

seminarios y conferencias

Investigación y desarrollo e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en América Latina y el Caribe

Adrián Rodríguez (compilador)

Santiago, noviembre de 2011



NACIONES UNIDAS



Ministerio Federal de
Cooperación Económica
y Desarrollo

giz



Este documento reúne cuatro trabajos presentados en el Diálogo de políticas sobre desarrollo institucional e innovación en biocombustibles en América Latina y el Caribe, realizado en la sede de la CEPAL en Santiago, el 28 y 29 de marzo de 2011. Tres de ellos fueron elaborados como parte de las actividades del proyecto “Desarrollo sostenible de los biocombustibles” (GER/08/007, Acuerdo de Financiamiento entre la GIZ y la CEPAL, Programa Globalización II Proyecto 7). Bionergía Componente 2: Desarrollo sostenible, gestión integral de recursos naturales y manejo del cambio climático), y uno fue elaborado por la FAO. Los trabajos se realizaron en el marco de las actividades conjuntas desarrolladas por la FAO (Benavidez & Cadena) y la CEPAL (Boza & Saucedo y Boza) en el tema de innovación en biocombustibles. La compilación estuvo a cargo de Adrián Rodríguez, Oficial a cargo, Unidad de Desarrollo Agrícola, División de Desarrollo Productivo de la CEPAL.

El proyecto ha sido ejecutado por la CEPAL en conjunto con la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ).

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la CEPAL, la FAO o la GIZ.

Publicación de las Naciones Unidas

ISSN: 1680-9033

LC/L.3394

Copyright © Naciones Unidas, septiembre de 2011. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

Índice

Presentación	7
Resúmenes	9
I. Políticas y capacidades de investigación y desarrollo e innovación (I&D+I) para el desarrollo de biocombustibles en América Latina y el Caribe	11
<i>Juan Benavidez y Ángela Cadena</i>	
A. Introducción	11
B. Características de las actividades de i&d+i en biocombustibles	13
C. La baja eficiencia de los procesos fotosintéticos naturales	17
D. La primera generación de biocombustibles	18
E. La dinámica de los biocombustibles avanzados	21
F. Biocombustibles y energía, I&D+i en biocombustibles y capital de riesgos en América Latina.....	25
1. Biocombustibles y energía en los países de América Latina	25
2. I&D+I en América Latina	27
3. I&D agrícola en América Latina y el Caribe.....	30
4. I&D+I y oportunidades de negocios en biocombustibles en algunos países de América Latina y el Caribe	32
5. El papel del capital de riesgo en la innovación de los biocombustibles	36

G.	Propuesta de I&I+I en redes para biocombustibles en América Latina.....	38
1.	Redes de I&D+I en biocombustibles	38
2.	Medidas transversales y complementarias	41
	Bibliografía.....	45
II.	Análisis comparativo de patentes en la cadena de producción de biocombustibles entre América Latina y el resto del mundo.....	49
	<i>Sofía Boza y Alberto Saucedo</i>	
A.	Introducción	49
B.	Metodología y recursos	50
1.	Fuentes de información.....	50
2.	Selección de los parámetros de búsqueda de las patentes	51
C.	Características de la producción de biocombustibles.....	51
1.	Características de la producción de bioetanol.....	51
2.	Características de la producción de biodiesel	52
3.	Otros combustibles a partir de biomasa	52
D.	Principales puntos críticos y estructura de costos	56
1.	Bioetanol	56
2.	Biodiesel	59
E.	Puntos críticos para la reducción de costos de biocombustibles.....	59
1.	Biocombustibles de primera generación	59
2.	Biocombustibles de generaciones avanzadas.....	60
F.	Resultados de la búsqueda de patentes	61
1.	Avances en la producción de materias primas	61
2.	Avances en el procesamiento industrial.....	70
G.	Resumen de los resultados	75
H.	Conclusiones	78
	Bibliografía.....	79
III.	Políticas y capacidades de I&D e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en Colombia y Chile	81
	<i>Sofía Boza</i>	
A.	Introducción	81
B.	El caso de Colombia	82
1.	Caracterización de la cadena productiva sectorial	82
2.	Indicadores de capacidades tecnológicas.....	84
3.	Panorama general de la innovación en biocombustibles.....	87
4.	Caracterización de la demanda	95
5.	Conclusiones	96
C.	El caso de Chile.....	97
1.	Caracterización de la cadena productiva sectorial	97
2.	Indicadores de capacidades tecnológicas.....	99
3.	Panorama general de la innovación en biocombustibles.....	101
4.	Caracterización de la demanda	107
5.	Conclusiones	108
	Bibliografía.....	109
Anexo	Programa del “Diálogo de políticas sobre desarrollo institucional e innovación en biocombustibles en América Latina y el Caribe”, 28 y 29 de marzo, 2011, CEPAL, Santiago, Chile.....	111
	Serie seminarios y conferencias: números publicados.....	115

Índice de cuadros

CUADRO I.1	SOLICITUDES DE PATENTES POR NACIONALES EN PAÍSES SELECCIONADOS.....	28
CUADRO I.2	ARTÍCULOS CIENTÍFICOS Y TÉCNICOS PUBLICADO EN PAÍSES SELECCIONADOS.....	29
CUADRO I.3	INVERSIÓN EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN PAÍSES SELECCIONADOS	29
CUADRO I.4	INVESTIGADORES QUE TRABAJAN EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN PAÍSES SELECCIONADOS	30
CUADRO I.5	GASTO PÚBLICO EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA PÚBLICA 1981-2006	31
CUADRO I.6	FUNCIONES QUE DEBEN TENER LAS REDES DE I&D+I EN BIOCMBUSTIBLES EN AMERICA LATINA	40
CUADRO II.1	PRINCIPALES ETAPAS PRESENTES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOCMBUSTIBLES.....	54
CUADRO II.2	CÓDIGOS IPC RELATIVOS AL PROCESAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOCMBUSTIBLES LÍQUIDOS.....	55
CUADRO II.3	PATENTES EN CULTIVOS Y PRODUCCIÓN Y PRINCIPALES PAÍSES PROPIETARIOS, 2006-2010	76
CUADRO II.4	RESUMEN DE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS IMPLICADAS EN LAS PATENTES IDENTIFICADAS EN CULTIVOS Y PRODUCCIÓN, 2006-2010	77
CUADRO III.1	INDICADORES DE BASE DISPONIBLE PARA LA INNOVACIÓN EN COLOMBIA	85
CUADRO III.2	INDICADORES DE ESFUERZO INNOVADOR EN COLOMBIA.....	86
CUADRO III.3	INDICADORES DE RESULTADOS DE INNOVACIÓN EN COLOMBIA	87
CUADRO III.4	GRUPOS DE INVESTIGACIÓN RELACIONADA CON LOS BIOCMBUSTIBLES REGISTRADOS POR COLCIENCIAS	92
CUADRO III.5	PATENTES REGISTRADAS EN COLOMBIA RELACIONADAS CON EL CULTIVO Y COSECHA DE MATERIAS PRIMAS PARA BIOCMBUSTIBLES.....	94
CUADRO III.6	PATENTES REGISTRADAS EN COLOMBIA RELACIONADAS CON LA TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE BIOCMBUSTIBLES.....	95
CUADRO III.7	PROYECTOS DE COGENERACIÓN APROBADOS POR EL SEIA (28 DE FEBRERO 2010)	98
CUADRO III.8	INDICADORES DE BASE DISPONIBLE PARA LA INNOVACIÓN EN CHILE.....	99
CUADRO III.9	INDICADORES DE ESFUERZO INNOVADOR EN CHILE	100
CUADRO III.10	INDICADORES DE RESULTADOS DE INNOVACIÓN EN CHILE.....	100
CUADRO III.11	PROYECTOS SOBRE BIOCMBUSTIBLES SELECCIONADOS DENTRO DEL CONCURSO NACIONAL DE PROYECTOS DE INNOVACIÓN DE INTERÉS PÚBLICO E INNOVACIÓN PRECOMPETITIVA 2007 DE CORFO.....	102
CUADRO III.12	PROYECTOS SOBRE BIOCMBUSTIBLES SELECCIONADOS DENTRO DEL CONCURSO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE FONDEF	104

Índice de gráficos

GRÁFICO I.1	FLUJO DE RECURSOS, BENEFICIOS Y COSTOS DE LA I&D EN AGRICULTURA	14
GRÁFICO II.1	RANGOS Y VALORES ESTIMADOS DE COSTOS DE MATERIAS PRIMAS PARA BIOETANOL	57
GRÁFICO II.2	RANGOS Y VALORES ESTIMADOS DE COSTOS TOTALES DE BIOETANOL.....	58
GRÁFICO II.3	COMPARACIÓN ENTRE RANGOS Y VALORES DEL COSTO ESTIMADO DE LA MATERIA PRIMA Y EL COSTO TOTAL DEL BIOETANOL	58
GRÁFICO II.4	RANGOS Y VALORES ESTIMADOS DE COSTOS DE MATERIAS PRIMAS PARA BIODIESEL.....	59

GRÁFICO II.5	PATENTES EN PRODUCCIÓN DE SOYA, SEGÚN PAÍSES, 2006-2010	62
GRÁFICO II.6	PATENTES EN PRODUCCIÓN DE COLZA, SEGÚN PAÍSES, 2006-2010	63
GRÁFICO II.7	PATENTES EN PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR, SEGÚN PAÍSES, 2006-2010	65
GRÁFICO II.8	PATENTES EN PRODUCCIÓN DE REMOLACHA, SEGÚN PAÍSES, 2006-2010	66
GRÁFICO II.9	PRODUCCIÓN DE BIOETANOL POR PAÍSES, PROYECCIÓN AL 2010	71
GRÁFICO II.10	PATENTES EN PRODUCCIÓN DE BIOETANOL, SEGÚN PAÍSES, 2006-2010	71
GRÁFICO II.11	PARTICIPACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR PAÍSES, 2010	72
GRÁFICO II.12	PATENTES EN PRODUCCIÓN DE BIODIESEL, SEGÚN PAÍSES, 2006-2010	73
GRÁFICO II.13	PATENTES EN PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, SEGÚN PAÍSES 2006-2010	74
GRÁFICO II.14	PATENTES SOLICITADAS POR RESIDENTES, 2006	77

Presentación

Este documento reúne tres trabajos elaborados en el marco de las actividades conjuntas desarrolladas por la FAO y la CEPAL en el tema de innovación en biocombustibles. Benavidez & Cadena presentan un panorama general de la situación de innovación en materia de biocombustibles, tanto de primera generación como de generaciones avanzadas. Boza & Saucedo hacen un análisis comparativo de patentes en la cadena de producción de biocombustibles entre América Latina y el resto del mundo, abarcando tanto concernientes a las innovaciones en la producción de las materias primas, como a los procesos industriales de transformación de las mismas para obtener biocombustibles. Y Boza analiza las políticas y capacidades de I& D para el desarrollo de los biocombustibles en Chile y Colombia.

Resúmenes

Políticas y capacidades de investigación y desarrollo e innovación (I&D+I) para el desarrollo de biocombustibles en América Latina y el Caribe (Juan Benavidez y Ángela Cadena)

Este artículo propone crear dos redes de investigación internacional en América Latina y el Caribe en biocombustibles de “primera generación” y “generaciones avanzadas” bajo el principio de código abierto. La propuesta nace de discutir la naturaleza de la investigación y desarrollo e innovación en biocombustibles y las limitaciones para desarrollarla de manera individual en cada país. El trabajo en redes puede resolver el problema de la ausencia generalizada de capacidades y la escasez de investigadores y tradiciones científicas en la región y aprovecha las capacidades de países líderes y de centros de investigación internacional. Al mismo tiempo, el artículo advierte sobre los riesgos de invertir en el negocio de biocombustibles sin tener ventajas en investigación, o un clima de negocios favorable al emprendimiento. Las redes de trabajo propuestas pueden beneficiarse tanto a los países líderes como a los países rezagados en dotación y capacidades, así como promover negocios innovadores y alianzas beneficiosas para los países de la región.

Análisis comparativo de patentes en la cadena de producción de biocombustibles entre América Latina y el resto del mundo (Sofía Boza y Alberto Saucedo)

Las patentes relacionadas con los distintos encadenamientos productivos de una industria son consideradas como un indicador del nivel de desarrollo tecnológico de ésta. La concesión de una patente está vinculada a la protección de una determinada invención, por lo cual su solicitud debe ser precedida por un esfuerzo innovador. Por lo tanto, en un sector como el de los biocombustibles, el cual ha avanzado técnicamente a gran velocidad en los últimos años, la revisión de sus patentes resulta de especial interés. El presente trabajo pretende inventariar, tanto las patentes concernientes a las innovaciones en la producción de las materias primas, como de los procesos industriales de transformación de las mismas para obtener biocombustibles. A partir de ese registro, las patentes encontradas se clasifican conforme a la localización geográfica de sus propietarios, para identificar cuáles son los países que están a la vanguardia del desarrollo tecnológico en el sector. Esto permitirá dar una idea de la posición relativa de América Latina y el Caribe en la innovación y desarrollo de los biocombustibles y su nivel de competitividad a mediano y largo plazo. El período de referencia del estudio son los años del 2006 al 2010.

Políticas y capacidades de I&D e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en Colombia y Chile (Sofía Boza)

El desarrollo de la producción de biocombustibles se ha planteado como una opción alternativa a fin de intentar atenuar los desequilibrios ocasionados por la excesiva dependencia global del petróleo. No obstante, no todas las experiencias emprendidas en torno a la producción de biocombustibles han sido igual de eficientes. En este sentido, el grado de desarrollo tecnológico concerniente a la obtención de biocombustibles en sus distintos encadenamientos productivos es determinante. En el presente estudio identificamos las capacidades tecnológicas nacionales globales y los esfuerzos en investigación y desarrollo, considerando sus resultados cuando los hubiera, relativos a la cadena productiva de los biocombustibles en Colombia y Chile. Dicho análisis lo complementamos con una síntesis de la evolución de la demanda referente al sector. Finalmente, a la vista de la información recopilada, plantaremos las recomendaciones que nuestro estudio nos lleve a concluir sobre la oportunidad de la estrategia de innovación en el sector de los biocombustibles en Colombia.

I. Políticas y capacidades de investigación y desarrollo e innovación (I&D+I) para el desarrollo de biocombustibles en América Latina y el Caribe

Juan Benavidez y Ángela Cadena¹

A. Introducción

Los biocombustibles no son una panacea para el autoabastecimiento energético, la reducción de la dependencia del petróleo o de emisión de gases de efecto invernadero. Achim Steiner, Subsecretario General de la Naciones Unidas, afirma en el prólogo del informe UNEP (2009):

¹ Este documento fue elaborado por Juan Benavides (coordinador del estudio), Profesor Asociado, Facultad de Administración, Universidad de los Andes, Colombia (jbenavid@uniandes.edu.co) y Ángela Cadena, Profesora Asociada, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Colombia (acadena@uniandes.edu.co). Este estudio fue encomendado y financiado por la FAO, Oficina de Santiago de Chile. El estudio se desarrolló en el marco de las actividades conjuntas desarrolladas por la FAO y la CEPAL en el tema de innovación en biocombustibles. Los autores agradecen los comentarios de Alberto Saucedo, Guilherme Schuetz y Felipe Duhart (FAO); y Adrián Rodríguez, Octavio Sotomayor, Monica Rodrigues, Jean Acquatella y Sofia Boza (CEPAL) en los seminarios del 22 de marzo y 28 de mayo de 2010 en Santiago. También se agradece el apoyo de Miguel Almada (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina) y Elzbieta Bochno (Ministerio de Agricultura de Colombia).

“la complejidad del tema de los biocombustibles indica que es improbable que los enfoques simplistas logren una industria sostenible ni que aporten al reto del cambio climático y la mejora de la calidad de vida de los agricultores.”

La demanda sobre los recursos naturales no permite el simple reemplazo de combustibles fósiles por biomasa. Se requiere un cambio de estilo de vida con menos viajes, menor consumo por viaje, mejor diseño urbano y aprovechamiento de energías locales. El nivel de demanda de energía debe reducirse como condición necesaria al buen uso de los biocombustibles.

Los biocombustibles producidos con base en cultivos (“primera generación”) enfrentarán en el mediano plazo una competencia global por suelos y agua para aumentar la oferta alimentaria. Particularmente, la demanda per capita de recursos proteínicos crecerá mucho más rápidamente que la productividad per capita de los cultivos básicos. Los combustibles de primera generación serán viables financieramente en países con ventajas absolutas en dotación natural y que dispongan de un tejido social y organizativo fuerte que soporte una dinámica continua en investigación y desarrollo e innovación. En el mediano y largo plazo se dará una transición global hacia el mayor uso de energías renovables (eólica, geotérmica y solar), gas natural y biocombustibles de “generaciones avanzadas” que no compiten por suelos o agua para producir alimentos. La producción de biocombustibles avanzados será viable financieramente en países que puedan sostener prácticas forestales masivas, o dispongan de abundante biomasa residual o costas marinas ricas en nutrientes. La producción de biocombustibles avanzados requerirá de fuertes inversiones en investigación aplicada y de la presencia de emprendedores.

Las oportunidades de negocio dependerán de las dotaciones y de las capacidades de I&D+i. Salvo un pequeño grupo de países de la región, tales capacidades son reducidas. Puesto que la I&D+i exigen inversiones sustanciales, masa crítica de investigadores, sus frutos son inciertos y tienen usualmente rendimientos de mediano o largo plazo, la forma más práctica de impulsarla es mediante la creación de dos redes regionales de I&D, que aglutinen y orienten los esfuerzos de los países y se apoyen en centros de investigación ya establecidos en la región. La Red 1 se enfocaría en mejora de cultivos energéticos y mejora genética bajo los principios de código abierto. La Red 2 se enfocaría en procesos químicos y genética para mejorar la productividad de la biomasa (celulosa y algas marinas).

La Red 1 es atractiva para los países que tienen ventajas en cultivos pero carecen de una infraestructura fuerte de investigación y capital de riesgo; o viceversa; o para países que deben forzosamente reducir las importaciones de todo tipo de energéticos y deben usar cultivos como fuente energética. La Red 2 es atractiva para los países con potencial de producción de biomasa y algas, y que tienen capacidad investigativa y experiencia en capital de riesgo. Este grupo de países líderes podría ayudar a catalizar el fortalecimiento de capacidades en países con potencial pero sin tradiciones investigativas fuertes. Estas dos redes servirían además de centro de promoción de las relaciones con la industria y las universidades en la búsqueda de inversionistas ángeles y capital de riesgo.

Para llegar a estas recomendaciones, el trabajo se desarrolla de la siguiente forma. La sección 1 ilustra las características de la I&D+i en biocombustibles y sus implicaciones para asegurar la construcción de una “escalera de calidad” en innovación. La sección 2 discute las limitaciones fundamentales de la producción de biomasa para convertirse en solución de abastecimiento energético de la humanidad o de algún país en particular. La sección 3 analiza la primera generación de biocombustibles y hace un balance de las ventajas y preocupaciones surgidas. La sección 4 muestra las características y dinámica de la I&D+i en productos generaciones avanzadas, donde actualmente se presenta una feroz competencia entre inversionistas a riesgo y una gran actividad en investigación fundamental en universidades de países con tradiciones investigativas. La sección 5 muestra los tipos estilizados de país para la producción de etanol y biodiesel en América Latina, así como los rasgos principales de la capacidad en I&D+i, y del capital de riesgo en la región. La sección 6 propone las redes y medidas complementarias para el éxito de las políticas de I&D+i.

B. Características de las actividades de i&d+i en biocombustibles

La OECD (2009) define la investigación y desarrollo (I&D) como “el trabajo creativo realizado de manera sistemática con el fin de aumentar el acervo de conocimiento, incluyendo el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, así como el uso de este acervo para encontrar nuevas aplicaciones.” Cubre las actividades de investigación básica, aplicada y desarrollo experimental. De acuerdo con la OECD,

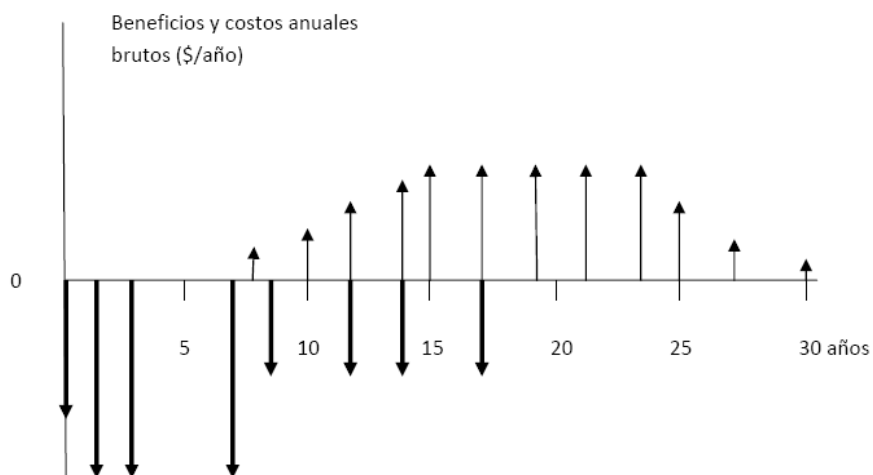
- La investigación *básica* incluye trabajos teóricos o experimentales orientados a adquirir nuevos conocimientos fundamentales sin búsqueda de aplicaciones particulares.
- La investigación *aplicada* es también original y se orienta a adquirir nuevos conocimientos, pero está motivada por alcanzar logros prácticos específicos.
- El *desarrollo experimental* es un trabajo sistemático originado en conocimientos previamente adquiridos por investigación o por la experiencia práctica, dirigido a producir nuevos materiales, productos o artefactos; a instalar nuevos procesos, sistemas o servicios; o a mejorar lo ya producido o instalado.

La I&D en biocombustibles requiere economías de escala en laboratorios, equipos e información. En química y biología, las economías de escala se refieren a los costos medios decrecientes y mayor frecuencia de hallazgos que existen cuando se pasa de una investigación secuencial basada en individuos hábiles en el manejo de técnicas de laboratorio, a una investigación que produce y estudia poblaciones de manera masiva con apoyo de procesos automatizados y utiliza la simulación computacional (“in silico”) apoyada en bases de datos masivas (Nightingale 2000). Es posible avanzar en la investigación básica y en la generación de nuevas ideas en algunos nichos sin tener economías de escala, como en el caso de las industrias de automóviles, minera y farmacéutica de Australia (Mitchell y Stonecash 1996). Sin embargo, el éxito inicial se puede frenar sin la posibilidad de investigación aplicada y desarrollo de prototipos de forma sistemática.

La rentabilidad de la investigación y desarrollo en agricultura puede asimilarse a la I&D en producción de biomasa para combustibles de primera generación, Alston et al. (2000) revisaron 262 estudios sobre rentabilidad de esta actividad en agricultura, encontrando una distribución muy dispersa y considerablemente asimétrica. También detectan un importante período de tiempo entre la inversión y la aparición de los beneficios de la investigación y desarrollo.

El Gráfico I.1 representa esquemáticamente el perfil temporal de los flujos financieros de una investigación exitosa, que da lugar a una innovación específica; es decir, cuando la probabilidad de éxito del descubrimiento es 1 y cuando la probabilidad de que la innovación sea rentable de inmediato es 1. Este patrón en el que hay flujos negativos (costos) por un período considerable (no aparece el primer flujo positivo sino alrededor de 7.5 años en la figura) y con un ciclo de vida de 30 años para asegurar la rentabilidad, es difícilmente financiable con deuda comercial. Las fallas del mercado de financiación de innovación se pueden resolver con un esquema de financiación pública, con los aportes del capital de riesgo, o con financiación pública a investigadores cuya remuneración esté ligada a alguna medida de aplicabilidad del producto desarrollado.

GRÁFICO I.1
FLUJO DE RECURSOS, BENEFICIOS Y COSTOS DE LA I&D EN AGRICULTURA



Fuente: Alston et al. (2000).

Por su parte, Baregheh, Rowley y Sambrooke (2009) definen la innovación como “un proceso de etapas múltiples mediante el cual las organizaciones transforman ideas en productos, servicios o procesos nuevos o mejorados, con el fin de avanzar, competir y diferenciarse exitosamente en los mercados donde actúan.” Los inventos implican la creación de algo nuevo, con o sin intención comercial. Una mejora de desempeño puede ser un invento, o una innovación, o ambas cosas al tiempo.

La innovación aparece por necesidad o por percepción de uso provechoso de un fenómeno natural; es costosa y riesgosa. La innovación *i* es un fenómeno social que depende de la existencia de una masa crítica de negocios e investigadores. Por tanto, es un fenómeno localizado: se produce en sitios diversos dinámicamente, concentrados e imperfectamente competitivos, gracias a las economías externas. Estas economías representan los beneficios o costos de una actividad que no afectan a quien la controla. La disponibilidad de mano de obra calificada y un ambiente de intercambio fluido de ideas son ejemplos de externalidades positivas que proveen las ciudades industrializadas grandes y densas. La congestión urbana es un ejemplo de externalidad negativa. Las economías externas que influyen en la generación de ideas y creación de nuevos negocios son de tipos muy variados: de Groot, Poot y Smit (2007) identifican las externalidades provenientes de la concentración industrial y la especialización; de la diversidad social y de sectores económicos; y de la intensidad de la competencia. Este patrón de externalidades sugiere que la innovación en biocombustibles tiende (tendería) a acumularse en las grandes ciudades que fueron grandes centros agroindustriales en el pasado y que ahora son hubs financieros, de producción de conocimiento y de comunicaciones. Ese es el caso del desarrollo de la industria de los biocombustibles en el Estado de Sao Paulo, en Brasil.

Además de surgir en las aglomeraciones urbanas o investigativas, la innovación en biocombustibles es de tipo *acumulativo*. Requiere un arreglo institucional que sostenga una secuencia permanente de mejoras (escalera), que incluye el uso del capital de riesgo como instrumento de movilización de recursos financieros.

Los procesos de innovación en la producción de biocombustibles incluyen la mejora genética, de las prácticas de cultivo, y de los procesos termoquímicos y enzimáticos de conversión. Esta innovación sigue un patrón acumulativo común a los sectores de alta tecnología. En tal situación, el beneficio más importante de la innovación actual es el impulso que pueda darle a los innovadores futuros. Scotchmer (2004) encuentra que este impulso puede adoptar tres formas:

- Si la siguiente innovación *no se puede inventar sin* la primera, entonces el valor social de la primera innovación incluye una parte del valor social incremental de lograr la segunda (Tipo 1). Una innovación básica puede dar lugar a diversas aplicaciones (Tipo 1A). O diferentes productos desarrollados previamente, denominadas “herramientas de investigación” son indispensables cada uno para el éxito de un producto posterior (Tipo 1B).
- Si la primera innovación simplemente *reduce el costo* de lograr la segunda, entonces la reducción de costos es parte del valor social de la primera (Tipo 1).
- Si la primera innovación *acelera el desarrollo* de la segunda, entonces su valor social incluye el valor de obtener la segunda innovación de manera más rápida.

En una configuración de Tipo 1B, algunos de las herramientas se materializan en el producto final y otras no. En el caso de las semillas mejoradas en procesos de bioingeniería, los genes insertados para cambiar los rasgos de las plantas (resistencia a las plagas o a la sequía, etc.) quedan dentro del germoplasma, pero las herramientas que facilitan la inserción de los genes elegidos no. Un inventor puede requerir la compra de las licencias de cada una de las herramientas previas. En biotecnología (que incluye la medicina, productos farmacéuticos, biocombustibles y mejora genética de animales y plantas), existe el temor de que la proliferación de licencias por herramientas se convierte en un esquema oneroso que puede inhibir la investigación a cambio de promoverla, por los costos de transacción de negociar los costos y términos de uso de las licencias de las herramientas. Esta situación se denomina el problema del exceso de derechos de propiedad de parte de los dueños de las herramientas (“anticommons”), como lo han bautizado Heller y Eisenberg (1998) al estudiar el caso de las patentes en medicina, problema que se supera con la integración vertical entre investigación básica y aplicada o se morigerara porque los motivos de ganancia aceleran los acuerdos en relaciones bilaterales.

Scotchmer (2004) plantea que la presencia de acumulación en investigación aplicada e innovación introduce dos problemas en el diseño de derechos de propiedad intelectual. El valor social de la primera innovación incluye el valor de opción sobre los productos que posibilita en el futuro. En un ambiente dominado por un sistema de patentes e inventores motivados monetariamente (discutible, como se plantea en la sección 6), hay que incentivar a los innovadores privados de las etapas previas para asegurar que reciban compensación por sus contribuciones y asegurar que los innovadores tardíos también tienen incentivos para invertir. Si el primer innovador recibe una remuneración inferior a sus costos privados, no invertirá y toda la línea completa de investigación se desvanecerá. Además, la competencia entre innovadores sucesivos puede ser tan severa que las firmas no invierten sino en las mejoras más lucrativas. Si las diferencias en calidad, productividad o costos entre versiones sucesivas de un producto son muy pequeñas, los bienes secuenciales competirán fieramente en precios. Los innovadores de etapas previas disiparán sus rentas ofreciendo precios bajos para impedir la entrada de los innovadores tardíos.

El objetivo de política pública en innovación es crear una “escalera de calidad” en la que se creen nuevos productos sucesivos, cada uno de ellos mejor que el anterior. La creación de esta escalera de calidad depende de las instituciones y de los incentivos a los inventores, que no se reducen a los monetarios. La experiencia indica que no es fácil compensar a los desarrolladores de tecnologías básicas basados únicamente en recompensas monetarias, pues el valor comercial generado usualmente reside en los productos futuros.

En una escalera de calidad ya no se distingue entre *innovadores básicos* (proveedores de licencias) e *innovadores aplicados* (compradores de licencias). Cada mejorador estará inicialmente en la posición de establecido en el mercado que será eventualmente sustituido. En un modelo de mercado de ideas y libre entrada, es más probable que un rival del establecido produzca una nueva idea porque hay muchos rivales y sólo un establecido. Si las ideas son escasas, la divulgación incrementa la probabilidad de que en cada período aparezcan nuevas ideas por un rival. Dentro de un sistema de patentes y asumiendo que cada innovador establecido dura un período pero que una innovación infringe la patente,

se puede establecer un sistema de licencias que hace que los ingresos totales de cada innovador (suma de las ganancias por sus ventas actuales y la fracción de las ganancias habilitadas por su innovación y embebidas en la siguiente innovación, representada en el valor de la licencia) puedan ser suficientes para superar los costos privados de innovación por período.

Cuando no existe un sistema funcional de patentes ni mercados de financiación de innovación, un reto central de política pública es construir alianzas público-privadas en mejora de plantas y procesos químicos y/o establecer alianzas con los movimientos de código abierto en mejora genética de semillas para nutrir la escalera de calidad de manera sostenible. En el caso de la producción de biocombustibles, este problema debe discutirse en el contexto de i) la necesidad de economías de escala (laboratorios) y de aglomeración (masa crítica de investigadores de alto nivel) para investigación y desarrollo, que sólo existen en un número pequeño de países de la región; ii) las probabilidades de éxito de la innovación por imitación en países sin experiencia en el nuevo producto, dentro de la frontera de posibilidades de producción (“inside-the-frontier”); y, en relación con los puntos anteriores, iii) el papel de la creación de tradiciones y mercados que se sostienen a raíz de los retornos a escala y aglomeración en investigación y desarrollo y en producción del nuevo producto.

La producción e innovación de biocombustibles de generaciones avanzadas podría desarrollarse mejor en un ambiente de mercado, dado que hay un “premio gordo” para la primera tecnología que demuestre ser financieramente viable, en la que el ganador se toma el mercado relevante; la primera tecnología desarrollada podría ser de naturaleza disruptiva y generar un proceso de innovación virtuoso, dependiente de la trayectoria iniciada por el descubrimiento inicial, proceso discutido en la literatura que relaciona crecimiento económico y tecnología (Arthur 2007; Nelson 2005).

Las relaciones entre I&D e i dependen del tamaño de los negocios y la cultura. Por un lado, la I&D podría “empujar” oportunidades de negocio; por otro lado, la i podría “halar” programas de desarrollo experimental, que a su turno necesitarían de los aportes de la investigación aplicada o básica. Las necesidades del mercado o las oportunidades inmediatas de negocios pueden sostener un flujo de innovaciones durante un período limitado; sin nuevos conocimientos, este flujo eventualmente se debilitará o desaparecerá. La integración entre I&D e i se puede denominar *cadena*, y la integración entre innovaciones sucesivas, *escalera*.

Dependiendo de los sistemas de incentivos, financiación pública disponible y del sector productivo, la cadena I&D+i se puede desarrollar combinando una fuerte componente de apoyo público a I&D y la fuerzas del mercado en i; o totalmente integrada, como en el caso de Thomas Edison, quien innovó en tecnologías eléctrica y de comunicaciones con el apoyo de laboratorios de investigación experimental permanente, financiados con recursos propios. Alternativamente, se puede financiar y gerenciar totalmente en el sector público. Por ejemplo, la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) es una entidad estatal que integra verticalmente I&D con algunos desarrollos de i, actividad que complementa con acuerdos con universidades y centros de I&D brasileños.

Es válido preguntarse la pertinencia y el tipo de los esfuerzos de América Latina y el Caribe en I&D+i en biocombustibles. Se deben examinar no sólo las necesidades y oportunidades de negocio, sino también el potencial y las capacidades. Hay que partir de que los biocombustibles aparecen en la escena de la energía mundial como un instrumento geopolítico para reducir la dependencia de las importaciones en países grandes consumidores de petróleo o para reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Los biocombustibles tienen la ventaja teórica de ser renovables, pero cuando se producen a partir de cultivos (primera generación de biocombustibles), sus beneficios netos pueden ser moderados o negativos si no se tienen ventajas comparativas notorias. En el mediano plazo, la participación de la primera generación de biocombustibles en la oferta energética podría reducirse por la competencia con la producción de alimentos y el abundante gas no-convencional, y su desplazamiento por biocombustibles de generaciones avanzadas, cuyo ingreso comercial podría despegar a partir del año 2020, de acuerdo a estimativos de los expertos.

Un país sin potencial y sin necesidades estratégicas en biocombustibles, pero con capital humano y cultura emprendedora, podría convertirse en un productor de tecnologías en biocombustibles. En el otro extremo, un país con gran potencial de producción y necesidades de abastecimiento podría

carecer de capacidades tecnológicas. Una red regional de trabajo en I&D podría generar oportunidades mutuamente convenientes para países con diferentes dotaciones y habilidades, como se propone en la sección 6.

Por otra parte, es perfectamente racional y defendible que un país opte por no entrar en este momento en la producción de biocombustibles de primera generación. Hay tres razones para tomar esta decisión: i) que la canasta energética ya sea limpia y/o no haya problemas con la seguridad de abastecimiento de hidrocarburos; ii) que los suelos y el agua disponibles no tengan la escala suficiente o tengan mejores usos que la producción de biocombustibles; iii) que la política pública tenga otras prioridades y urgencias. Si no existen necesidades reales o no se tienen ventajas reales, se corre el riesgo de que la sociedad pague los sobre costos de firmas no competitivas que existen sólo por la protección, la obligación de uso y los subsidios. La decisión de no apostar ahora a la producción de biocombustibles puede cambiar con las circunstancias nacionales y del mercado de energía. Por esto es importante que estos países participen como observadores de las redes de trabajo que se proponen y evalúen si en algún momento posterior es oportuno vincularse como miembro activo.

C. La baja eficiencia de los procesos fotosintéticos naturales

Para definir una política de I&D+i en biocombustibles hay que entender que la fotosíntesis es un proceso mucho menos eficiente que las energías fotovoltaicas o solares térmicas para convertir la energía del sol en energía útil. Las plantas no evolucionaron para optimizar la producción de alimentos sino para adaptarse, sobrevivir y reproducirse (Krupp y Horn 2008). La producción de biocombustibles a partir de mejoras incrementales a los procesos naturales tiene muchos costos en términos de impactos en la disponibilidad de alimentos, sus niveles de precios y su volatilidad, los recursos hidráulicos y el cambio de uso del suelo.

La fotosíntesis captura la radiación solar y la convierte en diversas formas de materia orgánica, incluyendo las fibras. Mientras que la disponibilidad de energía solar impone una cota superior a la energía transformable, la energía almacenada en un cultivo alimenticio (Y) depende del producto de la energía solar recibida (S) por la eficiencia global con la que la energía solar es transformada en alimento (Chrispeels y Sadava 2003).

La eficiencia global es el producto de tres eficiencias: la eficiencia de intercepción de la luz por las hojas, ε_l ; la eficiencia de conversión de la energía interceptada, en materia orgánica, ε_c ; y la participación del producto cultivado dentro del total de la biomasa producida, ε_p :

$$Y = S \cdot \varepsilon_l \cdot \varepsilon_c \cdot \varepsilon_p$$

Chrispeels y Sadava (2003) calculan la eficiencia global de un cultivo de trigo en Inglaterra. Partiendo de un presupuesto de energía solar de 5,000 MJ, se llega a 21 MJ de energía almacenada en los granos, debido a que $\varepsilon_l = 0.7$, $\varepsilon_c = 0.01$, y $\varepsilon_p = 0.6$. Esto quiere decir que 1,500 MJ no se absorben por el cultivo, 3,465 MJ se pierden en forma de calor y 14 MJ se convierten en otras partes de la planta². Si, a su vez, estos 21 MJ se usan para alimentar aves y producir carne, sólo llegan 0.21 MJ al consumo humano. Las eficiencias de conversión en materia orgánica en la planta, y de conversión de material vegetal en proteína por los animales se reflejan en mayores exigencias de área cultivada y en demanda de agua (como se ve más adelante, se pueden necesitar 1,000 toneladas de agua por cada tonelada de biomasa vegetal en algunos países).

² En el caso de los biocombustibles, el pasto varilla o aguja ("switchgrass"), que es uno de los cultivos más promisorios para el desarrollo de biocombustibles en latitudes templadas, la eficiencia de conversión de energía radiante en energía química (el producto $\varepsilon_l \cdot \varepsilon_c$) alcanza el 0.3%, mientras que algunas celdas solares pueden alcanzar el 42% de eficiencia (Krupp y Horn 2008).

Las investigaciones en mejora genética y la innovación en prácticas agronómicas han mejorado notablemente la productividad de los cultivos. En el caso de los cereales, el uso de fertilizantes y pesticidas ha resultado en hojas más grandes y de vida más larga, aumentando el factor ϵ_1 . El mejoramiento genético ha llevado a la selección de genotipos que convierten una mayor proporción de biomasa en forma de grano y una menor proporción en otras partes de la planta, aumentando el factor ϵ_2 . Para los cultivos más importantes en la actualidad, estas dos eficiencias ya son difíciles de aumentar.

En contraste, la eficiencia de conversión ϵ_c no ha cambiado mucho. Este es un reto importante por el reto de doblar la producción global de alimentos que demandará la población mundial hacia 2050 (Chrispeels y Sadava 2003). La fotosíntesis es un complejo proceso cuya eficiencia está condicionada por factores ambientales (sequía, exceso de agua, heladas, granizo, vientos, inundaciones), bióticos (plagas) y la calidad del suelo (nutrientes, presencia de elementos tóxicos).

En el ejemplo mostrado anteriormente, la eficiencia fotosintética de transformación de radiación interceptada sólo llega al 1% como promedio en el caso del trigo. Durante algunos días al comienzo del proceso de crecimiento, la eficiencia de algunos cultivos puede ascender a 3.5% (en plantas que tienen procesos fotosintéticos de tipo C_3 ; el 96% de todas las plantas) y 4.3% (en caso de plantas que tienen procesos fotosintéticos C_4 , como el maíz, el sorgo y la caña de azúcar, que suprimen la fotorrespiración). El rango de colores que activa la fotosíntesis va desde los 400 nm (violeta) hasta los 700 nm (rojo). Sólo aproximadamente el 50% de la energía solar se puede usar para fotosíntesis de cultivos porque la otra mitad cae en frecuencias infrarrojas con baja energía para sostener procesos fotosintéticos. Los análisis de energía perdida en cada paso del proceso fotosintético (Beadle et al. 1985) arrojan unos máximos teóricos de eficiencia ϵ_c del 5% en plantas C_3 ; y del 5.8% en plantas para la conversión de biomasa en plantas C_4 .

La investigación en mejora genética se enfoca actualmente en optimizar la distribución de la luz en las hojas y reducir el nivel de actividad de la enzima rubisco en plantas con proceso C_3 , que obliga a estas plantas a un alto gasto energético en fotorrespiración (30% de los carbohidratos formados por fotosíntesis de tipo C_3 se pierde en este proceso).

D. La primera generación de biocombustibles

De acuerdo con su forma de producción, los biocombustibles se pueden clasificar en “generaciones.” La primera generación incluye la producción de etanol o de aceite a partir de cultivos de los cuales se extraen alimentos. La primera generación utiliza tecnologías convencionales: fermentación de azúcar de caña y remolacha; e hidrólisis y fermentación de almidón de yuca, maíz y otros cereales para producir etanol; transesterificación en el caso de aceites de palma, girasol, soya, canola, jatropha y colza (“rapeseed”).

Los elementos clave que dinamizaron la primera generación de biocombustibles fueron la necesidad de asegurar el abastecimiento y la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, como se mencionó en la introducción. Adicionalmente se ha invocado la necesidad de apoyar las industrias agrícolas y las comunidades rurales, objetivos más difíciles de justificar por la presencia de protección, subsidios y ausencia de cobros por servicios ambientales en la producción de biocombustibles, así como por el costo de oportunidad de los recursos desviados de alternativas productivas para la producción de los biocombustibles.

También se ha pensado que la inversión en biocombustibles ayuda a la diversificación de las exportaciones. Esta diversificación tendría sentido si, como plantean algunos autores, el desarrollo económico de los países de ingresos bajos y medianos estuviera asociado a la diversificación, más que con la especialización (Imbs y Wacziarg 2003). El proceso de descubrimiento de un producto o proceso rentable que nunca se ha producido antes en un país se ha denominado innovación dentro de la frontera por parte de Hausmann y Rodrik (2003), y crea conocimiento social valioso. De acuerdo a estos autores, las firmas que imitan a la primera en innovar se benefician pero no pagan por la idea original. La imitación (no patentable) crea valor social pero significa que los primeros innovadores no se pueden

apropiar de todos los beneficios creados por sus inversiones. Esto puede conducir a subinversión por parte de los emprendedores, reduciendo el proceso de diversificación, creando una falla de mercado en innovación. Klinger y Kederman (2009) plantean que la habilidad de apropiar los retornos por el descubrimiento inicial depende en parte de las barreras a la entrada del negocio. Si las barreras son muy altas, habrá muy pocos imitadores para capturar el valor del descubrimiento. Si las barreras son muy bajas, los imitadores se copiarán del descubrimiento pionero, reduciendo los incentivos monetarios a los descubrimientos y la frecuencia de los mismos.

En el caso de los biocombustibles, los beneficios de la diversificación de exportaciones han sido claros en Brasil, por la determinación de apoyar públicamente la cadena I&D+i (eliminando de esta forma la falla de mercado en innovación), logrando mejoras en producción de caña de azúcar y de etanol, aprovechando ventajas comparativas y un mercado doméstico de gran tamaño que podía absorber la producción en el sector de transporte y lograr las escala suficiente para exportar etanol. Durante largo tiempo, la frecuencia de las innovaciones en cultivos de caña de azúcar y en mejoras de conversión y uso del etanol fue baja, pero recibe ahora un nuevo empuje por la presencia de capitales de riesgo que se benefician de la inversión pública sostenida.

Los beneficios de la primera generación han sido oscurecidos por sus problemas, que incluyen (IEA 2008): el aumento de precios y volatilidad de los precios de los alimentos, debido a la competencia entre cultivos; el alto costo de los biocombustibles como alternativa de suministro, tomando en cuenta los costos totales de producción, excluyendo las donaciones y subsidios públicos; los beneficios limitados de reducción de gases de efecto invernadero (problema exacerbado porque el precio del dióxido de carbono es muy bajo); los problemas de contaminación local de algunos sistemas productivos, que hacen que el etanol no pueda producirse de manera sostenible; la deforestación en los sitios donde no hay tierra disponible; el potencial efecto adverso sobre la biodiversidad; y la competencia por el agua en algunas regiones.

Algunos ejemplos ilustran las preocupaciones mencionadas:

- La asociación *Friends of Earth* estima que el 87% de la deforestación en Malasia entre 1985 y 2000 fue causada por nuevos cultivos de palma de aceite (Krupp y Horn 2008).
- Indonesia inició la producción masiva de biodiesel a partir de palma de aceite con base en cambio en el uso del suelo. Los productores han logrado resultados positivos por el alto rendimiento privado, pero los daños ambientales (destrucción de hábitat selvático y reducción de la población de especies endémicas y emblemáticas, como el orangután; incremento neto de las emisiones de gases efecto invernadero) y efectos sociales (desplazamiento de poblaciones, concentración de la propiedad rural) han levantado las alarmas en Europa, región que más ha impulsado la producción de biodiesel por motivos ambientales, y que desea que la producción de efectúe en condiciones estrictas de responsabilidad social y ambiental.
- La cantidad de tierra requerida para producir biomasa que reemplace cantidades significativas de petróleo es gigantesca (Krupp y Horn 2008). Los Estados Unidos consumen 140 mil millones galones de gasolina y 40 mil millones galones de diesel cada año. Si se convirtiera toda la soya cultivada en Estados Unidos en biodiesel, se cubriría tan solo el 6% de la demanda de diesel. Además, aumentaría la presión sobre la producción en Brasil para sembrar soya de exportación. Para reemplazar el 30% de la gasolina consumida en Estados Unidos con etanol de pasto varilla (o aguja), se requerirían 200 millones de acres, equivalentes a la mitad del área cultivada en Estados Unidos (Zygourakis 2007, citado por Krupp y Horn 2008). En 2006, el 20% del maíz producido en Estados Unidos se convirtió en etanol, logrando reemplazar sólo el 3.5% de la demanda de gasolina.
- La OECD (2007) ha solicitado eliminar todos los subsidios a los biocombustibles, argumentando que la ausencia de precios adecuados por los servicios ambientales prestados por bosques, humedales y suelos de sabana generan poderosos incentivos para convertirlos en cultivos comerciales para la producción de biocombustibles. La OECD plantea la

necesidad de establecer un impuesto al carbono que sea neutral tecnológicamente, para que el mercado elija las tecnologías más aptas para la reducción de emisiones, a cambio de su selección por cabildeo, como sucede con el etanol producido con maíz subsidiado en Estados Unidos. Las ventajas y desventajas de un sistema de impuestos en comparación de un sistema de “cap-and-trade” se discuten en la sección 6.

