

**Diálogo de Políticas sobre desarrollo institucional e innovación en
biocombustibles en América Latina y el Caribe**

Santiago de Chile, 29 y 30 de marzo, 2011.

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

Este documento fue elaborado por Juan Benavides (coordinador del estudio), Profesor Asociado, Facultad de Administración, Universidad de los Andes, Colombia (jbenavid@uniandes.edu.co) y Ángela Cadena, Profesora Asociada, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Colombia (acadena@uniandes.edu.co). Este estudio fue encomendado y financiado por la FAO, Oficina de Santiago de Chile. El estudio se desarrolló en el marco de las actividades conjuntas desarrolladas por la FAO y la CEPAL en el tema de innovación en biocombustibles.

Los autores agradecen los comentarios de Alberto Saucedo, Guilherme Schuetz y Felipe Duhart (FAO); y Adrián Rodríguez, Octavio Sotomayor, Monica Rodrigues, Jean Acquatella y Sofia Boza (CEPAL) en los seminarios del 22 de marzo y 28 de mayo de 2010 en Santiago. También se agradece el apoyo de Miguel Almada (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina) y Elzbieta Bochno (Ministerio de Agricultura de Colombia).

El *Diálogo de políticas sobre desarrollo institucional e innovación en biocombustibles en América Latina y el Caribe* es organizado en el marco de la cooperación entre las divisiones de Desarrollo Productivo y Empresarial y de Recursos Naturales e Infraestructura de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), con el apoyo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo y de la GIZ.

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

Índice

RESUMEN.....	5
I. INTRODUCCIÓN	7
II. CARACTERÍSTICAS DE LAS ACTIVIDADES DE I&D+I EN BIOCOMBUSTIBLES.....	9
III. LA BAJA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS FOTOSINTÉTICOS NATURALES	15
IV. LA PRIMERA GENERACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES	17
V. LA DINÁMICA DE LA SIGUIENTE GENERACIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES.....	21
VI. BIOCOMBUSTIBLES Y ENERGÍA, I&D+I EN BIOCOMBUSTIBLES Y CAPITAL DE RIESGO EN AMÉRICA LATINA.....	27
A. BIOCOMBUSTIBLES Y ENERGÍA EN LOS PAÍSES DE AMÉRICA LATINA.....	27
B. I&D+I EN AMÉRICA LATINA.....	29
C. I&D AGRÍCOLA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	33
D. I&D+I Y OPORTUNIDADES DE NEGOCIOS EN BIOCOMBUSTIBLES EN ALGUNOS PAÍSES DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE ..	35
E. EL PAPEL DEL CAPITAL DE RIESGO EN LA INNOVACIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES	40
VII. PROPUESTA DE I&I+I EN REDES PARA BIOCOMBUSTIBLES EN AMÉRICA LATINA	43
A. REDES DE I&D+I EN BIOCOMBUSTIBLES	43
B. MEDIDAS TRANSVERSALES Y COMPLEMENTARIAS	46
1. <i>Apoyo a la creación de un nuevo orden energético</i>	<i>46</i>
2. <i>Políticas de precios, subsidios y financiación de los energéticos y del carbono</i>	<i>46</i>
3. <i>Política de desarrollo regional, y uso y restauración de suelos</i>	<i>47</i>
4. <i>Mayor y mejor uso de la biomasa en autogeneración eléctrica y producción de calor de proceso .</i>	<i>48</i>
5. <i>Líneas de investigación: identificar y priorizar</i>	<i>48</i>
6. <i>Desarrollo de capacidades en investigación básica en la siguiente generación de biocombustibles avanzados</i>	<i>49</i>
7. <i>Fomento al capital de riesgo y formación de escaleras de calidad en innovación</i>	<i>49</i>
BIBLIOGRAFÍA	51

Resumen

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

I. Introducción

Los biocombustibles no son una panacea para el autoabastecimiento energético, la reducción de la dependencia del petróleo o de emisión de gases de efecto invernadero. Achim Steiner, Subsecretario General de la Naciones Unidas, afirma en el prólogo del informe UNEP (2009): “la complejidad del tema de los biocombustibles indica que es improbable que los enfoques simplistas logren una industria sostenible ni que aporten al reto del cambio climático y la mejora de la calidad de vida de los agricultores.”

