.gl/Q8GQtT)
- Bhering, L. 2009. Macaúba: Materia prima nativa con potencial para la producción de biodiesel. Disponible en [goo.gl/fnxQPW](http://goo.gl/fnxQPW)
- BID (Banco Inter-Americano de Desarrollo). 2011a. Disponible en [goo.gl/7jms6N](http://goo.gl/7jms6N)
- \_\_\_\_\_. 2011b. Tarjeta de Evaluación de Sostenibilidad de Biocombustibles. Disponible en [goo.gl/3jpYfW](http://goo.gl/3jpYfW)
- CAAFI (Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative). 2012. Disponible en [goo.gl/9xPqzt](http://goo.gl/9xPqzt)
- Caldecott, B; Tooze, S. 2009. Green skies thinking: promoting the development and commercialisation of sustainable bio-jet fuels. Police Exchange Research Note. Disponible en [goo.gl/K25aLp](http://goo.gl/K25aLp)

- CAC (Consejo Agropecuario Centroamericano), IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) y RUTA (Unidad Regional de Asistencia Técnica). 2010. Estrategia Centroamericana de Desarrollo Rural Territorial 2010-2030: ECADERT/- San José, C.R: IICA. Disponible en: [goo.gl/DW7hhR](http://goo.gl/DW7hhR)
- CAC (Comunidad Andina). 2009. Lecciones Aprendidas del Clima Latino. Encuentro Internacional sobre Cambio Climático en América Latina. Secretaría General de la Comunidad Andina, Lima, PE. Disponible en: [goo.gl/77WKg2](http://goo.gl/77WKg2)
- Campuzano, L.F. 2011. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Priorización áreas por clima + suelo, seguridad alimentaria y valor tierra. En: Primer Seminario Internacional Jatropha Colombia y Primer Taller Internacional Asincronía floral – Jatropha. Villavicencio, Colombia. 19 al 21 de octubre de 2011.
- CCE (Camelina Company España). 2012. Cultivo de Camelina. Disponible en [goo.gl/Cxr3Tx](http://goo.gl/Cxr3Tx)
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2011. Foro Regional de Biocombustibles 2011, San Salvador – Conclusiones Recomendaciones y Propuestas. Disponible en [goo.gl/raVSPb](http://goo.gl/raVSPb)
- Chevron. 2006. Alternative Jet Fuels: A supplement to Chevron's Aviation Fuels Technical Review. Disponible en [goo.gl/KdHDgU](http://goo.gl/KdHDgU)
- China Daily. 2011. China conducts its first jet biofuel trial. Disponible en [goo.gl/7xP2TU](http://goo.gl/7xP2TU)
- CNN Expansión. 2011. Bioturbosina: Proyecto a largo plazo. Disponible en [goo.gl/RReYZj](http://goo.gl/RReYZj)
- CE (Comisión Europea). 2005. {SEC(2005) 1184}. Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Reducción del impacto de la aviación sobre el cambio climático. COM(2005) 459 final:15. Bruselas, 27 sept. Disponible en [goo.gl/ZydVgr](http://goo.gl/ZydVgr)
- \_\_\_\_\_. 2008. Diario oficial de la UE, 13.01.2009; Directiva 2008/101/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008. Disponible en [goo.gl/Ny6Xov](http://goo.gl/Ny6Xov)
- \_\_\_\_\_. 2011. Questions & Answers on historic aviation emissions and the inclusion of aviation in the EU's Emission Trading System (EU ETS. MEMO/11/139. Brussels, 7 March 2011. Disponible en [goo.gl/uluAG5](http://goo.gl/uluAG5)