- Mendonça (2009) discute los impactos de la producción de biocombustibles en el Cerrado (Brasil). El Cerrado es una vasta región que incluye las cuencas hidrográficas de los ríos Amazonas, Paraguay y San Francisco. Cubre un área de 2 millones de km² entre la selva del Amazonas, la selva Atlántica, el Pantanal y el Caatinga, incluyendo los estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, el Distrito Federal, Tocantins, la parte sur de Maranhão, la parte occidental de Bahia, y parte de Sao Paulo. En 2009 se esperaba una inversión de USD 14.6 mil millones durante 5 años para construir 73 molinos de azúcar en la región Sur Central. Los problemas se complican por la ausencia de titulación de tierras, que permite la apropiación fraudulenta de tierras públicas y su uso depredador. Una parte del área deforestada ha sido sembrada con caña de azúcar. La contaminación local por la quema de la caña de azúcar es muy alta.
- La demanda de agua para la producción de biocombustibles puede competir localmente con el suministro de agua potable y el agua para producción de alimentos. Cerca de 1,200 millones de personas no tienen acceso a agua potable y aproximadamente el 40% de la humanidad no tiene agua para saneamiento básico (IWMI 2007). Para producir un galón de etanol en Iowa se requirieron entre 1,081 y 1,121 galones de agua (Al-Kaisi 2000). En general, bajo los estándares de producción de etanol de primera generación, la biomasa requerida para producir un litro de biocombustibles evapora entre 1,000 y 3,500 litros (IWMI 2007). De continuar la tendencia de producción de biocombustibles sin cambio tecnológico, la superficie usada para producir biocombustibles se triplicaría y al agua consumida representaría el 5% del agua total usada para irrigación (IWMI 2007).
- Según UNEP (2009), en el pasado la producción agrícola creció más rápido que la población. Esta tendencia puede ser menos favorable en el futuro porque el rendimiento promedio puede compensar el crecimiento de la población pero no la creciente demanda de alimentos de origen animal. Entre 2000 y 2030, la población mundial crecería un 36%, tasa similar al crecimiento del rendimiento de los cultivos. Sin embargo, la demanda alimenticia está cambiando hacia una dieta con mayor participación de alimentos de origen animal, especialmente en los países en desarrollo. El estudio de la UNEP (2009) menciona que la FAO estima que el consumo per cápita de carne se incrementará en 22% entre 2000 y 2030, el de leche en 11% y el de aceites vegetales en un 45% en ese mismo período. En estas circunstancias, UNEP (2009) plantea que la expansión de tierra cultivada debería orientarse solo a alimentar la población mundial.

En Estados Unidos tomó gran fuerza la producción de etanol a partir del maíz. Este cultivo sólo puede apostar a los beneficios geopolíticos de la reducción de importaciones de petróleo y a la posible reducción de consumo de carbón. Por las productividades actuales de los cultivos y de los procesos convencionales de producción de etanol, los beneficios públicos son marginales y desaparecen rápidamente a medida que se expande el área cultivada. Los subsidios al maíz imponen un sobre costo a los contribuyentes. La necesidad de fertilizantes y pesticidas (que irónicamente aumenta la dependencia del petróleo importado) puede tener una contribución que algunos autores estiman como negativa en la reducción de gases de efecto invernadero.

Argentina y Brasil han producido resultados de primera generación que son competitivos a nivel mundial, tanto en volumen exportado como en productividad. Las experiencias en el resto de países no son tan promisorias (ver sección 5). Algunos países de América Latina (Guatemala, Perú, etc.) poseen regiones o empresas individuales orientadas desde tiempo atrás a la exportación de azúcar y han sostenido altas productividades por largos períodos. En estos casos, el problema a examinar es si la escala de las actuales explotaciones puede asegurar precios competitivos y si el país o las empresas están

en capacidad de desarrollar e implantar mejoras sostenidas para competir en el mercado mundial de biocombustibles en el mediano plazo. Cabe también preguntarse si no existen mejores usos de la tierra que la producción de bienes básicos (commodities), que están sujetos a la competencia de precios y a los choques de la economía mundial.

E. La dinámica de los biocombustibles avanzados

Los biocombustibles avanzados incluyen la producción de energía por combustión directa de residuos de biomasa sin pasar por líquidos y combustibles a partir de fuentes no alimenticias en tierras “marginales”, tales como alcohol celulósico y de biodiesel a partir de las algas. Las siguientes generaciones podrían llamarse con propiedad “siguientes generaciones de bioenergía.” Estas generaciones son altamente intensivas en innovación tecnológica y sus dinámicas dependen de economías de aglomeración (como las existentes en Silicon Valley para tecnologías de información, comunicaciones y computación) en investigación y emprendimiento, amplios fondos públicos para investigación básica y aplicada, la existencia de un vigoroso sector privado que use los instrumentos del capital de riesgo y tradiciones en defensa de derechos de propiedad intelectual a través del sistema de patentes.

Los biocombustibles avanzados se pueden producir a partir de tallos del trigo, otros desechos de biomasa como el bagazo, celulosa, y algas (en el caso de la tercera generación). Los combustibles de avanzados usan conversión de biomasa-a-líquidos (BtL en inglés) mediante conversión termodinámica, principalmente para producir biodiesel, o fermentación, para producir alcohol celulósico. Este proceso requiere romper las largas cadenas de la celulosa para convertirla en azúcares que pasan por hidrólisis para luego fermentarse, usando enzimas. La celulosa es la forma más común de carbono en el reino vegetal. Cuando se convierte en combustible, su balance energético es excelente (36 BTU por cada 1 BTU de entrada; en comparación con el etanol de caña de Brasil, que consigue 8 BTU por cada 1 BTU de entrada; y con el etanol de maíz, que consigue 1.3 BTU por cada 1 BTU de entrada; Krupp y Horn 2008). También se puede producir biodiesel mediante el proceso Fischer-Tropsch (costoso, requiere economías de escala); y otros combustibles como biohidrógeno, biobutanol, biometanol, dimetilfurano, éter dimetílico y alcoholes mixtos mediante la gasificación de biomasa que tiene bajo contenido de agua con CO, H₂, CH₄, hidrocarburos (“syngas”), del que se obtienen luego combustibles líquidos.

Las algas son unas de las plantas de mayor crecimiento de biomasa, y aproximadamente el 50% de su peso es aceite³. De los triglicéridos contenidos en los aceites de las algas se puede obtener biodiesel con la misma tecnología de segunda generación, mediante transesterificación y pirólisis. Las algas podrían producir más de 2.000 galones de aceite por acre por año, en comparación con los rendimientos de la palma de aceite (650 galones por acre por año), la caña de azúcar (450 galones por acre por año), el maíz (250 galones por acre por año) y la soya (50 galones por acre por año); ver Exxon Mobil (2009). Además de no competir con alimentos por suelo ni insumos, su cultivo no necesita agua limpia para su proceso, puede requerir muy poca agua fresca y su consumo no añade emisiones de gases de efecto invernadero. La agencia estatal británica Carbon Trust, que promueve las tecnologías bajas en carbono, pronostica que los biocombustibles de algas podrían reemplazar más de 70 mil millones de galones de combustibles fósiles por año a nivel mundial en el año 2030, que equivalen al 12% del consumo total de gasolina de avión o el 6% del consumo total de diesel en vehículos terrestres.

La *Jatropha curcas* (*jatropha*) es un arbusto originario de América Central, cuyas semillas contienen aproximadamente un 30-35% de aceite no comestible. Es resistente a la sequía y puede sobrevivir con precipitaciones anuales inferiores a 300 mm. Se ha usado tradicionalmente para construir vallas y en la producción de aceites para lámparas, jabones y en aplicaciones medicinales (GEXSI 2008). La *jatropha* produce aceites de alta calidad para motores de carros y jets. Tiene un potencial de producción de 2 toneladas por hectárea al año, puede crecer en terrenos de baja calidad que no son aptos

³ Las macroalgas son algas marinas visibles, unicelulares o pluricelulares. Las microalgas son algas marinas que alcanzan tamaños entre los micrones hasta los micrómetros; son responsables de la mitad de la fotosíntesis realizada en la Tierra; se han descrito 40.000 especies de microalgas (CNE 2009a).

para la producción de alimentos y en regiones semiáridas que no son aptas para el cultivo de la palma de aceite. Se puede plantar en los bordes de las propiedades, ofreciendo oportunidades de ingresos adicionales a pequeños propietarios. Es una especie apta para usarse en policultivos. Es todavía una especie sin domesticar y su producción es altamente intensiva en mano de obra, lo que puede limitar su productividad (Zelt 2010).

Los siguientes ejemplos recientes muestran la carrera que se está dando en los combustibles avanzados por llegar a la producción comercial. Las políticas públicas para apoyar este segmento incluyen el apoyo a la investigación básica y al capital de riesgo. A continuación se muestran casos que muestran la naturaleza de las investigaciones y desarrollos que están adelantando firmas energéticas, emprendedores, la academia y centros de investigación públicos.

Avances en recolección y tratamiento de algas (Inc. 2010). Las algas deben secarse completamente para poder utilizarlas como combustible. El método de secado más común es la centrifugación: costoso, ineficiente y muchas veces dañino con las partículas de las plantas. Algaeventures Systems, firma de capital de riesgo fundada en 2008, ha desarrollado un sistema de secado basado en ósmosis y otros procesos naturales. Después de que la solución con algas se dispone en el colector, una pantalla móvil jala las partículas en una dirección a medida que la banda transportadora jala el agua en la dirección contraria. La delgada placa de algas se termina de secar por evaporación natural y con calefacción eléctrica. Las hojuelas resultantes se pueden usar como alimento o para producir combustible. Este proyecto emprendedor recibió una donación del Departamento de Energía de Estados Unidos por US\$5,9 millones y logró su primera venta en 2009. El colector puede procesar 500 litros de solución de algas por hora a un costo de US\$2 por tonelada de algas en comparación con US\$3.400 por tonelada usando una centrifugadora.

Patentes recientes de producción de aceite a partir de algas (Cavitation Technologies, Inc. 2010) Cavitation Technologies, Inc., (CTI), firma californiana, solicitó en enero de 2010 una patente para el procesamiento de algas con el fin de producir aceite y otros subproductos. CTI ha finalizado exitosamente el desarrollo y las pruebas de su reactor de algas. Esta tecnología puede extraer aceite de algas de manera continua en aplicaciones comerciales. El proceso desarrollado por CTI comienza por la recolección de las algas de su medio de crecimiento, usando un proceso adecuado de separación. La extracción puede hacerse por métodos mecánicos o químicos. La cavitación es el método más eficiente de extracción. El reactor piloto de CTI crea burbujas de cavitación en un material solvente. Cuando estas burbujas colapsan cerca de las paredes celulares, se crean ondas de choque y chorros líquidos que rompen estas células, liberando su contenido en el solvente. CTI espera vender licencias de su tecnología de cavitación en el mercado de desarrollo de biocombustibles.

La carrera del biobutanol por desplazar al bioetanol (ICIS Chemical Business 2009a) El biobutanol tiene ventajas sobre el bioetanol: tiene una mayor densidad energética, mezcla mejor con la gasolina o se puede usar fácilmente en motores de combustión interna, contamina menos y se puede transportar por poliductos de líquidos refinados. Por sus perspectivas de mediano y largo plazo, BP y DuPont están formando alianzas con firmas nacientes (“start ups”), algunas de las cuales se referencian a continuación.

La fermentación del biobutanol difiere de la fermentación del bioetanol porque usa bacterias a cambio de levaduras. A pesar de esto, la firma Cascone propone adaptar las plantas de producción de etanol a partir de granos o de caña de azúcar. La tecnología para lograr este cambio se está desarrollando en Estados Unidos, Europa y Asia. Se basa en usar versiones modificadas genéticamente de Clostridium, que mejora la productividad y tolerancia del butanol.

La firma Cobalt Biofuels ha enfrentado el reto de la producción continua de biobutanol, logrando fermentaciones continuas de 1.000 horas. Su tecnología logra manejar el problema de que la bacteria mencionada se envenena con el butanol que produce cuando la concentración alcanza el 6%. Cobalt Biofuels se ha especializado en diseñar genéticamente y elegir las mejores cepas de la bacteria para aumentar la continuidad de la fermentación. Esperaba construir una planta piloto entre 10.000-35.000 galones al año 2009 y una planta de demostración a escala entre 2 y 10 millones de galones al

año entre 2010 y 2011, para luego construir una planta comercial en 2012, con la expectativa de suplir el mercado químico y el transporte.

La firma Green Biologics está apostando a crear una plataforma microbiológica amplia de manejo de diferentes materias básicas (melazas, celulosas de variado origen), con el fin de poder conmutar de insumos en respuesta a su disponibilidad y a las fluctuaciones del precio del petróleo, el principal factor de impacto en la viabilidad de la producción de biobutanol. Green Biologics ofrece nuevos diseños de plantas que combinan tecnologías existentes con tecnología microbiológica avanzada. La firma Gevo se enfoca en producir únicamente isobutanol, usando un proceso patentado (GIFT) que requirió la adquisición de una licencia exclusiva sobre una variedad de la bacteria *E. coli*, obtenida por la Universidad de California en Los Angeles. Como la mayoría de firmas nacientes, Gevo apuesta a combinar tecnologías avanzadas en genética con producción en plantas convencionales de etanol. Gevo afirma que su tecnología requiere menos de USD 0,30/galón en reconversión de plantas de etanol y que el costo de producción puede ser la mitad del costo de los procesos petroquímicos convencionales de producción de isobutanol.

Creación de nuevas enzimas para inhibir la producción de lignina (Brookhaven National Laboratory 2009) Investigadores del Brookhaven National Laboratory (BNL), afiliado al Departamento de Energía (DOE) de los Estados Unidos, crearon una nueva enzima con potencial de influir la forma en que se construyen las paredes de las células de las plantas. La enzima sintetiza componentes clave de las paredes celulares, tales como la lignina. En la medida en que las plantas produzcan menos lignina, es más fácil romper las paredes y convertir el contenido celular en combustibles. Los investigadores de BNL lograron adaptar el patrón de funcionamiento de las moléculas precursoras de lignina para inhibir su síntesis, modificando el gen para la enzima y luego separando los productos. Los resultados de estos experimentos en tubo de ensayo deberán probarse en plantas que tengan el gen inhibidor.

La alianza de Synthetic Genomics, Inc. y Exxon Mobil en biocombustibles de algas (Guardian 2009); la alianza de Royal Dutch Shell con emprendimientos nacientes (ICIS Chemical Business 2009b) Craig Venter, genetista líder de uno de los equipos que trabajó en la secuenciación del genoma humano y líder del equipo que ha creado recientemente la primera célula bacteriana viva con un genoma sintético (Gibson 2010), formó en 2009 una alianza de su firma Synthetic Genomics, Inc. con Exxon Mobil para invertir USD 600 millones en la producción de biocombustibles a partir de algas. Synthetic Genomics, Inc., incluye dentro de su equipo directivo a H. Smith, Premio Nobel de Química en 1978. El objetivo de la alianza es producir combustibles que puedan usarse directamente en carros y aviones, sin modificación de los motores. Venter afirma que el reto de crear combustibles de la siguiente generación es la habilidad de producir grandes volúmenes, lo que requiere la participación y financiación de la industria petrolera. Venter afirma también que la combinación de investigadores de las grandes firmas petroleras y genetistas mejora la probabilidad de éxito de los biocombustibles. La alianza construirá una instalación de prueba en San Diego (CA), donde se ensayarán diferentes modalidades de crecimiento y optimización de algas. Venter ha investigado el potencial de los microbios oceánicos en búsqueda de bacterias con buenas propiedades ambientales; ha encontrado bacterias que pueden convertir CO₂ en metano (que podrían usarse para producir combustibles de los gases provenientes de la combustión en plantas termoeléctricas) y otras bacterias que pueden convertir carbón en gas natural, ampliamente reconocido como un energético de transición hacia una economía menos dependiente de los hidrocarburos.

En 2009, Royal Dutch Shell decidió enfocar su estrategia de energías renovables en el campo de los biocombustibles (ICIS Chemical Business 2009b). Esta firma ha establecido alianzas con compañías de biotecnología tales como Iogen (Canadá) y Codexis (Estados Unidos) para desarrollar etanol celulósico; con Choren Industries (Alemania) para la producción de biodiesel; con Virent Energy Systems (Estados Unidos) para desarrollar gasolina a partir de biomasa; y ha formado una nueva firma conjuntamente con HR Biopetroleum (Estados Unidos; instalada en Hawái) para producir combustible a partir de algas. Shell afirma que le tomará entre 5 y 10 años producir biocombustibles avanzados en volúmenes comerciales. Shell ha adoptado un enfoque de portafolio en diferentes tecnologías y países, asumiendo que algunas de las tecnologías serán exitosas y otras no. Shell afirma que en la actualidad es

el mayor distribuidor global de biocombustibles convencionales, con 6,000 millones de litros distribuidos en 2008.

La agenda investigativa del MIT en biocombustibles (Jones Prather 2007) La nueva presidencia del MIT ha decidido que la energía es prioritaria en la agenda investigativa de la universidad. Esta prioridad se materializa en dos iniciativas: i) la formación de una iniciativa multidisciplinaria y multifacultades; ii) la integración de ciencias biológicas e ingeniería. Jones Prather (2007) profesora de esta universidad, en un testimonio ante el Congreso de Estados Unidos, plantea que no hay una solución mágica o única para volver realidad una industria de combustibles alternativos para el transporte. Existen grandes retos en la producción y cosecha de biomasa; la preparación y el tratamiento; la conversión a combustible; y la purificación del mismo. Cada una de estas fases necesita investigación y desarrollo para producir biocombustibles en gran escala. El MIT está investigando cada una de las fases. En la fase de conversión trabaja en la utilización de todo tipo de azúcares; y en la mejora de la tolerancia de los microorganismos a la toxicidad de los biocombustibles y los materiales básicos. La toxicidad es una de las limitantes más grande en la producción de biocombustibles. El MIT aplica ingeniería metabólica para el primer caso. En el segundo caso, ha desarrollado la nueva tecnología gTME, que mejora la tolerancia de la E. coli y la levadura al etanol, creando organismos que pueden crecer en grandes concentraciones de este combustible.

La densidad del etanol es solamente el 70% de la densidad energética de la gasolina, lo que genera pérdidas de eficiencia como combustible; además, las propiedades físico-químicas del etanol, especialmente su tendencia a absorber agua, fomentan la corrosión y dificultan su transporte masivo por ductos y su almacenamiento; el uso masivo del etanol una red paralela de ductos. Jones Prather (2007) advierte sobre el cuidado que debe tenerse en incentivar en el futuro las mezclas de gasolina con etanol y en la importancia de desarrollar combustibles que puedan usarse sin cambios en los motores actuales. Finalmente, Jones Prather (2007) enfatiza la naturaleza sistémica del problema de la I&D; las soluciones deben diseñarse con una visión que integre el principio y el final de los procesos. Se debe trabajar con la óptica de programa y no de componentes aisladas, y en tal sentido recuerda la importancia que tuvieron para Estados Unidos, en su momento y para diferentes objetivos, el Proyecto Manhattan y el Proyecto Apolo. El apoyo público consiste en financiar programas de largo plazo, evitando la intermitencia. Jones Prather (2010) estima que la producción comercial de etanol celulósico podría empezar en 2017, y que los beneficios de la investigación aguas arriba (mejora de cultivos y tratamiento) tardan 15 años en volverse efectivos.

La jatropha y la apuesta de la industria de combustibles en aviación (Zelt 2010) El número de plantaciones de jatropha ha crecido a nivel mundial, especialmente en Asia y más recientemente en América Latina (Brasil); ya se está produciendo aceite a nivel comercial en pequeña escala; grandes firmas multinacionales están invirtiendo en su cultivo y producción. La firma D1 oils plc ya ha producido sus propias variedades por mejora genética; la firma SG Biofuels ha compilado la más grande librería genética de variedades de jatropha en el mundo y la Universidad de Rajasthan (región desértica de la India) ha aislado una variedad que posee concentraciones superiores al 35% en contenido de aceite. La industria de combustibles para jets está altamente interesada en la utilización de la jatropha. Se ha probado exitosamente su uso en jets por parte de Air New Zealand, Continental Airlines y Japan Airlines en 2008-2009. IATA se ha comprometido en que el combustible para jets tenga un 10% de mezcla con combustibles alternativos para el año 2017 y 15% para el año 2020. Además, la Unión Europea ha anunciado que impondría un techo para las emisiones de carbón para aerolíneas comerciales partir de 2011. La jatropha sería una alternativa seria en este nicho de mercado, pero deben reconocerse sus limitaciones en requerimientos de mano de obra y sus rendimientos todavía bajos. Zelt (2010) estima que la oportunidad de mercado requeriría una producción anual entre 25 y 30 millones de toneladas de aceite de jatropha, meta bastante optimista.

Concursos para fomentar la asociatividad académica en biocombustibles: el caso británico (The University of Sheffield Media Centre 2010a; 2010b) Carbon Trust (ya mencionado) anunció en marzo de 2010 la selección de un equipo de 11 universidades británicas con 70 expertos, que ganó entre 80 propuestas el concurso para encontrar una fórmula comercialmente viable que ayude a producir 70 mil millones de litros anuales de biodiesel a partir de algas en 2030. El equipo ganador

revisará miles de cepas de algas y desarrollará plantas piloto. La Universidad de Sheffield, parte del equipo seleccionado, ha ganado la medalla Moulton de la Institución de Ingenieros Químicos por adaptar un biorreactor que reduce los costos de energía de producción de biocombustibles, que se está ensayando en el tratamiento de aguas residuales por parte de la compañía Yorkshire Water.

F. Biocombustibles y energía, I&D+i en biocombustibles y capital de riesgo en América Latina

1. Biocombustibles y energía en los países de América Latina

CEPAL (2008) plantea que las políticas sostenibles de biocombustibles en América Latina deben examinarse en tres dimensiones: económica, ambiental y social. A continuación se condensan y amplían los planteamientos de este estudio de CEPAL, centrado en los combustibles de primera generación.

- *Dimensión económica.* Esta dimensión comprende los ejes energético, agrícola, de estructura industrial, macroeconómico y tecnológico. Los biocombustibles deben evaluarse por su aporte a la independencia energética, y la diversificación y el ahorro energéticos. Debe examinarse también si el balance neto de producción energética es positivo, examinado en todo el ciclo de vida del combustible (producción de biomasa, transformación y consumo). Debe analizarse la competencia por el uso del suelo entre cultivos destinados a la producción de biocombustibles, la producción de alimentos o fibras (agricultura, ganadería, silvicultura) y la conservación. El estudio plantea que los biocombustibles son una oportunidad para la diversificación de la agricultura. En cuanto a la estructura de industria de transformación, se anota que la producción de etanol tiende a la integración vertical con los cultivos y a estar sujeta a economías de escala en producción, mientras que la producción de biodiesel puede en principio efectuarse con plantas modulares. La producción de biocombustibles puede tener impactos fiscales por las exenciones de impuestos y otorgamiento de subsidios a los productores de materia prima y producto final. Los costos de estas distorsiones deberían balancearse por los efectos en la balanza de pagos y comercial. El conocimiento acumulado en desarrollo de materias primas y procesos de transformación, especialmente en países sin ventajas comparativas para la producción de biocombustibles de primera generación se convierte en un importante factor para decidir si invertir en investigación y desarrollo orientados a segunda y tercera generación.
- *Dimensión ambiental.* Comprende la reducción de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, y el uso de los recursos naturales. El uso de fertilizantes, pesticidas y combustibles fósiles en todo el proceso de producción y transformación de biocombustibles, así como las liberaciones netas de carbono por cambio de uso del suelo pueden tener un balance negativo sobre la emisión de gases de efecto invernadero. El impacto sobre la calidad ambiental (contaminación de agua y aire) es también ambiguo y depende de cada caso concreto. El uso intensivo del suelo y del agua, y el impacto de los monocultivos sobre la biodiversidad pueden ser nocivos y pueden estar estimulados por la ausencia de cobros por servicios ambientales. La rotación de cultivos y la agricultura orgánica y de bajo impacto en arado pueden ser las soluciones sostenibles en algunas regiones, pero las presiones comerciales pueden conducir al deterioro de los ecosistemas.
- *Dimensión social.* Comprende la seguridad alimentaria, el empleo y la distribución del ingreso, y el desarrollo local. La introducción de cultivos para producción de biocombustibles puede competir en el corto y mediano plazo con la producción de alimentos. Los incrementos y la volatilidad de los precios tienen un impacto negativo, especialmente sobre los sectores de menores ingresos. Hay que tener en cuenta que, en evaluación económica de proyectos, el empleo es siempre un costo (a menos que haya desempleo crónico) porque desplaza recursos laborales de actividades existentes a nuevas. La concentración de la propiedad que puede requerirse para lograr economías de escala

puede crear conflictos sociales. Las tierras marginales, a menos que sean parte de un proceso de construcción de suelo con rotación de cultivos, necesitarán tarde o temprano la adición de fertilizantes para sostener la producción de tipo comercial intensiva.

Ese estudio CEPAL (2008) plantea situaciones estilizadas de acuerdo a un conjunto de criterios para la producción de biocombustibles e identifica potenciales ganancias o pérdidas en cada uno de los diez ámbitos discutidos dentro de las tres dimensiones antes presentadas. Se obtienen las tipologías que se presentan a continuación de manera simplificada, seis para el etanol y 3 para el caso de la palma de aceite.

- *Situación 1.* Incluye a países pequeños con bajos consumos de energía per cápita, altamente dependientes de importaciones de petróleo y sus derivados, importador de alimentos y con moderado o alto requerimiento de tierras para producir biocombustibles. La producción se destinaría para el consumo doméstico. Esta tipología incluye a El Salvador, Haití, Honduras, Nicaragua, Panamá, República Dominicana y Guatemala.
- *Situación 2.* Incluye a países pequeños con altos consumos de energía per capita, altamente dependientes de importaciones de petróleo y sus derivados, importador de alimentos y con moderado requerimiento de tierras para producir biocombustibles. La producción se destinaría para el consumo doméstico. Esta tipología incluye a Barbados, Jamaica, Grenada, Guyana, Surinam, Cuba y Costa Rica.
- *Situación 3.* Incluye a países exportadores de hidrocarburos, importadores de derivados, bajo nivel de consumo de energía per cápita, bajos requerimientos para producir biocombustibles. Incluye a Perú, Bolivia y Ecuador.
- *Situación 4.* Brasil: país exportador de hidrocarburos, exportador de alimentos, fuerte desarrollo tecnológico en cultivos y desarrollo tecnológico, bajos requerimientos de tierras para producir biocombustibles.
- *Situación 5.* Colombia: amplia dotación de recursos energéticos, bajo nivel de consumo de energía per cápita, necesidades de suministro descentralizado a regiones apartadas, moderado importador de alimentos, moderado exportador de petróleo y alto exportador de carbón, moderados requerimientos de tierras para producir biocombustibles. En el estudio de CEPAL, Colombia no aparece como un potencial productor de biodiesel, tema que se discute más adelante.
- *Situación 6.* México: exportador de petróleo, alto consumo de energía per cápita, importador moderado de alimentos, moderados requerimientos de tierras para producir biocombustibles.
- *Situación 7.* Paraguay: importador de petróleo, bajo nivel de consumo de energía per cápita, exportador de alimentos, bajos requerimientos de tierras para producir biodiesel.
- *Situación 8.* Chile y Uruguay: importadores de petróleo y gas que buscan la independencia energética, moderado consumo de energía per cápita, moderados o altos requerimientos de tierras para producir biodiesel, producción forestal importante.
- *Situación 9.* Argentina: autosuficiencia en hidrocarburos, alto consumo de energía per cápita, fuerte exportador de alimentos, fuerte productor de soya y aceite vegetal, bajo requerimientos de tierras para producir biodiesel, alto nivel tecnológico en cultivos y procesos.

El estudio de CEPAL (2008) asume que existirá una demanda por biocombustibles en cada país, que proyecta para el año 2020. El presente estudio plantea la posibilidad de que en el mediano plazo una parte de la producción de biocombustibles de primera generación desaparezca, debido a:

- La competencia por el suelo y el agua entre biocombustibles y alimentos.
- El aumento de la penetración del gas natural a nivel internacional en el corto plazo, dadas las inmensas reservas de gas no convencional encontradas recientemente en muchas regiones del mundo (ver New York Times 2009; The Economist 2010). El gas no-

convencional de tipo “shale” tiene a su disposición nuevas tecnologías de exploración, perforación y extracción a costos que fluctúan alrededor de los precios de mercado observados. Estados Unidos tendría gas no convencional para cubrir 100 años de su demanda doméstica del gas natural. El precio del gas natural se formará a nivel regional y se desacoplará por un largo tiempo del precio de petróleo, teniendo el precio de sus sustitutos locales como techo.

- La penetración de otras energías renovables (eólica, fotovoltaica, solar térmica, geotérmica) y de biocombustibles avanzados (alcohol celulósico, biodiesel a partir de *Jatropha* y algas) en el mediano plazo.

2. I&D+I en América Latina

Para calificar las capacidades de investigación y desarrollo, e innovación de los países de América Latina, se examinan los siguientes indicadores clave: i) solicitud de patentes por nacionales; ii) número de artículos científicos y técnicos publicados; iii) inversión en investigación y desarrollo como porcentaje del PIB; iv) número de investigadores que trabajen en investigación y desarrollo por millón de habitantes.

Estos indicadores sirven para detectar tanto masa crítica (en los indicadores absolutos) como existencia de condiciones favorables para las actividades investigativas básicas y aplicadas. No se encontraron estadísticas discriminadas por sector productivo; pero la modestia de las cifras de la región en comparación con otros países emergentes y países desarrollados es suficiente para llegar a conclusiones robustas para la formulación de políticas y desarrollo de capacidades en investigación y desarrollo, e innovación en biocombustibles.

La dificultad de encontrar cifras disponibles para un solo año en el Cuadro I.1 para los países latinoamericanos muestra la irregularidad e intermitencia de la actividad innovadora. La actividad de China es sorprendente por tener un orden de magnitud de patentes similar al de Estados Unidos. La suma de solicitudes de patentes de Argentina, Brasil y México y Chile es similar a la de la India. Brasil tiene un nivel de patentes superior a España. Los demás países de la región prácticamente no tienen actividad innovadora que requiera patentes, lo cual sugiere que las economías dependen de sectores primarios, mercados protegido o limitado tamaño de la economía.

CUADRO I.1
SOLICITUDES DE PATENTES POR NACIONALES EN PAÍSES SELECCIONADOS
(Número)

País	2008
Argentina	899 (1999)
Bolivia (República Plurinacional de)	-
Brasil	3 810 (2006)
Chile	291 (2006)
China	194 579
Colombia	121 (2007)
Costa Rica	-
Ecuador	-
España	3 632
Estados Unidos	231 588
Guatemala	5
Honduras	-
India	5 314 (2006)
Inglaterra	16 523
Israel	1.528
Jamaica	-
México	685
Nicaragua	-
Panamá	-
Perú	31
Uruguay	33
Venezuela (República Bolivariana de)	-

Fuente: World Bank Data Catalog. <http://data.worldbank.org/indicador/IP.PAT.RESD>

Nota: (1) años diferentes del 2008 entre paréntesis.

Sin controlar por calidad (revisión por pares), el Cuadro I.2 muestra una menor desigualdad entre países desarrollados, y entre países desarrollados en materia de publicaciones. Asimismo, el nivel de actividad en publicaciones es superior que en patentes. En Estados Unidos, el cociente entre patentes y artículos es superior a 1, mientras que en los países latinoamericanos este mismo cociente es inferior a 0.5, lo que se podría implicar que la actividad de investigación y la de innovación están desacopladas. Esta relación sugiere un bajo nivel de colaboración efectiva entre universidad y sector real en América Latina, ausencia de oportunidades o problemas en el clima de negocios, o mayor peso de publicaciones en sectores diferentes a las ciencias e ingeniería.

La variable del Cuadro I.3 es la más usada como primera aproximación (proxy) de la innovación en la literatura. Israel y Estados Unidos destinan porcentajes superiores al 2% del PIB para investigación y desarrollo, cifras asociadas a economías dinámicas y creadoras de nuevos productos. La China invierte más proporcionalmente que cualquier país de América Latina. Brasil es el único país de la región que tiene porcentajes superiores a 1% (no hay datos disponibles para Chile). Argentina y México invierten 0.5% y, de nuevo, los demás países de la región registran niveles de actividad relativa virtualmente inexistentes. Esto sugiere economías cerradas y poco tecnificadas o que exportan materias primas sin procesamiento.

CUADRO I.2
ARTÍCULOS CIENTÍFICOS Y TÉCNICOS PUBLICADO EN PAÍSES SELECCIONADOS
(Número)

País	2005
Argentina	3 058
Bolivia (República Plurinacional de)	-
Brasil	9 889
Chile	1 559
China	41 596
Colombia	400
Costa Rica	105
Ecuador	-
España	18 336
Estados Unidos	205 320
Guatemala	-
Honduras	-
India	14 608
Inglaterra	45 572
Israel	6 309
Jamaica	-
México	3 902
Nicaragua	-
Panamá	-
Perú	133
Uruguay	204
Venezuela (República Bolivariana de)	534

Fuente: World Bank Data Catalog. <http://data.worldbank.org/indicator/IP.JRN.ARTC.SC>.

CUADRO I.3
INVERSIÓN EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN PAÍSES SELECCIONADOS
(Porcentaje del PIB)

País	2005	2006
Argentina	0,4608	0,4942
Bolivia (República Plurinacional de)	-	-
Brasil	0,9689	1,0232
Chile	-	-
China	1,3325	1,4171
Colombia	0,1823	0,1830
Costa Rica	-	-
Ecuador	-	0,1454
España	1,1262	1,1203
Estados Unidos	2,6122	2,6486
Guatemala	0,0349	0,0494
Honduras	-	-
India	0,8037	0,7946
Inglaterra	1,7685	1,7987
Israel	4,509	4,5342
Jamaica	-	-
México	0,5042	-

(continúa)

Cuadro I.3 (continuación)

País	2005	2006
Nicaragua	-	-
Panamá	0,2452	-
Paraguay	0,0892	-
Perú	-	-
Uruguay	-	0,3612

Fuente: World Bank, Data Catalog. <http://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>.

En término gruesos, la densidad de científicos e ingenieros dedicados a la investigación y desarrollo en Estados Unidos es casi el doble de la densidad de otros países desarrollados y aproximadamente seis veces más intensa que la de Argentina o Brasil (no hay datos disponibles para Chile). A su vez, México tiene la mitad de la densidad de estos países líderes latinoamericanos y, por último, el resto de países de la región tiene densidades 30 o más veces menores de investigadores que la de Estados Unidos, niveles que se asimilan a los existentes en Europa antes de la Revolución Industrial (Cuadro I.4).

En su estudio sobre innovación en América Latina, Anlló y Suárez (2008) encuentran que los bajos niveles de inversión en investigación y desarrollo como porcentaje del PIB para la región reflejan bajas remuneraciones a los investigadores y un esfuerzo más grande del sector público que del sector privado. Además encuentran que los resultados de encuestas de investigación son consistentes con las implicaciones del bajo nivel porcentaje de inversión en investigación y desarrollo: sesgo hacia la adquisición de tecnologías embebidas y un predominio de las innovaciones en procesos, más que sobre productos.

CUADRO I.4
INVESTIGADORES QUE TRABAJAN EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
EN PAÍSES SELECCIONADOS
(Número por millón de habitantes)

País	2005	2006
Argentina	822,8	896,0
Bolivia (República Plurinacional de)	-	-
Brasil	588,0	628,7
Chile	-	-
China	852,5	926,6
Colombia	116,1	151,3
Costa Rica	121,7	-
Ecuador	-	74,6
España	2 548,1	2 657,2
Estados Unidos	4 584,4	4 663,3
Guatemala	30,5	24,9
India	136,9	-
Inglaterra	2 896,7	2 909,0
México	459,5	-

Fuente: World Bank Data Catalog. <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.SCIE.RD.P6>.

3. I&D agrícola en América Latina y el Caribe

Las cifras antes presentadas sirven para calificar el entorno general de I&D de la región y la presencia de aglomeraciones y masa crítica investigativa en los países, que son útiles para formarse una opinión sobre los potenciales de la investigación en siguiente generación de biocombustibles. Estas cifras deben

compararse con indicadores más enfocados de I&D del sector agrícola, que son útiles para examinar el potencial de emprender investigaciones en biocombustibles de primera generación.

Stads y Beintema (2009) compilaron cifras sobre capacidades e inversión agrícola pública en 15 países de América Latina y el Caribe. Estos autores confirman que los sistemas de I&D agropecuario de la región son muy diversos. En general, las agencias gubernamentales realizan la mayoría de la I&D agropecuario público. En los países de la muestra, el sector gubernamental empleaba en 2006 al 61% del personal de I&D agropecuario, mientras que el sector educativo superior empleaba al 35% y las organizaciones sin ánimo de lucro al 4%. A pesar del gran número de universidades dedicadas a la I&D agropecuaria en la región, la capacidad individual de la mayoría de estas, en términos de investigadores equivalentes de tiempo completo, es reducida.

Según Stads y Beintema (2009), en 2006, existían 19,000 investigadores agrícolas (investigadores equivalentes de tiempo completo) en América Latina y el Caribe. Brasil (5,400), México (4,100) y Argentina (3,900) emplearon el 70% de los investigadores de la región. Chile, Colombia, Perú y Venezuela emplearon cada uno entre el 4 y 6% del total de los investigadores. Los 20 países restantes emplearon el 14% del total. El número total de investigadores de la región ha crecido irregularmente. Durante los 90s, el crecimiento fue del 0.6% anual, y entre 2001 y 2005, esta tasa es 1.6%. Las cifras compiladas por estos mismos autores para el gasto público son las siguientes. En 2006, los 27 países de la región invirtieron cerca de USD 3,000 millones (en valores de paridad de 2005) en investigación agropecuaria. Los porcentajes de gasto de Argentina y México aumentaron durante 1981 y 2006, mientras que los de Brasil, Chile y Colombia disminuyeron. En 2006, Brasil ejecutaba el 41% del gasto total de la región. El Cuadro I.5 muestra los gastos públicos en I&D a precios de paridad de 2005 por país, que sirven para medir la capacidad de investigación.

CUADRO I.5
GASTO PÚBLICO EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA PÚBLICA 1981-2006
(Millones de dólares PPP de 2005 y tasas de crecimiento anual en porcentajes)

País	Gasto total				Tasa de crecimiento anual			
	1981	1991	2001	2006	1981-1991	1991-2001	2001-2006	1981-2006
Argentina	202,7	199,	0 221,	9 448,6	2,57	1,33	16,01	2,97
Belice	1,0	2,3	2,3	2,6	2,50	1,33	2,38	1,92
Brasil	1 005,4	1 432,5	1 194,9	1 224,1	2,99 –	1,63 –	0,66	0,58
Chile	58,2	65,6	124,3	98,1	5,54	6,71 –	4,63	3,41
Colombia	104,0	135,0	176,3	152,4	3,73	3,92 –	3,75	0,41
Costa Rica	13,4	20,9	26,7	29,9	-0,49	1,07	2,82	3,04
República Dominicana	14,8	12,2	14,6	17,4	-1,99	1,83	4,17 –	0,23
El Salvador	13,5	10,5	6,0	5,7	-2,27	-5,48	-3,32	-4,23
Guatemala	21,4	11,4	9,0	8,3	-1,43	-4,70	-2,04	-3,82
Honduras	5,5	15,8	13,0	11,0	14,60	0,68 –	2,94	1,62
México	517,6	369,2	437,0	517,6	-3,20	0,85	2,98	0,84
Nicaragua	11,6	14,6	22,5	24,1	1,28	4,03	-2,27	2,62
Panamá	10,1	12,6	10,5	10,0	1,35	-0,68	-0,98	-0,92
Paraguay	2,8	3,4	2,6	3,1	-6,53	-3,41	1,54	-0,34
Uruguay	17,6	28,5	41,8	59,8	8,30	0,80	9,71	4,94
Total de la muestra (15)	1 999,7	2 333,6	2 303,5	2 614,5	1,79	-0,12	2,56	0,99
Total (26)	2 274,7	2 697,5	2 702,9	2 983,7	1,86	0,02	2,14	1,05

Fuente: Stads y Beintema (2009, p.16).

Stads y Beintema (2009).estiman que ratios de intensidad de la investigación (inversión en I&D agrícola como porcentaje del PIB agropecuario), que dan una medida del compromiso público con el sector y con la competitividad. En 2006, los 15 países de la muestra invirtieron en promedio 1.14 dólares en I&D agropecuario por cada 100 dólares de valor agregado agrícola. Este promedio es inferior al porcentaje comparable de 1996, que fue 1.31%.

Los ratios de los países centroamericanos son notoriamente inferiores al promedio, mientras que los de México, Argentina, Brasil, Chile y Uruguay son superiores al 1.0%. Stads y Beintema (2009) advierten que estos ratios pueden no reflejar la política ni el entorno institucional de la investigación agropecuaria, ni el tamaño ni la estructura productiva. Por ejemplo, algunos países pequeños pueden requerir mayores inversiones en investigación por la ausencia de economías de escala; o algunos países pueden tener mayor diversidad agrícola o condiciones agroecológicas más complejas.

En un contexto global, los gastos en I&D agropecuario de la región en 2000 alcanzaron USD 2,800 millones, contra USD 23,000 invertidos a nivel global (12% del total). El porcentaje de inversión de la región en 1981 dentro del total mundial era 14%. La disminución se explica por las mayores inversiones en I&D agropecuario en China e India, donde el gasto público en este rubor se triplicó en el período 1981-2006.

4. I&D+i y oportunidades de negocios en biocombustibles en algunos países de América Latina y el Caribe

Los biocombustibles se volvieron populares en la región a comienzos del siglo XXI. La mayoría de los países emprendieron con mucho entusiasmo programas formales de apoyo al uso de biocombustibles, incluyendo la obligación de uso de mezclas de alcohol y gasolina en el transporte público de algunos países. La justificación de incursionar en la producción de biocombustibles de primera generación es clara en Argentina y Brasil, que tienen amplios territorios, disponibilidad de agua, tradiciones agrícolas centenarias y productividades competitivas en soya y caña de azúcar, respectivamente. En muchos otros países parece haber primado el rescate de sectores agrícolas en declive o la decisión de expandir la frontera agrícola. Esto puede convertirse en un callejón sin salida en el mediano plazo por la competencia con alimentos o con biocombustibles producidos sin apoyos de los gobiernos.

La actividad de I&D en biocombustibles en muchos países de la región está dispersa en proyectos de pequeño presupuesto individual, dada la tendencia del ciclo político a atomizar los recursos escasos. Los presupuestos totales de I&D en biocombustibles en algunos países pueden ser el orden de menos de USD 5 millones anuales y pueden repartirse en 10 o 12 iniciativas temáticas.

Si el sector de biocombustibles en Estados Unidos explicara el 5% de su actividad absoluta en I&D, toda América Latina debería dedicar el 100% de todo su capital humano calificado actual a la actividad para producir cifras comparables en patentes y publicaciones en este tema. Si la proporción de investigadores dedicados a biotecnología en Estados Unidos y América Latina fuera el mismo y la productividad intelectual fuera idéntica en cualquier país, la región produciría aproximadamente 20 veces menos innovaciones o patentes por año en este sector. Estas comparaciones burdas no tienen en cuenta las diferencias en economías de aglomeración ni en otros factores como los incentivos, la cultura, costos de transacción y geografía económica que pueden amplificar la productividad de un país desarrollado en comparación con un país de la región. Tampoco tiene en cuenta que la innovación puede provenir de inversionistas extranjeros que innovan en sus instalaciones de casa matriz o en por su propia cuenta en el terreno, con efectos de demostración. Pero sirven para dar un tono realista al orden de magnitud lo que se puede buscar en la actividad de I&D+i en la región como un todo.

Hay dos rutas para reducir la brecha en I&D+i en biocombustibles con respecto a los países desarrollados. La primera es aumentar la inversión pública en cada país y trabajar en proyectos independientes por país. La segunda es la crear redes de colaboración en torno a programas comunes de innovación y desarrollo en temas básicos a nivel internacional que apoyen a la innovación local, que se desarrolla en la sección 6 como estrategia regional. La propuesta de crear redes expande a nivel de cooperación internacional y a la integración de la I&D y la *i*, los principios metodológicos del estudio y

gerencia de los llamados Sistemas de Innovación Tecnológica (SIT), apropiados para tecnologías en estado inicial. Un SIT es “una red social conformada por actores e instituciones, construida alrededor de una tecnología específica” (Suurs y Kekkert 2009). El rasgo distintivo es el carácter enfocado y la necesidad de que los gobiernos financien los investigadores asociados a las redes propuestas.