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

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

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

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

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

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

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

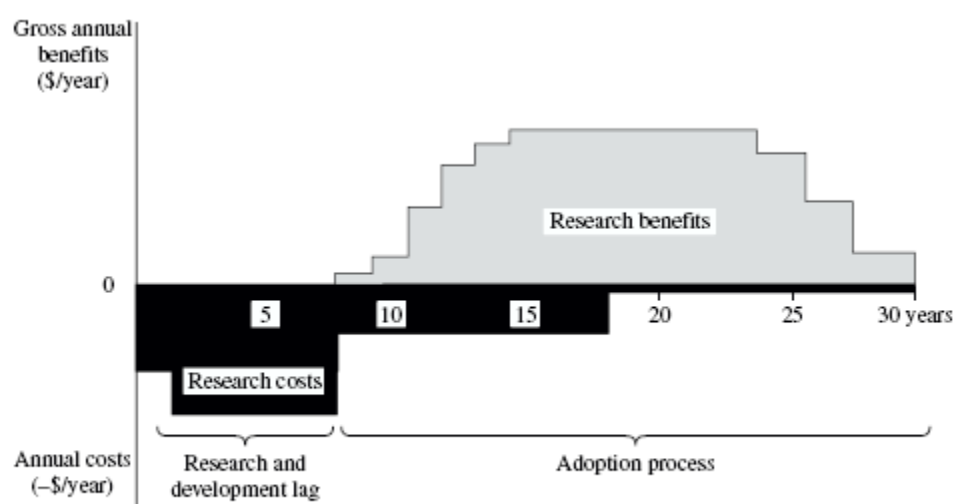
- La investigación *básica* incluye trabajos teóricos o experimentales orientados a adquirir nuevos conocimientos fundamentales sin búsqueda de aplicaciones particulares.
- La investigación *aplicada* es también original y se orienta a adquirir nuevos conocimientos, pero está motivada por alcanzar logros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

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

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

La Gráfica 1 representa esquemáticamente el perfil temporal de los flujos financieros de una investigación exitosa, que da lugar a una innovación específica; es decir, cuando la probabilidad de éxito del descubrimiento es 1 y cuando la probabilidad de que la innovación sea rentable de inmediato es 1. Este patrón en el que hay flujos negativos por un período considerable (alrededor de 7.5 años en la figura) antes de que aparezcan beneficios y con un ciclo de vida de 30 años para asegurar la rentabilidad, es difícilmente financiable con deuda comercial. Las fallas del mercado de financiación de innovación se pueden resolver con un esquema de financiación pública, con los aportes del capital de riesgo, o con financiación pública a investigadores cuya remuneración esté ligada a alguna medida de aplicabilidad del producto desarrollado.

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



Source: Alston, Norton, and Pardey 1995.

Fuente: Alston et al. (2000).

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

La innovación aparece por necesidad o por percepción de uso provechoso de un fenómeno natural; es costosa y riesgosa. La innovación *i* es un fenómeno social que depende de la existencia de una masa crítica de negocios e investigadores. Por tanto, es un fenómeno localizado: se produce en sitios diversos dinámicamente, concentrados e imperfectamente competitivos, gracias a las economías *externas*. Estas economías representan los beneficios o costos de una actividad que no afectan a quien la controla. La disponibilidad de mano de obra calificada y un ambiente de intercambio fluido de ideas son ejemplos de externalidades positivas que proveen las ciudades industrializadas grandes y densas. La congestión urbana es un ejemplo de externalidad negativa. Las economías externas que influyen en la generación de ideas y creación de nuevos negocios son de tipos muy variados: de Groot, Poot y Smit (2007) identifican las externalidades provenientes de la concentración industrial y la especialización; de la diversidad social y de sectores económicos; y de la intensidad de la