- \_\_\_\_\_. 2011b. Luz verde para los primeros regímenes de sostenibilidad de los biocarburantes en la UE. Nota de prensa de la Comisión Europea IP/11/901. Disponible en [goo.gl/hkunVd](http://goo.gl/hkunVd)

- \_\_\_\_\_. 2012a. European Advanced Biofuels Flight Path Initiative. Disponible en [goo.gl/fjM4R](http://goo.gl/fjM4R)
- \_\_\_\_\_. 2012b. Launch of the European Advanced Biofuels Flightpath. Disponible en [goo.gl/Yno6Fm](http://goo.gl/Yno6Fm)
- \_\_\_\_\_. 2012c. 2 million tons per year: A performing biofuels supply chain for EU aviation. Technical Paper. Disponible en [goo.gl/pGMXtk](http://goo.gl/pGMXtk)
- Corporan, E; Edwards, T; Shafer, L; Dewitt, M.J; Klingshirn, C; Zabarnick, S; West, Z; Striebich, R; Graham, J; Jim, K. 2011. Chemical, Thermal Stability, Seal Swell, and Emissions Studies of Alternative Jet Fuels Energy Fuels, 2011, 25(3): 955–966. American Chemical Society. Disponible en [goo.gl/LfqVPT](http://goo.gl/LfqVPT)
- Daggett, D., Hadaller, O., Hendricks, R., Walther, R. 2006. Alternative fuels and their potential impact on aviation. NASA/TM—2006-214365, ICAS–2006–5.8.2. Disponible en [goo.gl/xabREY](http://goo.gl/xabREY)
- De Guzmán, Doris. 2010. Chinese bio-jet fuel coming soon: En: ICIS Green Chemicals Monitoring the development of green within the chemical industry. June 7, 2010. Disponible en: [goo.gl/utVtji](http://goo.gl/utVtji)
- De La Rubia Gassol, MR (2010). Producción y propiedades de bioqueroseno a partir de Aceite de Coco. UCLM. Tesis Máster. Ciudad Real, España, Universidad de Castilla – La Mancha. Disponible en [goo.gl/CCs2Cw](http://goo.gl/CCs2Cw)
- Demirbas, A. 2006. Oily products from mosses and algae via pyrolysis. Energy Sources Part a Recovery Utilization and Environmental Effects 28(10):933–40.
- Dubois, O. 2008. Cómo asegurar que el desarrollo del biocombustible beneficie a los pequeños agricultores y a las comunidades. FAO Unasylva, vol. 59-230. Disponible en [goo.gl/BKWuFH](http://goo.gl/BKWuFH)
- Dubois, O; Lowore, J. 2000. The journey towards collaborative forest management in Africa: lessons learned and some navigational aids: an overview. Londres, Reino Unido, IIMAD.
- Durston, John. 1999. Construyendo capital social comunitario. Revista CEPAL N° 69. Páginas: 103-118. Disponible en: [goo.gl/xnFXtF](http://goo.gl/xnFXtF)
- EBTP (European Biofuels Technology Platform). 2012. Biofuels for Air Travel. Disponible en [goo.gl/iT1M8q](http://goo.gl/iT1M8q)
- EMBRAER, Brasil. 2011. Boeing, Embraer e Fapesp assinam acordo para desenvolver Programa de Biocombustíveis no Brasil. Disponible en [goo.gl/f21psH](http://goo.gl/f21psH)
- Encuentro de Ministros de Agricultura de las Américas. 2011. Sembrando innovación para cosechar prosperidad. Declaración de Ministros de Agricultura, San José. Disponible en [goo.gl/wVF4BS](http://goo.gl/wVF4BS)

- \_\_\_\_\_. 2012. La demanda de biocombustible en aviación alcanzará los 100MT en el 2030.  