A continuación se revisan, sin ánimo comprensivo, algunas de las iniciativas públicas de apoyo al uso o a la I&D, así como prospectos de negocios en biocombustibles que se registran en países seleccionados de la región. La gerencia de las redes propuestas deberá compilar estas iniciativas, clasificarlas de acuerdo a su aporte financiero público, en difusión, de producción de conocimiento o de dinamización de negocios, y darles cabida en la dinámica de las redes propuestas.

Argentina tiene grandes potenciales de producción de biocombustibles competitivos tanto de primera generación como de generaciones avanzadas, así como una gran tradición científica y tecnológica en bioquímica y genética. Las universidades argentinas que forman a 25,000 estudiantes de maestría y 8,000 estudiantes doctorales, constituyéndose en el tercer país de la región en número de estudiantes de posgrado. La actividad de la producción de los biocombustibles de Argentina está regulada por la ley N° 26.093 de 2006 (Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentable de Biocombustibles). Entre otras metas, la ley planteaba que el 5% del diesel consumido en Argentina en 2010 deberían ser de origen orgánico (equivalente a producir 600,000 m³ de biodiesel), y que la gasolina (nafta) debería tener una mezcla de 5% de bioetanol (equivalente a producir 250,000 m³ de bioetanol); metas que han sido claramente superadas. Esta ley ha dado lugar a sustanciales inversiones privadas, incluso para exportar biodiesel de soya a Europa.

A junio de 2010 (iEco Clarín 2010), existen en Argentina unas 20 plantas de producción de biodiesel, con capacidad de producción de 2.6 millones de toneladas anuales. Este negocio tiene aproximadamente USD 2,100 millones en ventas anuales. Las principales firmas de primera generación son exportadoras agrícolas. El 65% de la producción se exporta y el 35% restante (800,000 ton) se consumen domésticamente. Esta industria no existía antes de 2007. Las exportaciones de biodiesel en 2010 pueden llegar a las 1.8 millones de toneladas.

El emprendimiento local ALS Bioenergías tiene un acuerdo técnico y comercial con Dow Chemical Cono Sur para producir 60,000 toneladas anuales de biodiesel con insumos flexibles (aceite de soya, aceites usados, grasas animales, algas, aceites crudos de girasol y colza y la salicornia o espárrago de mar; iEco Clarín 2010). Las plantas de ALS son modulares, lo que permite la producción comercial en pequeña escala. Esta es una innovación importante en la producción de biocombustibles avanzados. El objetivo de ALS y Dow es vender plantas llave en mano para la región. A su vez, Dow tiene los ojos puestos en las algas, dado su gran potencial no sólo en la producción de combustibles, sino en toda la industria química y la presencia de 4 de sus plantas en la región de Bahía Blanca.

La firma Oil Fox (Oilfox 2010) lleva más de una década experimentando, creando prototipos y difundiendo las posibilidades de las algas y otros insumos de biomasa para producir combustibles. Mantiene una estación de suministro de biodiesel al público, apoya a ONGs y pequeños productores, ha demostrado la viabilidad del biodiesel sin mezcla para transporte a grandes distancias, mantiene convenios de I&D y estandarización y homologación de calidades con diversas universidades de Argentina, y planea producir plantas de última generación llave en mano de capacidades entre 1,000 y 20,000 toneladas mensuales. Esta firma se ha incorporado en Estados Unidos (Oil Fox Corporation). Esta firma administra la planta piloto de San Nicolás (Provincia de Buenos Aires), con una producción anual de 240 toneladas.

Por su parte, la firma argentina Biocombustibles Chubut produce pequeñas cantidades de diesel a partir de aceite de microalgas (iEco Clarín 2010), pero ha logrado pasar rápidamente a la materialización de negocios por el éxito de sus aplicaciones demostrativas; ha firmado un convenio con EADS, el consorcio dueño de Airbus y Eurocopter, para suministrar el combustible a 50 helicópteros. Además, en la feria de aviación de Berlín de junio de 2010, un avión de Airbus realizó un vuelo de prueba con combustible producido con 18 variedades de algas por esta compañía (NextFuel 2010). Esta firma planea invertir en Sao Paulo (Brasil), con el fin de producir combustible para aviación, aprovechando que EADS fabrica los aviones de la fuerza aérea brasileña. Biocombustible Chubut ha

firmado una carta de intención con Oil Fox y la provincia de Buenos Aires con la intención de producir 10 toneladas diarias de biodiesel de algas.

Argentina cuenta con una densa red de entidades públicas y privadas en biocombustibles (una lista parcial de estas entidades fue suministrada por Miguel Almada), que incluye universidades de gran renombre y de cobertura regional, gremios productores, los ministerios relevantes y el CONICET. Se investigan oleaginosas tradicionales de la pampa húmeda, *jatropha*, ricino y algas.

Brasil es el segundo productor mundial de etanol y el primer exportador del mundo. En 2009, Brasil produjo 24,900 millones de litros de alcohol, equivalentes al 37.7% del total mundial usado como combustible (Renewable Fuels Association 2010). Brasil posee grandes extensiones de tierras que no compiten en el corto plazo con la producción de alimentos. El balance hídrico favorable de Brasil reduce en el corto plazo la presión sobre otros cultivos o la necesidad de construcción de obras masivas de irrigación. El tamaño de su economía interna y la existencia de una masa crítica de universidades e investigadores en suelos, genética y bioingeniería, y la dinámica sostenida de los procesos de innovación redondean una posibilidad financieramente viable para los biocombustibles brasileños.

Brasil es el líder en formación superior en América Latina y el Caribe, con aproximadamente 62,000 estudiantes de maestría y 38,000 estudiantes doctorales. En 1996, Brasil empleaba más de 5,000 investigadores de tiempo completo equivalente e invertía más de USD 1,000 (1993) millones en I&D agrícola, que equivalían aproximadamente a la mitad de toda la financiación en I&D agrícola en América Latina y el Caribe en ese año (Beintema, Avila y Pardey 2001). Esto implica una intensidad de USD 1.7 invertidos en I&D agropecuario por cada USD 100 de PIB agropecuario, similar a la intensidad de los países desarrollados y casi tres veces más alta que la intensidad promedio (0.58% entre 1981 y 1985) de I&D agrícola de 26 países de América Latina (Pardey y Alston 1995).

El sector público lleva décadas invirtiendo consistentemente en mejora genética de semillas a través de EMBRAPA y mejoras en uso del suelo de sabana (se cultivan 500 variedades de caña en Brasil; cerca de 24 grupos de investigación están trabajando en la identificación de genomas de la caña (Macedo (ed.) 2007). El estado también dio claras indicaciones de política energética con el diseño de programas de producción de alcohol carburante para reducir las importaciones de petróleo, liderados a partir de 1975 por Pro Álcool. Como resultado de estos esfuerzos continuos por más de tres décadas, Brasil tiene la tecnología de producción de alcohol de caña más eficiente del mundo. La productividad de la producción de bioetanol ha crecido 3.77% anualmente desde 1975; la productividad promedio actual es de 9,000 litros por hectárea (Goldemberg 2008).

Esta iniciativa se inserta en una densa red institucional a nivel federal, estatal, gremial y de centros de apoyo investigativo en energía, biocombustibles y cultivos. La historia y perspectivas del etanol en Brasil, tanto de azúcar como celulósico, se recogen en parte en el detallado estudio BNDES-CGEE-CEPAL-FAO (2008). Queda como incógnita la sostenibilidad de este proceso, dada la ausencia de precios en los servicios ambientales de los recursos usados o desplazados en la producción en el Cerrado.

La abundante oferta y el tamaño del mercado doméstico han incentivado el desarrollo de vehículos flexibles, que pueden funcionar con cualquier proporción de mezcla de gasolina y alcohol. El sector de vehículos flexibles vendió más del 90% de los automóviles del Brasil, partiendo del 22% de las ventas en 2004. Las iniciativas públicas incluyen el uso del alcohol en el transporte público y de motocicletas de combustibles flexible.

El dinamismo de la inversión en biocombustibles en Brasil destaca a nivel mundial. Durante 2009, se invirtieron USD 8,737 millones en 81 proyectos repartidos en 18 países en las áreas de tecnologías de procesamiento y desarrollo de materias primas. El país donde más se invirtió fue Brasil, con un total de USD 3,454 millones, y la inversión individual más grande estuvo a cargo de Petrobras. Esta firma invirtió USD 2,800 millones para expandir su capacidad de producción de biocombustibles de primera generación (Biofuels Digest 2010). En 2009 también, BP anunció que abandonaba su producción en *jatropha* en Estados Unidos, concentrándose en etanol en Brasil y en biomasa para biocombustibles avanzados en Estados Unidos. Las inversiones de BP en plantaciones de caña de azúcar

y producción de etanol ascienden a USD 1,000 millones, por intermedio de su subsidiaria BP Biofuels Brasil (Green Momentum 2009).

Chile dispone de una larga línea costera (2,500 km) para producir aceite de algas, tradiciones en el sector forestal y en la producción de pulpa y papel (en la Octava Región), amplia trayectoria de investigación y desarrollo, un ambiente favorable al emprendimiento y a la inversión internacional, y grandes necesidades de disminuir su dependencia de los hidrocarburos importados. Sus universidades son competitivas a nivel internacional y preparan 13,000 estudiantes de maestría y 3,000 estudiantes de doctorado, lo que constituye la intensidad más grande de formación superior por población en toda América Latina y el Caribe. Chile ha puesto mucho énfasis en movilizar al capital privado para la innovación, con un estilo distinto al de Brasil. En buena medida, las iniciativas de capital de riesgo en Chile deben su surgimiento a la actividad de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), que invierte tres pesos por cada peso aportado por un inversionista de riesgo.

CORFO, a través de InnovaChile (CORFO 2010), es la principal agencia pública en el sector de la innovación tanto en empresas establecidas como en nuevos emprendimientos. En 2005 se estableció el Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC), financiado con impuestos al sector minero. CORFO recibe una parte de los ingresos del FIC. La biotecnología, la energía y el medio ambiente es una de las cinco áreas sectoriales de InnovaChile. El 85% de los recursos de InnovaChile van a esta área sectorial (Foroenergías 2009). A las convocatorias de CORFO en combustibles avanzados se presentan centros académicos como el Centro de Tecnología de la Universidad de Concepción, que también ha incursionado en el campo de la producción de combustibles a partir de la lignocelulosa por muchos años. La iniciativa más reciente de CORFO es crear el Burrill Chile Fund, liderado por la firma norteamericana Burrill & Company, un fondo de capital de riesgo en ciencias biológicas que invertirá entre USD 40 y 60 millones.

La importancia que se otorga a la producción de biocombustibles avanzados se refleja en el esmerado esfuerzo de prospección de la Comisión Nacional de Energía (CNE) en la generación de energía a través de microalgas (CNE 2009a) y macroalgas (CNE 2009b). Estos dos estudios de vigilancia tecnológica (basados en el seguimiento del estado de las patentes) revisan el estado del arte, las variedades disponibles, las modificaciones genéticas necesarias para la producción de energía, el estado de las patentes y herramientas para movilizar la escalera de innovación, las tecnologías, los sistemas de cultivo, los procesos biotecnológicos basados en enzimas o microorganismos para mejorar el rendimiento de los cultivos y la conversión de los productos en energía.

Colombia tiene vastas extensiones de sabana sin cultivar (aproximadamente 200,000 km²), pero de baja fertilidad y alta vulnerabilidad; aunque tiene largas tradiciones de producción de caña de azúcar, no ha aumentado su productividad de manera sostenida. La producción de bioetanol de Colombia se estimó en 315 millones de litros durante 2009 (BioDieselSpain 2009) y la producción de biodiesel fue de 150,000 toneladas en el mismo año (Cenipalma 2010). Los cultivos de caña de azúcar o de palma de aceite no son competitivos internacionalmente. La I&D agropecuaria se transformó en los años 90s, cuando se fundó CORPOICA bajo un modelo de alianza entre el gobierno y asociaciones de productores, universidades e instituciones regionales (Beintema, Romano y Pardey 2000). ICA, instituto precursor de CORPOICA, empleaba a más del 70% del total del personal dedicado al I&D agropecuario a principios de los años 80s, mientras que CORPOICA empleaba en 2006 a un poco más del 25% (Stads y Beintema 2009). La I&D agropecuaria privada subió del 22% al 31% del total de la inversión entre 1970 y 1991, reflejando el cambio de políticas y de financiación (James 1996). Actualmente, la I&D privada se realiza principalmente a través de asociaciones gremiales. En los cultivos que se usan para producir biocombustibles, cabe mencionar a CENICANA (fundado en 1977 para asumir las investigaciones sobre caña de azúcar que antes ejercía el estado a través del ICA) y CENIPALMA (fundado en 1991 con la misión de investigar el control de plagas y enfermedades de la palma de aceite). Estos centros son muy activos y visibles en la actividad agropecuaria, y tienen el reto de aumentar la productividad de los cultivos de manera sustancial para lograr competitividad. Por otra parte, Colombia tiene 12,000 estudiantes de maestría y 1,000 estudiantes de doctorado, menos que en Chile, aunque su población es tres veces más alta.

A diferencia de Argentina, que creó el mercado interno apelando únicamente a cuotas obligatorias para las mezclas de combustible, Colombia ha otorgado subsidios y protección arancelaria a los biocombustibles. Los cultivos de palma de aceite para producción de biocombustibles reciben exenciones del impuesto de valor agregado (IVA) y del impuesto global de biodiesel; y del impuesto de renta líquida por 10 años (Benavides 2010). También tiene subsidiados los precios de venta del biodiesel para mezclas. Se dan estímulos a zonas francas orientadas a proyectos agroindustriales en biocombustibles, incluyendo una reducción del impuesto de la tasa del impuesto de renta (15%, contra 34% para el común de los negocios), importación de equipos sin aranceles y sin impuesto de valor agregado (IVA) para inversiones superiores a USD 18 millones o que generen más de 500 empleos. Además, por ley se exime del impuesto de renta a las inversiones en activos fijos reales en proyectos agroindustriales, incluyendo el leasing financiero; el crédito está subsidiado, el fisco subsidia hasta en un 40% a los productores para el pago de su crédito para los agricultores que no hayan usado otras líneas de crédito ni se hayan beneficiado de la exención tributaria.

La producción de aceite de palma en Colombia tiene efectos modestos sobre el crecimiento del empleo local, su principal impacto de encadenamiento productivo es sobre la demanda de fertilizantes (que se producen fuera de la región) y consumen grandes cantidades de agua. Con los incentivos fiscales de todo tipo que recibe la palma de aceite, se estimula el aumento del área cultivada para capturar economías de escala en el capital y maximizar el efecto positivo de los subsidios. En algunos ecosistemas de escasa capacidad de carga, la lógica económica puede conducir al conflicto por las tierras y el agua con el resto de productos y los asentamientos humanos.

Los beneficios de obligar a los contribuyentes a subsidiar a una industria protegida sin que existan presiones de abastecimiento o altos niveles absolutos o per cápita de emisión de gases invernadero, son difíciles de justificar. Para insertarse en el mercado mundial de biocombustibles, Colombia enfrenta el dilema de mejorar su productividad y reducir los factores de geografía económica que inhiben la rentabilidad de los actuales cultivos, como los costos logísticos no competitivos. Las barreras impuestas para proteger la industria no se usan para ganar tiempo e invertir en investigación y desarrollo. Existe una amplia frontera por desarrollar (Orinoquia), de varios millones de hectáreas potenciales para cultivos, pero no se han desarrollado y confirmado las tecnologías propias para la gestión sostenible de una región con un ciclo hidrológico complejo y baja fertilidad (similar en algunos sentidos al Cerrado brasileño).

5. El papel del capital de riesgo en la innovación de los biocombustibles⁴

Antes que una técnica específica de financiación, el capital de riesgo corresponde a una forma de ver el mundo y de enfrentar y gestionar riesgos creativamente. El capital de riesgo es una *institución* ligada a la necesidad de llevar rápidamente al mercado las innovaciones tecnológicas y redireccionar los flujos de capital hacia negocios de alto rendimiento. Los negocios que se financian mediante el capital de riesgo asumen riesgos para los cuáles los instrumentos de deuda no están diseñados. Por otra parte, la corporación (cuyo patrimonio se transa “públicamente”) tiene un pesado arreglo de supervisión que puede convertirse en un estorbo para la creación de valor y la gestión de riesgos en productos y servicios innovadores. Por esto se prefieren estructuras de patrimoniales cerradas, que tienen mayor flexibilidad para la rápida toma de decisiones y que se basan en una relación de confianza entre inversionistas y emprendedores. El capital de riesgo crea valor al conectar financiadores sofisticados, por un lado, y emprendedores que intentan iniciar y hacer crecer sus compañías, por el otro. Los inversionistas en capital de riesgo reducen el tiempo necesario para que un emprendedor entienda que el negocio propuesto no es rentable, o las condiciones bajo las cuales puede serlo y financiarlo.

El capital de riesgo tiene un ambiente propicio para crecer en *economías emprendedoras*, que tienen cuatro características (Baumol, Litan y Schramm 2007): i) *facilidad de iniciar y hacer crecer un*

⁴ Este apartado se basa en Benavides (2009).

negocio, que incluye los bajos costos de iniciar y registrar un negocio, la flexibilidad de contratación laboral, una legislación y una cultura de bancarrota benévola (que no castigue financieramente ni estigmatice socialmente a quienes entren en ese régimen) y el acceso a la financiación; ii) remuneración adecuada al emprendimiento productivo (innovativo y replicativo), que ocurre cuando rige el imperio de la ley y los contratos se cumplen, los impuestos no son onerosos, la regulación es apropiada, existen mecanismos efectivos de remuneración de la innovación (dando algún grado de exclusividad sobre los ingresos generados por un invento), la investigación y desarrollo es apoyada por el gobierno, las universidades comercializan sus inventos y el emprendimiento imitativo es bienvenido (tal como lo hicieron en su momento algunas economías asiáticas); iii) desincentivo a la caza de rentas, que incluye la inversión improductiva en actividades ilegales —la corrupción y el soborno— y legales —proteccionismo, preferencias tributarias— iv) presión permanente sobre los ganadores⁵, con el fin de evitar que se conviertan en monopolistas y bloqueen la entrada a nuevos jugadores; incluye la existencia de leyes de defensa de la competencia y la bienvenida a la inversión y el comercio internacional.

Los porcentajes de negocios de capital de riesgo y de capital privado en el PIB son indicadores de la respuesta del emprendimiento al clima para este tipo de negocios. Las estimaciones de LAVCA (2010) al respecto comprueban que existe una alta correlación entre la calificación del clima para el capital privado y el capital de riesgo, y el porcentaje de negocios financiados de esta manera como participación del PIB⁶. El Reino Unido e Israel tienen alta intensidad de financiación. Destaca El Salvador por su intensidad de inversión, a pesar de la baja calificación. Chile y Brasil, países destacados en la región por su actividad en capital de riesgo, alcanzan aproximadamente 1/10 de la intensidad de financiación del Reino Unido. Argentina no está en la muestra.

La presencia del capital de riesgo como elemento dinamizador de la escalera de innovación en biocombustibles debe hacer parte de la estrategia de los países que, a diferencia de Brasil, no tienen las ventajas de los grandes mercados domésticos, las ventajas comparativas, la fuerte financiación pública a las instituciones como EMBRAPA y las grandes firmas de hidrocarburos domésticas e internacionales que van al país a invertir en plantas de producción de biocombustibles. La experiencia argentina (producción de plantas llave en mano para exportar) y la chilena a través de InnoVaChile son valiosos puntos de partida para el trabajo en redes que se detalla en seguida.

⁵ Las economías emprendedoras deben asegurar que las firmas apuesten a permanecer en un juego en el cual el éxito de cada jugador dependa de su habilidad de exceder los esfuerzos de sus rivales, de forma que cada uno esté obligado por los demás a hacer esfuerzos cada vez mayores.

⁶ Para llegar a la calificación del clima, LAVCA utiliza trece criterios: leyes para formación y operación de firmas de capital de riesgo y capital privado; tratamiento fiscal para fondos e inversiones en capital de riesgo y capital privado; protección de derechos de accionistas minoritarios; restricciones a los inversionistas institucionales (fondos de pensiones, aseguradoras) para invertir en capital de riesgo y capital privado; protección de derechos de propiedad intelectual; normativa de bancarrota; desarrollo del mercado de capitales y factibilidad de salida por bolsa; requisitos de registro y de reserva para inversiones extranjeras; requisitos de gobierno corporativo; fortaleza del sistema judicial; percepción de corrupción; calidad de las normas contables; y emprendimiento.

G. Propuesta de I&I en redes para biocombustibles en América Latina

1. Redes de I&D+I en biocombustibles

Los países que decidan promover la producción de biocombustibles con base en cultivos deben hacerlo con base en evaluaciones económicas detalladas que incluyan el precio real de los recursos. Asimismo, prever que su plataforma de investigación básica y de emprendimiento sea capaz de sostener una escalera de innovación. Hay que evitar el riesgo de embarcarse en decisiones costosas con base en la protección o los subsidios a la producción. Es una mala idea dedicar fondos públicos a investigación y desarrollo sin que el país tenga perspectivas realistas en el sector; o cuando las necesidades energéticas o de mejora de calidad ambiental se pueden resolver en los mercados internacionales a costos inferiores a los de la autoproducción de biocombustibles.

La viabilidad financiera de cultivos sometidos a las presiones de la competencia debe lograrse a partir de la innovación y no de la subvaloración de los servicios ambientales. El efecto neto de las intervenciones sustentadas en la subvaloración puede ser negativo para la sociedad y depende fundamentalmente del régimen de acceso a los recursos. La ausencia de perspectivas de largo plazo ha producido presiones por eliminar o reducir los pagos por los servicios ambientales. Las decisiones de producción de biocombustibles intensivos en uso de suelos y agua en gran escala deben pasar por un proceso de concertación del desarrollo regional y de tierras que armonice la producción y la conservación.

La masa crítica de investigadores, laboratorios y de capital de riesgo o apoyo público de ningún país individual de la región, con excepción de tres países (¿cuáles?), es suficiente para servir de plataforma al tipo de I&D+i que se necesita para lograr desarrollos comerciales masivos en algas, celulosa y biomasa no convencional en menos de una década. El examen de indicadores de I&D+i sugiere que la región se divide en tres grupos de países, de acuerdo a sus capacidades de producir investigación básica y atraer el capital de riesgo al negocio de los biocombustibles.

En un primer grupo están Argentina, Brasil y Chile, que tienen tradiciones de investigación agrícola, química, e ingeniería, así como masa crítica de investigadores; los dos primeros tienen grandes potenciales en primera y siguiente generación. Chile tiene una élite técnica, instituciones investigativas reputadas, tradiciones de uso del capital de riesgo y oportunidades de negocios en siguiente generación. En un segundo grupo están Colombia, Perú y México. Colombia y Perú tienen una base de buenas universidades orientadas todavía a la docencia, centros de investigación agrícola y potencial de producción, pero no son competitivos y son débiles en emprendimiento; su potencial competitivo podría ser grande en el futuro. México tiene una base investigativa de alto nivel y potencial productivo en biomasa y algas, pero su sector de energía está altamente regulado y no existe un ambiente favorable para el emprendimiento masivo en el sector de biocombustibles. El tercer grupo de países está compuesto por países con potenciales de producción y necesidades energéticas disímiles, pero con el factor común de no disponer de una plataforma nacional de I&D sólida.

Por otra parte, las grandes firmas petroleras se están aliando con firmas nacientes en una típica “carrera de patentes” para la producción de biocombustibles avanzados. Brasil tiene una posición de líder mundial en producción e I&D debido a la cooperación virtuosa entre entidades como BNDES (financiación), Petrobras (hidrocarburos) y EMBRAPA (investigación agropecuaria) en el sector público, un sistema de universidades muy fuerte, un mercado doméstico grande, ventajas comparativas en producción de biomasa y un mercado creciente de capital de riesgo.

En este contexto, la política de I&D+i para biocombustibles para América Latina tiene las siguientes componentes que buscan encontrar sinergias y medidas que remedien las limitaciones de los países individuales en este campo:

- Fortalecer en todos los países las capacidades generales de aprendizaje y generación de ciencia y tecnología en ciencias biológicas y energía, y de utilización del capital de riesgo (política de amplio espectro). Esta estrategia mantendría abiertas opciones futuras de mejoramiento y negocios energéticos en todos los países.
- Crear una primera red para primera generación de biocombustibles, dedicada a la genética de plantas, química de procesos y optimización de uso de suelo (Red 1). Esta estrategia tendría valor adicional para el sector agropecuario y el sector químico de los países miembros de la Red 1, incluso en el caso de que la primera generación de combustibles se redujera a nivel global.
- Crear otra red en biocombustibles avanzados, dedicada a la biomasa (celulosa), las algas y cultivos no convencionales y química de procesos (Red 2). Esta estrategia tendría un impacto importante en la diversificación del portafolio energético de los países productores y en la capacidad de negociación de las políticas energéticas del futuro.
- Convocar concursos públicos internacionales para la componente de innovación *i*, (tanto en primera como en siguiente generación) por parte de las dos Redes ejecutarían convocatorias públicas internacionales para desarrollar prototipos de productos o procesos.

Las dos redes estarían abiertas a la participación de todos los países de la región, en alianza con centros internacionales de investigación y desarrollo y con agendas restringidas al logro de resultados concretos y una agenda enfocada, siguiendo el principio de integralidad del MIT para el diseño de programas de I&D de largo plazo (sección 4). Los aportes del CIAT (localizado en Colombia) y del IICA (localizado en Costa Rica) como miembros del sistema internacional de cooperación técnica, son indispensables, sobre la base de aportes financieros a la par con los miembros de la red.

Las negociaciones con el CIAT, como miembro del CGIAR, deben anticipar que en diciembre de 2008, el CGIAR adoptó un nuevo modelo de negocios en el que los centros se enfocan en un número limitado de “megaproyectos” y en la definición de una agenda orientada a los resultados.

Las redes también deben incorporar iniciativas subregionales en marcha para la investigación, producción y comercialización de biocombustibles, tales como el PROCISUR (Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur), y los esquemas de cooperación con la Unión Europea con América Latina en biocombustibles, como BioTop.

Las redes propuestas trabajarían dentro del marco conceptual denominado Sistemas de Innovación Tecnológica (SIT; ver Suurs y Hekkert 2008; Cimoli y Constantino 2000; Cimoli y Giusta 2000), especialmente útil para analizar y gerenciar los esfuerzos en innovación en tecnologías que no han llegado al mercado. Un SIT tiene siete funciones centrales: actividades emprendedoras, desarrollo de conocimiento, difusión de conocimiento, orientación de búsquedas, formación de mercados, movilización de recursos y logro de apoyo de coaliciones favorables a la nueva tecnología. El Cuadro I.7 explica la naturaleza y alcance de cada una de las funciones enumeradas. Uno de los retos centrales de este tipo de redes es diseñar salvaguardias evitar su captura política o por intereses especiales, que es uno de los riesgos de las políticas enfocadas (Lipsei, Carlaw y Bekar 2005).

CUADRO I.6
FUNCIONES QUE DEBEN TENER LAS REDES DE I&D+I EN BIOCMBUSTIBLES
EN AMÉRICA LATINA

F1. Actividades emprendedoras	Centrales a todo sistema de innovación. Los tomadores de riesgo realizan experimentos comerciales innovadores, mirando y tomando oportunidades de negocios.
F2. Desarrollo de conocimiento	Las actividades de I&D son prerrequisitos para la innovación. Se efectúan frecuentemente por investigadores, pero es posible que otros actores también las adelanten.
F3. Difusión de conocimiento	La estructura organizacional típica de un nuevo sistema de innovación es la red de conocimiento, cuyo papel básico es facilitar el intercambio de información.
F4. Guías para la investigación	Esta función del sistema selecciona metas para facilitar la convergencia de los desarrollos, incluyendo la definición de objetivos de política y la evaluación de expectativas sobre tecnologías.
F5. Formación de mercados	Las nuevas tecnologías usualmente no pueden sustituir a las antiguas. Para estimular las innovaciones hay que facilitar la creación de nichos de mercado donde estas tecnologías puedan crecer.
F6. Movilización de recursos	Se requieren insumos financieros, materiales y humanos en todos los desarrollos, que provienen de capitalistas de riesgo o de programas de apoyo público.
F7. Apoyo de coaliciones académicas	La aparición de una nueva tecnología casi siempre genera resistencia de los actores establecidos. Para que un sistema de innovación florezca, los interesados deben hacer cabildeo para contrarrestar esta resistencia y lograr apoyos a la nueva tecnología.

Fuente: Suurs y Hekkert (2008).

La membrecía de las redes conllevaría la obligación de financiar, por parte de cada gobierno, equipos de investigadores elegidos en cada país con base en convocatorias consistentes con los objetivos de las dos Redes, y en plazos suficientemente largos. La financiación de laboratorios, equipos y bases de datos se haría con fondos aportados por el sector público y firmas del sector de hidrocarburos o agropecuario, sin derechos de propiedad sobre los resultados de la investigación básica o aplicada. Los resultados de esta parte de la cadena serán, por tanto, de “código abierto”, una modalidad de trabajo que puede funcionar bien, sin sustituir al mercado, como se argumenta en cuidadosos estudios en ámbitos de estructura similar, como el desarrollo de software (Gosh 2005; Benkler 2005).

Kremer y Peterson Zwane (2005) plantean que el fondeo público para investigación en cultivos se puede suplementar con un compromiso de pago por productos atribuibles en el desarrollo. Este mecanismo premia a las firmas privadas por el desarrollo exitoso de tecnologías elegidas por los definidores de políticas. Puede ser exitosa si los pagos se estructuran de forma dependiente de la adopción. Los autores plantean esta alternativa en el contexto de elegir entre programas de tipo “push” o de tipo “pull”. Los programas de tipo “push”, que financian insumos a la investigación, son apropiados para la investigación básica o cuando no es posible especificar el producto final. Los programas de tipo “pull” pagan por productos y son útiles para cubrir necesidades específicas. El factor clave que inhibe la inversión en investigación y desarrollo en agricultura es el potencial de reventa o distribución libre de los productos. Si esto sucede, el precio del invento caerá por debajo de los niveles rentables para el inversionista en producirlo. En países con fuertes tradiciones de defensa de los derechos de propiedad intelectual y amplias oportunidades de negocios, la iniciativa privada es suficiente en principio para generar innovaciones. Pero esta no es la situación común en América Latina.

Las convocatorias para dinamizar la innovación *i* se financiarían con el presupuesto público de los países, a cambio de una participación en las ganancias de las firmas de capital de riesgo que se formarían a raíz de las convocatorias, que se reinvertirían en nuevas instalaciones de I&D. Estas convocatorias serían contingentes, activadas en caso de fallos de encadenamiento entre I&D e *i* o de falta de dinamismo en innovación secuencial. Los recursos públicos deben darse mediante concurso (siguiendo el ejemplo de Carbon Trust del Reino Unido discutido en la sección 4) y con pagos ligados a resultados. Se pueden hacer convocatorias para programas “pull”, asignados a la firma que exija la

menor contraprestación monetaria y se comprometa a efectuar la transferencia tecnológica a los países miembros de la alianza. También se pueden hacer concursos para programas “push”, asignados también a la firma que exija la menor contraprestación monetaria, a cambio de ceder sus derechos de propiedad intelectual. Los gobiernos distribuirían libremente los resultados.

Se deben negociar condiciones favorables con los productores de semillas de cultivos (caña de azúcar, oleaginosas, jatropha) para producción de biocombustibles con contenido genético propietario como Monsanto y Syngenta, y vincularse a las redes mundiales de acceso abierto en mejora genética vegetal, como CAMBIA (Australia), que ha lanzado la iniciativa BIOS (Innovación Biológica para la Sociedad Abierta); ver Aoki (2008) y Murphy (2007). Esto implica crear una fuerza de trabajo de los países debe acordar los principios para negociar políticas de patentes con estas firmas, apalancada en las posibilidades del trabajo colaborativo en código abierto. Este esfuerzo se orienta a mitigar el problema de los derechos de propiedad en exceso (anticommons) planteado en la sección 4, que pueden frenar o inhibir la secuencia de innovación.

2. Medidas transversales y complementarias

Apoyo a la creación de un nuevo orden energético

Victor y Yueh (2010) afirma que los problemas de seguridad de abastecimiento y de reducir el impacto ambiental del uso de la energía se deben a problemas de coordinación entre los grandes actores: China y Estados Unidos, como mayores consumidores y emisores de gases de efecto invernadero; los países de la OPEP y los países de la OECD. La incertidumbre mutua entre productores y consumidores hace que no haya acuerdo sobre tecnologías y magnitud de la inversión. Estos autores proponen un nuevo orden similar al existente en el sector financiero, que ha permitido definir concertadamente la dirección del sector. Los países de la región deben apoyar esta iniciativa, que, si logra compromisos creíbles de los principales actores, definirá el campo de acción de los biocombustibles.

Políticas de precios, subsidios y financiación de los energéticos y del carbono

El precio de los hidrocarburos y de todos los recursos energéticos debe reflejar sus costos totales, incluyendo los ambientales, para lograr competencia justa entre tecnologías. Los subsidios temporales a la producción comercial naciente y protegida tienen el incentivo de ser capturados y convertirse en permanentes, sin que las firmas inviertan en innovación. Son mejores los subsidios a la oferta, otorgados mediante subastas por el menor subsidio solicitado al gobierno. En países que apliquen subsidios cruzados entre consumidores finales del sector de electricidad, no existe espacio para imponer sobrecostos en la tarifa final (“feed-in tariffs”) a los usuarios que contribuyen al subsidio, que son usualmente los comerciantes y los industriales. La financiación para cubrir los sobrecostos de una nueva tecnología debe venir del presupuesto central de los países. En cambio, puede ser factible imponer sobretasas a los hidrocarburos en el transporte terrestre, cuyos recaudos pueden nutrir un fondo de apoyo a la investigación y desarrollo cooperativa o a la innovación local.

El precio del carbono es también esencial para catalizar la innovación por el mercado y la adopción de nuevas tecnologías y mecanismos de mitigación (Banco Mundial 2010). Dos mecanismos compiten para mitigar el impacto de los gases de efecto invernadero: los impuestos al carbono y el mecanismo de cap-and-trade. En el primer caso, el tributo se impone a los insumos energéticos, lo que incentiva la eficiencia o el cambio a una tecnología con menores emisiones de carbono. En el segundo caso, los gobiernos emiten permisos mercadeables de contaminación, libremente transables entre los participantes.

Las diferencias de dotación de los agentes (costos marginales de cambiar de combustibles o eficiencia) crean un mercado en el que los agentes más eficientes pueden obtener ganancias por transar con los agentes más contaminantes. Los dos instrumentos difieren en su eficiencia, facilidad administrativa, riesgo ante volatilidad de los precios, el destino de los impuestos recaudados y la posibilidad de captura y manipulación del mecanismo de cap-and-trade por intereses poderosos. El mecanismo de cap-and-trade explica la carrera por llegar primero a suplir al mercado aeronáutico y es mucho más eficaz que el mecanismo de impuestos para movilizar inversiones e innovación.

Política de desarrollo regional, y uso y restauración de suelos

El mundo está migrando hacia la adopción de nuevos modelos de agricultura (Snapp y Pound 2008), que están motivados en parte por el crecimiento de la demanda mundial de alimentos y energía y los conflictos en el uso de los recursos naturales. La innovación en estos campos se viene dando en alguna medida por parte del capital de riesgo, con altas inversiones en mejora genética y prácticas de uso del suelo y el agua, por un lado; y, en el terreno de investigación, por el trabajo mancomunado de disciplinas como la economía ecológica, la biología de plantas, la ciencia del suelo, la antropología y las ciencias gerenciales, para diseñar nuevos sistemas agrícolas. La incertidumbre sobre la velocidad de innovación hace que la tierra adquiera un valor de opción.

La productividad de los cultivos está por debajo de su potencial en muchos países del mundo y en muchas áreas de América Latina. El desarrollo productivo de numerosas regiones del mundo está limitado por falta de infraestructura, educación y entrenamiento, así como por la contaminación de los cauces de agua y las prácticas inapropiadas de arado (UNEP 2009). Los países que decidan proseguir con la producción de biocombustibles de primera generación deben entender que su sostenibilidad dependerá del aumento de productividad de los cultivos a lo largo del tiempo, para lo cual la I&D+I es importante, de todas maneras. Esto se logra mediante ajustes a los cultivos y con mejores prácticas de uso del suelo, especialmente en suelos marginales.

Las regiones productoras de biomasa para producción de combustibles deben diseñar un estilo de desarrollo rural y regional basado en la concertación (Benavides 2010). El estilo de desarrollo debe definir y volver coherentes cinco políticas regionalizadas: i) política agrícola y pecuaria; ii) política de tierras; iii) política de asentamientos y ordenamiento territorial; iv) ajuste entre producción de alimentos, biocombustibles y conservación; y v) política de innovación productiva y de servicios ambientales (ver Figura 2).

Se necesitan sistemas de monitoreo de uso del suelo, de los humedales y de la dinámica de las especies y de los ecosistemas para definir umbrales críticos y apoyar la toma de decisiones sobre políticas de uso y cambio de uso, y hallar el balance óptimo entre uso y conservación.

La investigación y desarrollo, e innovación en restauración de suelos marginales, degradados o abandonados (UNEP 2009). Los suelos marginales incluyen las tierras de baja fertilidad que no pueden servir de soporte a prácticas comerciales permanentes. Esta categoría incluye tierras de sabana (seca o inundable). Los suelos degradados son suelos cultivados previamente y que se han convertido en marginales por su mal manejo o por factores ambientales. La tierra abandonada incluye tierra degradada con baja productividad o tierras donde hay recrecimiento de bosques talados.

La rotación de cultivos puede servir para construir o reconstruir suelos. La rotación limita la producción total de cualquiera de los cultivos aplicados en comparación con los monocultivos en el corto plazo, a cambio de la producción diversificada y sostenible. El pasto aguja y la jatropha pueden crecer en terrenos degradados y también ayudan a restaurar su productividad. El pasto aguja es capaz de fijar hasta ocho veces más materia orgánica bajo tierra y hasta un 55% más de carbono orgánico en el suelo que la combinación maíz-fríjol de soya en dos rotaciones de cultivos. La jatropha puede soportar ambientes hostiles y ayudar a regenerar los suelos degradados, pero su cultivo a gran escala requiere condiciones favorables de suelos y disponibilidad de agua.

La participación dentro de la restauración de suelos no es la forma más productiva de obtener materias primas para producir biocombustibles, especialmente si se debe invertir en bienes de capital para su siembra y cosecha. Pero tiene poderosos impactos sobre la sostenibilidad del suelo, la vida económica regional y la generación de mano de obra, pues tanto la rotación de cultivos como la producción en pequeña escala de biocombustibles para consumo local son factibles. Deben desarrollarse modelos de uso integrado de la tierra que apuesten a la naturaleza complementaria de la agricultura, la silvicultura, la piscicultura y la conservación, que también son temas para los cuales la I&D+I es esencial.

Mayor y mejor uso de la biomasa en autogeneración eléctrica y producción de calor de proceso

El uso directo de biomasa como combustible es más eficiente que su conversión en líquidos y además es un proceso costo-eficiente para reducir la emisión de CO₂ a la atmósfera. UNEP (2009) anota que 1 MJ de biomasa puede reemplazar 0.95 MJ de combustibles fósiles en la producción de calor y electricidad, mientras que en el sector de transporte es menos eficiente, pues 1 MJ de biomasa solo alcanza a reemplazar entre 0.35 y 0.45 MJ de petróleo crudo en este segmento de consumo. Además, la gasificación de la biomasa para producción de calor o de electricidad puede ahorrar más emisiones de CO por tonelada de biomasa que su conversión a líquidos para el transporte. La producción de calor y electricidad a partir de biomasa no requiere economías de escala. La autogeneración está limitada en muchos países de la región por disposiciones regulatorias que restringen su oferta directa en los mercados de corto plazo, con lo que la sociedad desperdicia recursos valiosos. Un asunto distinto es el paradójico de exceso de biomasa en la oferta de generación eléctrica de algunos países pequeños o insulares, que puede generar incentivos distorsionados y cerrar la entrada a combustibles como el gas natural, con beneficios netos para la sociedad.

Líneas de investigación: identificar y priorizar

La Agencia Internacional de Energía (IEA 2008) ha identificado tecnologías y retos en investigación y desarrollo de biocombustibles avanzados. Estos incluyen:

Logística de la cadena de oferta. Sistemas de cosecha, almacenamiento, preproceso, empaques, manipulación.

Reducción del costo de la hidrólisis enzimática. Producción de materias básicas homogéneas con pirolisis local. Mejora de la efectividad del pretratamiento para optimizar la biomasa que entra a la hidrólisis. Estudio de la dinámica de bioconversión que más se ajuste a la estructura de la lignocelulosa. Reducción de costos por reciclaje de enzimas. Fermentación de azúcar pentosa para maximizar producción de biocombustible. Creación de subproductos con alto valor. Mejora de la disposición de residuos.

Optimización de los procesos termoquímicos. Desarrollo de catalizadores robustos. Modelaje de los costos de capital y de producción. Manejo de las complejas mezclas y subproductos que conforman el “syngas” para evitar el impacto negativo de los contaminantes. Manejo de materiales básicos heterogéneos. Mejora de la habilidad de los catalizadores para resistir los inhibidores para bajar los costos de producción.

Construcción de biorrefinerías. En analogía con las refinerías de petróleo que aceptan insumos variados y producen una gama de productos, uno de los retos de la producción de biocombustibles es aceptar materias básicas distintas para producir alcoholes, electricidad, calor, diesel y productos químicos de alto valor. La viabilidad de esta idea depende fundamentalmente de las mejoras genéticas de los cultivos, que brinden variedades apropiadas en costo, calidad o propiedades específicas. Muchos de los ejemplos de la sección 3 están ligados o proveen la plataforma para buscar la viabilidad de las biorrefinerías. Se requieren avances en el fraccionamiento y separación de los residuos agrícolas y forestales; la hidrólisis y fermentación de la lignocelulosa; identificar nuevos procesos catalíticos y auto catalíticos; y avanzar en la construcción de plantas piloto y a escala de demostración.

Las necesidades de investigación y desarrollo en algas incluye la logística de crecimiento y recolección, el secado, la ruptura de las paredes celulares y la mejora genética de cepas para aumentar la productividad.

Cada país, de acuerdo a su interés particular, o las redes de investigación, de acuerdo a su programa de investigación y a sus recursos y el potencial de negocios del país, deberá priorizar las áreas temáticas de investigación del caso.

Desarrollo de capacidades en investigación básica en la siguiente generación de biocombustibles avanzados

La *universidad* tiene tres tareas en este respecto: i) focalizar sus recursos y trabajar en redes de colaboración con el sector privado y otras universidades, en torno a programas concretos y *realistas* de investigación en genética o química de procesos, financiados mediante la modalidad de “matching

grants” con el sector público y el sector privado; ii) estar atenta a la formación emprendedora, el estudio permanente del estado de la industria energética y alimentaria y sus problemas, y el fortalecimiento de los vínculos con empresarios de estos sectores. Se deben potenciar y coordinar concursos de planes de negocios, eventos sobre innovación relacionados con el programa e investigación; iii) estudiar la dinámica del capital de riesgo y apoyar el diseño de instrumentos y esquemas de articulación de eslabones de la parte “aguas arriba” del emprendimiento (inversionistas ángeles) en biocombustibles.

El *sector público* debe financiar colaboraciones pre-competitivas de investigación en materiales, diseño y tecnologías de manufactura mediante concurso como el presentado en la sección 4 en el caso de la producción de aceite de algas en el Reino Unido. Las modalidades de colaboración incluyen el intercambio de conocimientos existentes y las alianzas de mercado, ya sea para definir nuevos standards o integrar negocios existentes.

Fomento al capital de riesgo y formación de escaleras de calidad en innovación

The Economist (2009) en su columna sobre emprendimiento (Schumpeter), reseña el libro de J. Lerner (“Boulevard and Broken Dreams: Why Public Efforts to Boost Entrepreneurship and Venture Capital Have Failed – and What to Do About it”). El texto de Lerner previene sobre los dos errores más comunes de los gobiernos para la promoción del emprendimiento, de alta relevancia para el sector de biocombustibles: i) dispersar la riqueza y el bienestar en todas las divisiones territoriales y grupos de interés, olvidando las lecciones de la economía geográfica (necesidad de aglomeración en sectores industriales) y la necesidad de trabajar sobre ventajas comparativas. Se puede cometer el error de apoyar iniciativas sin consultar la realidad ni la historia; ii) desconfiar de la inversión extranjera en estos nichos, con lo cual se retrasa la innovación.

Sobre la base de que estos problemas han sido resueltos, el sector público debe mejorar el clima de negocios y ayudar a la formación de una cultura emprendedora. De otra forma no aparecerán las acumulaciones que dan lugar a escaleras de calidad en innovación. Pasar de una cultura basada en la protección y la caza de rentas en la agricultura y la energía, a una cultura que premie el trabajo duro, la competencia y la innovación es una tarea en progreso y no existe una varita mágica de política pública en este ámbito para inducir el cambio. Las medidas de fortalecimiento “desde fuera” de cada uno de los 13 ítems con los que LAVCA califica el clima de negocios para el capital de riesgo en los países de América puede que no surtan efecto. Los cambios institucionales deben darse endógenamente.