competencia. Este patrón de externalidades sugiere que la innovación en biocombustibles tiende (tendería) a acumularse en las grandes ciudades que fueron grandes centros agroindustriales en el pasado y que ahora son hubs financieros, de producción de conocimiento y de comunicaciones. Ese es el caso del desarrollo de la industria de los biocombustibles en el Estado de Sao Paulo, en Brasil.

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

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

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

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

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

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

En una escalera de calidad ya no se distingue entre innovadores *básicos* (proveedores de licencias) e innovadores *aplicados* (compradores de licencias). Cada mejorador estará inicialmente en la posición de establecido en el mercado que será eventualmente sustituido. En un modelo de mercado de ideas y libre entrada, es más probable que un rival del establecido produzca una nueva idea porque hay muchos rivales y sólo un establecido. Si las ideas son escasas, la divulgación incrementa la probabilidad de que en cada período aparezcan nuevas ideas por un rival. Dentro de un sistema de patentes y asumiendo que cada innovador establecido dura un período pero que una innovación infringe la patente, se puede establecer un sistema de licencias que hace que los ingresos totales de cada innovador (suma de las ganancias por sus ventas actuales y la fracción de las ganancias habilitadas por su innovación y embebidas en la siguiente innovación, representada en el valor de la licencia) puedan ser suficientes para superar los costos privados de innovación por período.

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

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

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

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

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

Un país sin potencial y sin necesidades estratégicas en biocombustibles, pero con capital humano y cultura emprendedora, podría convertirse en un productor de tecnologías en biocombustibles. En el otro extremo, un país con gran potencial de producción y necesidades de abastecimiento podría carecer de capacidades tecnológicas. Una red regional de trabajo en I&D podría generar oportunidades mutuamente convenientes para países con diferentes dotaciones y habilidades, como se propone en la sección 6.

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

III. La baja eficiencia de los procesos fotosintéticos naturales

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

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

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

$$Y = S \cdot \epsilon_l \cdot \epsilon_e \cdot \epsilon_p$$

Chrispeels y Sadava (2003) calculan la eficiencia global de un cultivo de trigo en Inglaterra. Partiendo de un presupuesto de energía solar de 5,000 MJ, se llega a 21 MJ de energía almacenada en los granos, debido a que $\epsilon_l = 0.7$, $\epsilon_e = 0.01$, y $\epsilon_p = 0.6$. Esto quiere decir que 1,500 MJ no se absorben por el cultivo, 3,465 MJ se pierden en forma de calor y 14 MJ se convierten en otras partes de la planta.¹ Si, a su vez, estos 21 MJ se usan para alimentar aves y producir carne, sólo llegan 0.21

¹ En el caso de los biocombustibles, el pasto varilla o aguja ("switchgrass"), que es uno de los cultivos más promisorios para el desarrollo de biocombustibles en latitudes templadas, la eficiencia de conversión de energía radiante en energía química (el producto $\epsilon_l \cdot \epsilon_e$) alcanza el 0.3%, mientras que algunas celdas solares pueden alcanzar el 42% de eficiencia (Krupp y Horn 2008).

MJ al consumo humano. Las eficiencias de conversión en materia orgánica en la planta, y de conversión de material vegetal en proteína por los animales se reflejan en mayores exigencias de área cultivada y en demanda de agua (como se ve más adelante, se pueden necesitar 1,000 toneladas de agua por cada tonelada de biomasa vegetal en algunos países).