Lydia Capitán Zamora. Disponible en [goo.gl/C26rvU](http://goo.gl/C26rvU)
- EE.UU. 2007. Energy independence and security act of 2007. Disponible en [goo.gl/tAydJh](http://goo.gl/tAydJh)
- EQ2 (Empresa Consultora). 2010. Sustainable Flying: Biofuels as an Economic and Environmental Salve for the Airline Industry. Disponible en [goo.gl/7i5WWB](http://goo.gl/7i5WWB)
- FACT Foundation. 2010. THE JATROPHA HANDBOOK. From Cultivation to Application. de Jongh, J. (editor). The Netherlands. Disponible en: [goo.gl/PY9ZEB](http://goo.gl/PY9ZEB)
- Falasca, S;Ulberich, A. 2010. La mostaza etíope (Brassica carinata) como cultivo energético en Argentina: para producir biodiesel o cultivo para biomasa. Disponible en [goo.gl/S8xUYg](http://goo.gl/S8xUYg)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2003. World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective, editado por J. Bruinsma. Roma, FAO y Londres, Earthscan.Disponible en: [goo.gl/eEitDp](http://goo.gl/eEitDp)
- \_\_\_\_\_. 2008. El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación - Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Disponible en [goo.gl/fjNhmy](http://goo.gl/fjNhmy)
- Fernández Rey, Javier. Sf. Energía de la biomasa: tipos de biomasa y su aprovechamiento energético Centro de Inmunología Molecular. Ciudad Habana, Cuba: Disponible en: [goo.gl/YSa5f5](http://goo.gl/YSa5f5)
- Ganduglia, F. 2008. Capítulo IV - Diagnóstico y estrategias para el desarrollo de los biocombustibles en la Argentina. In. Regúnaga, M; Baez, G; Ganduglia, F; Massot, Jm. Diagnóstico y estrategias para mejorar la competitividad de la agricultura Argentina. 2008. Disponible en [goo.gl/PeKGHw](http://goo.gl/PeKGHw)
- Ganduglia, F; León, JG; Gasparini, R; Rodríguez, ME; Huarte, GJ; Estrada, J; Filgueiras, E (2009). Manual de biocombustibles. UY, ARPEL, IICA. Disponible en: [goo.gl/qsHBBL](http://goo.gl/qsHBBL)
- Gazzoni, Decio Luiz. 2009. Biocombustibles y alimentos en ALC / Decio Luiz Gazzoni – San José, CR. IICA. 118 p. Disponible en [goo.gl/9Frk5R](http://goo.gl/9Frk5R)
- Germain Lefèvre, A; Ramírez, MH. 2010. Primera aproximación a las oportunidades y amenazas de los biocombustibles en Centroamérica –El Salvador, Nicaragua, Honduras, Guatemala y Costa Rica- (San Salvador: FUNDE). Disponible en [goo.gl/FSMmwA](http://goo.gl/FSMmwA)

- Global Exchange for Social Investment (GEXSI). 2008. Global Market Study on Jatropha. Final Report. Prepared for the World Wide Fund for Nature (WWF), 2008. Disponible en: [goo.gl/gC4Svk](http://goo.gl/gC4Svk)
- Gobierno de España, Ministerio de Fomento Ministerio de Medio Ambiente y Rural y Marino. 2011. Diversificación energética frente al queroseno tradicional, note de prensa. Disponible en [goo.gl/nZfXUn](http://goo.gl/nZfXUn)
- González, M. 2010. Proceso Fischer-Tropsch; en química en la guía 2000. Disponible en [goo.gl/F8frAa](http://goo.gl/F8frAa)
- Goyal, Hb; Seal, D. Saxena, RC. 2008. Biofuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12:504–517.
- Grasshof, PM. 2011. A Biotechnology-Genetics-Genomics Science Platform for *Pongamia pinnata*. University of Queensland. Disponible en [goo.gl/PHSVhJ](http://goo.gl/PHSVhJ)
- Greenair. 2012. ICAO launches Rio+20 sustainability initiative and joins with aviation industry in series of alternative fuel flights to Rio. Disponible en [goo.gl/ncZZWD](http://goo.gl/ncZZWD)
- \_\_\_\_\_. 2012b. Honeywell enters Canadian flight programme to test a new biofeedstock and higher blends of its green jet fuel 04.05.2012. Disponible en [goo.gl/2GB41d](http://goo.gl/2GB41d)
- Hazell, P; Wood, S. 2008. Drivers of change in global agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363(1491):495–515.
- Huber, GW; Iborra, S; Corma, A. 2008. Synthesis of Transportation Fuels from Biomass: Chemistry, Catalysts, and Engineering. *Chemical Reviews*, 106:4044-4098.
- IATA (International Air Transport Association) 2011a. Working Together On Fuel - Biofuels Are an Industry Priority. IATA Press Release. no. 56. Disponible en [goo.gl/kArQ7A](http://goo.gl/kArQ7A) Versión española: Trabajando juntos en materia de combustible - Los biocombustibles son una prioridad para la industria aeronáutica; [goo.gl/ComnUa](http://goo.gl/ComnUa)
- \_\_\_\_\_. 2011b. Report on Alternative fuels. Effective December 2011. Edition 6th. Montreal — Geneva. [goo.gl/Aq6vvn](http://goo.gl/Aq6vvn)
- \_\_\_\_\_. 2012. IATA Fact Sheet: Alternative Fuels. Disponible en [goo.gl/hQ8GFz](http://goo.gl/hQ8GFz)
- ICAO (International Civil Aviation Organization). 2007. Environmental report.