Bibliografía

- Al-Kaisi, M. (2000), “Crop water use or evapotranspiration.” Integrated Crop Management. May 29. Iowa State University. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/2000/5-29-2000/wateruse.html>.
- Alston, J. M. et al. (2000), “A Meta-Analysis of Rates of Return to Agricultural R&D – Ex Pede Herculem?” Washington, D.C.: IFPRI Research Report 113.
- Anlló, G. y D. Suárez. (2008), “Innovation: something more than R&D – Latin American evidence from innovation surveys: building competitive business strategies.” Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT). Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.ricyt.org/interior/difusion/pubs/elc2008/InnovaEN.pdf>.
- Aoki, K. (2008), *Seed Wars – Controversies and Cases on Plant Genetic Resources and Intellectual Property Rights*. Durham, NC: Carolina Academic Press.
- Arthur, B. (2007), *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy*. Ann Arbor, MI: The University of Michigan Press.
- Banco Mundial (2010), *World Development Report 2010. Development and Climate Change*. Washington, D.C.: The World Bank.
- Banco Mundial (2009), *World Development Report 2009. Reshaping Economic Geography*. Washington, D.C.: The World Bank.
- Baregheh A., J. Rowley y S. Sambrook (2009), “Towards a multidisciplinary definition of innovation.” *Management Decision* 47: 1323–1339.
- Baumol, W. J., R. E. Litan y C. J. Schramm (2007), *Good Capitalism, Bad Capitalism, and the Economics of Growth and Prosperity*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Beadle, C. L. et al. (1985), *Photosynthesis in Relation to Plant Production in Terrestrial Environments*. Oxford, UK: United Nations Environment Programme/Tycooly International. Pp. 156.
- Beintema, N. M., A. F. D. Avila y P. G. Pardey (2001), *Agricultural R&D in Brazil: Policy, Investments, and Institutional Profile*. Washington, D.C.: IFPRI, Embrapa, and FONTAGRO, August.
- Beintema, N. M., L. J. Romano y P. G. Pardey (2000), *I&D agropecuario en Colombia: Política, inversiones y perfil institucional*. Washington, D.C.: IFPRI y Fontagro.
- Benavides, J. (2010), “El desarrollo económico de la Orinoquia como aprendizaje y construcción de instituciones.” Facultad de Administración, Universidad de los Andes (Colombia). Preparado para la Corporación Andina de Fomento (CAF). Marzo.
- Benavides, J. (2009), “Promoción del capital de riesgo y el capital privado en Colombia.” Documento de trabajo. Facultad de Administración, Universidad de los Andes. Bogotá, D.C.
- Benkler, Y. (2005), “Coase’s Penguin, Linux and the Nature of the Firm.” Capítulo 11 en R. A. Ghosh (ed.) *Code – Collaborative Ownership and the Digital Economy*. Cambridge, MA: The MIT Press. Pp. 169-206.
- BioDieselSpain (2009), “Colombia apuesta por el etanol.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en: <http://www.biodieselspain.com/2009/03/20/colombia-apuesta-por-el-etanol/>.
- Biofuels Digest (2010), “Brazil tops US: \$8.737 in global biofuels investments in 2009.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en: <http://www.biofuelsdigest.com/blog2/2010/01/05/brazil-tops-us-8-737-in-announced-biofuels-investments-in-2009-free-download-of-projects/>.
- BNDES-CGEE (2008), *Bioetanol de Caña de Azúcar. Energía para el Desarrollo Sostenible*. Río de Janeiro.
- Brookhaven National Laboratory (2009), “Making New Enzymes to Engineer Plants for Biofuel Production.” December 21. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: http://www.bnl.gov/bnlweb/pubaf/pr/PR_display.asp?prID=1021.
- Cavitation Technologies, Inc. (2010), “Cavitation Technologies, Inc., is Unveiling Renewable Fuel Technology for Algae Oil.” Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.cavitationtechnologies.com/news/business/cavitation-technologies-inc-is-unveiling-renewable-fuel-technology-for-algae-oil.html>.
- Cenipalma (2010), “B10 para toda Colombia en 2010.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en: <http://www.cenipalma.org/es/taxonomy/term/25>.
- CEPAL (2008), *Aportes de los biocombustibles a la sustentabilidad del desarrollo en América Latina y el Caribe – Elementos para la formulación de políticas públicas*. Documento de proyecto, marzo.
- Cimoli, M. y R. Constantino (2000), “Systems of innovation, knowledge and networks: Latin America and its capability to capture benefits”. En A. Piccaluga (ed) *Knowledge Flows in National Systems of Innovation*, Edward Elgar Publishing, London.

- Cimoli, M. y M. Della Giusta (2000), “The Nature of Technological Change and its Main Implications on National and Local Systems of Innovation”. En P. Batten, D. Martellato (eds), *Innovation and Regional Development*, Kluwer Academic, Boston/Dordrecht/London.
- Chrispeels, M. J. y D. E. Sadava (2003), *Plants, Genes, and Crop Biotechnology*. Sudbury, MA: Jones and Bartlett Publishers. Second Edition.
- CNE (2009a), *Generación de energía a partir de microalgas*. Informe de vigilancia tecnológica. Preparado por Novairis para la Comisión Nacional de Energía. Santiago de Chile.
- CNE (2009b), *Generación de energía a partir de macroalgas*. Informe de vigilancia tecnológica. Preparado por Novairis para la Comisión Nacional de Energía. Santiago de Chile.
- CORFO (2010), “¿Qué es InnovaChile?.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en: http://www.CORFO.cl/acerca_de_CORFO/innova_chile/que_es_innovachile.
- de Groot, H. L. F., J. Poot y M. J. Smit (2007), “Agglomeration, Innovation and Regional Development: Theoretical Perspectives and Meta-Analysis.” Rotterdam y Amsterdam: Tinbergen Institute Discussion Paper TI 2007-079/3.
- Exxon Mobil (2009), *Exxon Mobil Algae Biofuels Research and Development Program*. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: http://www.exxonmobil.com/corporate/files/news_pub_algae_factsheet.pdf.
- Foroenergías (2009), “Biocombustibles de segunda generación: la nueva clave energética de Chile.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en: <http://foroenergias.cl/reportajes/?p=295>.
- GEXSI (2008), *New Feedstocks for Biofuels – Global Market Study for Jatropa*. The Global Exchange for Social Investment (GEXSI). Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.bioenergie.de/kraftstoffeder-zukunft/Vortraege/zelt.pdf>.
- Ghosh, R. A. (2005), “Cooking-pot Markets and Balanced Value Flows.” Capítulo 10 en R. A. Ghosh (ed.) *Code – Collaborative Ownership and the Digital Economy*. Cambridge, MA: The MIT Press. Pp. 153-168.
- Gibson, D. R. et al. (2010), “Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome.” Published Online May 20, 2010 *Science* DOI: 10.1126/science.1190719. Recuperado el 21 de mayo. <http://www.sciencemag.org/cgi/rapidpdf/science.1190719v1.pdf>.
- Goldemberg, J. (2008), “The Brazilian biofuels industry.” *Biotechnology for fuels* 2008: 1-6. Recuperado el 2 de julio de 2010 en: <http://www.biotechnologyforbiofuels.com/content/pdf/1754-6834-1-6.pdf>.
- Green Momentum (2009), “BP Biofuels Brasil principal beneficiado con nueva estrategia.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en: http://www.greenmomentum.com/wb3/wb/gm/gm_content?id_content=3573.
- Guardian (2009), “Gene Scientist to create algae biofuel with Exxon Mobil.” Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.guardian.co.uk/environment/2009/jul/14/green-algae-exxon-mobil>.
- Hausmann, R. y D. Rodrik (2003), “Economic Development as Self-Discovery.” *Journal of Development Economics* 72: 603-633.
- Heller, M. A. y S. R. Eisenberg (1998), “Can Patents Deter Innovations? The Anticommons in Biomedical Research.” *Science* 280: 698-701.
- ICIS Chemical Business (2009a), “Chemical and oil firms pitch in to accelerate development of next-generation liquid biofuels.” Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.icis.com/Articles/2009/10/05/9251278/development-of-next-generation-biofuels-accelerates.html>.
- ICIS Chemical Business (2009b), “Developers find the best microbes in order to outdo ethanol in the biofuel race.” Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.icis.com/Articles/2009/02/23/9195088/biobutanol-development-makes-headway.html>.
- IEA (2008), “From 1st to 2nd Generation Biofuel Technologies – An overview of current industry and R&D activities.” Paris, Francia: OECD/IEA. IEA Bioenergy.
- iEco Clarín (2010), “Surgen nuevas tecnologías para producir biocombustibles sin depender de la soja.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en: http://www.ieco.clarin.com/empresas/Surgen-tecnologias-producir-biocombustibles-depender_0_144000006.html.
- Imbs, J. y R. Wacziarg (2003), “Stages of Diversification.” *American Economic Review* 93: 63-86.
- Inc. (2010), *Innovation – Companies on the Cutting Edge: Algaeventure Systems*. Pp. 44-45. May 2010.
- International Water Management Institute (IWMI). 2007. *Water for Food, Water for Life- A Comprehensive Assessment of Water Management*. Colombo, Sri Lanka. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.iwmi.cgiar.org/Assessment/>.
- James, C. (1996), *Agricultural Research and Development: The Need for Public-Private Sector Partnerships*. Issues in Agriculture 9. Consultive Group on International Agricultural Research (CGIAR). Washington, D.C.

- Jatropha Alliance (2010), “Jatropha Market Overview.” World Biofuel Markets. Amsterdam, March 15, 2010. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: http://www.worldbiofuelsmarkets.com/downloads/presentations/EnergyCrops_15th/thilo_zelt.pdf.
- Jones Prather, K. (2007), “The Biofuels R&D Agenda. Introductory Testimony.” MIT. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://web.mit.edu/CHEME/news/includes/MIT%20Energy%20Kris%20Prather%20testimony%20Senate%20Energy%202%201%2007.pdf>.
- Klinger, B. y D. Lederman (2009), “Diversification, innovation, and imitation of the global technological frontier.” Capítulo 5 en R. Newfarmer, R., W. Shaw y P. Walkenhorst (eds.) *Breaking into New Markets – Emerging Lessons for Export Diversification*. Washington, D.C.: Banco Mundial. Pp. 101-110.
- Koshel, P. y K. McCallister (Rapporteurs) (2008), *Transitioning to Sustainability Through Research and Development on Ecosystem Services and Biofuels*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- Kremer, M. y A. Peterson Zwane (2005), “Encouraging Private Sector Search for Tropical Agriculture.” *World Development* 33: 87-105.
- Krupp, F. y M. Horn (2008), *Earth: The Sequel*. New York, NY: Norton.
- LAVCA (2010), *LAVCA 2010 Scorecard – The Private Equity and Venture Capital Environment in Latin America*. New York, NY.
- Lipsey, R. G., K. I. Carlaw y C. T. Bekar (2005), *Economic Transformations – General Purpose Technologies and Long Term Economic Growth*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Macedo, I. (ed.) (2007), *A Energia da Cana-de-Açúcar – Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade* (Second ed.). Berlendis & Vertecchia, São Paulo: UNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo.
- Mendonça, M. L. (2009), “The Environmental and Social Consequences of ‘Green Capitalism’ in Brazil.” Capítulo V en R. Jonasse (ed.) *Agrofuels in the Americas*. Oakland, CA: Institute for Food and Development Policy. Pp. 65-76.
- Mitchell, S. K. y R. E. Stonecash (1996), “The Role of Economies of Scale in Australian R&D.” *Prometheus* 14: 152 –167.
- Murphy, D. (2007), *Plant Breeding and Biotechnology*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Nelson, R. R. (2005), *Technology, Institutions and Economic Growth*. Harvard, MA: Harvard University Press.
- NextFuel (2010), “EADS, fabricante de aviones dueño de Airbus realizó un vuelo de prueba con biodiesel a base de algas provisto por una empresa argentina.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en: <http://biodiesel.com.ar/3654/eads-fabricante-de-aviones-dueno-de-airbus-realizo-un-vuelo-de-prueba-con-biodiesel-a-base-de-algas-provisto-por-una-empresa-argentina>.
- New York Times (2009), “Estimate Places Natural Gas Reserves 35% Higher.” Publicado el 17 de junio. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.nytimes.com/2009/06/18/business/energy-environment/18gas.html>.
- Nightingale, P. (2000), “Economies of Scale in Experimentation: Knowledge and Technology in Pharmaceutical R&D.” *Industrial and Corporate Change* 9: 315-359.
- OECD (2009), *OECD Factbook 2009: Economic, Environmental and Social Statistics*. Recuperado el 15 de junio de 2010 en: <http://oberon.sourceoecd.org/vl=932504/cl=18/nw=1/rpsv/factbook/07/01/01/index.htm>.
- ____ (2007), “Biofuels: Is the Cure Worse Than the Disease?” Paris, 11-12 September. Round Table on Sustainable Development. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://media.ft.com/cms/fb8b5078-5fdb-11dc-b0fe-0000779fd2ac.pdf>.
- Oilfox (2010), “Nuestros avances.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en: <http://www.oilfox.com.ar/avances.php>.
- Pardey, P. G. y J. M. Alston (1995), *Revamping Agricultural R&D*. Brief 24, 2020 Vision of IFPRI. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
- PRNewswire (2010), “Leading Bio Jet Fuel Players Team Up.” Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.prnewswire.com/news-releases/leading-bio-jet-fuel-players-team-up-80818197.html>.
- Renewable Fuels Association (2010), *2010 Ethanol Industry Outlook: Climate and Opportunity*. February. Recuperado el 2 de julio de 2010 en: http://ethanolrfa.3cdn.net/32b7ed69bd366321cb_r1m6261b0.pdf.
- Scotchmer, S. (2004), *Innovation and Incentives*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Snapp, S. y B. Pound (2008), *Agricultural Systems – Agroecology & Rural Innovation for Development*. Burlington, MA: Academic Press.

- Stads, G.-J. y N. M. Beintema (2009), *Investigación agrícola pública en América Latina y el Caribe – Tendencia de capacidad e inversión*. Informe de síntesis ASTI – Marzo. Washington, D.C.: IFPRI. ASTI-IFPRI-IDB.
- Suurs, R. A. A. y M. P. Hekkert (2009), “Cumulative causation in the formation of a technological innovation system: The case of Biofuels in the Netherlands. *Technological Forecasting & Social Change* 76: 1003-1020.
- The Economist (2010), “An unconventional glut. Newly economic, widely distributed sources are shifting the balance of power in the world’s gas markets.” Publicado el 11 de marzo. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: http://www.economist.com/business-finance/displaystory.cfm?story_id=15661889.
- The Economist (2009), “Fish out of water”; October 31st 2009; p. 78. Recuperado el 9 de noviembre, en: http://www.economist.com/businessfinance/displaystory.cfm?story_id=14743944.
- The University of Sheffield Media Centre (2010a). “Sheffield selected for UK dream team in biofuel challenge.” 19 March. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.sheffield.ac.uk/mediacentre/2010/1562.html>.
- ____ (2010b), “Scientists’ breakthrough in production of biofuels.” 7 January 2010. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.sheffield.ac.uk/mediacentre/2010/1468.html>.
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2009), *Towards sustainable production and use of resources: Assessing Biofuels*.
- Victor, D. G. y L. Yueh (2010), “The New Energy Order.” *Foreign Affairs* 89: 61-73.
- World of Wind Energy (2010), “SG Biofuels and Life Technologies Team to Advance Jatropha as Sustainable Biofuel.” Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.worldofwindenergy.com/showthread.php?t=2705>.
- Zelt, T. (2010), “Jatropha Market Overview.” Jatropha Alliance. World Biofuel Markets. Amsterdam, March 15. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: http://www.worldbiofuelsmarkets.com/downloads/presentations/EnergyCrops_15th/thilo_zelt.pdf.

II. Análisis comparativo de patentes en la cadena de producción de biocombustibles entre América Latina y el resto del mundo

Sofía Boza y Alberto Saucedo

A. Introducción

Los biocombustibles se han planteado como una fuente energética alternativa para disminuir la dependencia global de los combustibles fósiles. No obstante, se ha demostrado que no todas las experiencias emprendidas en torno a la producción de biocombustibles han sido igual de eficientes desde el punto de vista económico. Asimismo, la sustentabilidad ambiental de dichos procesos productivos (estimada principalmente a través de la comparación del balance energético, hídrico y de emisiones) es divergente en muchos casos. Estas diferencias pueden estar ocasionadas por las distintas características agronómicas de las zonas de cultivo, por las técnicas de producción y por el tipo de materias primas, así como por los procesos de transformación de las materias primas.

El grado de desarrollo tecnológico de los encadenamientos productivos en torno a la obtención de biocombustibles va a ser determinante para poder atenuar las limitaciones señaladas, así como para potenciar las ventajas relativas. La producción de algunos biocombustibles avanzados, los cuales tienen más fácil acogida social porque no compiten de manera directa con la obtención de alimentos, depende en gran medida de avances en el campo de la investigación aplicada.

Por todo ello, para cualquier país que desee desarrollar una estrategia coherente y eficaz en torno a la producción de biocombustibles resulta importantes la promoción del desarrollo tecnológico relativo al sector. Para evaluar si se está avanzando en esa materia, una de las variables más significativa es el número de patentes propiedad de entidades (o individuos) localizados en un país o zona geográfica.

Dado ese contexto, el objetivo de este estudio es determinar el posicionamiento relativo de América Latina y el Caribe, dentro del escenario global de innovación en biocombustibles. Para ello, en primer lugar, identificaremos las patentes sectoriales con propietarios localizados en los distintos países de la región. Asimismo, observaremos las patentes relativas a la producción de biocombustibles solicitadas por entidades de otras partes del mundo, sobre todo en economías emergentes.

B. Metodología y recursos

La consideración de las patentes registradas como indicador nos permite obtener una imagen de la evolución de cada país (o institución) en la generación de innovaciones aplicables a distintas actividades económicas (Lugones et. al., 2007). Caracterizar las dinámicas relativas al registro de nuevas patentes facilita, por tanto, una primera valoración del esfuerzo innovador (en intensidad y eficiencia) para un determinado sector productivo. La visión agregada a nivel regional nos da un panorama aproximado de cómo se traduce el gasto en investigación y desarrollo en resultados patentables en las distintas áreas geoeconómicas globales.

En el presente trabajo desarrollaremos un análisis de la situación de las patentes relativas al sector de los biocombustibles, en sus distintos encadenamientos productivos, tanto en América Latina y el Caribe, como en el resto del mundo. De esta manera, además de enfocarnos en la caracterización de los resultados de la innovación concerniente al sector en la región, podremos comparar los registros obtenidos, con las dinámicas que se han dado en otros lugares. Ello nos permitirá dar una idea del aporte de la investigación en América Latina y el Caribe al progreso técnico en el sector de los biocombustibles a nivel global.

1. Fuentes de información

Para materializar los objetivos de la investigación realizamos una búsqueda de patentes en la *Base de datos Esp@cenet*, de la Oficina Europea de Patentes (EPO). La plataforma electrónica *Esp@cenet* surgió en 1998 a partir de una iniciativa de la EPO, como una base de datos gratuita e íntegramente disponible en internet que contiene, en la actualidad, alrededor de sesenta millones de documentos relativos a patentes de Europa, Estados Unidos, Japón y otros países miembros de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO). La información ofrecida por *Esp@cenet* procede principalmente de las bases de datos de la propia EPO, de WIPO y de la base de datos Worldwide. Los antecedentes relativos a la procedencia y tecnología de las patentes contenidas en esta última base han conformado nuestro universo de datos.

La base *Esp@cenet Worldwide* abarca las solicitudes de patentes publicadas en un total de noventa y dos países (y regiones). Dado el ámbito geográfico prioritario de nuestro análisis, es importante hacer destacar que en 2003 diversas instituciones relacionadas con la protección de la propiedad intelectual en América Latina se comprometieron a poner a disposición de la EPO su acervo de información nacional sobre patentes para que fuera hecho público a través de *Esp@cenet*.

Es importante destacar la posibilidad de una subestimación del esfuerzo innovador en América Latina (y otras regiones en desarrollo) tomando las patentes registradas en *Esp@cenet* como indicador.

En primer lugar, según señalan Lugones et. al (2007), en la región hay una cierta tendencia al sub-patentamiento debido a los costos y los trámites que representa, así como a una menor valoración de las ventajas que conlleva dicho procedimiento. De igual manera, aún cuando se haya solicitado la patente, es probable que la información relativa no se haga llegar de manera continuada y puntual a la Oficina Europea de Patentes. Por último, no todos los países de la región comparten sus registros de patentes con la EPO.

2. Selección de los parámetros de búsqueda de las patentes

Debido a lo relativamente reciente de la penetración de la producción de biocombustibles líquidos en América Latina (exceptuando el caso de Brasil) se ha utilizado un intervalo de tiempo para acotar la búsqueda a las solicitudes de patentes publicadas entre 2006 y 2010. Asimismo, para centrar nuestro interés en la calidad de los procesos de investigación, los datos seleccionados corresponden a familias de patentes⁷ en aquellos casos que una misma invención haya dado lugar a documentos de solicitud de patente en distintos países.

Además, nuestra búsqueda de patentes tiene en cuenta una selección de tecnologías de obtención de las principales materias primas, productos intermedios y finales relativos a los biocombustibles. En las siguientes secciones se recapitulan las características de las distintas cadenas productivas sectoriales.

C. Características de la producción de biocombustibles

1. Características de la producción de bioetanol

El bioetanol se obtiene a partir de los azúcares presentes en distintas materias primas vegetales. No obstante, la biomasa inicial a partir de la cual se extrae dicho contenido sacaroso no tiene necesariamente que caracterizarse por ser esencialmente azucarada, sino que también puede ser almidonada o lignocelulósica. Obviamente, en el primero de los casos el proceso de generación del etanol es mucho más directo, lo cual repercute en los costos de producción. Sin embargo, hay otros factores a considerar a la hora de decidir qué materia prima utilizar, como por ejemplo, la caracterización agronómica de la zona de cultivo. Dicho lo anterior, podemos señalar algunas de las materias primas más comunes para la obtención de etanol:

- i) En base a azúcares: caña de azúcar, remolacha y sorgo dulce.
- ii) En base a almidón: trigo, maíz y mandioca⁸.
- iii) En base a celulosa: árboles (eucalipto, álamo, sauce), hierbas (*bermudagrass*, *switchgrass*, *miscanthus*) y residuos agrícolas.

En el caso de las materias primas en base a azúcares, el proceso para la obtención de etanol se basa en primer lugar en la extracción del contenido de sacarosa presente en las mismas. Tras su extracción, el jugo que se obtiene se fermenta y el bagazo (biomasa lignocelulósica sobrante) normalmente se seca y se quema para generar energía (Cheng y Timilsina, 2010). Finalmente, el jugo fermentado se somete a un proceso de destilación y deshidratación a fin de filtrarlo de manera que el porcentaje de etanol presente en el líquido resultante sea cada vez mayor. Cuando la materia prima utilizada es almidonada, antes de la extracción de los azúcares debe realizarse un proceso de

⁷ Cuando una misma invención patentable genera distintos documentos se denomina a dicho conjunto familia de patentes. Esta situación depende principalmente de la fase de tramitación en la que se encuentre la patente y de la diversidad de países en los que se solicite su reconocimiento. Aquella solicitud que se realice en primer lugar es la que identifica a toda la familia y se conoce como solicitud prioritaria.

⁸ En nuestro estudio, sólo vamos a detallar las patentes relativas a la obtención de la mandioca dentro de los cultivos amiláceos, ya que el trigo y el maíz no han tenido un gran impacto en la producción de bioenergía en la región.

sacarificación mediante el cual el almidón se transforma en azúcar extraíble. Asimismo, si la materia prima es lignocelulósica debe llevarse a cabo un proceso de pretratamiento (físico, químico o biológico) para conservar la celulosa y la hemicelulosa aislando la lignina. Es por ello que se favorece el uso de aquellas materias primas lignocelulósicas con menor contenido de lignina. Posteriormente debe someterse la materia prima a un tratamiento de hidrólisis enzimática, para transformar la celulosa y la hemicelulosa en sacáridos.

2. Características de la producción de biodiesel

El biodiesel se obtiene a través de un proceso denominado transesterificación, a partir de la transformación de grasas y aceites. A partir de dicho tratamiento, en el cual se facilita la reacción del lípido normalmente mediante un grupo alcalino, además de biodiesel se genera también glicerina. En ciertos casos, previamente a la transesterificación se realiza un pretratamiento de las materias primas, basado en la esterificación de los lípidos, el cual tiene como finalidad el convertir los mismos en ésteres.

Tradicionalmente, las materias primas más utilizadas para la generación de biodiesel han sido algunos cultivos oleaginosos, entre los que destacan la soja, la palma aceitera y el raps (colza). Asimismo, en los últimos años se han realizado numerosas experiencias que pretenden agregar un nuevo cultivo a la lista señalada: la *Jatropha curcas*. El interés por dicha especie proviene principalmente de que es capaz de soportar condiciones agronómicas muy desfavorables en su crecimiento, por lo cual puede cultivarse en terrenos marginales. No obstante, si no se dan las condiciones agronómicas adecuadas, el contenido de aceite de sus frutos será bajo. Por otra parte, algunas algas con alto contenido oleico se postulan como materia prima para biodiesel de generaciones avanzadas.

3. Otros combustibles a partir de biomasa

En la producción tanto de biodiesel como de bioetanol sólo se utiliza parte de la materia prima, por lo cual se origina cierto desperdicio de biomasa (Cheng y Timilsina, 2010). Tratando de aprovechar estos recursos se ha ahondado en distintos procesos de conversión de dichos materiales residuales en fuentes energéticas viables. Uno de los tratamientos más comunes enfocados al propósito señalado es la gasificación. Éste es un proceso termoquímico por el cual la biomasa se somete a temperaturas elevadas, lo que hace que las sustancias orgánicas, tanto sólidas como líquidas, se transforman en productos gaseosos combustibles (BNDES & CGEE, 2008). Dichos aprovechamientos reciben normalmente el nombre de gas de síntesis (*synthetic gas* o *syngas*).

Una vez obtenido, el gas de síntesis puede ser utilizado como fuente energética o bien puede ser sometido a distintos tratamientos de conversión adicionales. Uno de ellos es su transformación en hidrocarburo líquido mediante una síntesis catalítica Fischer-Tropsch. Dicho proceso está implicado en la obtención final de metanol, dimetiléter y diesel Fischer Tropsch. Asimismo, a partir de la reacción del monóxido de carbono presente en el gas de síntesis con vapor de agua (*water-gas shift reaction* o *WGS*) se puede aislar la fracción de hidrógeno (combustible) que lo compone.

Por otra parte, al igual que el bioetanol, mediante los procesos de fermentación de los azúcares de la biomasa vegetal se puede generar biobutanol. El biobutanol plantearía ciertas ventajas con respecto al etanol: a) mayor contenido energético, b) menor volatilidad, c) mayor compatibilidad con tecnologías para uso de combustibles convencionales, e) menor corrosión, f) menor hidrofilia y g) obtención de hidrógeno como subproducto (Machado, 2010a). No obstante, se han identificado también algunos cuellos de botella en su proceso de elaboración entre los cuales destaca la escasa productividad de la generación de butanol en relación con la fabricación de etanol. Esta circunstancia está relacionada con la baja concentración de butanol combustible presente en el producto final debido a la alta toxicidad del mismo (Melzoch et. al., 2010).

A partir de los cultivos oleaginosos, a través de procesos de prensado y extracción, también se obtiene aceite vegetal. Éste puede ser utilizado como combustible (sin someterse a la transesterificación) recibiendo dicho producto la denominación de bio-oil. La composición del bio-oil es de origen

preeminente vegetal, lo cual lo hace completamente biodegradable. El bio-oil puede ser obtenido, a su vez, a partir de biomasa lignocelulósica sometida a procesos de pirólisis rápida o flash (descomposición térmica de materia orgánica en entornos anaeróbicos con duración máxima de cinco segundos) o de licuefacción hidrotermal (puesta en contacto de la biomasa con agua a elevados niveles de presión y temperatura).

Por último, debemos referirnos al biogás, un combustible de alto poder calorífico que está suscitando un interés creciente debido a sus posibilidades en la reutilización de residuos. Éste se genera por la degradación de materia orgánica en un entorno anaeróbico a través de la acción de bacterias (y otros agentes). Aunque en principio en la obtención de biogás se consideraban esencialmente como materias primas los desechos urbanos, residuos animales y lodos sanitarios, actualmente se avanza en el aprovechamiento de múltiples residuos agropecuarios (tanto procedentes de las explotaciones como de la agroindustria). Además de la reutilización de los residuos aumentando la suficiencia energética, el biogás presenta el atractivo de reducir las emisiones de metano (Machado, 2010b).

Además de la terminología contenida en el cuadro anterior, a fin de centrar nuestro análisis en la tecnología que consideramos relevante para el avance del sector de los biocombustibles, hemos utilizado ciertos filtros adicionales a las palabras clave (presentes en el título y/o resumen de la patente) en las búsquedas relativas al procesamiento de las materias primas. De este modo tratamos de evitar la consideración de innovaciones no adecuadas a nuestro objetivo dada la elevada cantidad de resultados obtenidos en búsquedas preliminares. Dichas restricciones han sido instrumentalizadas a través de la consideración de los códigos alfanuméricos de identificación tecnológica de patentes IPC (Internacional Patent Classification) de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual⁹.

En el caso de las invenciones relativas a mejoras en la obtención de las materias primas no se consideró necesario utilizar los códigos IPC como filtro de la búsqueda *a priori*. No obstante, una vez se obtuvieron los resultados se descartaron las patentes que estaban relacionadas con avances en los cultivos enfocadas en su transformación en productos ajenos a la cadena de los biocombustibles. De una manera análoga se actuó para los productos finales e intermedios no recogidos en el Cuadro II.2.

Los resultados particulares obtenidos a partir del proceso de búsqueda antes descrito se han agregado en grupos definidos según dimensión geográfica. Dentro de los grupos regionales se organizaron subgrupos dependiendo del país de origen de los solicitantes de la patente. En este sentido, se asignó una patente a un determinado país (o región) cuando al menos uno de los propietarios indetectables de la patente (individuo o entidad), el cual hubiera estado implicado en la solicitud de protección de la innovación, procediera del mismo¹⁰.

⁹ Una extensa descripción de la tecnología a la cual se refiere cada código IPC utilizado puede ser consultada en el sitio de internet de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (<http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>).

¹⁰ Debido a ello algunas patentes pueden ser contabilizadas más de una vez en su clasificación geográfica.

CUADRO II.1
PRINCIPALES ETAPAS PRESENTES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES

Materias primas		Procesamiento industrial						
Cultivos energéticos	Cultivo	Pre-tratamiento	Procesamiento	Producto primario	Procesamiento	Producto final		
Plantas Oleaginosas	Soja	Cría (tratamientos genéticos) mejora del contenido en aceites, azúcar y almidón; búsqueda de variedades resistentes a la sequía; tecnologías para mejora de los rendimientos	Prensado o extracción		Aceite vegetal	Transesterificación	Biodiesel	
	Palma aceitera						Bio-oil	
Colza								
Cultivos azúcar/ almidón	Jatropha		Molienda e hidrólisis		Azúcar	Fermentación y co-fermentación	Purificación	Etanol, butanol
	Caña de azúcar							
	Sorgo dulce							
Biomasa lignocelulósica	Remolacha							
	Mandioca							
Residuos	Eucalipto	Cría (tratamientos genéticos) reducción del contenido de lignina; selección de las variedades con mayor adaptabilidad	Gasificación		Syngas	Purificación	Síntesis catalítica	Gas natural sintético
	Sauce		Calentamiento y secado	Pirólisis	Reacciones gas-sólido	Reacciones fase gas		Diesel Fischer-Tropsch
	Switchgrass	Física: conminución mecánica, explosión a vapor, explosión de fibra de amonio, pirólisis; química: hidrólisis ácida y alcalina; biológica: reacción a microbios (hongos blancos, marrones y de pudrición blanda).	Digestión anaeróbica		Biogás	Water gas shift reaction		Hidrógeno
	Bermudagrass		Pirólisis flash		Bio-oil			
	Miscanthus		Licuefacción hidrotermal			Tratamiento hídrico y refinado		Biodiesel
				Hidrólisis	Azúcar	Fermentación y co-fermentación	Purificación	Etanol, butanol
		Relleno sanitario		Digestión anaeróbica		Biogás		
	Desecho animal							

Fuente: Elaboración propia en base a Hamelinck & Faaij (2006) y Fundación Chile (2009).

CUADRO II.2
CÓDIGOS IPC RELATIVOS AL PROCESAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS PARA LA OBTENCIÓN DE
BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS

Palabra clave	Códigos	Definición
Aceites vegetales	C10L 1/02	Combustibles líquidos carbonosos, esencialmente basados sólo en componentes formados por carbono, hidrógeno y oxígeno
	C10L 1/19	Combustibles líquidos carbonosos: Esteres
Biodiesel	C07C 67/00	Preparación de ésteres de ácidos carboxílicos
	C07C 69/00	Ésteres de ácidos carboxílicos; ésteres de ácidos carbónico o halofórmico
	C10G3/00	Producción de mezclas de hidrocarburos líquidos a partir de materiales orgánicos que contienen oxígeno, por ejemplo aceites y ácidos grasos
	C10G11/00	Craqueo catalítico, en ausencia de hidrógeno, de aceites de hidrocarburos
	C10G11/18	Craqueo catalítico, en ausencia de hidrógeno, de aceites de hidrocarburos, de acuerdo con la técnica "fluidised bed"
	C10G25/00	Refino de aceites de hidrocarburos, en ausencia de hidrógeno, con absorbentes sólidos
	C10L 1/02	Combustibles líquidos carbonosos, esencialmente basados sólo en componentes formados por carbono, hidrógeno y oxígeno
	C10L 1/19	Combustibles líquidos carbonosos: Esteres
Bioetanol	C11C 3/10	Grasas, aceites o ácidos grasos por modificación química de las grasas, aceites o ácidos grasos obtenidos de los mismos: Intercambio de Ester
	C12P 7/64	Preparación de compuestos orgánicos que contienen oxígeno: Grasas, aceites grasos, ceras tipo Ester, ácidos grasos superiores (que tiene por lo menos siete átomos de carbono en una cadena lineal, unidos a un grupo carboxilo), aceites o grasas oxidadas
	C10L 1/02	Combustibles líquidos carbonosos, esencialmente basados sólo en componentes formados por carbono, hidrógeno y oxígeno
	C10L 1/182	Combustibles líquidos carbonosos, que contienen grupos hidroxilo
	C12N 9/24	Enzimas, pro enzimas y composiciones de los mismos; Procedimientos de preparación, activación, inhibición, separación o enzimas purificantes o que actúan sobre compuestos glicosil
Biogás	C12P 7/06	Preparación de compuestos orgánicos que contienen oxígeno: Etanol, no bebible
	C12P 7/14	Preparación de compuestos orgánicos que contienen oxígeno: Múltiples etapas de fermentación; múltiples tipos de microorganismos o la reutilización de microorganismos
	C02F 3/28	Tratamiento biológico del agua o aguas residuales: Procesos de digestión anaerobia
	C02F 11/04	Tratamiento de lodos; dispositivos para tratamiento de lodos: Tratamiento anaerobio; Producción de metano por medio de tales procesos
	C10L 3/00	Combustibles gaseosos, gas natural, el gas natural de síntesis obtenido por procedimientos no previstos en las subclases C10G, C10K; gas licuado de petróleo
Biogás	C12M 1/107	Aparatos para enzimología o microbiología con medios para recoger los gases de fermentación, por ejemplo, metano
	C12P 5/02	Preparación de los hidrocarburos a cíclicos (producción de metano por tratamiento anaerobio de lodos C02F 11/04)

Fuente: IPC Green Inventory, World Intellectual Property Organization (WIPO).

Finalmente, la información que generó la búsqueda (y posterior tratamiento de los datos) sobre patentes en biocombustibles fue utilizada, siguiendo la metodología planteada por Fundación Chile (2009), para el estudio de los siguientes aspectos específicos:

- Principales países implicados en la propiedad de las patentes
- Principales entidades (o individuos) solicitantes de las patentes
- Tecnologías predominantes en las patentes seleccionadas
- Participación de América Latina en las patentes consideradas

Por otra parte, el fin último de los avances en la cadena productiva de los biocombustibles es lograr mayores rendimientos y/o menores costes. Es por ello que a continuación se presente una breve referencia a la caracterización de la estructura de costes y a los puntos críticos en el proceso de obtención de los biocombustibles.

D. Principales puntos críticos y estructura de costos

El costo de producción de los cultivos energéticos constituye una parte importante del costo final de los biocombustibles. En el caso del bioetanol de caña en Brasil y en Colombia por ejemplo, este costo representa cerca de 60% y 70%, respectivamente. Para el biodiesel de aceite de soya producido en Argentina, esta proporción es aún mayor y puede fluctuar entre 70% y 80% (Begenesic y Pascale, 2010).

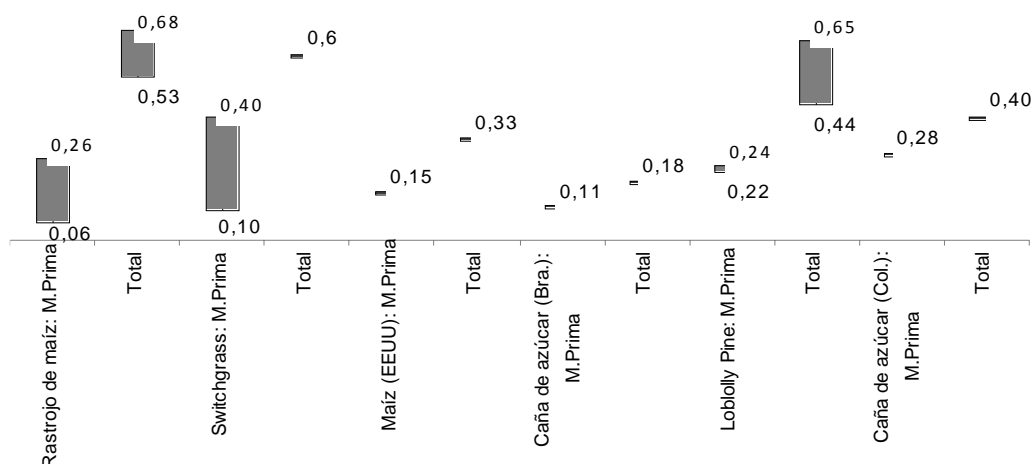
1. Bioetanol

En el caso del bioetanol producido en Estados Unidos a partir de maíz, esta proporción baja a 47% (International Energy Agency. 2008. World energy outlook. París, Francia). Por otra parte, la proporción del costo de las materias primas para biocombustibles de generaciones avanzadas, es menor y representa entre 45% y 58% del costo total (Hamelinck y Faaij, 2006). A pesar que las materias primas para biocombustibles de generaciones avanzadas (cultivos leñosos, gramíneas, residuos agrícolas y residuos forestales) son más abundantes, baratas y no compiten directamente con el consumo de alimentos, sus tecnologías de procesamiento aún no permiten una producción a gran escala, que sea económicamente competitiva con los combustibles fósiles o con sus pares de primera generación.

El Gráfico II.1 presenta un resumen comparativo de estimaciones de costos de las materias primas en la producción de biocombustibles tanto de primera generación, como de generaciones avanzadas.

Vemos comparativamente como el costo de la caña de azúcar en Brasil, considerada la materia prima más eficiente para la producción de bioetanol de primera generación, es hasta un 46% mayor que la mayoría de residuos agrícolas, a excepción de los del trigo de invierno y la alfalfa, que son 21% y 135% mayores, respectivamente, considerando únicamente sus valores más bajos. En cuanto a los costos de los residuos forestales, primarios y de madera fresada, estos son entre un 5% y 18% menores a los de la caña brasilera. Sin embargo, hay otras materias primas, como los residuos del álamo, que llegan a costar entre 3 y 4 veces más. Las gramíneas y otra biomasa herbácea presentan una alta variabilidad en las estimaciones de sus costos, ya que su productividad está condicionada por los distintos factores edafoclimáticos y culturales. En el caso del pasto varilla o *switchgrass*, sus costos varían desde valores cercanos a los de la caña brasilera (0,11 US\$/l), hasta 4 veces este valor.

GRÁFICO II.1
RANGOS Y VALORES ESTIMADOS DE COSTOS DE MATERIAS PRIMAS PARA BIOETANOL
(US\$ por litro)



Fuente: Elaboración propia a partir de Carriquiry M. et al (2010) e Infante & Tobon (2010).

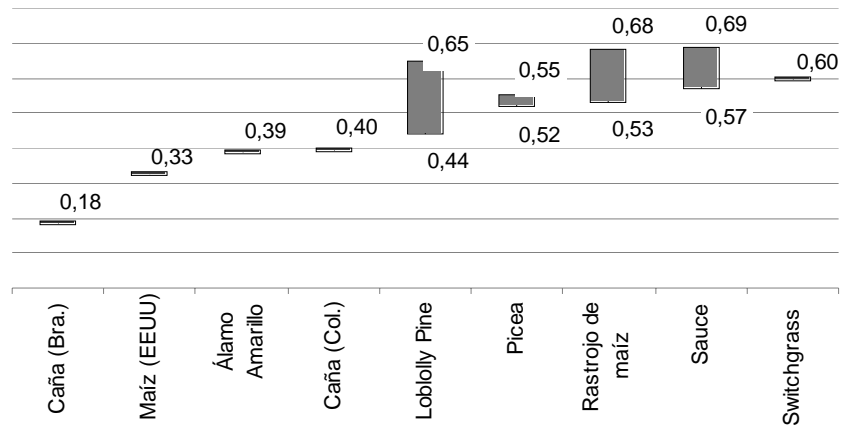
Nota: El Gráfico II.1 presenta rangos de valores de costos. Ya que para algunas materias primas no existe una sola estimación puntual, se trató de reflejar gráficamente esta variabilidad.

Si se consideran los costos totales (materias primas y procesos de transformación), se observa cómo los costos de los biocombustibles de primera generación son en promedio menores que los de generaciones avanzadas (Gráfico II.2), lo que evidencia los niveles de madurez de las tecnologías. Por ejemplo, el bioetanol brasilero y el de Estados Unidos, son 0,42 y 0,27 US\$/l respectivamente más baratos que el bioetanol de pasto varilla. A pesar de que el bioetanol colombiano, también de caña de azúcar, cuesta el doble del brasilero y es un 21% más caro que el de Estados Unidos, aún sigue siendo comparativamente más barato que el de generaciones avanzadas, a excepción del que utiliza Álamo Amarillo como materia prima, que tiene un valor similar.

Si separamos los costos de las distintas materias primas, de los costos de procesamiento, vemos como los costos de procesamiento del bioetanol de generaciones avanzadas constituyen una proporción importante del costo total de estos biocombustibles (Gráfico II.3). Así por ejemplo, en el caso del bioetanol a partir del rastrojo del maíz, si se considera el mayor valor del costo de esta materia prima y el menor valor del costo total del biocombustibles, existe una diferencia de 0,27 US\$/l, lo que equivale al 51% del costo total. En el otro extremo, considerando el menor valor de la materia prima, contra el mayor valor del costo total, esta diferencia es de 0,62 US\$/l, equivalente a un 91% del costo final del biocombustible.

En el caso de los biocombustibles de primera generación, los costos de procesamiento de la materia prima son relativamente menores que los de las generaciones avanzadas. Por ejemplo, en el caso de la caña brasilera este valor es de aproximadamente 0,07 US\$/l y 0,12 US\$/l en el caso de la caña colombiana. En el caso del maíz de Estados Unidos el costo sube a aproximadamente 0,17 US\$/l.

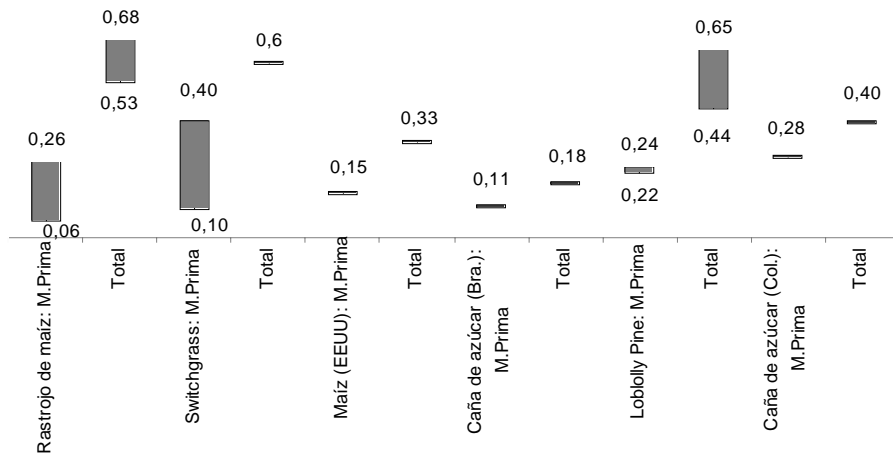
GRÁFICO II.2
RANGOS Y VALORES ESTIMADOS DE COSTOS TOTALES DE BIOETANOL
(US\$ por litro)



Fuente: Elaboración propia a partir de Carriquiry M. et al. (2010) e Infante & Tobon (2010).

Nota: El Gráfico II.2 presenta rangos de valores de costos. Ya que para algunas materias primas no existe una sola estimación puntual, se trató de reflejar gráficamente esta variabilidad.

