

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 infrautilización.

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 pasaría 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 Sociales 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 BIOCOMBUSTIBLES
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 conómico 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	
Pertenencia (% 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 Botry Oococcus Braunii 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 Univesidad 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).