- \_\_\_\_\_. 2010a. 37th Session of the ICAO Assembly. Disponible en [goo.gl/zUP8Qb](http://goo.gl/zUP8Qb)

- \_\_\_\_\_. 2010b. Environmental report – Aviation and Climate Change. Disponible en [goo.gl/Fn8Wcu](http://goo.gl/Fn8Wcu)
- \_\_\_\_\_. 2011a. Guidance Material for the Development of States' Action Plans. Disponible en [goo.gl/pzZyKn](http://goo.gl/pzZyKn)
- \_\_\_\_\_. 2011b. International Aviation and Climate Change - States' Action Plans. Jane Hupe, ICAO, Side Event (7 June 2011, Bonn, Germany). Disponible en [goo.gl/4k223Z](http://goo.gl/4k223Z)
- \_\_\_\_\_. 2012a. Action Plan on Emissions Reduction. Disponible en [goo.gl/uVnTt9](http://goo.gl/uVnTt9)
- \_\_\_\_\_. 2012b. Market-Based Measures. Disponible en [goo.gl/oMsW3F](http://goo.gl/oMsW3F)
- \_\_\_\_\_. 2012c. Global Aviation and Our Sustainable Future – ICAO Briefing for RIO+20. Disponible en [goo.gl/GGRBKt](http://goo.gl/GGRBKt)
- \_\_\_\_\_. 2012d. Launch of ICAO Aviation Day at Rio+20, 19 June 2011. Disponible en [goo.gl/fD3bRC](http://goo.gl/fD3bRC)
- \_\_\_\_\_. 2012e. Flightpath to a Sustainable Future, ICAO's Rio+20 Global Initiative. Disponible en [goo.gl/jKdiir](http://goo.gl/jKdiir)
- IEA (International Energy Agency). 2004. Biofuels for Transport: An International Perspective, OECD, Paris. Disponible en: [goo.gl/JQ3Cci](http://goo.gl/JQ3Cci)
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2010a. Plan de mediano plazo 2010-2014: por una agricultura competitiva y sustentable para las Américas / IICA – San José, CR. IICA, 2010. Disponible en [goo.gl/jzzqPW](http://goo.gl/jzzqPW)
- \_\_\_\_\_. 2010b. América Latina y el Caribe. Mapeo político-institucional y análisis de la competencia entre producción de alimentos y bioenergía (en línea) – San José, CR. Disponible en [goo.gl/8Y2miY](http://goo.gl/8Y2miY)
- Infante, A; Tobon, S. 2010. Bioenergía para el Desarrollo Sostenible - Políticas Públicas sobre Biocombustibles y su relación con la seguridad alimentaria en CO. FAO.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1999. J.E.Penner, D.H.Lister, D.J.Griggs, D.J.Dokken, M.McFarland (eds.) Aviation and the Global Atmosphere. IPCC, Geneva. Disponible en [goo.gl/Yu8RXG](http://goo.gl/Yu8RXG)
- \_\_\_\_\_. 2001a. Special Reports on Climate Change, Chapter 8. Air Transport Operations and Relation to Emissions. Disponible en [goo.gl/djBYfE](http://goo.gl/djBYfE)
- \_\_\_\_\_. 2011b. IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and Nueva York, NY, EE.UU, p. 1075. Disponible en [goo.gl/nGctmk](http://goo.gl/nGctmk)

- Jatro BioJet Fuel. s.f. CJO Price Corridor. Disponible en [goo.gl/VEKMUK](http://goo.gl/VEKMUK)
- Jongschaap, R.E.E., Corré, W.J., Bindraban, P.S. & Brandenburg, W.A. 2007. Claims and Facts on *Jatropha curcas* L. Plant Research International. Wageningen UR. Report 158. Wageningen, The Netherlands. Disponible en: [goo.gl/fCcD74](http://goo.gl/fCcD74)
- Kaltschmitt, M. 2012. Bioenergíe - Interview mit Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt. Disponible en [goo.gl/KYmoYD](http://goo.gl/KYmoYD)
- Kinder, JD. & Rahmes, T. 2009. Evaluation of Bio-Derived Synthetic Paraffinic Kerosenes (Bio-SPK). The Boeing Company Sustainable Biofuels Research & Technology Program. Disponible en: [goo.gl/yzt7TZ](http://goo.gl/yzt7TZ)
- Lane, J. 2012. Tinker, tailor, sailor, fly: aviation biofuels advance, attract opponents over costs. Biofuels Digest, 18 abr. Disponible en [goo.gl/wNrSw7](http://goo.gl/wNrSw7)
- Lobo, P; Hagen, DE; Whitefield, PD. 2011. Comparison of PM Emissions from a Commercial Jet Engine Burning Conventional, Biomass, and Fischer-Tropsch Fuels. Environ. Sci. Technol. 45 (24), pp 10744-10749 American Chemical Society.