GRÁFICO II.3
COMPARACIÓN ENTRE RANGOS Y VALORES DEL COSTO ESTIMADO DE LA MATERIA PRIMA Y EL COSTO TOTAL DEL BIOETANOL
(US\$ por litro)



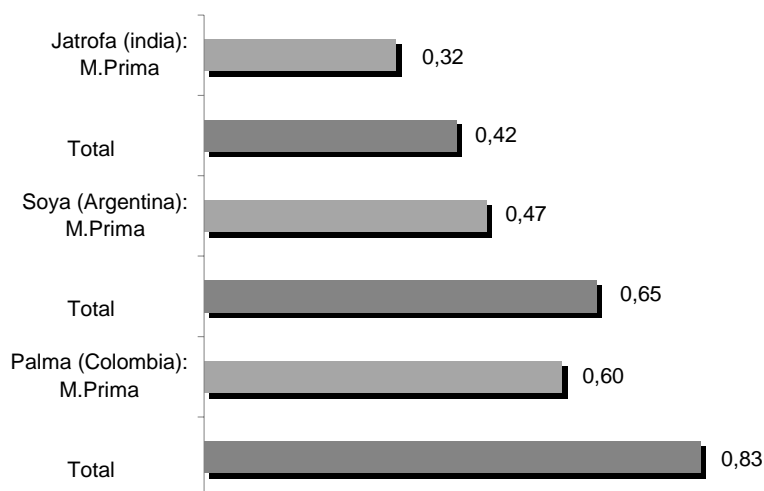
Fuente: Elaboración propia a partir de Carriquiry M. et al (2010) e Infante & Tobon (2010).

Nota: El Gráfico II.3 presenta rangos de valores de costos. Ya que para algunas materias primas no existe una sola estimación puntual, se trató de reflejar gráficamente esta variabilidad.

2. Biodiesel

Contrariamente a lo que ocurre entre el bioetanol de primera generación y de generaciones avanzadas, en el caso del biodiesel el desafío se encuentra en bajar los altos costos de producción de las materias primas y la posterior extracción de su aceite. Para las microalgas por ejemplo, el costo de producción de su aceite fluctúa entre 9 y 12 US\$/lt. En el caso de la Jatrofa hay mucha dispersión en sus costos, ya que existe una alta variabilidad fenotípica de la planta y es muy intensiva en mano de obra, lo que condiciona su costo a la diversidad tanto de las condiciones de clima y suelos, como a la de las condiciones salariales entre países y regiones.

GRÁFICO II.4
RANGOS Y VALORES ESTIMADOS DE COSTOS DE MATERIAS PRIMAS PARA BIODIESEL
(Porcentaje del total de costos)



Fuente: Elaboración propia a partir de Carriquiry M. et al (2010), Infante & Tobon (2010) y Bagenesic & Pascale (2010).

Nota: El Gráfico II.4 presenta rangos de valores de costos, ya que para algunas materias primas no existe una sola estimación puntual y se trató de reflejar gráficamente esta variabilidad.

E. Puntos críticos para la reducción de costos de biocombustibles

Para una mejor comprensión, hemos dividido la descripción de los principales puntos críticos para la reducción de costos de los biocombustibles, entre sus diferentes eslabones productivos, desde el cultivo de la materia prima, hasta la obtención del producto final.

1. Biocombustibles de primera generación

En el ámbito de los biocombustibles de primera generación, **los desafíos tecnológicos se encuentran principalmente en el aumento de la productividad de los cultivos energéticos tradicionales, así como de su adaptación a condiciones edafo-climáticas marginales**, es decir a lugares que sean no aptos o poco aptos para cultivos alimenticios. Al respecto la ingeniería genética se presenta como una alternativa para incrementar el contenido energético de cereales, cultivos sacáridos y oleaginosas, así como para la creación de nuevas variedades adaptadas a condiciones de aridez o alta precipitación pluvial y baja fertilidad de los suelos. Sin embargo, también existen variedades nativas adaptadas naturalmente a estas condiciones y que necesitan ser domesticadas. En esta tarea es fundamental la

participación de los centros nacionales de investigación agrícola, que en varios países cuentan con una larga trayectoria en innovación y difusión de tecnologías agrícolas.

2. Biocombustibles de generaciones avanzadas

Si bien las materias primas de los biocombustibles de generaciones avanzadas son más diversas, abundantes, relativamente más baratas y no compiten directamente con la producción o el consumo de alimentos, existen aún barreras tecnológicas importantes que no permiten su producción a escala industrial y a costos competitivos, que permitan masificar su uso. A continuación se presenta un resumen de los principales puntos críticos de las tecnologías actuales, cuyos costos deben reducirse significativamente para lograr su viabilidad económica.

Materias primas

Los rendimientos energéticos de los cultivos lignocelulósicos pueden ser mejorados significativamente, tanto por medio de cruzamientos de variedades, como por el uso de la genética, ya que la investigación en estas áreas se encuentra aún en etapa inicial. Los avances tecnológicos pueden **incrementar la densidad energética y reducir los requerimientos tanto hídricos como de otros insumos** utilizados en la siembra, mejorando la competitividad de estos cultivos (IEA, 2008).

Logística de la materia prima

Otro componente importante de los costos de procesamiento de los biocombustibles avanzados es la **logística de cosecha, recolección, transporte y almacenaje, en los volúmenes, calidades y tiempos requeridos por la industria procesadora para alcanzar una productividad óptima**.

Pre-tratamiento

La lignocelulosa es un compuesto formado principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa y hemicelulosa contienen azúcares. La lignina es una compleja y heterogénea mezcla de compuestos fenólicos y constituye un componente principal en las paredes celulares de las plantas, que cohesiona y sostiene las fibras de la celulosa y hemicelulosa, envolviéndolas. **Para poder fermentar los azúcares de la celulosa y hemicelulosa se requieren romper previamente las paredes de lignina de las plantas, por lo que se hace necesario realizar pre-tratamientos, que actualmente son costosos, tanto en términos de energía como de insumos**. El pretratamiento puede hacerse por medio de procesos físicos, químicos o biológicos. El primer caso incluye el uso de conminución mecánica, explosión de vapor, pirolisis, etc.; la vía química incluye el uso de hidrólisis ácida o alcalina; y la biológica el uso de microbios. Una tecnología de bajo costo identificada como prometedora, es el pre-tratamiento a baja temperatura. Otra alternativa es disminuir por medio de la ingeniería genética, el contenido de lignina de los cultivos. Esto podría reducir significativamente los costos del pre-tratamiento o incluso eliminarlos (Cheng y Timilsina, 2010).

Procesamiento

Una vez separadas la celulosa y hemicelulosa de la lignina, el siguiente paso es extraer sus azúcares fermentables. La ruta de conversión frecuentemente empleada para la producción de bioetanol lignocelulósico es la bioquímica, que utiliza hidrólisis enzimática. Ella ocupa enzimas y otros micro-organismos para convertir la celulosa en glucosa y la hemicelulosa en pentosas y hexosas, que posteriormente son fermentadas por medio de levaduras. **En esta etapa se necesitan reducir los costos de las enzimas, mejorando la eficiencia de los micro-organismos que las producen**. Si bien la fermentación de la glucosa es una tecnología madura, la fermentación de la pentosa es más complicada y requiere del desarrollo de nuevas bacterias y levaduras que permitan una co-fermentación de ambos tipos de azúcares. La última etapa de este proceso es la purificación y deshidratación del alcohol (Cheng y Timilsina, 2010).

Una segunda ruta es la termo-química, que produce el bio-oil por medio de la pirólisis y la licuefacción hidrotermal; y por medio de la gasificación, gas de síntesis del cual se obtienen diferentes

biocombustibles de cadenas de carbono largas, tales como el metanol, dimetil-éter, Fischer-Tropsch diesel, gas de síntesis e hidrógeno (Hamelinck y Faaij, 2006). **Uno de los problemas de la ruta termoquímica es el poder asegurar un abastecimiento continuo y de bajo costo de una cantidad suficiente de materia prima, que permita operar la planta en su escala óptima.** Como ya se mencionó párrafos arriba, esto es debido a la menor densidad energética de los cultivos, si se los compara por ejemplo con el carbón mineral. El proceso termo-químico tampoco permite aprovechar los residuos de la lignina que se obtienen como subproducto de la ruta bioquímica y que genera energía adicional en forma de calor y electricidad, lo que ayuda a reducir los costos generales (IEA, 2008).

En el caso de las algas, **un gran desafío en términos de reducción de costos, radica en el escalamiento de sus sistemas productivos para obtención de la biomasa, ya que sus tecnologías de procesamiento son similares a las de primera generación.** Según Chisti (2007), en el caso del biodiesel de algas, los esfuerzos en investigación y desarrollo probablemente necesiten concentrarse en la selección y desarrollo de microalgas de alta productividad y contenido oleico; en la mejora de la tolerancia de estas algas ricas en aceite a las altas y/o bajas temperaturas, y a las altas concentraciones de oxígeno; mejora de su capacidad para competir por nutrientes con bacterias y otras algas invasivas, cuando se utilizan sistemas de estanques abiertos para su crecimiento; mejora de la ingeniería de los sistemas de producción; desarrollo de sistemas de cosecha costo-efectivos; y aplicación del concepto de biorefinería a los sistemas de producción de biodiesel de microalgas, transformando otros derivados del proceso de extracción del aceite y la producción del biodiesel, en productos con valor agregado.

F. Resultados de la búsqueda de patentes

1. Avances en la producción de materias primas

La innovación en la obtención y tratamiento de los cultivos con mayor potencial para la producción de biocombustibles líquidos es esencial para facilitar la mejor evolución del sector. Por tanto, a través del análisis de las patentes que cada país ha generado con respecto a dichos cultivos podemos tener una primera idea de su competitividad a medio y largo plazo. Teniendo en cuenta el objetivo señalado en el presente epígrafe hemos contabilizado las patentes basadas en tecnologías relacionadas con las mejoras de las técnicas agronómicas en los principales cultivos energéticos, así como aquellas referidas a avances en los procesos de transformación de dichas materias primas¹¹.

Plantas oleaginosas

Soya

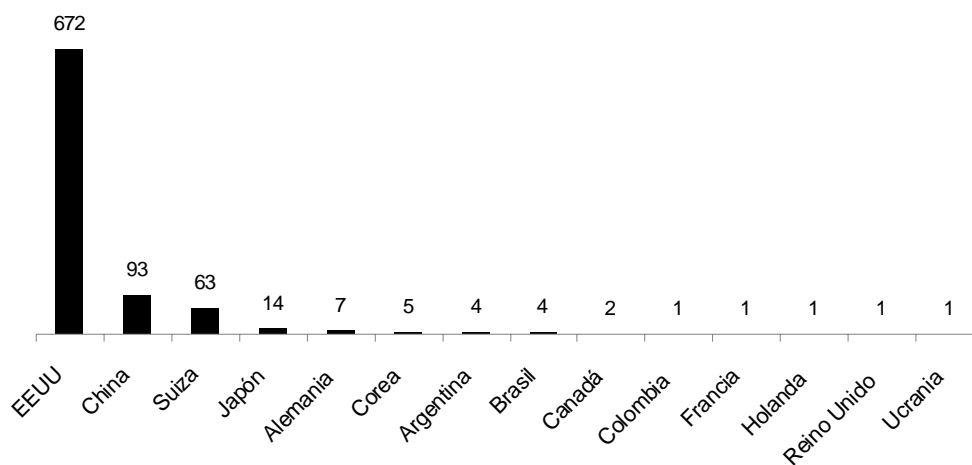
Se estima que en el año 2009 en el mundo había casi cien millones de hectáreas dedicadas al cultivo de la soya (FAOstat). De ellas más de cuarenta y dos millones de hectáreas se sitúan en América del Sur. Casi la totalidad de dicha superficie pertenece a Brasil (21,76 mill. de has.), Argentina (16,76 mill. de has.) y en menor medida a Paraguay (2,57 mill. de has.) y Uruguay (0,57 mill. has.). Asimismo, más del cuarenta por ciento de la producción mundial de soya se obtendría entre dichos cuatro países. No resulta casual, por tanto, que la soya se sitúe como la principal materia prima utilizada para la producción de biodiesel en los países señalados. En el caso de Brasil y Argentina esta producción ha avanzado mucho en los últimos años alcanzando una notoria presencia a nivel global.

Como ya se indicó en la introducción metodológica, en nuestro estudio hemos considerado aquellas patentes relacionadas con las mejoras agronómicas en el cultivo de la soya, así como los avances en tecnologías de transformación que presumiblemente puedan guardar relación con la obtención de biodiesel procedente de dicha materia prima. Teniendo en cuenta dichas consideraciones se han identificado un total de 867 familias de patentes (Gráfico II.5).

¹¹ No hemos considerado todas aquellas patentes relativas a la transformación de las materias primas estudiadas para usos que nada tienen que ver con el bioenergético (medicinas, cosméticos, bebidas, alimentos...).

Como podemos observar en el Gráfico II.5, la propiedad de la mayor parte de las patentes consideradas corresponde a individuos o entidades localizados en Estados Unidos (77,3% del total). Esto es debido principalmente a que varias empresas multinacionales estadounidenses productoras de insumos agrícolas figuran como las principales solicitantes a nivel global de este tipo de patentes, destacando entre ellas Monsanto y Pioneer. Otra de las compañías propietaria de un importante número de patentes relativas a la producción de soya es la suíza Syngenta, responsable del total de solicitudes consideradas para dicho país. En el caso de China, segundo país en solicitud de patentes relativas a la soya en el mundo, la propiedad de las mismas está mucho más diversificada, no habiendo una entidad que pueda identificarse como destacada. Japón y Alemania cerrarían el grupo de los cinco países con mayor incidencia en la propiedad de patentes concernientes al cultivo de soya, aunque se encuentran a gran distancia de los tres primeros.

GRÁFICO II.5
PATENTES EN PRODUCCIÓN DE SOYA SEGÚN PAÍSES, 2006-2010
 (Número de patentes)



Fuente: Elaboración propia a partir de información procedente de la base de datos esp@cenet worldwide de la Oficina Europea de Patentes (EPO).

Asimismo, si nos referimos a las tecnologías más frecuentes encontramos que en casi el total de las patentes seleccionadas destacan las técnicas para obtener nuevas especies vegetales y el tratamiento con microorganismos o enzimas relacionado con la mutación o la ingeniería genética en células vegetales y con el cultivo de tejidos para la reproducción de plantas.

Por su parte, el papel de los países latinoamericanos es bastante discreto en patentación de avances en la producción de soya y se limita a la intervención de entidades (e individuos en uno de los casos) argentinas, brasileñas y colombianas. Entre dichas instituciones destacan la compañía argentina Nidera Semillas y la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA) con la propiedad de tres y dos de las ocho patentes latinoamericanas consideradas respectivamente. Al igual que en el ámbito global, la tecnología implicada en la mayoría de dichas patentes es la obtención de nuevas especies vegetales y la reproducción de plantas a través del cultivo de tejidos.

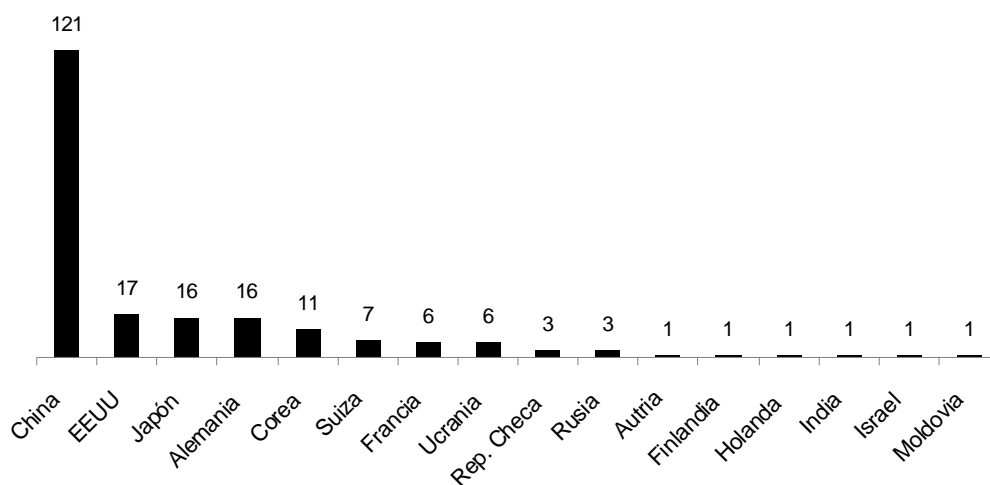
Colza

Según datos referentes a 2009 en el mundo hay treinta y un millones de hectáreas dedicadas al cultivo de la colza (FAOStat). De ellas sólo unas doscientas veinte mil hectáreas se sitúan en América Latina. No obstante, en los últimos años dicha cifra ha experimentado un fuerte incremento. El cultivo de la colza

está presente en sólo cinco países de América del Sur: Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay. Es en estos mismos países donde se ha planteado la utilización de la colza como materia prima (tanto a nivel industrial como experimental) para la obtención de biodiesel.

En nuestro análisis de la innovación relativa a la producción de la colza hemos identificado un total de doscientas diecinueve familias de patentes publicadas entre los años 2006 y 2010. En el Gráfico II.6 se muestran dichos resultados, categorizados conforme al país donde se localizan los propietarios de las patentes.

GRÁFICO II.6
PATENTES EN PRODUCCIÓN DE COLZA SEGÚN PAÍSES, 2006-2010
 (Número de patentes)



Fuente : Elaboración propia a partir de información procedente de la base de datos esp@cenet worldwide de la Oficina Europea de Patentes (EPO).

A diferencia de lo que sucede para la soya, Estados Unidos no tiene un papel especialmente preeminente en la patentación relativa al cultivo y transformación de la colza, ya que sólo está relacionado con la propiedad de diecisiete de las patentes consideradas. En el caso de la colza, China es el país donde se localizan la mayoría de las entidades e individuos propietarios de las patentes registradas (121 patentes). Dos instituciones de educación superior destacan dentro de la variedad de responsables de dichas patentes chinas: Universidad Nanjing y Universidad Huazhon. Japón, Alemania y en menor medida Corea del Sur se situarían en una posición destacada dentro de la clasificación analizada.

En lo que respecta a las tecnologías predominantes en relación a las patentes seleccionadas destacan la obtención de combustibles, los procesos de producción, refinado y conservación de grasas, aceites y ceras, así como la generación de ácidos grasos a partir de grasas, aceites y ceras. En el plano de la innovación agronómica la tecnología más recurrente, al igual que para la soya, es la obtención de nuevas especies vegetales y la reproducción de plantas a través del cultivo de tejidos.

Por último, en el caso de la producción de la colza el papel de las entidades innovadoras latinoamericanas es inexistente (al menos dados los resultados que para nuestro análisis hemos considerado oportuno seleccionar).

Palma aceitera

Según datos correspondientes al año 2008 en el mundo hay alrededor de 14,6 millones de hectáreas dedicadas al cultivo de la palma aceitera (FAOStat). Los principales países productores a nivel global están localizados en el Sudeste Asiático (Indonesia, Malasia y Tailandia) y en la zona suroccidental de África (Nigeria, Guinea, Ghana y Costa de Marfil).

América Latina tiene en su conjunto una presencia relativamente modesta en el cultivo de la palma aceitera, con sólo 0,65 millones de hectáreas registradas en 2008. Sin embargo, se trata de una producción importante, y sobre todo con buenas perspectivas futuras, para países como Colombia, Ecuador, Honduras, Costa Rica y Guatemala. Garantizar la competitividad de dichos cultivos considerando los bajos salarios de la mano de obra en los principales productores mundiales de palma aceitera es un reto fundamental que debería ser abordado a partir de mejoras en la productividad por hectárea y trabajador (Infante & Tobón, 2009). El logro de ese tipo de ventajas se encuentra obviamente relacionado con el nivel tecnológico de la cadena productiva.

En nuestro análisis de la situación global de la innovación enfocada a generar avances en el cultivo y procesamiento de la palma aceitera hemos identificado cuarenta y dos familias de patentes. Casi la totalidad de los propietarios de dichas invenciones están localizados en países asiáticos: China (16 patentes), Malasia (9 patentes), Japón (8 patentes) y Corea (4 patentes). Con una participación testimonial, el resto de países presentes en la propiedad de las patentes consideradas son Estados Unidos, Rusia, Holanda y Benín. Como podemos observar, ninguna entidad latinoamericana ostentaría la propiedad de alguna de las patentes registradas. Por otra parte, la principal tecnología implicada en este caso son los procesos de producción, refinado y conservación de grasas, aceites y ceras.

Jatropha

Las posibilidades de la *jatropha* como materia prima para la obtención de biodiesel ha suscitado recientemente un gran interés en distintos ámbitos institucionales especializados. Uno de los principales atractivos de este cultivo es que, como ya hemos señalado con anterioridad, puede crecer en condiciones agroambientales muy adversas. Dicha cualidad se instrumentalizaría en estrategias de puesta en valor de suelos marginales inutilizados a través de la producción de *jatropha* dedicada a la provisión de bioenergía. No obstante, tenemos que considerar que el contenido en aceite útil para la generación de biocombustible presente en el fruto de la *jatropha* es susceptible al nivel de estrés hídrico soportado, a la caracterización del clima, a la riqueza en nutrientes del suelo, etc... Los avances tecnológicos encaminados a aumentar el contenido oleico de la *jatropha* serán muy importantes para hacer viable económicamente su cultivo en terrenos marginales.

Hasta ahora el país donde la siembra de la *jatropha* para la producción de biocombustibles ha tenido un mayor apoyo y desarrollo ha sido India. La estrategia nacional para el desarrollo de la bioenergía en ese país tiene como objetivo lograr que el 20% de la demanda interna de diesel sea satisfecha con aquel procedente de cultivos, entre los cuales la *jatropha* tendría un papel preeminente. A nivel latinoamericano son muchos los países que han mostrado su interés por la promoción de la *jatropha* como materia prima bioenergética, debido principalmente a su potencial como generadora de valor en terrenos degradados. Un buen ejemplo en este sentido es el caso de Chile, donde se han desarrollado distintas experiencias piloto con el cultivo de la *jatropha* en la zona norte del país.

Conforme a las tecnologías seleccionadas, en nuestra revisión de las invenciones relativas a avances en el cultivo y tratamiento de la *jatropha* hemos encontrado ochenta y cinco familias de patentes. Al igual que sucede en el caso de la palma aceitera, varios países asiáticos destacan en la propiedad de dichas patentes: China (51 patentes), India (14 patentes), Singapur (5 patentes), Corea (5 patentes) y Japón (4 patentes). Para el resto de patentes consideradas los propietarios se localizan en Estados Unidos, Alemania, Francia y Colombia. Se trata de una patente solicitada por la Universidad de Antioquía y el grupo Empresas Públicas de Medellín (EPM), titulada “Método para la multiplicación celular del tejido de la *jatropha curcas*”. Las principales tecnologías presentes en las patentes en América Latina son las técnicas para la obtención de nuevas plantas y la reproducción de tejidos vegetales, así como los procesos para la generación de combustibles.

Plantas sacáridas/amiláceas

Caña de azúcar

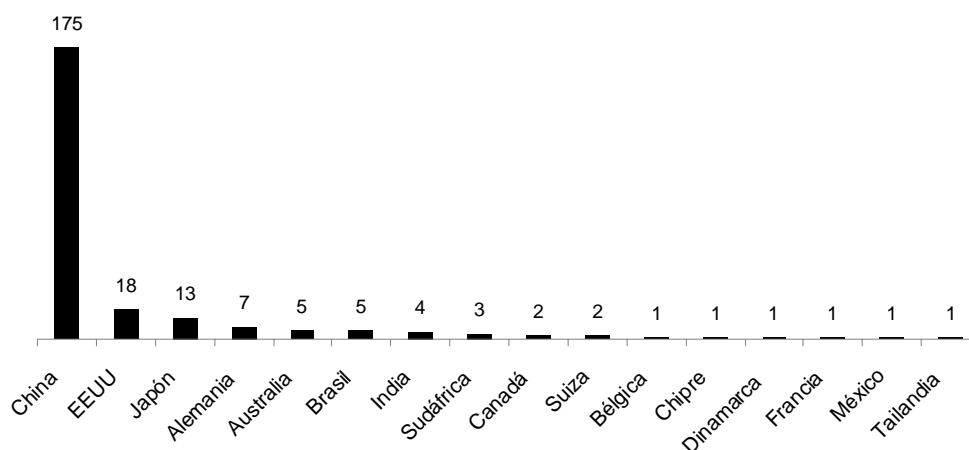
El cultivo de la caña de azúcar es una actividad agrícola significativa en varios países de América Latina y el Caribe. Según datos de FAO para 2009, la región concentra 11,83 millones de hectáreas dedicadas a la caña de azúcar, lo que representa casi 50% de la superficie ocupada por dicho cultivo en el mundo.

La mayor parte de la producción cañera regional se lleva a cabo en Brasil (8,6 millones de hectáreas). Dicha posición de liderazgo en la obtención de materia prima ha facilitado que la agroindustria sucroalcoholera brasileña haya tenido un desarrollo productivo de vanguardia dentro del contexto latinoamericano. En la expansión de la producción de etanol combustible en Brasil la asimilación de procesos innovadores fue esencial para incrementar la eficiencia productiva y mitigar los costes ambientales (BNDES & CGEE, 2008: 169).

Aunque a mucha menor escala que Brasil, Colombia y Argentina tienen importantes extensiones de cultivo de caña de azúcar con destacados rendimientos por hectárea. Asimismo, Colombia junto con países centroamericanos como Guatemala, el Salvador y Costa Rica se han involucrado recientemente en la producción de etanol de caña de azúcar.

En nuestra investigación hemos identificado doscientas cuarenta familias de patentes relativas a innovaciones en la producción de caña de azúcar, las cuales se clasifican en el Gráfico II.7 según el país donde se localizan sus propietarios.

GRÁFICO II.7
PATENTES EN PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR SEGÚN PAÍSES, 2006-2010
(Número de patentes)



Fuente: Elaboración propia a partir de información procedente de la base de datos esp@cenet worldwide de la Oficina Europea de Patentes (EPO).

Pese a tener una superficie relativamente reducida dado el tamaño del país dedicada al cultivo de la caña de azúcar (1,6 mill. de has. en 2009), China acumula más del 70% de las patentes consideradas. El Instituto de Investigación de la Caña de Azúcar perteneciente a la Yunnan Academy destaca en número de invenciones. En el caso de Estados Unidos, la Universidad de Louisiana y la Universidad A&M de Texas son solicitantes de la mayoría de las patentes seleccionadas para dicho país. Junto con China y Estados Unidos, Japón y Alemania completarían el listado de los cuatro países con mayor número de patentes solicitadas en caña de azúcar.

Como hemos señalado, Brasil destaca en el contexto latinoamericano por el alto nivel de desarrollo de su sector sucroalcoholero. Dicha aseveración se confirma al ser éste el único país de la región (con la excepción de México) cuyas entidades tienen una cierta presencia en la solicitud de las patentes consideradas.

Por último, en lo que respecta a las tecnologías presentes en las invenciones seleccionadas se destacan principalmente las mejoras en los procesos de siega y cosecha. Asimismo, la transformación de la materia prima a partir de microorganismos o enzimas, la obtención de nuevas plantas y reproducción de tejidos vegetales y los procesos de fermentación están especialmente presentes.

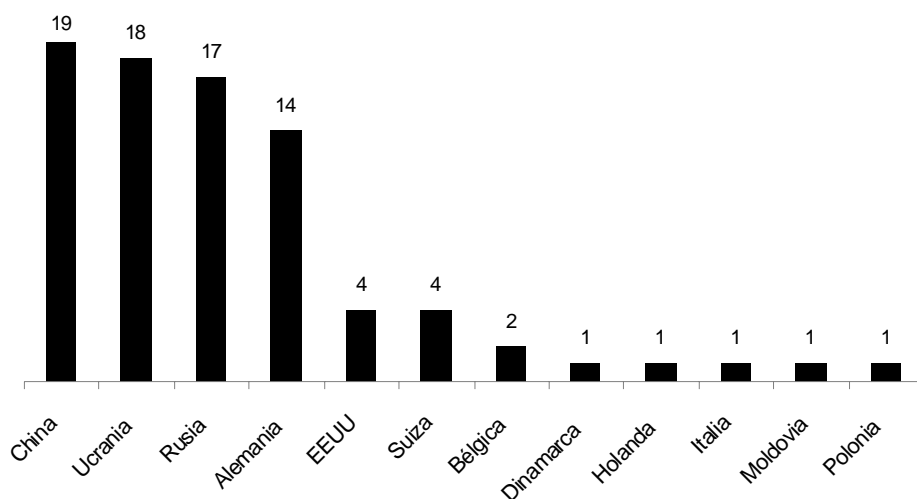
Remolacha

Debido a su alto contenido en sacarosa a remolacha azucarera ha sido considerada como posible materia prima para la generación de energía a partir de su transformación en etanol combustible. Dicho cultivo es especialmente importante en la zona central y oriental de Europa, por ser un alimento tradicional muy presente en la dieta de sus habitantes. Rusia, Alemania, Francia, Ucrania y Polonia acumulan casi la mitad de las hectáreas dedicadas al cultivo de la remolacha en el mundo.

Por su parte, el cultivo de remolacha es muy escaso en América Latina, estando presente en pequeñas extensiones en Chile y Colombia. En dichos países se han desarrollado algunas experiencias relativas a la obtención de bioenergía a partir de la remolacha azucarera¹².

En nuestro estudio hemos considerado ochenta y tres familias de patentes relacionadas con avances en la producción de la remolacha azucarera. Los países los cuales participaban en la propiedad de dichas patentes se encuentran referidos en el Gráfico II.8.

GRÁFICO II.8
PATENTES EN PRODUCCIÓN DE REMOLACHA SEGÚN PAÍSES, 2006-2010
(Número de patentes)



Fuente: Elaboración propia a partir de información procedente de la base de datos esp@cenet worldwide de la Oficina Europea de Patentes (EPO).

Cuatro países destacan en solicitud de patentes relativas a la producción de remolacha azucarera: China, Ucrania, Rusia y Alemania. A nivel de entidades, el Instituto de Crecimiento de la Remolacha de Ucrania es el organismo que concentra en mayor medida la propiedad de las patentes consideradas. Por su parte, la presencia latinoamericana en este tipo de patentes es nula (Gráfico II.8).

Las tecnologías más importantes son avances en la plantación, cosecha y fertilización, extracción del jugo de la remolacha, transformación de la materia prima a partir de microorganismos o enzimas y obtención de nuevas plantas y reproducción de tejidos vegetales.

Mandioca

La mandioca (o yuca) es una planta autóctona sudamericana, la cual crece en climas tropicales o subtropicales, datando su cultivo de épocas ancestrales. Dicha tradición hace que la mandioca tenga un papel substancial en la alimentación nativa de la región. Asimismo, su resistencia y el valioso aporte

¹² Un ejemplo es el proyecto de la empresa Campos Chilenos, participada por el grupo inglés ED&F MAN, la cual tiene la intención de penetrar en el mercado de los biocombustibles en Colombia en colaboración con la empresa local Maquiltec centrándose en la obtención de etanol de remolacha.

nutritivo que supone llevan a que su cultivo y consumo se haya popularizado especialmente en sociedades con bajos niveles de ingreso, como por ejemplo las zonas occidental y central de África y algunos países del Sudeste Asiático.

En el caso latinoamericano los principales productores de mandioca son, según datos para 2009, Brasil (1,87 mill. de has.), Paraguay (0,18 mill. de has.), Colombia (0,16 mill. de has.) y Perú (0,1 mill. de has.). En algunos de estos países (principalmente Paraguay y Colombia) se han realizado proyectos encaminados a obtener etanol combustible a partir de la utilización del almidón de la mandioca (previo tratamiento de sacarificación)¹³.

Con respecto a las innovaciones relativas a la producción de la mandioca hemos considerado setenta y cinco familias de patentes correspondientes con las tecnologías seleccionadas. De ellas 56 son propiedad de entidades (o individuos) localizadas en China, destacando la nutrida presencia del grupo empresarial agroalimentario estatal COFCO. Asimismo, en este particular seguirían a China, aunque muy de lejos, Corea (5 patentes), Estados Unidos (4 patentes), Alemania (3 patentes) y Francia (2 patentes). Por otra parte, pese a lo importante de su cultivo en la región, ninguna de las patentes consideradas registraría solicitantes localizados en América Latina.

Las principales tecnologías presentes en las patentes consideradas son: procesos de fermentación o procesos enzimáticos de síntesis de compuestos químicos, avances relacionados con los polisacáridos y sus derivados, así como mejoras en la transformación de la materia prima a partir de microorganismos o enzimas.

Sorgo dulce

El sorgo es una planta herbácea frecuente en los climas áridos debido a su buena resistencia al estrés hídrico. En el mundo hay, según datos para 2009, aproximadamente 43 millones de hectáreas cultivadas con sorgo. De ellas sólo 3,7 millones de hectáreas están situadas en América Latina y el Caribe. Los países de la región con más hectáreas dedicadas al sorgo son: México (1,71 mill. de has.), Brasil (0,78 mill. de has.) y Argentina (0,45 mill. de has.).

Aunque la variedad de sorgo más extendida es el *sorghum bicolor*, en los últimos años se ha popularizado el cultivo del sorgo dulce (*sorghum bicolor* L. Moench) debido a su capacidad para generar con pocos insumos una relativamente alta densidad de biomasa para alimentación de ganado. Además de como forraje, el sorgo dulce se ha planteado como una materia prima asequible para la obtención de etanol debido a que su grano es rico en almidón. En la región se han generado iniciativas en esta dirección en países como Argentina, Chile, México, Paraguay, Perú y Uruguay (Dufey, 2010).

En nuestro análisis se consideraron treinta y cinco familias de patentes relativas a mejoras en la producción de sorgo dulce. En casi todas ellas los propietarios de la patente, así como sus inventores, se localizan en China (29 patentes). Otros países con cierta presencia son Moldavia (2 patentes), Bahamas (2 patentes), Japón (1 patente) e India (1 patente)¹⁴. Asimismo, la principal tecnología presente en las patentes consideradas sobre sorgo dulce era el avance en fermentación o procesos enzimáticos de síntesis de compuestos químicos.

Plantas lignocelulósicas

Eucalipto

¹³ Ejemplo de este tipo de proyectos es la iniciativa de colaboración entre el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (Clayuca), para promocionar la yuca como medio de producción de etanol. Clayuca con el apoyo de CIAT estableció una planta piloto de refinamiento de yuca para la obtención de etanol hidratado en el Valle del Cauca (Colombia).

¹⁴ Si tomamos las familias de patentes relativas a avances en la producción de sorgo, sin concretar la variedad del mismo referida, vemos como China es nuevamente, con mucho, el país con mayor presencia en la propiedad de dichas patentes. No obstante, encontramos en este caso una notable representación de entidades de Estados Unidos, así como dos patentes propiedad del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (México).

El eucalipto es un género arbóreo muy común en las explotaciones forestales debido principalmente a su crecimiento rápido. Dicha cualidad lleva a que las plantaciones de este tipo de árboles puedan ayudar al mantenimiento de los bosques nativos, en la medida en que de las primeras se obtengan los recursos forestales suficientes para no tener que sobreexplotar las especies silvestres autóctonas (Fox, 2010). No obstante, también desde el punto de vista ambiental, el eucalipto presenta importantes inconvenientes, como su elevado consumo de agua y su fácil combustión.

La velocidad de crecimiento y la brevedad de rotación del cultivo de eucalipto llevan a que se haya planteado, también, su posible utilización para la obtención de biomasa lignocelulósica a partir de la cual generar bioenergía. La adaptabilidad del eucalipto a distintos entornos facilitaría que dicha plantación silvícola pudiera llevarse a cabo en terrenos no destinados a la producción alimentaria. Dentro del contexto latinoamericano, Chile ha realizado experiencias en este sentido¹⁵.

En nuestro estudio hemos registrado un total de sesenta y cuatro familias de patentes relacionadas con avances en el cultivo y tratamiento del eucalipto. Los tres países con mayor presencia en la solicitud de dichas patentes son China (29 patentes), Japón (19 patentes) y Estados Unidos (8 patentes). Destaca la empresa Arborgen como solicitante de siete de las ocho patentes estadounidenses consideradas. Por su parte, América Latina tiene cierta presencia en la propiedad de las patentes seleccionadas a partir de dos patentes solicitadas por una empresa brasileña.

Las tecnologías más importantes presentes en las patentes consideradas son avances en la transformación de la materia prima a partir de microorganismos o enzimas y obtención de nuevas plantas y reproducción de tejidos vegetales silvícolas.

Sauce

Al igual que el eucalipto, el sauce se distingue por ser una planta leñosa perenne de corta rotación y rápido crecimiento (sobre todo en algunas de sus variedades). El principal uso del sauce ha sido tradicionalmente el medicinal, debido a las cualidades de su corteza para el alivio del dolor. Más recientemente, el acceso a las propiedades curativas del sauce se generalizó con la comercialización del ácido salicílico, base de medicamentos como la aspirina.

Dadas sus características agronómicas, se ha contemplado también la posibilidad de obtener biocombustible líquido a partir de la biomasa lignocelulósica del sauce. Con este fin, se están desarrollando experiencias enfocadas al mejoramiento de las especies cultivadas reduciendo su contenido de lignina e incrementando la biomasa útil por unidad de superficie. A partir de dichos avances se obtendrían mayores rendimientos por hectárea cultivada y una mejor eficiencia en la conversión, con lo cual el producto final (litros de combustible) por hectárea plantada aumentaría.

En este sentido, identificamos treinta y ocho familias de patentes relacionadas con mejoras en la silvicultura del sauce. En veintiseis de dichas patentes tanto los propietarios como los inventores de las mismas se localizaban en China, no destacando ninguna entidad en particular. El resto de las patentes seleccionadas corresponden a Estados Unidos (4 patentes), Rusia (3 patentes), Corea (2 patentes), Francia (1 patente), Holanda (1 patente) y Ucrania (1 patente). La principal tecnología implicada en las patentes analizadas es aquella relativa a mejoras en las técnicas silvícolas.

Álamo

El álamo, perteneciente al género *populus*, es otra tipología arbórea de rápido crecimiento considerada como posible fuente de biomasa susceptible de ser transformada en biocombustible líquido. Una de las cualidades más interesantes del género *populus* es su capacidad para originar híbridos tanto intra como interespecies (Orlovic et. al., 1998; Baettig et al., 2010). Esto facilita la selección dirigida de aquellos híbridos más adecuados a las condiciones ambientales de los distintos territorios, lo cual permite mejorar los rendimientos de las plantaciones. También, se ha avanzado en la utilización de técnicas de

¹⁵ Ejemplo de dichas iniciativas es un proyecto desarrollado por la Universidad de la Frontera y las empresas Masisa y Energía Verde titulado “Desarrollo de protocolos para la producción de biomasa de especies forestales de rápido crecimiento y corta rotación para la generación de bioenergía” cofinanciado a partir del fondo regional Innova BíoBío.

mejoramiento transgénico para aumentar el contenido de celulosa de la biomasa del álamo a fin de obtener una mayor eficiencia en la conversión al producto final.

En nuestro estudio hemos considerado cincuenta y tres familias de patentes correspondientes a innovaciones en la producción y tratamiento del álamo. La mayor parte de ellas (45 patentes) cuentan tanto con propietarios como inventores localizados en China, destacando la Universidad de Nanjing y la Universidad de Beijing en número de patentes solicitadas. Otros países con una cierta presencia en las patentes seleccionadas son Estados Unidos (3 patentes), Corea (2 patentes), Canadá (1 patente), Japón (1 patente) y Rusia (1 patente).

Por otra parte, las tecnologías más importantes presentes en las innovaciones registradas son avances en la transformación de la materia prima a partir de microorganismos o enzimas y obtención de nuevas plantas y reproducción mediante tejidos vegetales silvícolas.

Switchgrass, bermudagrass y miscanthus

Dada su adaptabilidad, rápido crecimiento y elevado contenido de biomasa, varias palantes herbáceas han sido propuestas como materia prima para la obtención de biocombustible. Hemos seleccionado para el análisis de las patentes generadas aquellas especies que consideramos con más potencial futuro para la producción bioenergética, como son *miscanthus*, *switchgrass* y *bermudagrass*.

En el caso del *miscanthus* hemos registrado ventiocho familias de patentes. De ellas ocho son propiedad de entidades (o individuos) localizados en Estados Unidos. En el resto de las patentes prima la presencia asiática repartida entre Corea (6 patentes), China (5 patentes) y Japón (2 patentes). En menor cuantía tenemos solicitudes procedentes de Hungría (2 patentes), Australia (1 patente) y Reino Unido (1 patente). La principal tecnología implicada en dichas invenciones es la obtención de nuevas plantas y reproducción mediante tejidos vegetales.

Con relación a los avances técnicos concernientes al aprovechamiento del *switchgrass* hemos considerado dieciocho familias de patentes. Estados Unidos es, como en el caso del *miscanthus*, el país que acumula un mayor número de solicitudes, teniendo sus entidades la propiedad de catorce de las patentes en *switchgrass*. El resto de dichas invenciones son propiedad de entidades chinas (3 patentes) e indias (1 patente). La tecnología implicada en mayor medida en dichas invenciones es, asimismo, la obtención de nuevas plantas y la reproducción mediante tejidos vegetales.

Por último, se identificaron sólo ocho familias de patentes representativas de innovaciones en la obtención y transformación de *bermudagrass*. Cinco de las patentes consideradas son propiedad de entidades estadounidenses. Las otras tres están repartidas entre solicitantes coreanos (2 patentes) y japoneses (1 patente). Nuevamente la tecnología con mayor presencia en las invenciones relativas a *bermudagrass* es la generación de nuevas plantas y la reproducción mediante técnicas de cultivo de tejidos vegetales.

El caso de Brasil: EMBRAPA

En este punto cabe hacer referencia a un estudio realizado por Embrapa Agroenergía (2010) en el cual se analizaron las patentes relacionadas con la cadena de producción del bioetanol. Para ello se llevó a cabo una búsqueda en la base de datos *Derwent Innovation Index* que arrojó un total de 20.937 patentes registradas entre el año 1949 y 2008.

De estas patentes, 7.197 correspondieron a las siguientes materias primas: caña de azúcar, gramíneas capim elefante y capim centro-oeste, eucalipto, mandioca y sorgo. Entre 1999 y 2008, Brasil registró 47 patentes relativas a estas materias primas. Si se consideran las patentes por país de prioridad, para un periodo similar se registraron 80 patentes en Brasil, siendo sus depositantes empresas como Procter & Gamble (3), BASF (1), Council Sci & Ind India (1) y Cargill (1). Estas mismas empresas registraron sin embargo, para el mismo periodo, un total de 100 patentes en Estados Unidos y 38 en Europa, 17 y 6 veces más que en Brasil, respectivamente. Los temas más patentados por las 40 principales instituciones de investigación fueron “Mutación o ingeniería genética” (C12N-015 /82, /29 y /09), “Plantas con flores i.e. angiospermas” (A01H-005/00), “Procesos para la modificación de genotipos” (A01H-001/00), “Compuestos que contienen dos o más unidades mono-nucleótidas, que tienen grupos fosfato o poli-fosfato separados, vinculados por radicales sacáridos de los grupos nucleósidos” (C07H-021/04), “Preparaciones medicinales que contienen material o productos de reacción del mismo, con constitución indeterminada” (A61K-035/78), “Células humana, animal o de plantas indiferenciadas” (C12N-005/04).

2. Avances en el procesamiento industrial

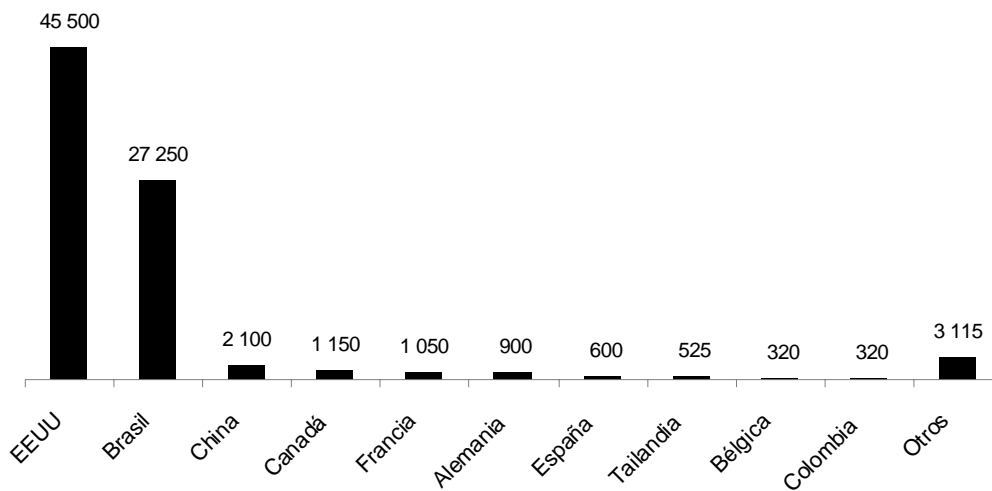
Obtención de bioetanol

La producción mundial de etanol fue de aproximadamente 74.000 millones de litros en 2009 (RFA, 2010). Los países más importantes para dicha industria son Estados Unidos y Brasil, los cuales concentran el 85% de la producción global de etanol (Gráfico II.9). En el caso de Estados Unidos (al igual que en la Unión Europea) la materia prima básica son los cultivos amiláceos. Por su parte, Brasil sustenta su obtención de etanol en la transformación de la caña de azúcar, proceso con menor coste económico y un mejor balance de emisiones de gases efecto invernadero.