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

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

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

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

IV. La primera generación de biocombustibles

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

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

También se ha pensado que la inversión en biocombustibles ayuda a la diversificación de las exportaciones. Esta diversificación tendría sentido si, como plantean algunos autores, el desarrollo económico de los países de ingresos bajos y medianos estuviera asociado a la diversificación, más que con la especialización (Imbs y Wacziarg 2003). El proceso de descubrimiento de un producto o proceso rentable que nunca se ha producido antes en un país se ha denominado *innovación dentro de la frontera* por parte de Hausmann y Rodrik (2003), y crea conocimiento social valioso. De acuerdo a estos autores, las firmas que imitan a la primera en innovar se benefician pero no pagan por la idea original. La imitación (no patentable) crea valor social pero significa que los primeros innovadores no se pueden apropiar de todos los beneficios creados por sus inversiones. Esto puede conducir a subinversión por parte de los emprendedores, reduciendo el proceso de diversificación, creando una falla de mercado en innovación. Klinger y Kederman (2009) plantean que la habilidad de apropiar los retornos por el descubrimiento inicial depende en parte de las barreras a la entrada del negocio. Si las barreras son muy altas, habrá muy pocos imitadores para capturar el valor del descubrimiento. Si las barreras son muy bajas, los imitadores se copiarán del descubrimiento pionero, reduciendo los incentivos monetarios a los descubrimientos y la frecuencia de los mismos.

En el caso de los biocombustibles, los beneficios de la diversificación de exportaciones han sido claros en Brasil, por la determinación de apoyar públicamente la cadena I&D+i (eliminando de esta forma la falla de mercado en innovación), logrando mejoras en producción de caña de azúcar y de etanol, aprovechando ventajas comparativas y un mercado doméstico de gran tamaño que podía

absorber la producción en el sector de transporte y lograr la escala suficiente para exportar etanol. Durante largo tiempo, la frecuencia de las innovaciones en cultivos de caña de azúcar y en mejoras de conversión y uso del etanol fue baja, pero recibe ahora un nuevo empuje por la presencia de capitales de riesgo que se benefician de la inversión pública sostenida.

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

Algunos ejemplos ilustran las preocupaciones mencionadas:

- La asociación Friends of Earth estima que el 87% de la deforestación en Malasia entre 1985 y 2000 fue causada por nuevos cultivos de palma de aceite (Krupp y Horn 2008).
- Indonesia inició la producción masiva de biodiesel a partir de palma de aceite con base en cambio en el uso del suelo. Los productores han logrado resultados positivos por el alto rendimiento privado, pero los daños ambientales (destrucción de hábitat selvático y reducción de la población de especies endémicas y emblemáticas, como el orangután; incremento neto de las emisiones de gases efecto invernadero) y efectos sociales (desplazamiento de poblaciones, concentración de la propiedad rural) han levantado las alarmas en Europa, región que más ha impulsado la producción de biodiesel por motivos ambientales, y que desea que la producción de efectúe en condiciones estrictas de responsabilidad social y ambiental.
- La cantidad de tierra requerida para producir biomasa que reemplace cantidades significativas de petróleo es gigantesca (Krupp y Horn 2008). Los Estados Unidos consumen 140 mil millones galones de gasolina y 40 mil millones galones de diesel cada año. Si se convirtiera toda la soya cultivada en Estados Unidos en biodiesel, se cubriría tan solo el 6% de la demanda de diesel. Además, aumentaría la presión sobre la producción en Brasil, donde se están aclarando cada año grandes extensiones de selva tropical para sembrar soya de exportación. Para reemplazar el 30% de la gasolina consumida en Estados Unidos con etanol de pasto varilla (o aguja), se requerirían 200 millones de acres, equivalentes a la mitad del área cultivada en Estados Unidos (Zygourakis 2007, citado por Krupp y Horn 2008). En 2006, el 20% del maíz producido en Estados Unidos se convirtió en etanol, logrando reemplazar sólo el 3.5% de la demanda de gasolina.
- La OECD (2007) ha solicitado eliminar todos los subsidios a los biocombustibles, argumentando que la ausencia de precios adecuados por los servicios ambientales prestados por bosques, humedales y suelos de sabana generan poderosos incentivos para convertirlos en cultivos comerciales para la producción de biocombustibles. La OECD plantea la necesidad de establecer un impuesto al carbono que sea neutral tecnológicamente, para que el mercado elija las tecnologías más aptas para la reducción de emisiones, a cambio de su selección por cabildeo, como sucede con el etanol producido con maíz subsidiado en Estados Unidos. Las ventajas y desventajas de un sistema de impuestos en comparación de un sistema de “cap-and-trade” se discuten en la sección 6.
- Mendonça (2009) discute los impactos de la producción de biocombustibles en el Cerrado (Brasil). El Cerrado es una vasta región que incluye las cuencas hidrográficas de