- López Báez, W; García, Á; María Cristina. 2011. Estado de Chiapas. Distritos de desarrollo rural sustentable: IV Frailesca, IX Istmo-Costa, VI Selva-Palenque. En: IICA, INCA, Red para la Gestión Territorial del Desarrollo Rural. Seguimiento a la Estrategia de Desarrollo Territorial y Estudios Específicos / INIFAP, UNACH, MX. Disponible en [goo.gl/J2xT8K](http://goo.gl/J2xT8K)
- Machado, Christina. 2010. Situación de los Biocombustibles de 2da y 3era generación en ALC. OLADE e IICA. Disponible en: [goo.gl/7c9XrH](http://goo.gl/7c9XrH)
- MASBI (Midwest Aviation Sustainable Biofuels Initiative). 2012. Aviation and Clean Technology Leaders Launch Midwest Aviation Sustainable Biofuels Initiatives. Disponible en [goo.gl/dknWer](http://goo.gl/dknWer)
- Masdar Institute, 2010. Boeing, Honeywell's UOP, Masdar Institute and Industry Team Launch Study of Jet Fuel Made from Saltwater Plants. Disponible en [goo.gl/ro9L3p](http://goo.gl/ro9L3p)
- The Masdar Institute, Boeing, Etihad Airways and Honeywell to establish the UAE's First Sustainable Bioenergy Research Project. Disponible en [goo.gl/sVuaj8](http://goo.gl/sVuaj8)
- Mcvay, KA; Lamb, PF. 2008. Camelina Production in Montana. Montana State University. Disponible en [goo.gl/cKbbkD](http://goo.gl/cKbbkD)
- Meeting of G20 Agriculture Ministers. 2011. Action plan on food price volatility and agriculture (submitted to Leaders at G20 Summit in November 2011). Ministerial Declaration. Paris, France. June 22 and 23. Disponible en [goo.gl/uF62Qw](http://goo.gl/uF62Qw)

- MFC (Mali Folk Center). Disponible en [goo.gl/ESyKAV](http://goo.gl/ESyKAV)
- MIT (Massachusetts Institute of Technology). 2010. Biofuels from Saltwater Crops A research project will make jet fuel without wasting fresh water or farmland. MIT Technology Review. Disponible en [goo.gl/rJKACH](http://goo.gl/rJKACH)
- OBSA (Observatorio de la Sostenibilidad en la Aviación). 2009. Combustibles alternativos para aviación –en detalle. OBSA. Disponible en [goo.gl/T2Znnu](http://goo.gl/T2Znnu)
- \_\_\_\_\_. 2010. En detalle... Combustibles alternativos – criterios. Disponible en [goo.gl/7KgDD7](http://goo.gl/7KgDD7)
- ONU (Organización de las Naciones Unidas)-Energía. 2007. Bioenergía sostenible: un marco para la toma de decisiones. Disponible en [goo.gl/pMN2qg](http://goo.gl/pMN2qg)
- PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2012. Global Trends in Renewable Energy Investment 2012. Elaborado pelo Frankfurt School of Finance and Management gGmbH, UNEP Collaborating Center for Climate & Sustainable Energy Finance, basado en datos Bloomberg New Energy Finance. Disponible en [goo.gl/v6Psf](http://goo.gl/v6Psf)
- Programa Cooperativo de Investigación, Desarrollo e Innovación Agrícola para los Trópicos (PROCITROPICOS). 2011. Mesa redonda: El papel de los diferentes sectores en la promoción y el fomento de la producción de biodiesel / bioqueroseno a partir de jatropha curcas. 01 de diciembre de 2011. EMBRAPA Cerrados, Brasilia, Brasil. Disponible en: [goo.gl/FvwVWr](http://goo.gl/FvwVWr)
- Putnam, DH; Budin JT; Field, LA; Breene WM. 1993. Camelina: A promising low-input oilseed. p. 314-322. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.), New crops. Wiley, Nueva York. Disponible en [goo.gl/cgu7P8](http://goo.gl/cgu7P8)
- Queensland Sustainable Jet Fuel Initiative. 2011. Disponible en [goo.gl/BQwFSh](http://goo.gl/BQwFSh)