El desarrollo de la producción de etanol en Brasil a nivel industrial data de mediados de los años setenta cuando el gobierno brasileño decide poner en marcha el Programa ProÁlcool, donde se disponen facilidades crediticias para aquellos ingenios que quieran destilar alcohol carburante y se crea la Comisión Nacional del Alcohol. Con el segundo choque del petróleo a finales de los setenta se refuerza la intención gubernamental de fomentar la producción de etanol en el país, empeño el cual se ha mantenido de manera más o menos continuada desde entonces. Una de las particularidades de la estrategia brasileña para la industria del etanol es su enfoque prioritario en el abastecimiento del mercado interno (minorando la dependencia energética del exterior). No obstante en los últimos años se han incrementado las exportaciones de etanol a Estados Unidos y la Unión Europea.

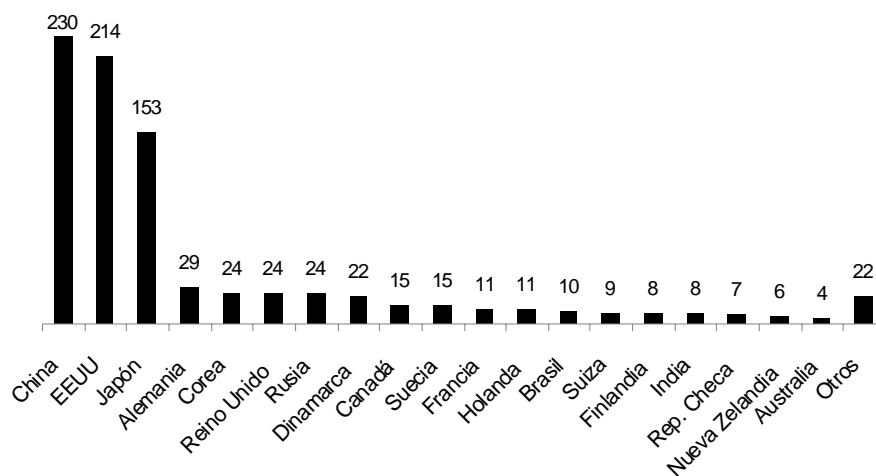
Dentro del contexto latinoamericano, aunque en mucha menor dimensión que Brasil, Colombia ha alcanzado una cierta presencia en la producción de etanol a nivel mundial. La principal materia prima utilizada es la caña de azúcar, cuyas plantaciones se concentran en el Valle del Cauca. Los ingenios dedicados a la obtención de etanol se sitúan también en dicha zona productora. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural estima que en Colombia habría aproximadamente cuatro millones de hectáreas disponibles para la extensión del cultivo de la caña de azúcar, lo cual posibilitaría expandir la producción de etanol del país.

GRÁFICO II.9
PRODUCCIÓN DE BIOETANOL POR PAÍSES, PROYECCIÓN AL 2010
 (Millones de litros)



Fuente: Elaboración propia a partir de Brown (2011).

GRÁFICO II.10
PATENTES EN PRODUCCIÓN DE BIOETANOL SEGÚN PAÍSES, 2006-2010
 (Número de patentes)



Fuente: Elaboración propia a partir de información procedente de la base de datos esp@cenet worldwide de la Oficina Europea de Patentes (EPO).

En nuestro estudio identificamos 835 patentes relativas a invenciones en tecnologías enfocadas a la producción de bioetanol (Gráfico II.10). Pese a no ser especialmente representativo en términos de producción, China es el país con mayor número de patentes propiedad de individuos o entidades nacionales. El grupo empresarial alimenticio chino Cofco concentra catorce patentes. Estados Unidos, primero en el mundo en términos de producción total, sería el segundo país en número de patentes solicitadas. La Universidad de Florida (16 patentes) es la entidad estadounidense responsable de un mayor número de invenciones. Por su parte, Japón sería el tercer país con mayor presencia en la propiedad de patentes en bioetanol, a pesar de como en el caso chino no ser un productor especialmente

importante. Destaca el papel de la empresa petroquímica japonesa Cosmo Oil Company (37 patentes) y del National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (13 patentes).

Alemania (29 patentes), Corea (24 patentes), Reino Unido (24 patentes), Rusia (24 patentes) y Dinamarca (22 patentes) son otros de los países con un significativo número de invenciones en las tecnologías de obtención de bioetanol consideradas. La empresa de biotecnología Novozymes es solicitante de dieciocho de las patentes registradas para el caso de Dinamarca.

Por su parte, América Latina tiene una cierta representación dentro de las patentes consideradas a partir de diez invenciones propiedad de entidades localizadas en Brasil y dos invenciones con solicitantes mexicanos.

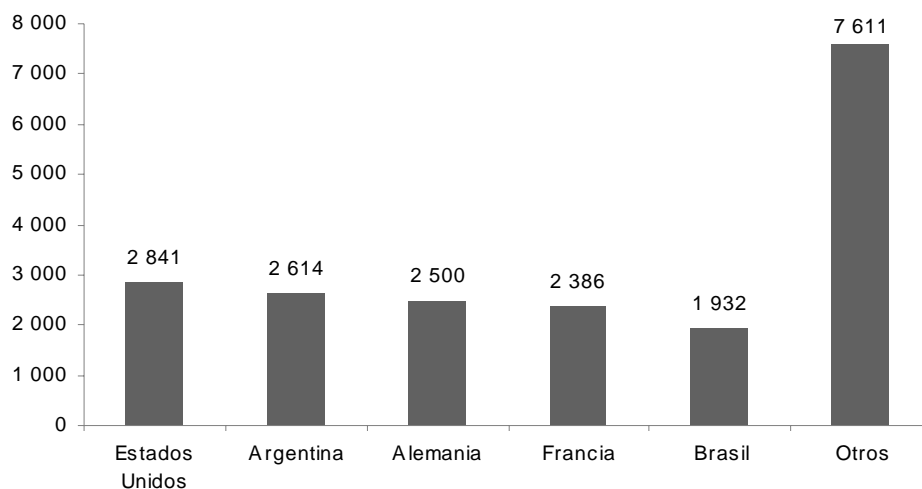
Obtención de biodiesel y aceite vegetal

En el año 2008, la producción de biodiesel a nivel mundial fue de unos 15.000 millones de litros. Algo más del sesenta por ciento de dicha producción se genera en la Unión Europea, destacando Alemania, Francia, Italia y Bélgica en su obtención. En lo referente al biodiesel generado fuera de la Unión Europea, los productores más significativos son Estados Unidos e Indonesia.

Las principales materias primas utilizadas para la obtención de biodiesel varían dependiendo del país (o región) a la que nos refiramos. En el caso de la Unión Europea se ha venido utilizando tanto soya como aceite de colza. En Estados Unidos (al igual que en Brasil y Argentina) principalmente soya y en los países productores asiáticos palma aceitera (Dufey, 2010).

En nuestro estudio identificamos 600 patentes relativas a innovaciones técnicas en la producción de biodiesel. Casi la mitad de ellas son propiedad de entidades o individuos localizados en China, destacando la Universidad Tsinghua (10 patentes), la Universidad East China Normal (8 patentes) y la Universidad Tecnológica Dalian (6 patentes). El segundo y tercer país en patentes en biodiesel son Estados Unidos (75 patentes) y Japón (71 patentes).

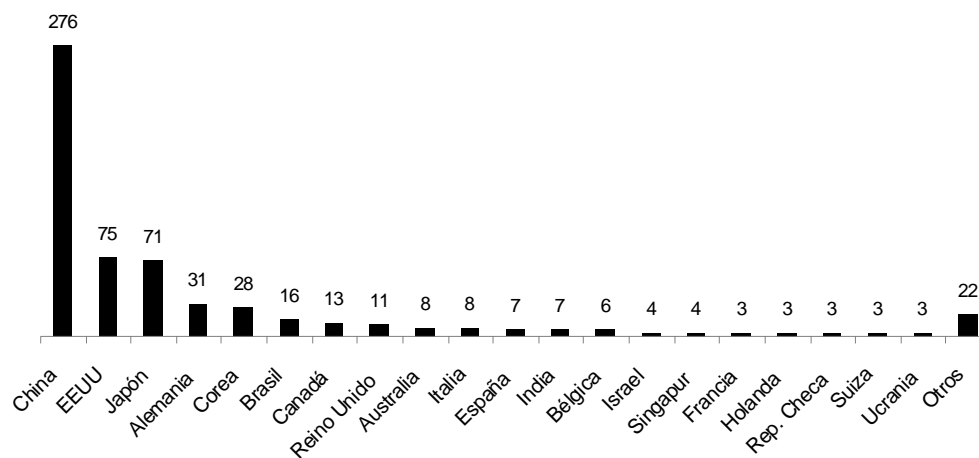
GRÁFICO II.11
PARTICIPACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR PAÍSES, 2010
(Millones de litros)



Fuente: Elaboración propia a partir de Brown (2011).

Alemania (31 patentes), Corea (28 patentes), Brasil (16 patentes), Canadá (13 patentes) y Reino Unido (11 patentes) son otros de los países con una cierta presencia en la patentación en biodiesel. En el caso de Brasil, la mayor parte de las patentes son propiedad de la empresa Petrobras. Además de las innovaciones brasileñas, identificamos una patente mexicana y otra guatemalteca entre las innovaciones que se han tomado en consideración.

GRÁFICO II.12
PATENTES EN PRODUCCIÓN DE BIODIESEL SEGÚN PAÍSES, 2006-2010
 (Número de patentes)



Fuente: Elaboración propia a partir de información procedente de la base de datos esp@cenet worldwide de la Oficina Europea de Patentes (EPO).

Las principales tecnologías patentadas son las relacionadas con avances en la transformación de materias primas mediante craqueo térmico (o pirólisis), en el procesamiento de aceites por medio esterificación por intercambio de ésteres (transesterificación) y en la obtención de combustibles carbonosos líquidos.

Por otra parte, como ya se ha señalado, en la producción de biodiesel se utiliza como producto primario aceite vegetal. Cuando se usa como combustible dicho derivado se conoce como bio-oil. Una de las principales ventajas del aceite vegetal (o bio-oil) desde el punto de vista ambiental es que, a diferencia del biodiesel, es totalmente biodegradable. Con el objetivo de plantear una breve revisión del estado de la tecnología en este tipo de producción hemos seleccionado un registro de sesenta patentes. Los países con mayor presencia en la propiedad de dichas invenciones son Japón (22 patentes), China (13 patentes) y Alemania (6 patentes).

Obtención de biogás

La generación de biogás es desde el punto ambiental especialmente interesante pues contribuye a mitigar la contaminación hídrica (superficial y subterránea) y de los suelos provocada por el vertido de residuos. Asimismo, con el proceso de obtención del biogás se reduce la emisión de metano a la atmósfera, siendo éste (junto con el óxido nitroso) uno de los principales gases efecto invernadero generados por el sector agropecuario.

La transformación en biogás del material residual se realiza a través de un biodigestor en cuyo interior se desarrolla un proceso de digestión anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de los desechos. Estos sistemas pueden ser replicados con un costo relativamente bajo, lo cual hace viable la adaptación de dicha tecnología a explotaciones agropecuarias de pequeño y mediano tamaño.

En nuestro análisis de las patentes en tecnologías de obtención de biogás contabilizamos un total de 608 registros. China es, nuevamente, el país que concentra un mayor número de solicitudes de patentes en biogás con 247 invenciones¹⁶. La Universidad Nanjing y la Universidad Jiangnan destacarían como solicitantes, con ocho y cinco invenciones respectivamente. El segundo país en patentes en tecnologías de generación de biogás es Alemania con 160 registros. La empresa Umwelt Technik Sued (UTS), especializada en la instalación de plantas biodigestoras, es propietaria de quince

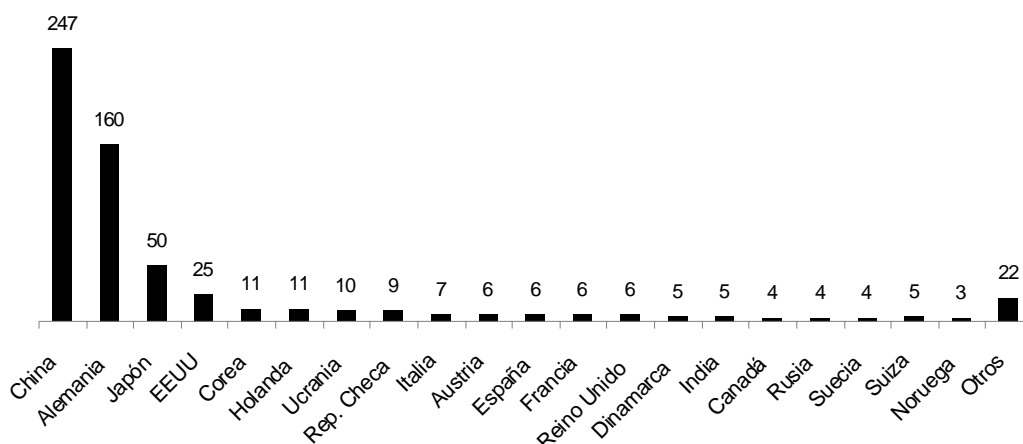
¹⁶ Según Machado (2010) los procesos de digestión anaeróbica de residuos para la generación de energía utilizable en la cocina e iluminación, así como de fertilizantes agrícolas, es una tecnología tradicional y muy extendida en ciertos países asiáticos como China.

de dichas patentes. Japón es el tercer país en solicitud de patentes en biogás, destacando las corporaciones Toshiba y Mitsui Engineering & Shipbuilding.

Otros países con una significativa implicación en la propiedad de patentes relacionadas con las tecnologías de obtención de biogás son Estados Unidos (25 patentes), Corea (11 patentes), Ucrania (10 patentes) y República Checa (9 patentes). La presencia latinoamericana se restringe a una patente solicitada por un grupo de investigadores brasileños y otra por el Centro en Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica de Querétaro.

Por último, en lo que se refiere a tecnologías, dentro de las patentes registradas destacan las innovaciones relativas a equipos para procesos enzimáticos o microbiológicos preparados para la recolección de los gases de la fermentación, invenciones en la producción de hidrocarburos acíclicos, avances en dispositivos para el tratamiento de lodos y desarrollos de transformaciones biológicas de las aguas residuales, concretamente mediante digestión anaeróbica.

GRÁFICO II.13
PATENTES EN PRODUCCIÓN DE BIOGÁS SEGÚN PAÍSES, 2006-2010
 (Número de patentes)



Fuente: Elaboración propia a partir de información procedente de la base de datos esp@cenet worldwide de la Oficina Europea de Patentes (EPO).

Obtención de otros biocombustibles

Además de bioetanol, biodiesel y biogás, a partir de la transformación de materias primas de origen orgánico se pueden generar otros biocombustibles. Un ejemplo de ello es el biobutanol, el cual deriva de los procesos de fermentación de los azúcares de la biomasa, al igual que el bioetanol. Como parte de nuestro estudio, identificamos 183 patentes relativas a avances en la obtención de biobutanol. China (60 patentes), Estados Unidos (54 patentes) y Alemania (22 patentes) concentran la mayor parte de la propiedad de dichas invenciones.

Como ya señalamos, uno de los tratamientos más frecuentes al que se somete a los residuos generados en la obtención de biodiesel y bioetanol es la gasificación. El producto resultante de dicho proceso recibe el nombre de gas de síntesis (*synthetic gas* o *syngas*). En el estudio registramos 187 patentes relativas a tecnologías dedicadas a la obtención de *syngas*. La mayor parte de ellas son propiedad de entidades localizadas en Estados Unidos (112 patentes), destacando la empresa transnacional de infraestructuras General Electric.

El gas de síntesis puede ser utilizado directamente como fuente de energía o como producto intermedio en un proceso de conversión más largo. A partir de dicha transformación adicional es posible

obtener otros biocombustibles como el metanol. En dicho caso hemos identificado 327 patentes relacionadas. De ellas, la mayor parte es propiedad de entidades localizadas en Asia, principalmente en China (154 patentes), Japón (77 patentes) y Corea (47 patentes).

El caso de Brasil: EMBRAPA

De las patentes revisadas en el estudio de Embrapa Agroenergía (2010) mencionado, que cubre el período 1949-2008, 8.376 patentes correspondieron al proceso de “hidrólisis” y 5.364 al proceso de “fermentación”, Considerando las patentes sobre “hidrólisis” por institución, para el periodo 1998 – 2008, las empresas Basf, Council Sci & Ind, Syngenta, Procter & Gamble e Iogen registraron cada una en Brasil 1 patente. Sin embargo, registraron en total 71 patentes en Estados Unidos y 12 en Europa. Respecto a las patentes sobre el proceso de “fermentación”, consideradas igualmente por institución, la Bayer, Du Pont + Pioneer, Syngenta y Biot registraron cada una en Brasil sólo 1 patente, contra un total de 128 en Estados Unidos y 10 en Europa.

G. Resumen de los resultados

Los resultados obtenidos se resumen en el Cuadro II.3, en el cual se señala el número total de invenciones analizadas en cada tipo de cultivo energético, así como en su proceso productivo. Del mismo modo, se especifica cuáles son aquellos países con mayor presencia en la propiedad de dichas invenciones.

A la vista de los resultados obtenidos, un dato que llama especialmente la atención es el liderazgo de China en la mayoría de las invenciones analizadas. Otros países asiáticos, como Japón y Corea, se destacaron para casos específicos y sus patentes no resultan comparables (en valores absolutos) con las chinas.

Estados Unidos fue otro de los países sobresalientes en cuanto a la propiedad de las invenciones seleccionadas, en especial las relativas a la obtención de materias primas como la soja y de productos finales como el bioetanol, el biobutanol y el syngas.

Finalmente, Alemania tuvo una participación significativa en las invenciones relativas a la producción de biogás.

Considerando las cifras de patentes mencionadas, surge la pregunta de si dichos resultados son particulares para el caso de la cadena productiva de los biocombustibles, o si concuerdan también con los niveles de patentación global de sus respectivos países. Para responder a esto, analizamos la participación de dichos países en el total de las solicitudes de patentes a nivel mundial (Gráfico II.14). Tomando como referencia el año 2006, Japón fue el país que acumuló un mayor porcentaje de solicitudes de patentes por sus residentes (36%). Dentro del continente asiático le siguieron Corea (13%) y China (12%). Por su parte, Estados Unidos ocupó el segundo lugar en número de patentes solicitadas por sus residentes (22%). En el contexto europeo el país líder fue Alemania (5%).

CUADRO II.3
PATENTES EN CULTIVOS Y PRODUCCIÓN Y PRINCIPALES PAÍSES PROPIETARIOS, 2006-2010
(Número de patentes)

Inventión	N° de patentes	Principales países (patentes en propiedad)
CULTIVOS ENERGÉTICOS		
Soja	867	EEUU (672); China (93); Suíza (63)
Colza	219	China (121); EEUU (17); Japón y Alemania (16)
Palma aceitera	42	China (16); Malasia (9); Japón (8)
Jatropha	85	China (51); India (14); Singapur y Corea (5)
Caña de azúcar	240	China (175); EEUU (18); Japón (13)
Remolacha	83	China (19); Ucrania (18); Rusia (17)
Mandioca	75	China (56); Corea (5); EEUU (4)
Sorgo dulce	35	China (29)
Eucalipto	64	China (29); Japón (19); EEUU (8)
Sauce	38	China (26)
Álamo	53	China (45)
<i>Switchgrass</i>	18	EEUU (14)
<i>Bermudagrass</i>	8	EEUU (5)
<i>Miscanthus</i>	28	EEUU (8); Corea (6); China (5)
PRODUCTOS FINALES		
Aceite vegetal	60	Japón (22); China (13); Alemania (6)
Bioetanol	835	China (230); EEUU (214); Japón (153)
Biodiesel	600	China (276); EEUU (75); Japón (71)
Biogás	608	China (247); Alemania (160) Japón (59)
Biobutanol	183	China (60); EEUU (54); Alemania (22)
<i>Syngas</i>	187	EEUU (112)
Metanol	327	China (154); Japón (77); Corea (47)

Fuente: Elaboración propia.

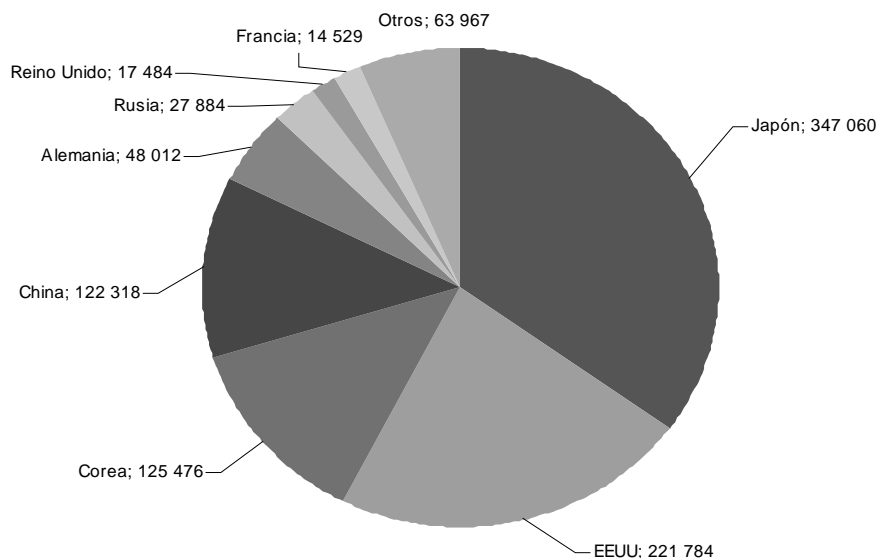
Por tanto, la prevalencia de entidades (e individuos) residentes en China en la solicitud de patentes, fue más notoria en la cadena productiva de los biocombustibles (principalmente en el procesamiento), que a nivel global. Esto podría ser explicado en parte por la puesta en marcha de ambiciosas estrategias de fomento al desarrollo de energías limpias en ese país. En el caso de Japón sin embargo, ocurrió lo contrario. Así la presencia relativa de patentes concernientes a la producción de biocombustibles fue menor para el caso de los biocombustibles. Algo parecido sucedió para Corea.

Estados Unidos por su parte tuvo en el desarrollo tecnológico de los biocombustibles una presencia similar a la que registró a nivel global, pero sólo en el caso de las patentes relativas a la obtención de productos finales y de algunas materias primas como la soja y los herbáceos.

En el caso de América Latina, se pudo apreciar una modesta presencia de patentes en biocombustibles. Dicha pauta se repite para el caso de la patentación a nivel global. Según datos de RICYT (2010), en el año 2008 fueron solicitadas 9.840 patentes por residentes latinoamericanos, de las cuales 7.242 correspondieron a Brasil, país que también detentó el mayor número de patentes a lo largo de la cadena productiva de biocombustibles.

Por último, el Cuadro II.4 muestra cuáles fueron las tecnologías con mayor presencia entre las familias de patentes recogidas en nuestro estudio.

GRÁFICO II.14
PATENTES SOLICITADAS POR RESIDENTES, 2006
 (Número de patentes)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de información del Banco Mundial, World Development Indicators (WDI).

CUADRO II.4
RESUMEN DE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS IMPLICADAS EN LAS PATENTES IDENTIFICADAS EN CULTIVOS Y PRODUCCIÓN, 2006-2010

OBTENCIÓN DE CULTIVOS ENERGÉTICOS

Obtención de nuevas plantas y reproducción de tejidos vegetales

Mejoras en procesos de siega, cosecha y técnicas silvícolas

OBTENCIÓN DE PRODUCTOS FINALES

Obtención de combustibles carbonosos líquidos

Preparación de compuestos orgánicos mediante fermentación o procesos enzimáticos

Procesos de fermentación o procesos enzimáticos de síntesis de compuestos

Tratamientos con microorganismos o enzimas

Producción o purificación de jugo sacárido

Procesamiento de grasas, aceites o ácidos grasos por intercambio de esteres

Transformación de materias primas a partir de craqueo térmico

Producción, refinado y conservación de grasas, aceites y ceras

Aparatos para enzimología o microbiología con medios para recoger gases de fermentación

Tratamiento de lodos y aguas residuales mediante digestión anaeróbica (producción de metano)

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El diseño del presente cuadro se realizó teniendo en cuenta aquellas tecnologías (identificadas mediante los códigos IPC) presentes en un mayor número de familias de patentes para cada cultivo o producto final considerado en el estudio. En muchos casos, una misma familia de patentes supuso un adelanto en más de una de las tecnologías especificadas en el cuadro.

En lo que respecta a avances en la obtención de cultivos energéticos destacaron las invenciones relacionadas con mejoras en tratamientos genéticos y con transformaciones a partir de microorganismos o enzimas. Así mismo, en el procesamiento de las materias primas (y productos intermedios) sobresalieron las investigaciones sobre procesos de transesterificación, pirólisis y procesos enzimáticos de síntesis de compuestos o de fermentación.

H. Conclusiones

Las patentes han sido consideradas habitualmente como una buena aproximación del output científico de un país, clasificables dentro de la categoría específica de creación de conocimiento (INSEAD, 2010). Asimismo, las patentes pueden ser utilizadas para dar una idea del estado de la innovación en un determinado sector productivo. Dicha consideración es especialmente importante cuando nos referimos a actividades de alto contenido tecnológico, como la obtención de biocombustibles de generaciones avanzadas, o cuya viabilidad dependa en gran medida del posicionamiento técnico de su productor, como sucede para otros biocombustibles más tradicionales.

Es por ello que en el presente estudio, a través del análisis de las patentes solicitadas por entidades (o individuos) residentes en distintos países de todo el mundo, relativas a la cadena productiva de los biocombustibles (tanto en la obtención de materias primas como en el procesamiento), hemos tratado de estimar el estado global de la innovación en este sector.

Considerando los resultados obtenidos, China mantiene una posición clara de liderazgo en la mayoría de las invenciones estudiadas. El decidido apoyo estatal al desarrollo de las energías renovables, con el fin de generar un mercado tecnológico de exportación y disminuir la dependencia energética externa, pueden estar condicionando el gran avance tecnológico chino que las cifras revelaron.

Estados Unidos es el segundo país con mayor presencia en la propiedad de las invenciones seleccionadas, sin embargo se encuentra bastante rezagado frente a China. No obstante, Estados Unidos destaca por su elevado número de patentes en la obtención de ciertas materias primas como la soja y en el procesamiento de bioetanol, biobutanol y syngas.

A parte de China, hemos visto que otros países asiáticos como Japón y Corea tienen un considerable número de patentes en invenciones relativas a biocombustibles.

Por su parte, con la excepción de Brasil, América Latina tiene una baja participación relativa de patentación de los biocombustibles y sus tecnologías. Esta circunstancia no es significativamente distinta a lo que sucede para las invenciones regionales en términos globales. Dicha tendencia nos permite apreciar la dificultad que tiene la región para situarse en la vanguardia tecnológica de este sector.

No obstante, debemos considerar que pueden haber otras circunstancias que hayan llevado al bajo nivel de patentación en el sector de biocombustibles en América Latina, más allá de la propia falta de invenciones. Dado que el apoyo a la investigación en este sector procede en muchos países de programas financiados (total o parcialmente) por los gobiernos, la protección mediante patentes de los hallazgos realizados, puede ser considerada contraproducente al limitar las externalidades positivas que generan estas invenciones. Por ello, es necesario realizar estudios regionales más amplios que incluyan una mayor variedad de indicadores sobre innovación en biocombustibles.

Bibliografía

- Baettig, Ricardo, Yáñez, Marco & Albornoz, Marta (2010), “Cultivos dendroenergéticos de híbridos de álamo para la obtención de biocombustibles en Chile: estado del arte”, *Bosque*, vol. 31 (2): 89-99.
- Begenses, F. & Pascale, C. (2010), “Bioenergía para el desarrollo sostenible: políticas públicas sobre biocombustibles y su relación con la seguridad alimentaria en Argentina”, FAO, Santiago de Chile.
- BNDES & CGEE (coord.) (2008), “Bioetanol de caña de azúcar: energía para el desarrollo sostenible”, Río de Janeiro, Banco Nacional de Desenvolvimento Economico y Social (BNDES).
- Brown, L. (2011), *World on the edge: How to prevent environmental and economic collapse*. Earth Policy Institute. Washington DC.
- Carrquiry, M., Du, X. & Timilsina, G. (2010), “Second-generation biofuels”, World Bank, Washington DC.
- Cheng, J. & Timilsina, G. (2010), “Advanced biofuel technologies: status and barriers”, World Bank, Washington DC.
- Chisti, Y. (2007), “Biodiesel from microalgae”, *Biotechnol. Adv.* 25: 294-306.
- Duffey, Annie (2010), “Políticas públicas sobre biocombustibles: temas clave para América Latina y el Caribe”, *V Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles*, Santiago (Chile).
- Embrapa Agroenergía (2010), “Análise das patentes em matérias-primas e nos procesos de hidrólise e fermentacao para producao de etanol de material lignocelulósico: Rota tecnológica de etanol lignocelulósico”. Secretaria de Gestao e Estratégia, Brasília, DF (Brasil).
- Fundación Chile (2009), “Informe de vigilancia tecnológica: aprovechamiento de CO2 desde fuentes fijas”, Santiago (Chile), Fundación Chile & Comisión Nacional de la Energía (CNE).
- Hamelinck, Carlo & Faiij, André (2006), “Outlook for advanced biofuels”, *Energy Policy*, vol. 34: 3268-3283.
- IEA (2008), “From 1st to 2nd generation biofuel technologies: an overview of current industry and RD&D activities”, Paris, Francia.
- Infante, A. & Tobon, S. (2010), “Bioenergía para el desarrollo sostenible: políticas públicas sobre biocombustibles y su relación con la seguridad alimentaria en Colombia”, FAO, Santiago de Chile.
- INSEAD (2010), “Global Innovation Index 2009/10”, INSEAD & Confederation of Indian Industry.
- Lugones, Gustavo Eduardo, Gutti, Patricia & Le Clech, Néstor (2007), “Indicadores de capacidades tecnológicas en América Latina”, México D. F., Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) & Agencia canadiense de desarrollo internacional.
- Machado, Cristina (2010a), “Technical characteristics and current status of butanol production and use as biofuel”, *V Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles*, Santiago (Chile).
- ____ (2010b), “Situación de los biocombustibles de 2da y 3era generación en América Latina y Caribe”, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) & Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).
- Melzoch, Karel et. al. (2010), “Experiences in the production and use of butanol as biofuel”, *V Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles*, Santiago (Chile).
- Renewable Fuels Association (2010), “Ethanol Industry Outlook 2009: Growing Innovation”, Washington, RFA.

III. Políticas y capacidades de I&D e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en Colombia y Chile

Sofía Boza

A. Introducción

La producción de biocombustibles es aún una actividad incipiente en muchos países de América Latina, ligada en gran parte de los casos a ambiciosas estrategias gubernamentales que tienen como objetivo la menor dependencia energética y el aprovechamiento de un mercado internacional creciente. Así mismo, se trata de un sector caracterizado por la fuerte competencia de los productos sustitutos (como el petróleo) y por el continuo cuestionamiento del desmedro en la producción de alimentos que supone su desarrollo. Debido a ello la mejora de los procesos productivos empresariales en las distintas fases conducentes a la obtención final de los biocombustibles es esencial a la hora de garantizar su prosperidad.

Como es bien sabido, mediante la innovación se consigue mejorar los rendimientos de los factores productivos. Así mismo, dada la replicabilidad que caracteriza a los avances tecnológicos debido a su carácter de bienes no rivales, una invención particular produce un efecto *spillover* capaz de mejorar la productividad de todo un sector. Es por ello que analizar las dinámicas que experimenta la innovación relativa a la cadena productiva de los biocombustibles, así como las posibles estrategias a seguir a fin de enfocarla en avances de especial interés, resulta tan trascendente.

En este sentido, con objeto de estimar la facilidad que un determinado país tendrá para generar un escenario favorable a la innovación en el sector de los biocombustibles, resulta especialmente significativa la caracterización de las capacidades tecnológicas locales. Basándonos en la metodología planteada por Lugones et al. (2007), podemos aproximar el potencial innovador dentro de los diferentes casos a estudiar analizando los siguientes conjuntos de indicadores:

- Indicadores de base disponible (tasa de alfabetización, permanencia en la educación, personas tituladas en disciplinas científico-tecnológicas, investigadores según especialidad y nivel de formación, infraestructura).
- Indicadores de esfuerzo (gasto público en educación, gasto total en I+D y en actividades de ciencia y tecnología (ACT)¹⁷, entidades financiadoras y ejecutoras del gasto en I+D y ACT).
- Indicadores de resultados (patentes presentadas y otorgadas, publicaciones científicas, manufacturas con alto contenido tecnológico).

Paralelamente a la precisión del entorno general en el cual se desarrollan las actividades de innovación en el país objeto de análisis, definiremos el marco de aquella específica al sector de los biocombustibles. Para ello nos basaremos en una adaptación de los elementos presentes en la metodología de medición de la innovación empresarial del Manual de Oslo (OCDE, 2005): i) la empresa y su proceso de innovación, ii) relaciones con otras empresas e instituciones de innovación, iii) marco institucional en el que las empresas operan y iv) papel de la demanda.

Conforme a dichas pautas, expondremos las características de la cadena productiva de los biocombustibles en Colombia y Chile. A partir de ese análisis podremos definir cuáles son los principales problemas a resolver o aspectos a mejorar, lo cual puede darnos una idea preliminar de cómo el esfuerzo innovador debería ser orientado.

Analizamos el entorno innovador específico en el cual se inserta la producción de biocombustibles Colombia y Chile (políticas públicas de apoyo, regulación sectorial, red institucional, implicación del sistema educativo superior); así como los resultados obtenidos dentro del mismo (proyectos de investigación, patentes otorgadas, variaciones en la estructura de costes, mejoras en la productividad).

Finalmente, analizaremos la estructura de la demanda de bioenergía en cada país, haciendo especial hincapié en cada caso en aquellos sectores en los cuales se utiliza ésta (e.g. transporte, residencial).

B. El caso de Colombia

1. Caracterización de la cadena productiva sectorial

Colombia es en la actualidad uno de los pocos países de América Latina con una cierta presencia en el mercado internacional de los biocombustibles. Según datos para 2009, el país es el segundo productor de bioetanol de la región, aunque se encuentra aún a mucha distancia del principal productor latinoamericano: Brasil.

¹⁷ “Además de I+D, las actividades científicas y tecnológicas comprenden la enseñanza y la formación científica y técnica (STET) y los servicios científicos y técnicos (SCT)” (OCDE, 2002: 16).

La mayor parte del bioetanol producido en Colombia tiene como materia prima la caña de azúcar. Así mismo, el reciente desarrollo del biodiesel colombiano se ha basado en la utilización de la palma aceitera. No obstante, en ocasiones se han planteado experiencias enfocadas a definir la oportunidad de recurrir de manera subsidiaria a otras variedades vegetales alternativas para la obtención de bioenergía, como son la yuca, la remolacha, el sorgo dulce, la higuera, la caña de panela o la jatropha.

Como ha sucedido en muchos otros casos, en Colombia el potencial incremento de la producción de biocombustibles vino acompañado en un inicio de dudas sobre la posible convivencia del mismo con el mantenimiento de la producción alimentaria local en niveles adecuados. Esta inquietud preliminar se veía acrecentada por el hecho de que, según datos de CEPAL (2010) para 2007, las tierras arables colombianas se extienden en una superficie de 1.998 miles de hectáreas, es decir, menos del 2% de la superficie total del país. No obstante, las autoridades públicas colombianas insisten en que dicha cifra responde a la subutilización mediante explotaciones pecuarias de baja productividad de más de quince millones de hectáreas aptas para la agricultura.

El cultivo de caña de azúcar goza en Colombia de unos rendimientos elevados, siendo la producción por hectárea según datos de Faostat para el año 2008 de 100,42 toneladas, mientras que la media latinoamericana se sitúa en torno a las 80 toneladas por hectárea. No obstante, debe ser tenido en cuenta que la producción de caña colombiana se concentra hasta ahora casi por completo en las fértiles tierras del Valle del Cauca. Para avanzar en la producción de bioetanol de caña ha sido considerada la expansión del cultivo hacia otros territorios, pero puede ser problemático que éstos dispongan de la infraestructura de riego y comunicaciones, así como de la oferta estable y continuada de mano de obra, de la cual goza el Valle del Cauca.

Por su parte, para el caso de la palma aceitera la producción por hectárea alcanzó las 19,39 toneladas anuales en 2008 según datos de Faostat, encontrándose dicho nivel de rendimiento por encima de la media regional también para este cultivo.

Desde diversos entes se defiende la posibilidad de ampliar la superficie dedicada a cultivos bioenergéticos en Colombia si logran superarse algunos de los inconvenientes señalados como la falta de infraestructuras (principalmente de transporte y riego) y la insuficiencia en la oferta de mano de obra adecuada en algunas zonas rurales con baja densidad de población (Infante & Tobon, 2009). Así mismo, cabría replantear el uso de parte de las tierras dedicadas a pastos y praderas permanentes, las cuales según datos de CEPAL (2010) ocupaban en 2007 el 91,6 % de las tierras agrícolas colombianas, dándose en muchos casos situaciones de infrutilización.

Para el caso de la caña de azúcar el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) estima que Colombia tendría casi cuatro millones de hectáreas aptas para la expansión del cultivo. Dentro del departamento de César, en el norte del país, se situaría gran parte de dicha superficie (1,5 millones de hectáreas). Con respecto a la palma aceitera, un estudio dirigido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) identificó más de tres millones de hectáreas aptas para la expansión de la frontera agrícola de dicho cultivo. Esta área se sitúa principalmente en la zona oriental del país, en los departamentos de Meta y Caquetá.

Conjuntamente a los progresos relativos a los cultivos susceptibles a ser utilizados como materia prima para la obtención de biocombustibles es fundamental que se produzcan avances en su procesamiento por parte de los ingenios.

En Colombia el sector industrial sucroalcoholero se encuentra muy concentrado, tanto desde el punto de vista territorial como en lo referente a su gestión, ya que prácticamente el monto total de la caña colombiana es procesada por un clúster de ingenios establecido en el Valle del Cauca. Esta estructura productiva puede plantear ventajas en términos de velocidad de expansión de las innovaciones en la medida que se incentive el desvío de inversiones hacia el refino. Entre finales de 2005 y comienzos de 2006 fueron cinco los ingenios colombianos que decidieron comenzar a destilar etanol anhidro de caña, estos obtuvieron una producción total de 259,75 millones de litros en 2008. Según cifras más recientes, actualmente los seis ingenios operativos en Colombia tienen capacidad para producir 1.070.000 litros de etanol diarios.

Así mismo, dichos ingenios generaron en 2008 seis millones de toneladas de bagazo, utilizadas en su mayoría para la cogeneración destinada al abastecimiento energético dentro de su propio proceso productivo. De hecho, en los ingenios colombianos pertenecientes al sector sucroalcoholero la optimización de la cogeneración está siendo uno de los principales objetivos de la inversión técnica en la actualidad, con proyectos en desarrollo por valor de 325 millones de dólares. Buena parte de los esfuerzos se centran en la reestructuración del balance energético de las plantas productoras (Asocaña, 2009).

Las empresas pioneras en la producción de etanol en Colombia son ingenios tradicionales con una larga trayectoria en la obtención de azúcar¹⁸, con capital y gestión locales. No obstante, recientemente algunos inversores extranjeros se han interesado en la producción de bioetanol de caña en Colombia. Ejemplo de ello es el proyecto de la empresa israelí Merhav de establecer una planta de bioetanol en Pivijay (Magdalena) y el proyecto de crear una planta en Barbosa (Santander) de la empresa Acohol del Río Suárez, propiedad de las firmas estadounidenses Biofuel Company y Alcol Tech, ambas con capacidad para generar 300.000 litros al día de etanol y en funcionamiento a partir del año 2012. Así mismo, la empresa Campos Chilenos, participada por el grupo inglés ED&F MAN, tiene proyectado penetrar en la producción de biocombustibles en Colombia en colaboración con la empresa local Maquiltec centrándose en la obtención de etanol de remolacha.

En lo referente a la obtención de biodiesel de palma, las dos primeras plantas productoras comenzaron a funcionar entre el año 2007 y 2008. Posteriormente, en 2009 se les sumaron otras cuatro nuevas plantas, alcanzándose una capacidad total de 426.000 toneladas anuales de aceite crudo de palma. Por último, en junio de 2010 han entrado en funcionamiento dos plantas que suponen una capacidad de producción adicional de 110.000 toneladas.

La propiedad de las empresas productoras de biodiesel en Colombia está en manos esencialmente de inversores nacionales. No obstante, una excepción es el caso de la planta procesadora Odin Energy Santa Marta, cuyo principal accionista es la firma energética internacional Amiworld, con sede en Estados Unidos.

2. Indicadores de capacidades tecnológicas

a) Indicadores de base disponible

Las posibilidades de que se genere innovación relativa a un sector en un determinado territorio están condicionadas, en primer lugar, por la masa crítica conformable a partir del capital humano disponible. Así mismo, resultará esencial contar con una infraestructura de información y comunicaciones adecuada para el progreso de las actividades innovadoras. En el Cuadro III.1 podemos observar los valores de algunos indicadores sobre formación de los recursos humanos e infraestructura para Colombia.

Las tasas de alfabetización y de enrolamiento escolar en Colombia se encuentran en torno a la media de los países de América Latina y el Caribe. Por su parte, el número de graduados en Ciencia y Tecnología es uno de los más altos de la región; no obstante, se pierden posiciones cuando este cálculo se hace como porcentaje del total de la población. Así mismo, junto con Argentina, Brasil, Chile y México, Colombia destaca en número de investigadores en Ciencia y Tecnología, tras un importante incremento de esta cifra en los últimos años. El personal investigador colombiano realiza sus actividades mayoritariamente bajo el amparo de centros de educación universitaria, contando con titulación a nivel de postgrado en la mayor parte de los casos.

Con respecto a la conectividad a los servicios de comunicación, Colombia se encuentra en lo que respecta a usuarios de Internet en niveles superiores a la media regional y en torno a dicho promedio en referencia a la generalización de las líneas telefónicas. No obstante, países como Brasil y Uruguay, igualan a Colombia en número de usuarios de Internet, así como Estados Unidos le duplica ampliamente.

¹⁸ Los ingenios colombianos productores de bioetanol referidos ordenados según año de fundación son: Manuelita (1864), Mayagüez (1937), Providencia (1946), Incauca (1963) y Risaralda (1973).

CUADRO III.1
INDICADORES DE BASE DISPONIBLE PARA LA INNOVACIÓN EN COLOMBIA

Indicador	Número
Alfabetización (% personas de 15 años y más, 2008)	93
Enrolamiento en enseñanza primaria (% bruto, 2008)	120 ^a
Enrolamiento en enseñanza secundaria (% bruto, 2008)	91
Enrolamiento en enseñanza terciaria (% bruto, 2008)	35
Graduados en C y T ^b (2007)	35 344
Investigadores en C y T (personas físicas, 2007)	12 017
Usuarios de Internet (por cada 100 personas, 2008)	38
Líneas telefónicas fijas (por cada 100 personas, 2008)	18
Formación (% del total de investigadores, 2007)	
Doctorado	23,3
Magíster	40,0
Licenciatura	36,7
Pertenencia (% del total de investigadores, 2007)	
Gobierno	2
Universidad	90,2
Sector <i>non-profit</i>	7,5
Empresas	0,3

Fuente: Elaboración propia sobre la base de información del Banco Mundial, World Development Indicators (WDI), y Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT).

^a Este dato se sitúa por encima del 100% debido a que hay un desfase entre el nivel educativo alcanzado y la edad del alumnado considerado.

^b Dentro de la categoría "graduados en Ciencia y Tecnología" se incluirían todos aquellos graduados en Ciencias Naturales y Exactas, Ciencias Médicas, Ingeniería y Técnica y Ciencias Agrarias.

b) Indicadores de esfuerzo

En muchos países de América Latina la definición de las capacidades tecnológicas locales es aún incipiente. Es por ello útil tratar de medir el esfuerzo con que se persigue dicho fin, así como las estrategias utilizadas, ya que las rectificaciones son más sencillas de implementar durante estas etapas preliminares. En el Cuadro III.2 se exponen las cifras relativas al gasto público en educación, además del gasto global en investigación y desarrollo y actividades científico-tecnológicas en Colombia.

El gasto público colombiano en educación, calculado como porcentaje del PIB, se encuentra en la media de aquel en América Latina. No obstante, el esfuerzo económico total relativo tanto a investigación y desarrollo como a actividades científico-tecnológicas se sitúa por debajo de la media regional. La mayor parte del desembolso relacionado con dichas partidas es financiado por el gobierno y las empresas (sobre todo en lo referente a actividades científico-tecnológicas), aunque en la ejecución del gasto toman relevancia las instituciones de educación superior y las entidades sin ánimo de lucro. Estas últimas tienen un papel especialmente significativo en lo que se refiere a esfuerzo en investigación y desarrollo relativo específicamente al sector agrario¹⁹.

¹⁹ Según datos del International Food Policy Research Institute (IFPRI) para 2004, el sector sin ánimo de lucro (en el cual se incluyen las asociaciones de productores) acumulaba el 33,4% del personal de investigación público en agricultura en Colombia, mientras que el gobierno gestionaba el 49,1% y los centros de educación superior el 17,5% (conforme a equivalencia de jornada completa, EJC). El gasto en I+D para el sector agrícola, calculado para 2006, se repartía en porcentajes muy similares. En ambos casos, el papel del sector privado era muy limitado.