los ríos Amazonas, Paraguay y San Francisco. Cubre un área de 2 millones de km² entre la selva del Amazonas, la selva Atlántica, el Pantanal y el Caatinga, incluyendo los estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, el Distrito Federal, Tocantins, la parte sur de Maranhão, la parte occidental de Bahia, y parte de Sao Paulo. En 2009 se esperaba una inversión de USD 14.6 mil millones durante 5 años para construir 73 molinos de azúcar en la región Sur Central. La autora cita un estudio de la Universidad de Dakota del Sur en el que se estima que la deforestación en Brasil representa el 47.8% de la deforestación mundial de bosques tropicales entre 2000 y 2005. La autora también cita un estudio del INPE que calcula que durante los próximos 20 años desaparecerá una hectárea de selva cada 10 segundos en Brasil. Del total de 4 millones de hectáreas originales, cerca de 700,000 ya han sido deforestadas. A la actual velocidad de deforestación, 670,000 hectáreas adicionales se deforestarían hacia el año 2030. Los problemas se complican por la ausencia de titulación de tierras, que permite la apropiación fraudulenta de tierras públicas y su uso depredador. Una parte del área deforestada ha sido sembrada con caña de azúcar. La contaminación local por la quema de la caña de azúcar es muy alta.

- La demanda de agua para la producción de biocombustibles puede competir localmente con el suministro de agua potable y el agua para producción de alimentos. Cerca de 1,200 millones de personas no tienen acceso a agua potable y aproximadamente el 40% de la humanidad no tiene agua para saneamiento básico (IWMI 2007). Para producir un galón de etanol en Iowa se requieren entre 1,081 y 1,121 galones de agua (Al-Kaisi 2000). En general, bajo los estándares de producción de etanol de primera generación, la biomasa requerida para producir un litro de biocombustibles evapora entre 1,000 y 3,500 litros (IWMI 2007). De continuar la tendencia de producción de biocombustibles sin cambio tecnológico, la superficie usada para producir biocombustibles se triplicaría y al agua consumida representaría el 5% del agua total usada para irrigación (IWMI 2007).
- Según UNEP (2009), en el pasado la producción agrícola creció más rápido que la población. Esta tendencia puede ser menos favorable en el futuro porque el rendimiento promedio puede compensar el crecimiento de la población pero no la creciente demanda de alimentos de origen animal. Entre 2000 y 2030, la población mundial crecería un 36%, tasa similar al crecimiento del rendimiento de los cultivos. Sin embargo, la demanda alimenticia está cambiando hacia una dieta con mayor participación de alimentos de origen animal, especialmente en los países en desarrollo. El estudio de la UNEP (2009) menciona que la FAO estima que el consumo per cápita de carne se incrementará en 22% entre 2000 y 2030, el de leche en 11% y el de aceites vegetales en un 45% en ese mismo período. En estas circunstancias, UNEP (2009) plantea que la expansión de tierra cultivada debería orientarse solo a alimentar la población mundial.