- Reap, J; Roman, F; Duncan, S; Bras, B. 2008: A survey of unresolved problems in LCA (2008). International Journal of Life Cycle Assessment. 13:374-388, Springer Verlag. [goo.gl/tX7eS7](http://goo.gl/tX7eS7) [goo.gl/j7JZQd](http://goo.gl/j7JZQd)
- REDES. 2012. Amigos de la Tierra Uruguay: El financiamiento climático en ALC -Informe Preliminar. Disponible en [goo.gl/tRzgea](http://goo.gl/tRzgea)
- Reporter Brasil. 2009. El Brasil de los agrocombustibles - Impactos de los cultivos sobre la tierra, el medio ambiente y la sociedad: Palmáceas, Algodón, Maíz y Jatropha. Disponible en [goo.gl/1BmmgB](http://goo.gl/1BmmgB)

- Rey, JF. s.f. Energía de la biomasa: tipos de biomasa y su aprovechamiento energético Centro de Inmunología Molecular, Habana, Cuba. Disponible en [goo.gl/wNTGUD](http://goo.gl/wNTGUD)
- Ríos Galván, A. 2010. Desarrollo para los biocombustibles para aviación en México. Bioturbosina. Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Gobierno Federal de MX. En: V Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles. Disponible en [goo.gl/SqMYx9](http://goo.gl/SqMYx9)
- Rodríguez de la Rubia Gassol, M. 2010. Producción y propiedades de bioqueroseno a partir de aceite de coco. Proyecto de fin de máster N° 10/03, Universidad de Castilla-la Mancha.
- RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials), (Mesa Redonda sobre Biomateriales Sostenibles). 2009a. Doce principios y criterios forman el núcleo de la Norma RSB. Disponible en [goo.gl/3hmNKD](http://goo.gl/3hmNKD)
- \_\_\_\_\_. 2009b. Principios y criterios RSB para la producción sostenible de biocombustible. Disponible en [goo.gl/X3tH25](http://goo.gl/X3tH25)
- Sánchez, LA; Martínez, JA. 2012. Hidrocarburos a partir de la biomasa: hidrobiodiésel y bioqueroseno. Ingeniería química no. 504: 58-67. Disponible en [goo.gl/qdqRM6](http://goo.gl/qdqRM6)
- Santos Ribeiro de Jesús, J. 2008. Biodiesel de babaçu: avaliação térmica, oxidativa e misturas binárias. Tese de Doutorado Universidade Federal da Paraíba. Disponible en [goo.gl/rfuhPj](http://goo.gl/rfuhPj)
- Saynor, B; Bauen, A; Leach, M. 2003. The Potential for Renewable Energy Sources in Aviation; Imperial College London. Disponible en [goo.gl/5mKaxi](http://goo.gl/5mKaxi)
- Schejtman, A; Berdeguér, J. 2003. Desarrollo territorial rural. Washington, DC. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, BID, Departamento de Desarrollo Sustentable: 54. Disponible en [goo.gl/CwMJzD](http://goo.gl/CwMJzD)
- Schippl, J; Dieckhoff, C; Fleischer, T. 2007. Alternative Technology Options for Road and Air Transport. Bruselas: Parlamento Europeo 2007 (IP/A/STOA/SC/2005-179). Disponible en [goo.gl/BXgcgq](http://goo.gl/BXgcgq)
- Sepúlveda, S. 2007. Potencial de la agricultura y los territorios rurales para producir bioenergía. Serie Cuaderno Técnico de Desarrollo Rural. no. 37. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, CR. Disponible en [goo.gl/6VMxx5](http://goo.gl/6VMxx5)
- SIAMAZONIA (Sistema de Información de la Diversidad Biológica y Ambiental de la Amazonia Peruana). s.f. Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonia. Disponible en [goo.gl/Pd7dZL](http://goo.gl/Pd7dZL)

- Shonnard, DR; Williams, L; Kalnes, TN. 2010. Camelina-derived jet fuel and diesel: Sustainable advanced biofuels. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 29(3):382–392. Disponible en [goo.gl/7V7U3S](http://goo.gl/7V7U3S)
- Stratton, RW; Wolfe, PJ; Hileman, JI. 2011. Impact of Aviation Non-CO2 Combustion Effects on the Environmental Feasibility of Alternative Jet Fuels. *Environ. Sci. Technol.* 45(24):10736-10743, American Chemical Society.