CUADRO III.2
INDICADORES DE ESFUERZO INNOVADOR EN COLOMBIA

Indicador	Valor
Gasto público en educación (% del PIB, 2008)	4%
Gasto en I+D (% del PIB, 2007)	0,16%
Financiación (% del gasto en I+D, 2007)	
Gobierno	37,7
Universidad	25,6
Sector <i>non-profit</i>	5,4
Empresas	27,2
Extranjera	4,1
Ejecución (% del gasto en I+D, 2007)	
Gobierno	5,7
Universidad	52,4
Sector <i>non-profit</i>	19,3
Empresas	22,7
Gasto en ACT (% del PIB, 2007)	0,4
Financiación (% del gasto en ACT, 2007)	
Gobierno	39,9
Universidad	11,7
Sector <i>non-profit</i>	3,8
Empresas	42,6
Extranjera	2
Ejecución (% del gasto en ACT, 2007)	
Gobierno	18,5
Universidad	24
Sector <i>non-profit</i>	12,3
Empresas	45,2

Fuente: Elaboración propia sobre la base de información del Banco Mundial, World Development Indicators (WDI), y Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT).

c) Indicadores de resultados

El objetivo esencial del esfuerzo en innovación y desarrollo es “la implementación de productos y de procesos nuevos o mejorados” (OCDE, 2003). Por ello, toda evaluación debe incluir un análisis de los resultados obtenidos a partir del proceso innovador. En el Cuadro III.3 se incluyen algunos indicadores en este sentido para el caso de Colombia.

Según datos de la Superintendencia de Industria y Comercio, en Colombia se solicitaron cerca de 2.000 y se concedieron más de 400 patentes durante el año 2008. La mayor parte de dichas patentes fueron presentadas y concedidas a través del Tratado de Cooperación en Materias de Patentes (PCT), conforme al cual mediante una solicitud única se puede pedir el reconocimiento de una patente en todos los países suscriptores del acuerdo, entre los cuales se encuentra Colombia. Así mismo, la mayoría de las patentes concedidas por vía nacional correspondían a no residentes. Por su parte, tanto la cifra relativa a publicaciones científicas, como aquella concerniente a exportaciones con alto contenido tecnológico, se sitúan en Colombia muy por debajo de la media de América Latina.

CUADRO III.3
INDICADORES DE RESULTADOS DE INNOVACIÓN EN COLOMBIA

Indicador	Valor	
Patentes presentadas (2008)	Total	1 944
	Presentadas por residentes (2008)	126
	Presentadas por no residentes (2008)	1 818
Patentes concedidas (2008)	Total	409
	Concedidas a residentes (2008)	31
	Concedidas a no residentes (2008)	378
Publicaciones en SCI ^a (por cada 100.000 habitantes, 2007)	2,82	
Exportaciones de alta tecnología ^b (de manufacturas exportadas, 2008)	4	

Fuente: Elaboración propia sobre la base de información del Banco Mundial, World Development Indicators (WDI), y Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT).

^a Science Citation Index

^b Productos con alta intensidad de I&D como aeroespaciales, computación, farmacéuticos, instrumentos científicos y electromecánica

En conclusión, Colombia dispone de un capital humano bien formado, así como de accesibles infraestructuras básicas de información y comunicaciones. No obstante, el esfuerzo total en I+D y ACT es comparativamente bajo, incluso dentro del contexto latinoamericano, así como los resultados observados son relativamente escasos. Existen, por tanto, dificultades en la orientación y en la financiación de la estrategia innovadora colombiana, las cuales derivan en problemas a la hora de culminar mediante resultados dicho proceso y en el futuro podrían ocasionar el desmedro de la base disponible.

3. Panorama general de la innovación en biocombustibles

a) Políticas públicas de apoyo a la I&D sectorial

El desarrollo de la producción de biocombustibles ha sido expuesto como objetivo prioritario dentro de las pautas recientes de la Política Nacional de Competitividad y Productividad Colombiana²⁰ al entenderse éste como un sector de “talla mundial”. Para acercarse a dicho objetivo se considera necesaria la apuesta por una estrategia bien definida de investigación, desarrollo e innovación en biocombustibles. En el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 se recoge así mismo una mención a la obtención de biocombustibles, señalando que debe encontrarse una estrategia de desarrollo productivo sostenible orientada a producir más y mejor. Por su parte, dentro de la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación se considera la energía y los recursos naturales como áreas estratégicas para la focalización de recursos.

Igualmente, en el Plan Energético Nacional 2006-2025 de Colombia se expone que debe investigarse cuáles son las mezclas óptimas entre combustibles fósiles convencionales y biocombustibles, porque el futuro energético del país pasará por el fortalecimiento del conocimiento de dicha fuente de energía alternativa.

Los avances técnicos relacionados con la obtención de biocombustibles en todos los eslabones de su cadena de producción son reconocidos, por tanto, como esenciales a la hora de superar los inconvenientes que se puedan plantear a su progreso. Esta misma visión la encontramos en el documento de lineamientos para la promoción de la producción sostenible de biocombustibles en Colombia²¹, donde se recomienda potenciar las estrategias sectoriales de ciencia, tecnología e innovación a fin de ganar posiciones en el mercado internacional. Se entiende que esos objetivos deberán instrumentalizarse mediante una estrategia de I+D+I diseñada por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación “Francisco José de Caldas” (Colciencias). Las líneas rectoras de dicha estrategia deben

²⁰ Documento del Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes) 3527.

²¹ Documento Conpes 3510.

centrarse en la transferencia tecnológica, la protección de la propiedad intelectual, la creación de laboratorios de calidad, la formación del capital humano, la consolidación de centros y equipos de investigación, así como de una red de consultores, y el establecimiento de un fondo de capital de apoyo.

El propósito antes expuesto se está materializando mediante la concreción del Plan Colombiano de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en Biocombustibles “Plan Biocom”, en cuyo diseño y ejecución, además de Colciencias ha intervenido la Corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología y la Producción Limpia (Corpobid), así como diversos organismos gubernamentales, universidades, asociaciones gremiales y otras instituciones implicadas de alguna manera en la I+D en el sector.

Además de revisar los planteamientos estratégicos de referencia para el fomento de la innovación en biocombustibles, es interesante puntualizar los principales incentivos legales de apoyo a la inversión (tanto específicamente agraria como general) que se han venido desarrollando en Colombia:

- Ley número 1111 de 27 de diciembre de 2006. Aplica un 40% de descuento para inversiones en activos fijos reales productivos.
- Decreto número 383 de 12 de febrero de 2007. Establece la posibilidad de que la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales declare Zonas Francas Permanentes²² a las áreas donde se desarrollen actividades industriales o comerciales consideradas como proyectos de alto impacto económico y social.
- Ley 1133 de 9 de abril de 2007. Implementa el programa Agro Ingreso Seguro (AIS) que trata de apoyar económicamente a los productores agrarios que pretendan realizar acciones conducentes a la mejora de su competitividad.

Este tipo de medidas suponen un claro estímulo a la capacidad transformadora de los productores actuales y potenciales del sector de los biocombustibles colombiano.

b) Entorno institucional de la I&D en biocombustibles

Organismos gubernamentales

Debido al heterogéneo conjunto de repercusiones que conlleva la producción de biocombustibles, los organismos de gobierno encargados de la gestión de la misma en Colombia son también muy diversos. Es por ello que, tratando de generar una cierta coherencia y unicidad, mediante el Decreto 2328 de 25 de junio de 2008 se crea la Comisión Intersectorial para el Manejo de Biocombustibles. Esta entidad estaría conformada por representación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, del Ministerio de Minas y Energía²³, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, del Ministerio de Transporte, del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y del Departamento Nacional de Planeación. Una de las funciones de la Comisión será la articulación de actuaciones conducentes a la innovación en la producción de biocombustibles²⁴.

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural sería el encargado de presidir la Comisión Intersectorial para el Manejo de Biocombustibles. El MADR es una de las instituciones

²² La legislación colombiana define las Zonas Francas como territorios en los cuales se llevan a cabo actividades industriales o comerciales sujetas a normas tributarias, aduaneras y de exportación especiales.

²³ Alrededor del concepto de refinería rural social, están siendo desarrollados en Colombia dos proyectos participados por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE) del Ministerio de Minas y Energía: 1) construcción y puesta en operación de generación de energía eléctrica con gasificación de residuos de madera y 2) construcción y puesta en cooperación de una planta de producción de bioetanol anhidro a base de caña de azúcar. Ambos proyectos están dirigidos a pequeñas poblaciones del departamento de Antioquia con problemas de abastecimiento energético. Estas dos iniciativas se han vinculado al establecimiento de centros de investigación que analizan su optimización y posible generalización.

²⁴ En este sentido, entre los logros que se atribuye la Comisión Intersectorial para el Manejo de Biocombustibles está la firma en 2008 de un convenio de colaboración con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), con un presupuesto de dos millones de dólares (aprox.), orientado a la definición integral del sector de los biocombustibles en Colombia a fin de facilitar futuras actuaciones (Proyecto CO-T1052). Así mismo, se participó de un estudio interinstitucional encaminado a la identificación de las zonas óptimas para la expansión del cultivo de la palma de aceite tomando en consideración criterios medioambientales.

gubernamentales más implicadas en el desarrollo de la producción de biocombustibles en Colombia. Entre el año 2004 y 2008 el MADR ha apoyado 31 proyectos relacionados con la innovación en biocombustibles los cuales están valorados en 32.787 millones de pesos (colombianos). Aproximadamente la mitad de dicha cantidad, 15.773 millones de pesos (colombianos), fueron aportados por el Ministerio. Las iniciativas señaladas cubrían múltiples temáticas específicas relativas a los biocombustibles (materias primas, procesos, uso en motores, coproductos y generaciones avanzadas). La higuera, la jatropha y subsidiariamente otros cultivos como la yuca, la batata, el sorgo dulce y el banano de rechazo fueron objeto de análisis.

Parte de las iniciativas descritas responden al propósito de apoyar la investigación y la transferencia de tecnología en el sector agropecuario que se recoge en su Plan Estratégico 2006-2010. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural planteó un fondo concursable para ciencia y tecnología valorado en su convocatoria 2008 en 100.000 millones de pesos (colombianos). Los proyectos relativos a la cadena productiva de los biocombustibles se entendían como prioritarios para la recepción de las ayudas descritas. Dicho documento convino a su vez una inversión de 11.403 millones de pesos (colombianos), a través de fondos capital riesgo, en investigación relativa a los biocombustibles.

El Plan Estratégico 2006-2010 del MADR contemplaba a su vez una partida de 7.000 millones de pesos (colombianos) para la creación de pequeñas plantas procesadoras de biocombustibles. Dos de ellas fueron diseñadas para la producción de biodiesel de palma, una se estableció en Tumaco (Nariño) con capacidad para obtener 3.000 litros al día y la otra en Zulia (Norte de Santander) con capacidad para 20.000 litros al día. Ambas han presentando algunos problemas, como conflictos en el aprovisionamiento de materia prima por enfermedades vegetales y dificultades para el cumplimiento de estándares de calidad, los cuales han ralentizado su plena operatividad. Así mismo, el MADR ha financiado el establecimiento de dos plantas de etanol de caña en Barbosa (Santander) y Frontino (Antioquia) con capacidad para 5.000 y 8.000 litros diarios respectivamente.

Así mismo, Colciencias, como departamento administrativo del gobierno colombiano dedicado a la ciencia, tecnología e innovación, está teniendo un papel preeminente en el fomento y la coordinación de la investigación relativa a la obtención de biocombustibles. Como ya señalamos, Colciencias (junto con Corpobid) es la entidad pública más importante en el diseño y gestión del “Plan Biocom”, promotor del avance científico y tecnológico en el sector de los biocombustibles en Colombia.

Centros de educación superior

La Universidad Nacional de Colombia es una de las instituciones públicas más implicadas en el progreso de la investigación sobre biocombustibles en el país dado su papel primordial dentro del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI). Tanto es así, que esta institución ha participado en el diseño del “Plan Biocom” y ha colaborado con Corpobid en el estudio del territorio colombiano enfocado a la localización de las zonas más adecuadas para la producción de cultivos bioenergéticos (Corredor Avella, 2009). De igual modo, la Universidad Nacional de Colombia avala varios grupos de investigación en ingeniería cuyo campo de estudio son las energías alternativas, entre las cuales se encuentran los biocombustibles.

También destaca entre las instituciones académicas colombianas la Universidad de Antioquia por su labor en la investigación relativa a la producción de biodiesel y bioetanol. En este sentido, un buen ejemplo es el trabajo realizado por el Grupo de Bioprocesos del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Antioquia, el cual tiene como principales líneas de investigación la tecnología de la fermentación, la tecnología enzimática y la biotecnología de las microalgas.

Asociaciones gremiales

El papel de las asociaciones de productores en la innovación relativa al sector agrícola es especialmente significativo en el caso de Colombia. En este sentido, dos de las asociaciones gremiales más importantes en el país son Fedepalma y Asocaña, vinculadas a los productores de aceite de palma y de caña de azúcar respectivamente. La investigación relativa a la producción y procesamiento de ambos cultivos es realizada por los centros de investigación Cenipalma y Cenicaña, auspiciados por Fedepalma y Asocaña respectivamente.

A continuación procederemos a una breve descripción de ambas entidades:

- **Cenipalma** Se dedica a la investigación y la innovación relativa al cultivo de la palma de aceite, comenzando sus actividades en 1991. El trabajo realizado en el Centro se organiza en torno a tres programas generales: 1) biología, 2) agronomía y 3) procesos y usos, bajo los cuales se disponen diversas líneas de investigación. De manera paralela, se establecen dos divisiones de carácter operativo: servicios técnicos especializados y transferencia de resultados de investigación. Así mismo, debemos señalar que Cenipalma edita diversas publicaciones como la revista *Palmas* y organiza numerosas actividades de encuentro y difusión.
- **Cenicaña** Las actividades del Centro se basan en la investigación de la producción agrícola e industrial relativa a la caña de azúcar. Dicha función se realiza en torno a los siguientes programas: 1) variedades, 2) agronomía y 3) procesos de fábrica. Así mismo, Cenicaña ofrece diversos servicios de análisis económico y estadístico, información y documentación, tecnología informática, cooperación técnica y transferencia tecnológica.

En el ámbito supranacional, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (Clayuca), han llevado a cabo proyectos conjuntos en Colombia relacionados con el análisis y la promoción de la yuca como medio de producción de etanol. Clayuca con el apoyo de CIAT estableció una pequeña planta piloto de refinamiento de yuca para la obtención de etanol hidratado en el Valle del Cauca. En el desarrollo del proyecto se contó con asesoría técnica de la Universidad Federal de Río Grande do Sul y de la firma también brasileña Usinas Sociais Inteligentes, así como con el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura de Colombia.

Empresas

La implicación del sector privado colombiano (no considerando la inversión en instalaciones y equipos) en las actividades de innovación y desarrollo que atañen al sector agrario es relativamente escasa. No obstante, el alcance que tiene la producción de biocombustibles en su calidad de fuente energética complementaria al petróleo, así como la decidida apuesta que la legislación colombiana ha planteado con objeto de su generalización, lleva a que algunas empresas se hayan interesado por la implementación de productos y procesos relacionados con el sector.

Es destacable el caso de la Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol), la cual en agrupación con empresas productoras de aceite de palma de la región del Magdalena Medio constituyó la entidad Ecodiesel Colombia. Esta nueva sociedad ha establecido una planta refinadora en el municipio de Barrancabermeja, en el departamento colombiano de Santander, con una capacidad instalada total de 100.000 toneladas anuales (obra comenzada en 2008 y concluida en junio de 2010). Así mismo, Ecopetrol tiene proyectado en 2012 penetrar en la producción de etanol de caña a través de la empresa Bioenergy, de la cual es socio mayoritario, con el establecimiento de una planta con capacidad para obtener unos 300.000 litros diarios. Estas iniciativas son especialmente remarcables debido al papel cardinal que Ecopetrol tiene en el sector de los carburantes en Colombia y a lo elevado de su volumen de inversión total anual, lo cual posibilita que la entidad ponga en marcha grandes proyectos para el desarrollo de la producción bioenergética en el país. De hecho, Ecopetrol ha colaborado con Colciencias en diversos proyectos de investigación sobre los biocombustibles (Corredor Avella, 2009).

Al igual que Ecopetrol, el grupo empresarial colombiano GPC decidió diversificar su oferta de insumos energéticos mediante la generación de bioetanol. No obstante, GPC optó por la utilización de la yuca como materia prima, en lugar de la habitual caña de azúcar. La planta productora de GPC se encuentra situada en Puerto López (Meta) y tiene una capacidad de generación de 25.000 litros de etanol diarios. En un plazo breve GPC pretende instalar tres plantas más con capacidad para generar 350.000 litros de etanol diarios, lo cual le supondría una inversión aproximada de 350 millones de dólares. Para estos desarrollos GPC cuenta con la colaboración técnica de CIAT.

Otra iniciativa interesante relacionada con la utilización de materias primas alternativas a la caña de azúcar para la obtención de etanol está siendo desarrollada por la empresa Maquiltec. Dicha

entidad ha venido realizando desde 1998 un amplio proceso de investigación en torno al etanol producido a partir de remolacha azucarera, el cual culminaría con el establecimiento de una planta productora en Tuta (Boyacá) con una capacidad de generación de 300.000 litros diarios.

Por su parte, la empresa Clean Energy, la cual ya tiene en funcionamiento una planta de producción de biodiesel de palma en Barranquilla (Atlántico), ha llevado recientemente a cabo las intervenciones técnicas necesarias para establecer una planta de obtención de biocombustible a partir de aceite vegetal de cocina usado.

Cooperación técnica internacional

En septiembre de 2007, durante las jornadas “Biocombustibles: potencia de Colombia” el país suscribe un acuerdo con otros Estados miembros del Plan Puebla Panamá (Honduras, Guatemala, El Salvador, Costa Rica, Panamá, Nicaragua y México) para conformar una red de asistencia técnica sectorial la cual liderara.

Con la reconversión en 2008 del Plan Puebla Panamá en el Proyecto de Integración y Desarrollo Mesoamérica la iniciativa antes descrita pasa a denominarse Programa Mesoamericano de Biocombustibles. Actualmente, uno de los principales objetivos de dicho Programa es el establecimiento de plantas de procesamiento de biocombustibles dentro de la Red Mesoamericana de Investigación y Desarrollo en Biocombustibles (creada en agosto de 2009) la cual canaliza la transferencia tecnológica. Hasta ahora se han puesto en funcionamiento dos plantas, una en El Salvador y otra en Honduras, además de estar casi terminada una tercera en Chiapas (México) y encontrarse en proceso de licitación otras dos en Panamá y República Dominicana.

c) Algunos resultados de innovación obtenidos

El esfuerzo innovador llevado a cabo por las entidades descritas en el anterior epígrafe se instrumentaliza en muchos casos mediante el establecimiento de grupos de investigación, los cuales manejan proyectos dentro de diversas áreas de conocimiento.

En su sistema de información Colciencias compendia una amplia relación de los grupos, proyectos e investigadores los cuales avala. En el Cuadro III.4 se muestra una síntesis de aquellos grupos enfocados a la investigación específica en bioenergía o en otras materias que pueden resultar relevantes para el progreso del sector acreditados por Colciencias.

Mediante un estudio realizado por Corpobid se identificaron, para el año 2008, casi doscientos proyectos de investigación en biocombustibles (terminados y en ejecución), mientras que durante el periodo entre 1999 y 2006 se calculaba que se habían estado desarrollando sólo 39 proyectos. El 44% de las investigaciones se orientaba a la obtención de materias primas y el 29% a la mejora de procesos industriales. Los grupos de investigación implicados pertenecían en un 62% a la Universidad, mientras que el 22% provenía de centros tecnológicos y de investigación y el 16% restante de empresas tanto públicas como privadas, estando compuestos por un total de 644 investigadores con distintos grados de formación (Rojas Rodríguez, 2008).

El incremento en la nómina de grupos de investigación sobre biocombustibles es consecuencia directa de la importancia que la legislación colombiana le ha dado al sector, así como del creciente interés internacional sobre el mismo. La expansión de la red de investigadores en biocombustibles conlleva un incremento del número de publicaciones científicas relacionadas, aunque hay poca información específica al respecto.

Otra referencia que puede resultarnos de utilidad es la revisión de las patentes registradas en Colombia que guarden relación con el progreso del sector de los biocombustibles en las distintas fases de su cadena productiva. Las siguientes tablas, basadas en datos de la Superintendencia de Industria y Comercio, recogen una selección de dichas patentes identificadas por sus números de expediente y sus títulos.

No obstante, debemos aclarar que la mayor parte de las patentes recopiladas fueron concedidas por vía nacional a no residentes en Colombia. Si tomamos como referencia las solicitudes registradas

entre 2006 y 2009 en la base de datos de la Oficina Europea de Patentes relativas a la cadena productiva de los biocombustibles vemos como la presencia colombiana en los grupos de investigación responsables de las mismas es mínima. Por tanto, los esfuerzos locales en innovación en biocombustibles se han visto escasamente materializados en la generación de resultados patentables²⁵.

**CUADRO III.4
GRUPOS DE INVESTIGACIÓN RELACIONADA CON LOS BIOCMBUSTIBLES
REGISTRADOS POR COLCIENCIAS**

Título	Institución	Año de formación	Área de conocimiento	Integrantes
Macroproyecto alta sacarosa estable	Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña)	1977	Agronomía	49
Agricultura específica por sitio	Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña)	1998	Agronomía	13
Grupo de investigación en procesos azucareros	Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña)	1998	Ingeniería de Producción	26
Investigación en palma de aceite	Corporación Centro de Investigaciones en Palma de Aceite (Cenipalma)	1991	Agronomía	279
Fisiología y bioquímica de la palma de aceite	Cenipalma – Universidad Nacional de Colombia	2007	Fisiología	26
Grupo de investigación en genética, mejoramiento, producción y tecnologías de post-cosecha en el cultivo de la yuca	Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)	1999	Agronomía	6
Estudio y aprovechamiento de especies vegetales para biodiesel	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica)	2007	Genética	16
Química de recursos energéticos y medio ambiente	Universidad de Antioquía	1982	Química	44
Energía, transformación, química y medio ambiente	Universidad de Pamplona	2003	Química Industrial	31
Grupo de investigación en biocombustibles – Grubioc	Universidad Autónoma de Occidente - Universidad del Valle - Universidad Libre de Colombia	2004	Ingeniería Química	40
Grupo de investigación en combustibles alternativos, energía y protección del medio ambiente	Universidad Nacional de Colombia	2000	Ingeniería Mecánica	20
Grupo de investigación en eficiencia energética y energías alternativas	Universidad Nacional de Colombia	1999	Ingeniería Química	30
Grupo de energías alternativas y biomasa	Universidad Popular del Cesar	2003	Ingeniería Química	22
Laboratorio de investigación en combustibles y energía	Universidad Nacional de Colombia	1973	Química	28
Centro de investigación para el desarrollo sostenible en industria y energía	Universidad Industrial de Santander	1993	Ingeniería Química	36

(continúa)

²⁵ El hecho de que se hayan patentado pocos resultados de la innovación colombiana en biocombustibles puede deberse también a que gran parte de la financiación para este tipo de estudios ha procedido del sector público, el cual puede haber preferido que los avances tecnológicos permanecieran accesibles para todo el sector a fin de facilitar un efecto acumulativo.

Cuadro III.4 (continuación)

Título	Institución	Año de formación	Área de conocimiento	Integrantes
Biomasa y optimización térmica de procesos	Universidad Nacional de Colombia	2000	Ingeniería Mecánica	19
Combustibles Alternativos	Universidad Nacional de Colombia	1998	Ingeniería Química	37
Grupo de investigación en tecnologías energéticas	Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín	1999	Ingeniería Mecánica	27

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), ScienTI (2010).

Más allá de lo anterior, como ya dijimos, la consecuencia final que las empresas pretenden obtener de su esfuerzo en innovación es una mejora en productos o procesos. Por ello, resulta interesante revisar la dinámica de la estructura de costes de producción de los biocombustibles más extendidos. El etanol colombiano es poco competitivo en el mercado internacional debido al alto coste relativo de la materia prima (caña de azúcar principalmente) consecuencia de la escasa mecanización en la cosecha. Por su parte, el coste de producción del aceite crudo de palma está descendiendo, sobre todo en lo que respecta a su componente fijo. No obstante, la baja remuneración de la mano de obra en algunos países competidores (Ej. Indonesia y Malasia) hace conveniente redundar en las mejoras técnicas logradas en el cultivo de la palma de aceite (Infante & Tabón, 2009).

Gran parte de las variaciones en los costes de producción de los biocombustibles derivan, por tanto, de cambios en los procesos de obtención de sus respectivas materias primas agrarias. Así mismo, es difícil obtener los datos necesarios para evaluar las mejoras en la transformación dentro de los ingenios colombianos debido a lo incipiente de su funcionamiento. En todo caso, conforme a datos de Faostat la productividad del cultivo de caña de azúcar en Colombia ha aumentado en más de quince toneladas por hectárea entre 1999 y 2008, lo cual supone un incremento del 18%. Sin embargo, para el mismo periodo la producción por hectárea de palma de aceite incrementó en sólo 0,7 toneladas, es decir, un 3,7%. Se confirma, por tanto, la necesidad de seguir ahondando en las mejoras agronómicas logradas en el cultivo de la palma de aceite, así como la necesidad de avanzar en la zonificación de los posibles territorios de expansión de la caña de azúcar, encontrando áreas de cultivo donde no se genere un deterioro de la productividad.

CUADRO III.5
PATENTES REGISTRADAS EN COLOMBIA RELACIONADAS CON EL CULTIVO
Y COSECHA DE MATERIAS PRIMAS PARA BIOCOMBUSTIBLES

Expediente	Título
92104752	Método para aumentar el contenido máximo de azúcar de caña de azúcar
92144235	Unidad de separación de meollo y corteza de caña de azúcar
92158574	Maduración de la caña de azúcar mediante los compuestos del ácido alquilarsínico
92150353	Procedimiento para aumentar el rendimiento del azúcar de la caña de azúcar por aplicación de ciertos compuestos de tiofeno
92150353	Método para incrementar el contenido de sacarosa de plantas en crecimiento
92156733	Herbicida selectivo para caña de azúcar
92162122	Composición para aumentar el contenido de azúcar de la caña de azúcar y procedimiento para tal fin
92174435	Compuesto de n-óxido de ácido fosfinil-metilimino acetático y el uso de los mismos para incrementar el contenido de sacarosa
92175099	Maduración de la caña de azúcar por el uso de alcoholes
92158517	Maduración de la caña de azúcar mediante ácido benzoico monosustituido seleccionado
92113323	Método y aparato para separar los componentes de la caña de azúcar
92333443	Dispositivo de suspensión mecánica para el trineo de las cargadoras de caña de azúcar
92333442	Sistema de sujeción para la garra de las cargadoras de caña de azúcar
92352963	Aparato mejorado de partir la corteza de la caña de azúcar
92363580	Mejoras en los recolectores de caña de azúcar
9510458	Método para la fabricación de taladros de draga del tipo de matriz y taladros producidos por este medio
9656877	Machete para el corte de caña
9717876	Producto para estabilizar la sacarosa contenida en la caña de azúcar y método de aplicación
9760055	Aparato y método para cosechar caña
9760944	Aparato de difusión para uso en la extracción de jugo de caña de azúcar
992817	Cosechadora segadora de caña de azúcar
235205	Extracción y procesamiento de jugos de caña de azúcar estabilizados
92144010	Mecanismo para romper las pepas de palmas para la extracción de aceite de palmas
92416210	Machete para cosechar el fruto de la palma africana
9533451	Aparato y método para remover corazones de las palmas
9533452	Aparato y método para la eliminación de corazones de palma
423660	Herramienta para poda y corte del fruto de la palma africana joven
620873	Proceso para la obtención de una base vegetal para motores de combustión interna a partir de la palma africana y de la higuera
9866515	Método de ingeniería genética de plantas a través de la manipulación de biosíntesis de lignina

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de la Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia (2010).

CUADRO III.6
PATENTES REGISTRADAS EN COLOMBIA RELACIONADAS CON LA TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL
PARA LA OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES

Expediente	Título
47560	Aparato y proceso de prehidrólisis de biomasa
8129904	Proceso para la conversión de biomasa en combustibles líquidos y en químicos de especialidad
888402	Sistema y métodos para producir biocombustible y materiales relacionados
92192195	Método y aparato de fermentación continua
32550	Métodos para incrementar la producción de etanol de una fermentación microbiana
	Procedimiento para la producción de combustibles para motores diesel a partir de aceite de palma refinado u oleína de palma, o aceites de semillas oleaginosas simplemente mezclados físicamente con gasolina y etanol anhidro
6113599	
7123696	Proceso para la producción de etanol a partir de materias lignocelulósicas por vía enzimática
7132156	Combustible para motor basado en gasolina y etanol
7101312	Biocombustible sólido
784905	Mezcla líquida de biocombustible así como método y dispositivo para la fabricación de la misma
841473	Biocombustible en estado coloidal
888402	Sistema y métodos para producir biocombustible y materiales relacionados
391124	Producción de aceite combustible (biodiesel) para motores diesel
	Procedimiento para la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales y grasas utilizando catalizadores heterogéneos
879287	
	Procedimiento para la obtención de un biodiesel a partir de aceites vegetales de grado de acidez variable en sistema continuo y combustible biodiesel obtenido
882419	

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de la Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia (2010).

4. Caracterización de la demanda

El análisis del mercado automotriz en Colombia resulta de especial interés debido a las implicaciones que tiene su progresión para la canalización y viabilidad de los avances en la producción de biocombustibles líquidos.

En el Informe sobre Inversión Extranjera Directa en América Latina y el Caribe 2009 de CEPAL, se recoge que Brasil y México generarían el 90% de la producción regional de vehículos, siendo para todos los casos las empresas fabricantes transnacionales. El porcentaje restante de la producción automovilística regional se repartiría entre Colombia, Ecuador y la República Bolivariana de Venezuela, estados miembros de la Comunidad Andina sujetos al Convenio de Complementación Industrial del Sector Automotor, en vigor desde 1993. Dicho tratado establece la fijación de un Arancel Exterior Común a los vehículos procedentes de terceros países y la obligación de que éstos sean nuevos (del año/modelo de la importación o siguiente). Así mismo, se estipula la creación de un Comité Automotor conformado por los países suscriptores del Convenio que trate (entre otras funciones) de velar por su cumplimiento.

Según datos de la Asociación Colombiana de Fabricantes de Autopartes (ACOLFA), en el año 2009 el mercado automotriz colombiano absorbió unas ventas totales de 181.714 vehículos. Dentro de dicha cifra, las ventas nacionales de vehículos habrían alcanzado las 86.061 unidades, siendo 17.707 los vehículos importados por las fábricas ensambladoras y 77.946 los vehículos importados por terceros. Así mismo, las exportaciones alcanzaron las 3.523 unidades en el periodo señalado²⁶.

²⁶ Debemos aclarar que la coyuntura económica adversa tanto en Colombia como en los demás países suscriptores del Convenio de Complementación Industrial del Sector Automotor hacen que las cifras expuestas sean especialmente bajas (sobre todo en lo que se refiere a las exportaciones) tanto para el año 2008 como, especialmente, para el año 2009 en comparación con periodos.

La producción total de vehículos colombiana es gestionada por tres fábricas ensambladoras, filiales de importantes empresas transnacionales del sector automotor: Colmotores (General Motors), Sofasa (Renault) y Compañía Colombiana Automotriz (Mazda). Dentro de ellas, Sofasa-Renault y GM Colmotores se destacan al concentrar más del 80% de dicha producción. Ambas empresas han lanzado recientemente diversos modelos que pueden funcionar con bioetanol E85, no obstante estos vehículos aún son minoritarios dentro de su oferta total. Así mismo, hay que tener en cuenta que la industria automotriz colombiana se ha basado tradicionalmente en el ensamblaje de piezas fabricadas fuera de sus fronteras y en su comercialización tanto local como dirigida a algunos países próximos geográficamente, aprovechando principalmente las ventajas comerciales ya vistas establecidas para el sector con otros miembros de la Comunidad Andina. Por tanto, Colombia tiene un papel acotado en la cadena productiva automotriz, lo cual se suma a la moderada dimensión de su mercado interno.

Dicho lo anterior, no resulta tan sorprendente que los ambiciosos objetivos legislativos de altos porcentajes de penetración de vehículos E85 y B20 a partir de 2012 (Decreto 2629 de 2007 y Decreto 1135 de 2009) se hayan confrontado con la dinámica de la oferta automotriz externa y con la configuración de las relaciones comerciales en este sector especialmente sensible. Dentro de la reciente negociación del Tratado de Libre Comercio entre Colombia y la Unión Europea los fabricantes de automóviles comunitarios mostraron su descontento con las exigencias de niveles de tolerancia a las mezclas de combustibles convencionales y vegetales en todos los vehículos que se exportaran a Colombia a partir de 2012, debido a que la mayor parte de su gama no estaría preparada para afrontar dichos requerimientos. Es por ello que el gobierno de Colombia ha tenido que plantear una nueva normativa que venga a modificar el Decreto 1135 de 2009. En dicha propuesta se definen cantidades de mezcla pero no se establecen restricciones para la producción de los fabricantes o importadores de automóviles. Se entiende que progresivamente la oferta automotriz se irá adaptando a las exigencias que le imponga la generalización del consumo de biocombustibles en el país.

5. Conclusiones

El desarrollo competitivo de la producción de biocombustibles es un empeño que requiere la coordinación de ambiciosas estrategias de innovación realizadas en diversas áreas del conocimiento. No obstante, en el caso de Colombia el porcentaje de gasto en investigación y desarrollo, así como en actividades de ciencia y tecnología, está por debajo de la media latinoamericana. En consecuencia, aunque existe en el país una masa crítica bien formada, los resultados obtenidos a partir de dicho gasto (publicaciones científicas, patentes, manufacturas de alta tecnología...) son relativamente escasos.

La caracterización de las capacidades tecnológicas colombianas realizada no establece a priori un marco esperanzador para el éxito de la actividad innovadora específica en biocombustibles. Sin embargo, bien es cierto que las autoridades públicas han incluido el desarrollo del sector como punto esencial de la estrategia energética, de innovación y de competitividad colombiana. Sobre el papel la inclinación a conseguir dicho desarrollo se relaciona con una apuesta decidida por la I+D sectorial que ha tenido como uno de sus principales logros el aumento de los grupos de investigación enfocados en distintos aspectos de la cadena productiva. No obstante, el apoyo institucional a la producción de biocombustibles se ha basado principalmente en la intervención sobre los precios y la demanda. En la medida que dicha situación se prolongue, más allá del soporte inicial a una industria incipiente, se puede generar una tendencia hacia la caza de rentas por parte de los productores dentro de un mercado artificialmente sostenido.

Por otra parte, mediante el análisis de la innovación específica en biocombustibles en Colombia hemos podido comprobar el papel primordial que las asociaciones gremiales tienen en ella. En muchos casos su participación es incluso más notoria que la de los centros de investigación públicos y las universidades, sobre todo en lo que se refiere a la obtención de materias primas (caña de azúcar, palma aceitera, yuca...). En consecuencia, una estrategia interesante y asequible en este caso es la articulación de actuaciones conjuntas de innovación entre el sector público y las asociaciones de productores, complementándose así la capacidad de gestionar recursos con el bagaje técnico.

Así mismo, si nos referimos a los resultados de la innovación en biocombustibles desarrollada hasta ahora en Colombia estos se hacen mucho más visibles en aquello que respecta a la obtención de materias primas que en el procesamiento industrial. En el campo agronómico se han obtenido importantes avances que han repercutido en la consecución de altos niveles de sacarosa en la caña de azúcar y en la disminución de los costes del cultivo de palma. En contraste, la mayor parte de la tecnología utilizada por los ingenios y las plantas de obtención de biodiesel ha sido adquirida a empresas extranjeras.

A este respecto, aunque en principio la gestión y el capital dedicado al sector de los biocombustibles en Colombia han sido propios, parece que los inversores extranjeros están comenzando a mostrarse interesados en proyectos afines principalmente a la obtención de bioetanol. Esto estaba muy relacionado con los ambiciosos objetivos de tolerancia a altos niveles de etanol en las gasolinas por parte de los vehículos que se ofertaran en el mercado colombiano que habían fijado las autoridades del país, los cuales llevaban a proyectar un importante aumento de la demanda interna. No obstante, dicha predicción se ha visto cuestionada por el limitado papel de Colombia en la cadena productiva de los vehículos que se venden en su mercado, lo cual reduce su poder real a la hora de imponer a la industria automotriz la realización de los cambios tecnológicos necesarios para alcanzar las metas señaladas.

En conclusión, podemos sostener que en el caso colombiano los objetivos de una estrategia sectorial relativa al desarrollo de la producción competitiva de biocombustibles deberían basarse en una consideración más ajustada a las capacidades tecnológicas del país, a las barreras a la evolución de la demanda, a la dependencia tecnológica externa en el procesamiento, al agotamiento de las tierras de cultivo más productivas y a la pertinencia de los esfuerzos que supone el mantenimiento del sector dada la matriz energética nacional (elevada exportación neta de hidrocarburos).

C. El caso de Chile

1. Caracterización de la cadena productiva sectorial

La producción de biocombustible líquido en Chile es actualmente casi nula a escala comercial. Las iniciativas en este sentido, tanto referidas al bioetanol como al biodiesel, se encuentran todavía en una fase previa de investigación. Si consideramos las principales líneas de desarrollo seguidas dentro de dichas experiencias vemos como las materias primas que se barajan para una futura producción de biocombustibles líquidos en el país son: i) plantas cultivadas en tierras marginales (jatropha, higuera, guindilla, nopal...), ii) algas (tanto microalgas cultivadas en piscinas artificiales como macroalgas de mar abierto), iii) cultivos forestales y iv) otros tipos de cultivo como la colza.

No obstante, los combustibles de madera directos²⁷ se han venido utilizando tradicionalmente en Chile a través de la leña para calefacción y cocina, principalmente en las regiones más meridionales del país. Según datos de la Comisión Nacional de la Energía de Chile (CNE) para el año

2006, esta fuente representaba el 14% del consumo energético tanto primario como secundario total chileno. Sin embargo, si nos referimos al consumo de energía en el sector residencial para el mismo periodo la leña representaría en torno al 58%, cifra la cual puede ascender hasta un 90% en el extremo sur del país (CNE & Chile Ambiente Corporación, 2008). Las principales especies arbóreas utilizadas para la generación de leña en Chile son eucalipto, aramo y roble.

Alrededor de la producción y consumo de la leña se han generado constantes polémicas derivadas, entre otros motivos, de la excesiva contaminación atmosférica provocada por la quema de maderas con alto porcentaje de humedad y por el uso de tecnologías de combustión deficientes, además de denuncias a la degradación de bosques nativos consecuencia de una explotación insostenible. Con el objetivo de mitigar dicha situación se conformó el Sistema Nacional de Certificación de Leña (SNCL). Este organismo está

²⁷ Esta denominación ha sido extraída del documento Unified Wood Energy Terminology (FAO, 2001).

compuesto por instituciones tanto de carácter público como privado²⁸; centrándose en el establecimiento, administración y fiscalización de estándares para la producción de la leña en Chile.

Además de como leña, la madera puede ser aprovechada para su uso energético en forma de pellets, es decir, conglomerados cilíndricos de residuos lignocelulósicos limpios. Según la revista Bioenergy International (2010) son tres las plantas productoras de pellets en Chile: EcoPellets (Pudahuel, RM), Andes BioPellets (Santa Bárbara, VIII Región) y Ecomass (Los Ángeles, VIII Región). La capacidad total de generación de estas plantas es de 100.000 toneladas de pellets anuales.

Conjuntamente a la utilización de la madera como combustible, existen otros proyectos activos en Chile con relación al aprovechamiento de la bioenergía. Éstos se enfocan a la cogeneración mediante la utilización de residuos de la actividad productiva principal en empresas. En la siguiente tabla se recogen los proyectos de cogeneración aprobados por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) a fecha de 28 de febrero de 2010.

La mayoría de las iniciativas señaladas se orientan al aprovechamiento de desechos generados en la industria maderera o papelera para la obtención de energía, tanto eléctrica como térmica, utilizable dentro del propio proceso productivo (susceptibles los excedentes de ser inyectados en el Sistema Interconectado Central -SIC- de energía). Los objetivos perseguidos son una minoración del esfuerzo económico que supone el gasto energético y la contribución a la reducción de gases nocivos para la atmósfera²⁹.

CUADRO III.7
PROYECTOS DE COGENERACIÓN APROBADOS POR EL SEIA
(28 FEBRERO 2010)

Región	Nombre	Titular	MW ^a
VI	Planta Cogeneración San Francisco de Mostazal	Energía Pacífico S.A.	15
VII	Planta Térmica Cogeneración Viñales	Aserraderos Arauco	41
VIII	Cogeneración de Energía con Biomasa Vegetal	Allan Lomas Redón	4/6
	Cogeneración de Energía de Forestal y Papelera Concepción S.A.	Francisco Bebín Campos	10
	Sistema de Cogeneración de Energía MASISA Cabrero	MASISA S.A.	9,6
	Planta de Cogeneración con Biomasa en CFI Horcones	Celulosa Arauco y Constitución S.A.	31

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

^a Potencia instalada.

Por último, señalar que desde 2008 han comenzado a establecerse en Chile distintas plantas de generación de biogás para uso energético, obtenido el mismo a partir de la digestión de desechos orgánicos por parte de microorganismos en un entorno anaeróbico. Uno de los principales proyectos en este sentido es el que gestionan de manera conjunta las empresas Aguas Andinas y Metrogás utilizando los residuos de la planta de tratamiento de aguas La Farfana en la Región Metropolitana. El producto de dicha iniciativa estaría encaminado a la provisión de gas para los hogares de Santiago. Así mismo, recientemente la empresa KDM Energía y Servicios inauguró una planta de generación eléctrica en base a biogás obtenido a partir del relleno sanitario Loma de los Colorados de la comuna de Tiltil (RM). El

²⁸ Entre las instituciones públicas que conforman el SNCL están la Corporación Nacional Forestal (Conaf), la Comisión Nacional del Medio Ambiente (Conama), el Servicio Nacional del Consumidor (Sernac) y el Servicio de Impuestos Internos (SII). Por su parte, las instituciones privadas presentes en el SNCL serían la Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo (AIFBN), el Departamento de Acción Social del Obispado de Temuco (DAS), Ag Ñuble y la Universidad Austral de Chile.

²⁹ El aprovechamiento de la venta de bonos de carbono dentro del acuerdo de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) presente en el Protocolo de Kyoto ha sido considerado como una oportunidad adicional para facilitar la financiación de los proyectos de cogeneración.

objetivo a largo plazo de dicha iniciativa es generar 28 MW de energía, aunque actualmente inyecta únicamente 2 MW al SIC.

2. Indicadores de capacidades tecnológicas

a) Indicadores de base disponible

La tasa de alfabetización en Chile se sitúa por encima de la media de los países de América Latina y el Caribe. Para el caso del enrolamiento académico las cifras chilenas son así mismo más positivas que la media regional, destacando la elevada cobertura de la enseñanza terciaria. El número de graduados universitarios en disciplinas encuadrables en la nomenclatura Ciencia y Tecnología es relativamente muy elevado si lo consideramos sobre el total de la población. En consecuencia, el número de investigadores en Ciencia y Tecnología por cada mil habitantes es el más alto de la región (según datos para 2004). El esfuerzo innovador en Chile es marcadamente privado, lo que lleva a que la mayor parte del personal investigador referido pertenezca al sector empresarial; no obstante los centros de educación superior juegan también un rol primordial en este sentido.

Por otra parte, si nos referimos a la caracterización de las infraestructuras de información y comunicaciones, Chile es uno de los países con mejor cobertura en relación a dichas tecnologías de la región (a pesar de acusar los generalizados problemas de conectividad a internet de alta velocidad). El país se sitúa por encima de la media latinoamericana tanto en número de usuarios de internet como en líneas telefónicas por habitante.

CUADRO III.8
INDICADORES DE BASE DISPONIBLE PARA LA INNOVACIÓN EN CHILE

Indicador	Valor	
Alfabetización (% personas de 15 años y más, 2008)	99	
Enrolamiento en enseñanza primaria (% bruto, 2008)	105	
Enrolamiento en enseñanza secundaria (% bruto, 2008)	94	
Enrolamiento en enseñanza terciaria (% bruto, 2008)	50	
Graduados en C y T (2007)	22 965	
Investigadores en C y T (personas físicas, 2004)	18 365	
Usuarios de Internet (por cada 100 personas, 2008)	32	
Líneas telefónicas (por cada 100 personas, 2008)	21	
Pertenenencia (% del total de investigadores, 2004)	Gobierno	3,3
	Universidad	37,1
	Sector <i>non-profit</i>	4,7
	Empresas	54,8

Fuente: Elaboración propia sobre la base de información del Banco Mundial, World Development Indicators (WDI), y Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT).

^a Este dato se sitúa por encima del 100% debido a que hay un desfase entre el nivel educativo alcanzado y la edad del alumnado considerado.

^b Dentro de la categoría "graduados en Ciencia y Tecnología" se incluirían todos aquellos graduados en Ciencias Naturales y Exactas, Ciencias Médicas, Ingeniería y Técnica y Ciencias Agrarias.

b) Indicadores de esfuerzo

El gasto público en educación como porcentaje del PIB se sitúa en Chile por debajo de la media latinoamericana, no obstante suponga casi la quinta parte del gasto público total. Sin embargo, el gasto global en innovación se dispone por encima de la media regional, siendo inferior sólo al de Brasil (según datos para 2004). La financiación de dicho esfuerzo es realizada de manera casi par por gobierno y empresas, siendo así mismo el papel de la inversión extranjera relevante. La ejecución de las actividades de innovación está principalmente en manos de las empresas y las universidades.