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

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

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

V. La dinámica de la siguiente generación de los biocombustibles

La siguiente generación de biocombustibles incluye la producción de energía por combustión directa de residuos de biomasa sin pasar por líquidos y combustibles a partir de fuentes no alimenticias en tierras “marginales”, tales como alcohol celulósico y de biodiesel a partir de las algas. La siguiente generación podría llamarse con propiedad “siguiente generación de bioenergía.” Esta generación es altamente intensiva en innovación tecnológica y su dinámica depende de economías de aglomeración (como las existentes en Silicon Valley para tecnologías de información, comunicaciones y computación) en investigación y emprendimiento, amplios fondos públicos para investigación básica y aplicada, la existencia de un vigoroso sector privado que use los instrumentos del capital de riesgo y tradiciones en defensa de derechos de propiedad intelectual a través del sistema de patentes.

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

Las algas son unas de las plantas de mayor crecimiento de biomasa, y aproximadamente el 50% de su peso es aceite.² De los triglicéridos contenidos en los aceites de las algas se puede obtener biodiesel con la misma tecnología de segunda generación, mediante transesterificación y pirólisis. Las

² Las macroalgas son algas marinas visibles, unicelulares o pluricelulares. Las microalgas son algas marinas que alcanzan tamaños entre los micrones hasta los micrómetros; son responsables de la mitad de la fotosíntesis realizada en la Tierra; se han descrito 40,000 especies de microalgas (CNE 2009a).

algas podrían producir más de 2,000 galones de aceite por acre por año, en comparación con los rendimientos de la palma de aceite (650 galones por acre por año), la caña de azúcar (450 galones por acre por año), el maíz (250 galones por acre por año) y la soya (50 galones por acre por año); ver Exxon Mobil (2009). Además de no competir con alimentos por suelo ni insumos, su cultivo no necesita agua limpia para su proceso, puede requerir muy poca agua fresca y su consumo no añade emisiones de gases de efecto invernadero. La agencia estatal británica Carbon Trust, que promueve las tecnologías bajas en carbono, pronostica que los biocombustibles de algas podrían reemplazar más de 70 mil millones de galones de combustibles fósiles por año a nivel mundial en el año 2030, que equivalen al 12% del consumo total de gasolina de avión o el 6% del consumo total de diesel en vehículos terrestres.

La *Jatropha curcas* (jatropha) es un arbusto originario de América Central, cuyas semillas contienen aproximadamente un 30-35% de aceite no comestible. Es resistente a la sequía y puede sobrevivir con precipitaciones anuales inferiores a 300 mm. Se ha usado tradicionalmente para construir vallas y en la producción de aceites para lámparas, jabones y en aplicaciones medicinales (GEXSI 2008). La jatropha produce aceites de alta calidad para motores de carros y jets. Tiene un potencial de producción de 2 toneladas por hectárea al año, puede crecer en terrenos de baja calidad que no son aptos para la producción de alimentos y en regiones semiáridas que no son aptas para el cultivo de la palma de aceite. Se puede plantar en los bordes de las propiedades, ofreciendo oportunidades de ingresos adicionales a pequeños propietarios. Es una especie apta para usarse en policultivos. Es todavía una especie sin domesticar y su producción es altamente intensiva en mano de obra, lo que puede limitar su productividad (Zelt 2010).

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

Avances en recolección y tratamiento de algas (Inc. 2010). Las algas deben secarse completamente para poder utilizarlas como combustible. El método de secado más común es la centrifugación: costoso, ineficiente y muchas veces dañino con las partículas de las plantas. Algae Ventures Systems, firma de capital de riesgo fundada en 2008, ha desarrollado un sistema de secado basado en ósmosis y otros procesos naturales. Después de que la solución con algas se dispone en el colector, una pantalla móvil jala las partículas en una dirección a medida que la banda transportadora jala el agua en la dirección contraria. La delgada placa de algas se termina de secar por evaporación natural y con calefacción eléctrica. Las hojuelas resultantes se pueden usar como alimento o para producir combustible. Este proyecto emprendedor recibió una donación del Departamento de Energía de Estados Unidos por US 5.9 millones y logró su primera venta en 2009. El colector puede procesar 500 litros de solución de algas por hora a un costo de US 2 por tonelada de algas en comparación con US 3,400 por tonelada usando una centrifugadora.