- Sustainable Oil, 2009. Life Cycle Analysis of Camelina-based Renewable Jet Fuel shows 84% CO2 Emissions Reduction compared to Petroleum Fuel. 27.04.2009. Disponible en [goo.gl/MzRDnb](http://goo.gl/MzRDnb)
- The 5th Aviation & Environment Summit 2010. 2010. Disponible en [goo.gl/nolTB2](http://goo.gl/nolTB2)
- T News. 2011. Air France realiza hoy el vuelo más económico en Co2. Disponible en [goo.gl/PJrkbb](http://goo.gl/PJrkbb)
- Tribunal de Justicia de la Unión Europea. 2011. La aplicación del régimen de comercio de derechos de emisión a la aviación no viola los principios del Derecho consuetudinario internacional controvertido ni infringe el Acuerdo de Cielos Abiertos. Comunicado de Prensa N° 139/11. Luxemburgo, 21 de diciembre de 2011. Sentencia en el asunto C-366/10. Disponible en [goo.gl/4wVZmr](http://goo.gl/4wVZmr)
- UFOP, 2008. Paradigm Shift in Biofuel Policies: From volume quotas to a greenhouse gas avoidance quota and the effects on biofuels. Issue: 02/2008. Disponible en: [goo.gl/EyzncB](http://goo.gl/EyzncB)
- Van Dam, J; Junginger, M; Faaij, A; Jürgens, I; Best, G; Fritsche, U. 2006. Overview of recent developments in sustainable biomass certification. Documento escrito en el marco del Biofuel Task 40 de la Agencia Internacional de Energía.
- Wagutu, AW; Chhabra; SC; Thoruwa, CL; Thoruwa, TF; Mahunnah, RLA. 2009. Indigenous Oil Crops As A Source For Production Of Biodiesel In Kenya. *Bull. Chem. Soc. Ethiop.* 2009, 23:(3)359-370. Disponible en [goo.gl/6tkNUq](http://goo.gl/6tkNUq)
- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH. (Instituto Wuppertal para el Clima, el Ambiente y el Clima). 2006. Entwicklung einer Gesamtstrategie zur Einführung alternativer Kraftstoffe, insbesondere regenerativ erzeugten Wasserstoffs. Wuppertal. Disponible en [goo.gl/niDv6Q](http://goo.gl/niDv6Q)

- Zamarripa Colmenero; A. 2011. Programa Nacional de Investigación e Innovación en Bioenergía del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) – México. Diversidad genética y potencial agroenergético de *Jatropha curcas* L. en México para la producción de biocombustibles. En: Primer Seminario Internacional *Jatropha* Colombia y Primer Taller Internacional Asincronía floral – *Jatropha*. Villavicencio, CO.
- Zelt, Thilo. 2011. Bio Aviation Fuel Feedstock Supply – Challenges, Strategies and Recent Developments. In: International Civil Aviation Organization (ICAO) Aviation and Sustainable Alternative Fuels Workshop. Montreal. Disponible en [goo.gl/GMe1b3](http://goo.gl/GMe1b3)