CUADRO III.9
INDICADORES DE ESFUERZO INNOVADOR EN CHILE

Indicador	Valor
Gasto público en educación (% del PIB, 2007)	3
Gasto en I+D (% del PIB, 2004)	0,67
Financiación (% del gasto, 2004)	
Gobierno	44,4
Universidad	0,8
Sector non-profit	0,3
Empresas	45,8
Extranjera	8,7
Ejecución (% del gasto, 2004)	
Gobierno	10,2
Universidad	32
Sector non-profit	11,7
Empresas	46,1

Fuente: Elaboración propia sobre la base de información del Banco Mundial, World Development Indicators (WDI), y Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT).

c) Indicadores de resultados

En lo que se refiere a los resultados del esfuerzo innovador, en Chile el coeficiente de invención (patentes presentadas por residentes por cada 100.000 habitantes) se sitúa por encima de la media latinoamericana. No obstante, el número de patentes solicitadas por no residentes es siete veces superior a aquellas presentadas por residentes en el país.

CUADRO III.10
INDICADORES DE RESULTADOS DE INNOVACIÓN EN CHILE

Indicador	Valor
Patentes presentadas (2008)	Total 1 944
	Presentadas por residentes (2008) 126
	Presentadas por no residentes (2008) 1 818
Patentes concedidas (2008)	Total 409
	Concedidas a residentes (2008) 31
	Concedidas a no residentes (2008) 378
Publicaciones en SCI ^a (por cada 100.000 habitantes, 2007)	2,82
Exportaciones de alta tecnología ^b (% de manufacturas exportadas, 2008)	4

Fuente: Elaboración propia sobre la base de información del Banco Mundial, World Development Indicators (WDI), y Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT).

^a Science Citation Index.

^b Productos con alta intensidad de I&D como aeroespaciales, computación, farmacéuticos, instrumentos científicos y electromecánica

Resulta destacable, así mismo, el relativamente elevado número de publicaciones científicas por habitante en Chile, el mayor de la región. Este dato, dado el perfil de la ejecución del gasto en innovación y desarrollo antes visto, nos hace suponer un prolífico desempeño del sistema de educación superior en lo referente a la investigación. Por contra, la proporción de manufacturas de alto contenido tecnológico se sitúa en Chile por debajo de países como Argentina, Brasil y México.

En el caso de Chile nos encontramos, por tanto, ante un país que destaca en el contexto latinoamericano en términos de capacidades tecnológicas. La conformación de la base disponible, el

nivel de gasto en innovación y los resultados obtenidos son relativamente elevados. En este sentido, el papel que juega el sector empresarial tanto en la financiación como en la ejecución del esfuerzo innovador es un dato a tener en consideración; así como el potente desempeño de las principales instituciones de educación superior.

3. Panorama general de la innovación en biocombustibles

a) Iniciativas público-privadas de apoyo a la I&D sectorial

El interés por el desarrollo de los biocombustibles líquidos es relativamente reciente en Chile. Mediante el Decreto Supremo 11 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, promulgado en mayo de 2008, se normalizan en el país las definiciones y especificaciones de calidad para la producción, importación, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de bioetanol y biodiesel. Conforme a un objetivo determinado de lograr una diversificación de la matriz energética chilena³⁰, dicha reglamentación permite mezclas con un 2% o un 5% de biocombustible tanto en las gasolinas como en el petróleo diesel.

De igual modo, el documento publicado por la CNE en 2008 titulado *Política Energética: Nuevos Lineamientos* afirma que los biocombustibles líquidos son una buena opción al uso de los combustibles fósiles convencionales, principalmente como fuente energética para los vehículos. La promoción de la investigación y desarrollo relativa al sector se considera en el documento como esencial para garantizar la viabilidad a largo plazo de una producción nacional de biocombustibles basada en aquellos de segunda generación.

Llegados a este punto sería conveniente comentar las recientes novedades en la institucionalidad relativa a la energía en Chile. La ley 20.402 de 1 de febrero de 2010 ha creado el Ministerio de Energía. Dentro del mismo se distinguen seis divisiones temáticas diferentes. La División de Energías Renovables no Convencionales es aquella que está previsto ejerza una influencia más directa en el devenir del sector de los biocombustibles. El fomento de la investigación y desarrollo sectorial es un punto que dicho ente considera prioritario, lo cual invita a pensar que se acometerá con decisión.

Paralelamente al avance regulatorio inicialmente señalado se han planteado una serie de iniciativas encaminadas a la promoción de actividades innovadoras en la producción de biocombustibles líquidos. La Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) a través del Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF) y del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT) y la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) en base al programa Innova Chile son las principales instituciones públicas implicadas con estos desarrollos. A continuación expondremos los programas en innovación en el sector de los biocombustibles en ejecución al amparo de ambas entidades.

b) Iniciativas apoyadas por Innova Chile de CORFO

Desde su creación en 2005 hasta 2008 Innova Chile de CORFO apoyó cerca de veinte proyectos de innovación en biocombustibles, siendo esta la línea de investigación mejor financiada dentro de los desarrollos en energías renovables. Varias de las iniciativas promocionadas por CORFO durante el periodo señalado participaron en el Concurso Nacional de Proyectos de Innovación de Interés Público e Innovación Precompetitiva 2007 convocado por dicha entidad. Entre los más de sesenta proyectos cuya financiación fue aprobada cuatro de ellos, recogidos en la siguiente tabla, tenían relación directa con el progreso del sector de los biocombustibles en Chile.

A los proyectos apoyados por CORFO antes mencionados se les une en 2009 una iniciativa responsabilidad de la Universidad de Chile denominada “Puesta en valor de terrenos fiscales y suelos

³⁰ Este objetivo responde esencialmente a un intento por atenuar la excesiva dependencia que la matriz energética de Chile tiene de las importaciones de hidrocarburos y el continuo incremento de las emisiones de gases efecto invernadero. Para ello se ha planteado la meta de que en el año 2020 el 20% del consumo energético chileno proceda de fuentes renovables.

marginales mediante el desarrollo de cultivos bioenergéticos” ejecutable en la Región de Valparaíso. Se le asignó a dicho proyecto un aporte del programa Innova Chile por valor de 276,923 millones de pesos, esperándose 90 millones adicionales correspondientes a aportes de privados. Así mismo, a partir del Concurso de Desarrollo de Capacidades Técnicas convocado por CORFO en 2008 se financió el proyecto de capacitación directa “La biomasa como fuente de energía para las regiones 14 y 9” referente al sector forestal.

**CUADRO III.11
PROYECTOS SOBRE BIOCOMBUSTIBLES SELECCIONADOS DENTRO DEL CONCURSO
NACIONAL DE PROYECTOS DE INNOVACIÓN DE INTERÉS PÚBLICO E INNOVACIÓN
PRECOMPETITIVA 2007 DE CORFO**

Nombre del Proyecto	Beneficiaria	Asociados	Plazo	Aporte CORFO	Costo total
Capacidad de Generación de Energía Renovable a Partir de Cultivos de Alto Rendimiento: Oportunidades de Diversificación Productiva para la Provincia de Chañaral	Fundación Chile	SEREMI Minería y Energía Región de Atacama/Codelco División Salvador	36 meses	358 710 000	558 000 000
Evaluación Económica, Ambiental y Social del uso Racional y Sustentable de la Biomasa Forestal de la Región Aysén	Universidad de Concepción	CIEP/CONAMA/ CONAF	26 meses	128 870 000	192 400 000
Diversificación de la matriz energética con un modelo local de desarrollo sustentable basado en bioetanol, a partir de nabo forrajero en la Patagonia	Instituto de Investigaciones Agropecuarias	Nereus Trading Inc./COVEPA/ PSB/COPEC/ Jean Marie Laport/ Comercial Varona; Claudio Bambs B./Ciro Jara V./Héctor Vera L./José Ovanedo P./Joel Reyes R.	36 meses	300 000 000	400 000 000
Evaluación Agronómica de <i>Jatropha Curcas</i> L. como Materia Prima para Producir Biodiésel bajo Condiciones Edafológicas de Chile Semiárido	Instituto de Investigaciones Agropecuarias	Agr. Bauzá Ltda./Soc. Agr. E Invers. Milagro S. A./Fabricio Bortolotti Rizzolli	36 meses	193 600 000	334 000 000

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO).

No obstante, la iniciativa más ambiciosa puesta en marcha por CORFO en referencia a la innovación en biocombustibles ha sido la promoción de cinco consorcios público-privados dedicados a la obtención de bioenergía. El aporte estatal a la financiación parcial de dichos consorcios se aprobó a partir de la evaluación de antecedentes recibidos tras la convocatoria de dos concursos en 2008 y 2009. El objetivo de los consorcios es avanzar en el desarrollo e implementación de tecnologías orientadas a la producción sustentable de biocombustibles líquidos a partir de algas y material lignocelulósico en Chile. Paralelamente los consorcios contemplan el desarrollo de un programa de formación de capacidades humanas en el área industrial de la producción de biocombustibles, y de otro sobre comercialización de resultados y desarrollo de negocios.

En primer lugar, se adjudicaron dos consorcios tecnológico-empresariales enfocados a la producción de biocombustible a partir de material lignocelulósico. Dicha iniciativa contaba con un presupuesto público total de 3.979 millones de pesos a repartir en el transcurso de los cinco años durante

los que se apoyaría a los consorcios en sus investigaciones, las cuales debían comenzar en 2009. Bioenercel S.A. y Biocomsa S.A. fueron los consorcios beneficiarios de la convocatoria.

Bioenercel está conformado por la Universidad de Concepción, Universidad Católica de Valparaíso, Fundación Chile y las empresas Celulosa Arauco, CMPC Celulosa y Masisa. Las actuaciones ejecutables por Bioenercel se estructuran, en primer término, dentro del “proyecto biomasa” entorno a la investigación del potencial de obtención y uso para la producción de biocombustibles de tres categorías de materias primas: i) plantaciones forestales de corta rotación, ii) bosque nativo y iii) residuos forestales tanto industriales como agrícolas. Así mismo, la etapa industrial para la obtención del etanol se encuadra dentro del “proyecto bioprocesos”, a través del cual Bioenercel se propone investigar los procesos de pretratamiento, hidrólisis enzimática, fermentación y recuperación de productos, además de la construcción de una planta piloto. De manera paralela a estas investigaciones, el consorcio tiene como objetivo desarrollar un subproyecto de transferencia tecnológica, principalmente a empresas forestales.

Por su parte, el consorcio Biocomsa está compuesto por la Universidad de Chile, Consorcio Maderero y ENAP³¹. Dichas entidades cuentan, adicionalmente, con la colaboración externa de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), las empresas Choren Industries GmbH e Ingeniería Técnicas Reunidas, además de diversos centros de educación superior europeos. Las actuaciones de investigación de Biocomsa se alinean en ocho programas los cuales se coordinan en la consecución de los siguientes objetivos relativos a la producción de biocombustibles: i) abastecimiento a largo plazo de materias primas, ii) optimización de los desarrollos tecnológicos en la etapa industrial y iii) garantía de la sostenibilidad social y ambiental del proceso.

Como ya hemos señalado, en 2009 el Ministerio de Energía junto con CORFO lanzó una nueva convocatoria en la cual se ofrecía apoyo a consorcios tecnológico-empresariales enfocados a la obtención de biocombustibles a partir de algas. El presupuesto final consignado para dicha iniciativa fue de más de 9.000 millones de pesos. Los consorcios elegidos fueron Algafuel, Desert Bioenergy y Bal-Biofuels. Esbozaremos a continuación un breve retrato de los mismos.

El consorcio Algafuel se conformó mediante la participación de la Pontificia Universidad Católica de Chile y las empresas Edelnor, COPEC, Rentapack y Bioscan, esta última como principal entidad desarrolladora del proyecto. Además el consorcio cuenta con la asistencia técnica de la Universidad de Concepción, la Universidad de Florencia y de la empresa especializada en biotecnología Aguamarina. El aporte estatal asignado a la iniciativa fue de 3.245 millones de pesos, siendo su presupuesto total (añadiendo la cofinanciación privada) de 6.836 millones de pesos. El principal objetivo del consorcio es el desarrollo de una tecnología adecuada para el cultivo de microalgas susceptibles a su posterior conversión en biocombustible en el área septentrional de Chile. Para ello se estableció una planta piloto en Mejillones (Región de Antofagasta), junto a una subestación eléctrica de Edelnor.

Así mismo, Desert Bioenergy surge a partir de la iniciativa de la Universidad de Antofagasta, Universidad de la Frontera y las empresas Electroandina, Algas Prodalmar, Molino Gorbea, COPEC y del Centro de Investigación Científico Tecnológico para la Minería (CICITEM). Mediante nueve programas de investigación Desert Bioenergy pretende abarcar el análisis de toda la cadena productiva de biodiesel a partir de algas. Con el fin de instrumentalizar dichas actividades de investigación se decidió la implementación de una planta piloto (biorrefinería algal) en la Central Térmica Tocopilla de Electroandina, situada en el norte de Chile, la cual utilice el CO₂ de plantas termoeléctricas como nutriente para el crecimiento de las microalgas. Paralelamente, Desert Bioenergy proyecta desarrollar un programa de formación de capacidades humanas y otro de comercialización. La financiación total de

³¹ En agosto de 2007 Consorcio Maderero y ENAP crean la empresa ForEnergy S.A. cuya dedicación es analizar la viabilidad de la generación de hidrógeno y vapor a partir de biomasa forestal en Chile. Con la finalidad de facilitar dichas investigaciones ForEnergy S.A. ha sido elegida en 2009 como beneficiaria de un fondo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por valor de un millón de dólares.

estas medidas se estima en 3.558 millones de pesos, donde 2.487 millones corresponden a financiamiento estatal.

Por último, dentro de las iniciativas valedoras de la cofinanciación de CORFO para la investigación en producción de biocombustible a partir de algas nos encontramos con el consorcio Balfuels. A diferencia de los dos proyectos antes vistos la materia prima a utilizar en este caso como fuente de bioenergía sería una macroalga, concretamente el huiro (cochayuyo), estableciéndose una planta piloto en la isla de Chiloé. Balfuels está participada por la Universidad de los Lagos, ENAP y la filial chilena de la empresa estadounidense Bio Architecture Lab (BAL). Así mismo, como coejecutores del proyecto se encuentran la Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Católica del Norte y las empresas Walbusch, Sociedad las Vegas del Mar Ltda., Nofina Marín y Pesquera San José. La financiación total del proyecto se estima en 5.423 millones de pesos, dentro de los cuales CORFO aportaría 3.775 millones.

c) Iniciativas FONDEF y FONDECYT de CONICYT

En los últimos años, dentro de las distintas convocatorias del Concurso de Investigación y Desarrollo (I+D) de FONDEF se ha aprobado la financiación de distintos proyectos relacionados con la innovación en biocombustibles. En la siguiente tabla se recopilan los datos más importantes referentes a los mismos.

CUADRO III.12
PROYECTOS SOBRE BIOCMBUSTIBLES SELECCIONADOS DENTRO DEL CONCURSO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE FONDEF

Año de concurso	Título	Institución Principal	Monto FONDEF
2005	Utilización de Brassica Napus para la Producción de Biodiesel: Desarrollo y Optimización del Proceso	Universidad de la Frontera	271 000 000
2006	Desarrollo de un Paquete Tecnológico para producir Bioenergía a partir de Algas	Universidad de Taparacá	379 837 000
	Optimización y Mejoramiento Biotecnológico de las Condiciones de Cultivo de la Microalga Verde <i>Botry Oococcus Braunii</i> para la obtención de bio-hidrocarburos	Universidad de Antofagasta	280 000 000
2007	Investigación y Desarrollo de un Paquete Tecnológico para producir Etanol a partir de Álamos Híbridos	Universidad Católica de Temuco	356 000 000
	Manejo Biotecnológico de Microalgas Oleaginosas Nativas para la obtención de Biodiesel	Universidad de Concepción	291 000 000
2008	Combustible Diesel y Productos Químicos Finos a partir de Tall Oil	Universidad de Concepción	265 335 000
	Microbiodiesel	Universidad Católica de Temuco	356 400 000
	Fortalecimiento del Sector Energético a partir de Fuentes Renovables mediante el Desarrollo de Modelos de Disponibilidad, Gestión y Transformación de Biomasa Forestal para Plantas de Cogeneración en el Sur de Chile	Universidad de la Frontera	356 400 000
	Modelo Silvícola para la obtención de Dendroenergía en la Zona Central de Chile usando Híbridos de Álamo	Universidad de Talca	282 179 000

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT).

En 2009, de manera conjunta con la Comisión Nacional de Energía y contando con la orientación de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), Conicyt realiza una convocatoria más específicamente dirigida a la innovación en el sector de los biocombustibles a través del Programa de Bioenergía. Las postulaciones para acceder al apoyo económico asignado a dicha iniciativa debían ser presentadas antes de enero de 2010, concediéndose los recursos al final del año (FIA, 2010). El

presupuesto total asignado al Programa de Bioenergía es de 1.200 millones de pesos, siendo el periodo máximo de duración de la financiación a los proyectos de 36 meses. Dichos proyectos deben centrar su investigación en la optimización de la producción, logística y preparación de biomasa con fines energéticos, la cual se obtenga de tal manera que no se minore la disponibilidad de los suelos agrarios destinados a la generación de alimentos.

Por otro lado, dentro de los proyectos financiados por Conicyt a través de FONDECYT encontramos una iniciativa planteada en 2008 por la Pontificia Universidad Católica de Chile relativa a la obtención de biodiesel a partir de guindilla (*valenzuela trinervis*). La elección de dicha planta como materia prima se debió a que, por lo general, ésta crece en terrenos improductivos y a que su fruto está compuesto en más de un 60% por un aceite muy similar al de raps³².

d) Otras iniciativas

Además de las iniciativas que acabamos de analizar, las cuales han sido beneficiarias de un importante apoyo financiero público a través de los fondos Innova Chile, FONDEF y FONDECYT, se han venido gestando en los últimos años otros proyectos relativos a la investigación en biocombustibles dentro del país.

La Universidad Mayor, contando con el apoyo de las empresas Visors Generación, Prohens Valle de Copiapó, SL y PM Ingenieros, ha desarrollado un proyecto relativo a la obtención de bioenergía a partir del cultivo del nopal. Para ello se ha establecido una finca experimental en el Valle del Río Jorquera en la Región de Atacama. Dicha finca se divide en dos sectores, en uno de ellos se cultiva el nopal para su propagación y utilización en pruebas para la obtención de biomasa y en el otro se analizan las prácticas agronómicas adecuadas para optimizar su crecimiento.

Por otra parte, CORFO a partir del fondo regional Innova Biobío apoyó el proyecto conjunto del grupo de investigación Energía y Biomasa de la Universidad de Concepción y las empresas Masisa y Energía Verde denominado “Desarrollo de protocolos para la producción de biomasa de especies forestales de rápido crecimiento y corta rotación para la generación de bioenergía”. Las especies forestales sujetas a estudio dentro de dicha iniciativa fueron el aramo y el eucalipto debido a su adaptabilidad, rápido crecimiento y positivos resultados energéticos. Las parcelas piloto de cultivo se establecieron en 2007, situándose en su totalidad en la Región del Biobío dentro de las comunas de Ninhue, Bulnes y Yungay.

En lo que respecta a la obtención de energía a partir de biomasa forestal destaca así mismo la labor investigadora del Instituto Forestal de Chile (INFOR) del Ministerio de Agricultura. Las actuaciones desarrolladas por el mismo en este sentido se recogen principalmente dentro de los estudios: i) Bases para una estrategia dendroenergética nacional de Chile, ii) Disponibilidad de residuos madereros generados por la industria primaria de la madera y iii) I+D+i: opciones dendroenergéticas. El objetivo principal de estos proyectos es la configuración de un mapeo específico que permita identificar la localización de los potenciales recursos dendroenergéticos en Chile.

Así mismo, debemos mencionar dos importantes iniciativas lideradas por la Universidad de Chile y la Universidad de Tarapacá para la obtención de biodiesel en base al cultivo de *jatropha* en terrenos no calificados para producción agroalimentaria. El proyecto de la Universidad de Chile fue puesto en marcha en 2007 contando con el apoyo del Ministerio de Agricultura. Por su parte, la Universidad de Tarapacá cultivó con *jatropha* diez hectáreas cedidas por el Ministerio de Bienes Nacionales en la Región de Arica y Parinacota, contando así mismo con el apoyo financiero del gobierno de dicha región.

Por último, la Universidad de Chile ha planteado dentro del Programa Domeyko en Energía tres proyectos de investigación relacionados de manera específica con la bioenergía: i) Evaluación del

³² No obstante, tras realizar íntegramente el proceso de recolección y transformación de la guindilla, los responsables del proyecto consideran que para garantizar su viabilidad económica como fuente bioenergética debería insistirse en la búsqueda de variedades del cultivo más productoras de semillas.

potencial de producción del biogás en Chile, ii) Optimización del tratamiento de lignocelulosas con miras a la obtención de bioetanol y iii) Producción de biomasa con fines bioenergéticos. Como complemento a las iniciativas de investigación del Programa Domeyko en Energía se consideró necesario el fomento de la formación específica en torno a las energías renovables mediante estudios de postítulo que vinieran a complementar al diplomado ya existente en bioenergía.

e) Algunos resultados de innovación obtenidos

La mayor parte de los proyectos de innovación en biocombustibles que se han venido desarrollando en Chile comenzaron muy recientemente y aún están en periodo de ejecución. Es por ello que, para tratar de vislumbrar algunos resultados que se hayan generado a partir de dichas iniciativas, nos remitiremos al análisis de aquellas que se emprendieron con mayor anterioridad.

El proyecto dirigido por la Universidad de la Frontera titulado “Utilización de *brassica napus* para la producción de biodiesel: desarrollo y optimización del proceso” inició su andadura tras ser beneficiario del XIII Concurso de Proyectos de I+D de FONDEF 2005. Dicha iniciativa planteaba el aprovechamiento de los conocimientos que los agricultores de la zona sur de Chile tienen sobre el cultivo de la oleaginosa raps para producirla en la cantidad y forma adecuadas a su posterior transformación en biodiesel. De hecho Molinera Gorbea, empresa colaboradora en el proyecto, estableció contacto directo con productores de raps para generar cadenas de aprovisionamiento.

Tras garantizar el correcto suministro de la materia prima se realizaron las primeras transformaciones experimentales del raps en biodiesel. Posteriormente, se llevaron a cabo ensayos con el biodiesel obtenido en motores de maquinaria agrícola y en motores de laboratorio. Por último se evaluó el producto en España, contando con la colaboración de la Universidad Politécnica de Madrid, en un automóvil de prueba. Con todo ello se comprobó que el balance de emisiones de gases contaminantes era favorable al biodiesel de colza fabricado con respecto al combustible diesel convencional.

Todos estos avances se concretaron en los meses iniciales de 2010 con el establecimiento de la primera planta piloto en Chile para la obtención de biodiesel a escala industrial. Dicha planta se sitúa en la región de La Araucanía, donde se desarrollaría de manera íntegra la cadena de producción del biocombustible desde la obtención del raps hasta la transformación en biodiesel. Esto es: siembra de raps, cosecha, producción de aceite, producción de biodiesel y caracterización de sus propiedades en el laboratorio de biocombustibles de la Universidad de la Frontera (evaluación de potencia real y caracterización de las emisiones). La empresa COPEC, socia el proyecto, implementó una estación de servicio experimental que permite suministrar B-2 y B-5 a motores en ensayos con marcha normal utilizando mezclas acreditadas legalmente.

Otro de los proyectos sectoriales de más larga data es aquel desarrollado por la Universidad de Antofagasta “Optimización y mejoramiento biotecnológico de las condiciones de cultivo de la microalga verde *botry ooccus braunii* para la obtención de biohidrocarburos” el cual fue beneficiario de una ayuda FONDEF convocada en 2006. Mediante los primeros pasos de dicho proyecto se logró avanzar en la mejora del contenido en hidrocarburo extraíble de las microalgas generadas en laboratorio. Así mismo, se sentaron las bases técnicas para la posterior conformación del consorcio Desert Bioenergy, el cual como ya hemos visto, cuenta con un importante aporte financiero por parte de CORFO y del Ministerio de Energía.

Así mismo, dentro del proyecto de la Universidad de Chile “Desarrollo y validación del cultivo de jatropha en la zona norte de Chile para la producción de biodiesel” se obtuvo una primera cosecha en la parcela experimental del Liceo Agrícola de Ovalle (Región de Coquimbo). Dicho resultado confirmó la alta resistencia de la jatropha a suelos degradados y condiciones extremadamente adversas de riego.

Ello llevó a concluir que existirían más de 500 mil hectáreas de tierras tradicionalmente consideradas no fértiles aptas para el cultivo de *jatropha* en la zona norte de Chile (Fucoa, 2010)³³.

Además de lo anterior, cabe destacar a su vez los avances obtenidos en lo que respecta a la dendroenergía. INFOR, en colaboración con FAO, han concluido un estudio donde se desarrolla un completo mapeo del potencial forestal de Chile enfocado a la producción sostenible de bioenergía. De igual modo, el Centro Tecnológico del Álamo de la Universidad de Talca ha obtenido resultados referentes a proyectos ejecutados entre 1998 y 2008 sobre mejoramiento genético, adaptabilidad, calidad de las maderas jóvenes y densidad de plantación en dicha especie. Estas investigaciones han sentado las bases agronómicas para el proyecto “Modelo silvícola para la obtención de dendroenergía en la zona central de Chile usando híbridos de álamo” beneficiario, como ya hemos visto, de una ayuda FONDEF en 2009, estando fechada su ejecución entre 2010 y 2014.

4. Caracterización de la demanda

Como ya hemos señalado la demanda de ciertos biocombustibles sólidos tradicionales para uso doméstico es bastante amplia en Chile. No obstante, en el presente epígrafe vamos a centrarnos en la caracterización de la potencial demanda de biocombustible líquido principalmente para uso vehicular.

Las ventas de automóviles han experimentado un crecimiento continuo en Chile desde el año 2001. Según datos de la Asociación Nacional Automotriz de Chile (ANAC), la demanda de automóviles livianos alcanzó las 239.835 unidades en 2008. Esta cifra es relativamente elevada si la planteamos en relación a la población local. La sostenida expansión del mercado chileno automotriz, junto con la considerable apertura comercial del país, han llevado a que multitud de marcas automovilísticas internacionales estén presentes con sus productos en el mismo. No obstante, las empresas que concentran un mayor volumen de ventas de vehículos livianos en Chile son la estadounidense Chevrolet-General Motors, la coreana Hyundai y las japonesas Toyota y Nissan. Todas estas compañías ofrecen vehículos que han sido importados al país una vez terminados.

En lo que respecta específicamente al uso de biocombustibles, recientemente Petrobrás y Chevrolet han lanzado una iniciativa titulada “Etanol: Energía+Limpia” que tiene como finalidad la adaptación de la oferta vehicular chilena al uso de energías alternativas. Para ello, en primer lugar, han comenzado a circular en el país dentro de una prueba piloto dos vehículos Chevrolet con tecnología *flex fuel*, los cuales se alimentan en un surtidor instalado en una estación de servicio de Petrobrás en Santiago.

El hecho de que Petrobrás haya decidido vincularse precisamente a Chevrolet para incentivar la generalización del uso de etanol en vehículos en Chile no es casual. Debemos tener en cuenta que en Brasil la compañía General Motors produce, según datos para 2008, un 19% del total de automóviles que tienen origen en el país, cifra la cual asciende a casi medio millón de unidades anuales (ANFAVEA, 2009; CEPAL, 2010). Por otra parte, para Brasil como principal productor automovilístico (junto con México) y de etanol de América Latina le resulta muy atractivo establecer una posición preferente en un mercado de consumo en alza como el chileno, lo cual se ve facilitado por la existencia desde 1996 de un Tratado de Libre Comercio entre Chile y Mercosur.

Así mismo, la compañía Petrobrás se encuentra implicada en un programa piloto para desarrollar las pruebas necesarias que permitan evaluar las capacidades instaladas en Chile para el uso de bioetanol mezclado con gasolina en vehículos livianos. Además de Petrobrás participan de esta iniciativa la Comisión Nacional de Energía, el Servicio Nacional de Aduanas, el Servicio Agrícola y Ganadero, la Comisión Nacional del Medio Ambiente, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, el Ministerio de Transportes y el Centro de Control y Certificación Vehicular 3CV, junto con la Empresa Nacional de Petróleo (ENAP) y la distribuidora de hidrocarburos COPEC.

³³ Pese a que las cepas de *jatropha* son capaces de resistir a condiciones extremas una de las claves reside en comprobar si bajo dichas circunstancias su contenido en aceite no se resiente tanto como para que no resulten rentables o se haga necesario un riego y fertilización intensivos.

Por otra parte, se ha planteado la posibilidad de reducir emisiones en ciertas industrias chilenas a través de la utilización de biocombustibles líquidos como fuente energética. Ejemplo de ello sería la posibilidad de incorporarlos al proceso de extracción del cobre. Según datos de la CNE para 2007, dicha actividad consume el 32% de la electricidad en Chile, así como el 6% del combustible. De igual modo, la emisión de gases efecto invernadero que su proceso extractivo implica experimentó un incremento del 52% entre 2005 y 2008. Esto se ha debido principalmente a un aumento de las emisiones indirectas derivado de cambios en el suministro de energía (Cochilco, 2009). No obstante, la estrategia que parece primar para la resolución de la problemática descrita es el reforzamiento de la oferta hidroeléctrica para proveer a las grandes empresas extractoras de cobre, a pesar de las externalidades ambientales que esto previsiblemente conlleve.

5. Conclusiones

Chile forma parte del grupo de países de América Latina líderes en capacidades tecnológicas. La principal fortaleza en este caso es el relativamente elevado nivel de formación del capital humano y los destacados resultados en términos de patentes y publicaciones científicas. Esta situación refleja, entre otras circunstancias, la notable calidad de parte del sistema universitario en el país. Así mismo, en términos de esfuerzo, el gasto global en I+D en relación al PIB es de los más altos de la región.

Estas ventajas, sumadas a la escasez de tierras fértiles disponibles para la obtención de materia prima adecuada, lleva a que el país haya apostado por la investigación en biocombustibles líquidos de segunda generación. El primer objetivo de dichas iniciativas es posibilitar la ampliación de la frontera de producción agraria. Adicionalmente, se intenta desarrollar la tecnología precisa para la transformación de los cultivos en biocombustibles de una manera económicamente viable. Dada la importancia que el sector privado tiene para el sustento de la innovación en Chile, es esencial que este último requisito se priorice en los avances que se efectúen para que la financiación siga siendo accesible. En este sentido, como hemos visto, algunas de las experiencias ejecutadas en los últimos años han generado ya resultados esperanzadores. El reto vigente es poder extrapolar los rendimientos obtenidos en dichas producciones piloto a una escala industrial.

Por otra parte, aún cuando se consigan obtener avances adecuados para la gestión íntegra de la cadena de producción de los biocombustibles en Chile, será necesario enfrentar el problema de la falta de vinculación de las experiencias que se están realizando en dicha dirección con las innovaciones de las empresas fabricantes de automóviles que surten con sus productos al país. Sería aconsejable no retrasar la consideración de este particular a fin de evitar dar ventaja a la importación de biocombustibles de otros países de la región (principalmente Brasil) sobre la potencial oferta local. Así mismo, sería interesante considerar la adecuación de una actividad tan importante para Chile como es la extracción del cobre a la utilización de bioenergía.

Bibliografía

Colombia

- Asocaña (2009), “Informe anual 2008-2009: Sector azucarero colombiano”. En <http://www.asocana.org/modules/documentos/secciones.aspx?tipo=2&valor=234>
- Bochno Hernández, Elzbieta (2010), “Política Nacional de Biocombustibles en Colombia”, *V Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles*, Santiago (Chile).
- CEPAL (2010), “Anuario estadístico de América Latina y el Caribe 2009”, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), enero. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: E/S.10.II.G.1.
- “La inversión extranjera directa en América Latina y el Caribe 2009”, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), mayo.
- Corredor Avella, Germán (2009), “Tablero de comando para la promoción de los biocombustibles en Colombia”, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) & GTZ.
- Fernández Acosta, Andrés D. (2009), “Política Nacional de Biocombustibles”, *Feria Expodesarrollo*, Medellín (Colombia).
- Giacoman, Jesús (2010), “Proyecto integración y desarrollo Mesoamérica”, *V Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles*, Santiago (Chile).
- Infante Villareal, Arturo & Tobón Rubio, Santiago (2009), “Implicaciones de las políticas públicas sobre biocombustibles en la seguridad alimentaria de países seleccionados de América Latina: Colombia”, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Lugones, Gustavo Eduardo, Gutti, Patricia & Le Clech, Néstor (2007), “Indicadores de capacidades tecnológicas en América Latina”, México D. F., Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) & Agencia canadiense de desarrollo internacional.
- OCDE (2002), “Manual de Frascati: Propuesta de norma práctica para encuestas de investigación y desarrollo experimental”, Madrid, Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT).
- & Eurostat (2005), “Manual de Oslo: Directrices para la recogida e interpretación de información relativa a innovación”, Madrid, Comunidad de Madrid.
- Pistonesi, Héctor, Nadal, Gustavo, Bravo, Víctor & Bouille, Daniel (2008), “Aportes de los biocombustibles a la sostenibilidad del desarrollo en América Latina y el Caribe: Elementos para la formulación de políticas públicas”, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) & GTZ.
- Razo, Carlos, Astete-Miller, Sofía, Saucedo, Alberto & Ludeña, Carlos (2007), “Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina”, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), junio. *Serie Desarrollo Productivo* 181. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.07.II.G.104.
- Hepp, Josefina & Vildósola, Alejandra (2007), “Producción de biomasa para biocombustibles líquidos: el potencial de América Latina y el Caribe”, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), noviembre. *Serie Desarrollo Productivo* N° 181. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.07.II.G.136.
- Rojas Rodríguez, Juan Carlos (2008), “Plan colombiano de investigación, desarrollo e innovación en biocombustibles: Plan Biocom”, *Biocombustibles Colombia 2008*, Bogotá (Colombia). En <http://www.biocombustiblescolombia.com/memorias.html>.

Chile

- Arriaza, José Miguel (2010), “Estado actual de los biocombustibles en Chile”, *V Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles*, Santiago (Chile).
- Betancourt, Robinson (2010), “Raps y competencia con los suelos agrícolas”, *Biomasa 2010: oportunidad, cultivos energéticos y frontera agrícola*, Santiago (Chile).

- CEPAL (2010), “La inversión extranjera directa en América Latina y el Caribe 2009”, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), mayo. En: <http://www.cepal.org/publicaciones>.
- Chile Ambiente Corporación (2008), “Análisis del potencial estratégico de la leña en la matriz energética chilena”, Santiago de Chile, Comisión Nacional de la Energía (CNE). En: http://www.cne.cl/cnewww/opencms/05_Public_Estudios/introduccion.html.
- CNE (2008), “Política energética: nuevos lineamientos. Transformando la crisis energética en una oportunidad”, Santiago de Chile, Comisión Nacional de la Energía (CNE). En: http://www.cne.cl/archivos_bajar/Politica_Energetica_Nuevos_Lineamientos_08.pdf.
- Cochilco (2009), “Consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero de la minería del cobre de Chile. Año 2008”, Comisión Chilena del Cobre. En: http://www.cochilco.cl/productos/pdf/2009/energia_GEI_2008.pdf.
- FAO (2001), “Unified Wood Energy Terminology”. En: <http://www.fao.org/docrep/008/j0926e/j0926e00.htm>
- FIA (2010), “Memoria Anual 2009”, Santiago de Chile, Fundación para la Innovación Agraria (FIA). En: <http://www.fia.cl/LinkClick.aspx?fileticket=jVAB%2bFLw0eI%3d&tabid=55>.
- FUCOA (2010), “Plantaciones de jatropha dan los primeros frutos”, Revista Nuestra Tierra, N° 264: 28-29.
- Lugones, Gustavo Eduardo, Gutti, Patricia & Le Clech, Néstor (2007), “Indicadores de capacidades tecnológicas en América Latina”, México D. F., Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) & Agencia canadiense de desarrollo internacional.
- Maggi, Claudio (2009), “Innovación para el fomento de las energías renovables en Chile: Consorcios tecnológico-empresariales para el desarrollo de los biocombustibles de segunda generación”, *Seminario Internacional de Biocombustibles de Algas*, Antofagasta (Chile).
- Muñoz, Fernando (2010), “Producción de aromo y eucalipto para bioenergía”, *Biomasa 2010: oportunidad, cultivos energéticos y frontera agrícola*, Santiago (Chile).
- OCDE (2002), “Manual de Frascati: Propuesta de norma práctica para encuestas de investigación y desarrollo experimental”, Madrid, Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT).
- ___ & Eurostat (2005), “Manual de Oslo: Directrices para la recogida e interpretación de información relativa a innovación”, Madrid, Comunidad de Madrid.
- Paneque, Manuel (2010), “Jatropha curcas y suelos marginales”, *Biomasa 2010: oportunidad, cultivos energéticos y frontera agrícola*, Santiago (Chile).
- Pinilla, Juan Carlos (2010), “Acacia y salix: avances y desarrollo agrícola”, *Biomasa 2010: oportunidad, cultivos energéticos y frontera agrícola*, Santiago (Chile).
- Pistonesi, Héctor, Nadal, Gustavo, Bravo, Víctor & Bouille, Daniel (2008), “Aportes de los biocombustibles a la sostenibilidad del desarrollo en América Latina y el Caribe: Elementos para la formulación de políticas públicas”, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) & GTZ.
- Razo, Carlos, Astete-Miller, Sofía, Saucedo, Alberto & Ludeña, Carlos (2007), “Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina”, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), junio. *Serie Desarrollo Productivo* 181. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.07.II.G.104.
- ___ Hepp, Josefina & Vildósola, Alejandra (2007), “Producción de biomasa para biocombustibles líquidos: el potencial de América Latina y el Caribe”, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), noviembre. *Serie Desarrollo Productivo* 181. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.07.II.G.136.
- Rivas, Mariella (2009), “Bioenergía en el desierto”, *Seminario Internacional de Biocombustibles de Algas*, Antofagasta (Chile).
- Sepúlveda Cancino, Marlene (2010), “Investigación en producción de biomasa de lignocelulosa y algas para biocombustibles”, *IV Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles*, Cali (Colombia).
- Vega, Alexis (2010), “Establecimiento de plantaciones de nopal para bioenergía”, *Biomasa 2010: oportunidad, cultivos energéticos y frontera agrícola*, Santiago (Chile).

Anexo

Programa del “Diálogo de Políticas sobre desarrollo institucional e innovación en biocombustibles en América Latina y el Caribe”, 28 y 29 de marzo, 2011, CEPAL, Santiago, Chile

Día / hora	Tema	Expositor
28 de marzo		
08:30 – 09:00	Registro	
09:00 – 09:30	Inauguración	Hugo Altomonte, Director DRNI/CEPAL Alan Bojanic, Representante Regional Adjunto y Representante a Cargo, FAO/RLC Ingrid Jung, Jefa, Sección Economía y Cooperación, Embajada de Alemania en Chile
Bloque I	Presentaciones	
09:30 – 09:45	Marco general / introducción	Adrián Rodríguez, Oficial a Cargo, Unidad de Desarrollo Agrícola, DDPE, CEPAL
09:45 – 10:30	Economía de los biocombustibles 2010: temas relevantes para América Latina y el Caribe	Presentación de documento, Annie Duffey, Consultora CEPAL, Proyecto GER/08/007 Preguntas aclaratorias
10:30 – 11:15	Innovación en biocombustibles: una visión del estado actual y perspectivas para América Latina y el Caribe	Presentación del estudio FAO, elaborado por la Universidad de los Andes. Juan Benavidez. Preguntas aclaratorias
11:15 – 11:30	Café	
11:30 – 13:00	Presentaciones complementarias: La iniciativa BIOTOP Fortalecimiento de las capacidades nacionales en el diseño e implementación de políticas energéticas sostenibles para la producción y uso de biocombustibles Estudios de caso sobre innovación y patentes en biocombustibles	Moderador: Ricardo Dornelles, Director de Biocombustibles, Brasil. Mercedes Ballesteros, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, (CIEMAT), España. Andrés Schuschny, UDE/DRNI-CEPAL Alberto Saucedo y Sofía Boza, UDA/DDPE-CEPAL
	Preguntas	
13:00 – 14:30	Almuerzo	
14:30 – 16:00	<i>Sesión temática No. 1: Biocombustibles y desarrollo</i>	Expositores Marcos Leite, Ministerio de Desarrollo Agrario, Brasil. Ricardo Quijano, Universidad Nacional de Colombia.
	Discusión	Moderador: Franklin Molina, Viceministro de Desarrollo Energético, Ministerio de Hidrocarburos y Energía, Bolivia.
16:00 – 16:30	Café	
16:30 – 18:00	<i>Sesión temática No. 2: Herramientas para análisis de sostenibilidad.</i>	Expositores: Erica Felix, FAO/Roma. “Marco analítico de la iniciativa Bioenergy and Food Security –BEFS, resultados de su aplicación en Perú y criterios de indicadores de sostenibilidad”. Guillermo Parra, Asesor en biocombustibles/Petropar, Paraguay. “Criterios de sostenibilidad en el contexto del Global Bioenergy Partnership (GBEP) desde la perspectiva de América Latina”.
	Discusión	Moderador: Luis Augusto Horta, Universidad Federal de Itajubá, Brasil.

29 de marzo		
09:30 -11:00	<i>Sesión temática</i> No. 3: Sistemas de innovación para el desarrollo de los biocombustibles.	Expositores: Frederico Durães, Jefe, Embrapa Agroenergía, Embrapa, Brasil. "La articulación de un sistema de I&D+I en biocombustibles en Brasil y el rol de la Embrapa" Mercedes Ballesteros, Unidad de Biocoarburantes, CIEMAT, España. "La Alianza Europea de Investigación Energética (EERA) y su rol en el reforzamiento, la ampliación y optimización de la investigación energética de la UE." Moderador: Gabriel Porcile, DDPE/CEPAL.
11:00 – 11:30	Discusión Café	
11:30 – 13:00	<i>Sesión temática</i> No. 4: Investigación, desarrollo e innovación en biocombustibles avanzados y perspectivas	Expositores: Arne Gröngroft, DBFZ (Deutsches BiomasseForschungsZentrum gemeinnützige GmbH) - Centro Alemán de investigación en biomasa (DBFZ). "Desarrollo de las condiciones marco europeas para una bio-economía e innovaciones tecnológicas en la producción de biocombustibles" Marcelo Poppe, Centro de Gestión de Estudios Estratégicos (CGEE) – Brasil. "Contexto y perspectivas de la I&D en Brasil en biocombustibles avanzados"
	Discusión	
13:00 – 13:55	Presentaciones cortas de los países y discusión genera	Moderador: Néstor Luna, OLADE.
15:55 – 14:00	Conclusiones	
14:00 – 14:30	Coctel	Adrián Rodríguez, UDA/DDPE-CEPAL



NACIONES UNIDAS

Serie

C E P A L

seminarios y conferencias

Números publicados

Un listado completo así como los archivos pdf están disponibles en

www.cepal.org/publicaciones

68. Investigación y desarrollo e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en América Latina y el Caribe, División de Desarrollo Productivo y Empresarial, (LC/L.3394), 2011.
67. De la evanescencia a la mira: el cuidado como eje de políticas y de actores en América Latina, División de Desarrollo Social, (LC/L.3393), 2011.
66. El desafío de un sistema nacional de cuidados para el Uruguay, División de Desarrollo Social, (LC/L.3359), 2011.
65. Agricultura y cambio climático: instituciones, políticas e innovación. Memoria del seminario internacional realizado en Santiago, 10 y 11 de noviembre de 2010, División de Desarrollo Productivo y Empresarial, (LC/L.3355), 2011.
64. Determinantes de las tasas de reemplazo de pensiones de capitalización individual: escenarios latinoamericanos comparados, División de Desarrollo Social, (LC/L.3329-P), N° de venta: S.11.II.G.45 (US\$ 20.00), 2011.
63. Elementos para la consolidación de la Red nacional de cuidado de las personas adultas mayores en Costa Rica, División de Desarrollo Social, (LC/L.3323-P), N° de venta: S.11.II.G.42 (US\$ 20.00), 2011.
62. Taller sobre el fortalecimiento de las capacidades nacionales para la gestión de la migración internacional: “nuevas tendencias, nuevos asuntos, nuevos enfoques de cara al futuro”, Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE), División de Población, (LC/L.3299-P), N° de venta: S.11.II.G.20 (US\$ 20.00), 2011.
61. Las familias latinoamericanas interrogadas. Hacia la articulación del diagnóstico, la legislación y las políticas, División de Desarrollo Social, (LC/L.3296-P), N° de venta: S.11.II.G.17 (US\$ 20.00), 2011.
60. Los censos de 2010 y las condiciones de vida, Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE), División de Población, (LC/L.3282-P), N° de venta: S.11.II.G.7 (US\$ 20.00), 2011.
59. Los censos de 2010 y la salud, Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE), División de Población, (LC/L.3543), N° de venta: S.10.II.G.58 (US\$ 20.00), 2010.
58. Primer encuentro para la Réplica en Innovación Social: “La mediación, el secreto para prevenir la violencia escolar”, División de Desarrollo Social, (LC/L.3034-P), N° de venta: S.09.II.G.92 (US\$ 20.00), 2009.

-
- El lector interesado en adquirir números anteriores de esta serie puede solicitarlos dirigiendo su correspondencia a la Unidad de Distribución, CEPAL, Casilla 179-D, Santiago, Chile, Fax (562) 210 2069, correo electrónico: publications@cepal.org.