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

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

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

La firma Cobalt Biofuels ha enfrentado el reto de la producción continua de biobutanol, logrando fermentaciones continuas de 1,000 horas. Su tecnología logra manejar el problema de que la bacteria mencionada se envenena con el butanol que produce cuando la concentración alcanza el 6%. Cobalt Biofuels se ha especializado en diseñar genéticamente y elegir las mejores cepas de la bacteria para aumentar la continuidad de la fermentación. Esperaba construir una planta piloto entre 10,000-35,000 galones al año 2009 y una planta de demostración a escala entre 2 y 10 millones de galones al año entre 2010 y 2011, para luego construir una planta comercial en 2012, con la expectativa de suplir el mercado químico y el transporte.

La firma Green Biologics está apostando a crear una plataforma microbiológica amplia de manejo de diferentes materias básicas (melazas, celulosas de variado origen), con el fin de poder conmutar de insumos en respuesta a su disponibilidad y a las fluctuaciones del precio del petróleo, el principal factor de impacto en la viabilidad de la producción de biobutanol. Green Biologics ofrece nuevos diseños de plantas que combinan tecnologías existentes con tecnología microbiológica avanzada. La firma Gevo se enfoca en producir únicamente isobutanol, usando un proceso patentado (GIFT) que requirió la adquisición de una licencia exclusiva sobre una variedad de la bacteria *E. coli*, obtenida por la Universidad de California en Los Angeles. Como la mayoría de firmas nacientes, Gevo apuesta a combinar tecnologías avanzadas en genética con producción en plantas convencionales de etanol. Gevo afirma que su tecnología requiere menos de USD 0.30 /galón en reconversión de plantas de etanol y que el costo de producción puede ser la mitad del costo de los procesos petroquímicos convencionales de producción de isobutanol.

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

La alianza de Synthetic Genomics, Inc. y Exxon Mobil en biocombustibles de algas (Guardian 2009); la alianza de royal dutch shell con emprendimientos nacientes (ICIS Chemical Business 2009b). Craig Venter, genetista líder de uno de los equipos que trabajó en la secuenciación del genoma humano y líder del equipo que ha creado recientemente la primera célula bacteriana viva con un genoma sintético (Gibson 2010), formó en 2009 una alianza de su firma Synthetic Genomics, Inc. con Exxon Mobil para invertir USD 600 millones en la producción de biocombustibles a partir de algas. Synthetic Genomics, Inc., incluye dentro de su equipo directivo a H. Smith, Premio Nobel de Química en 1978. El objetivo de la alianza es producir combustibles que puedan usarse directamente en carros y aviones, sin modificación de los motores. Venter afirma que el reto de crear combustibles de la siguiente generación es la habilidad de producir grandes volúmenes, lo que requiere la

participación y financiación de la industria petrolera. Venter afirma también que la combinación de investigadores de las grandes firmas petroleras y genetistas mejora la probabilidad de éxito de los biocombustibles. La alianza construirá una instalación de prueba en San Diego (CA), donde se ensayarán diferentes modalidades de crecimiento y optimización de algas. Venter ha investigado el potencial de los microbios oceánicos en búsqueda de bacterias con buenas propiedades ambientales; ha encontrado bacterias que pueden convertir CO₂ en metano (que podrían usarse para producir combustibles de los gases provenientes de la combustión en plantas termoeléctricas) y otras bacterias que pueden convertir carbón en gas natural, ampliamente reconocido como un energético de transición hacia una economía menos dependiente de los hidrocarburos.

En 2009, Royal Dutch Shell decidió enfocar su estrategia de energías renovables en el campo de los biocombustibles (ICIS Chemical Business 2009b). Esta firma ha establecido alianzas con compañías de biotecnología tales como Iogen (Canadá) y Codexis (Estados Unidos) para desarrollar etanol celulósico; con Choren Industries (Alemania) para la producción de biodiesel; con Virent Energy Systems (Estados Unidos) para desarrollar gasolina a partir de biomasa; y ha formado una nueva firma conjuntamente con HR Biopetroleum (Estados Unidos; instalada en Hawaii) para producir combustible a partir de algas. Shell afirma que le tomará entre 5 y 10 años producir biocombustibles avanzados en volúmenes comerciales. Shell ha adoptado un enfoque de portafolio en diferentes tecnologías y países, asumiendo que algunas de las tecnologías serán exitosas y otras no. Shell afirma que en la actualidad es el mayor distribuidor global de biocombustibles convencionales, con 6,000 millones de litros distribuidos en 2008.

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

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

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

Concursos para fomentar la asociatividad académica en biocombustibles: el caso británico (The University of Sheffield Media Centre 2010a; 2010b). Carbon Trust (ya mencionado) anunció en marzo de 2010 la selección de un equipo de 11 universidades británicas con 70 expertos, que ganó entre 80 propuestas el concurso para encontrar una fórmula comercialmente viable que ayude a producir 70 mil millones de litros anuales de biodiesel a partir de algas en 2030. El equipo ganador revisará miles de cepas de algas y desarrollará plantas piloto. La Universidad de Sheffield, parte del equipo seleccionado, ha ganado la medalla Moulton de la Institución de Ingenieros Químicos por adaptar un biorreactor que reduce los costos de energía de producción de biocombustibles, que se está ensayando en el tratamiento de aguas residuales por parte de la compañía Yorkshire Water.

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

A. Biocombustibles y energía en los países de América Latina

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

- *Dimensión económica.* Esta dimensión comprende los ejes energético, agrícola, de estructura industrial, macroeconómico y tecnológico. Los biocombustibles deben evaluarse por su aporte a la independencia energética, y la diversificación y el ahorro energéticos. Debe examinarse también si el balance neto de producción energético es positivo, examinado en todo el ciclo de vida del combustible (producción de biomasa, transformación y consumo). Debe analizarse la competencia por el uso del suelo entre cultivos destinados a la producción de biocombustibles, la producción de alimentos o fibras (agricultura, ganadería, silvicultura) y la conservación. El estudio plantea que los biocombustibles son una oportunidad para la diversificación de la agricultura. En cuanto a la estructura de industria de transformación, se anota que la producción de etanol tiende a la integración vertical con los cultivos y a estar sujeta a economías de escala en producción, mientras que la producción de biodiesel puede en principio efectuarse con plantas modulares. La producción de biocombustibles puede tener impactos fiscales por las exenciones de impuestos y otorgamiento de subsidios a los productores de materia prima y producto final. Los costos de estas distorsiones deberían balancearse por los efectos en la balanza de pagos y comercial. El conocimiento acumulado en desarrollo de materias primas y procesos de transformación, especialmente en países sin ventajas comparativas para la producción de biocombustibles de primera generación se convierte en un importante factor para decidir si invertir en investigación y desarrollo orientados a segunda y tercera generación.
- *Dimensión ambiental.* Comprende la reducción de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, y el uso de los recursos naturales. El uso de fertilizantes, pesticidas y

combustibles fósiles en todo el proceso de producción y transformación de biocombustibles, así como las liberaciones netas de carbono por cambio de uso del suelo pueden tener un balance negativo sobre la emisión de gases de efecto invernadero. El impacto sobre la calidad ambiental (contaminación de agua y aire) es también ambiguo y depende de cada caso concreto. El uso intensivo del suelo y del agua, y el impacto de los monocultivos sobre la biodiversidad pueden ser nocivos y pueden estar estimulados por la ausencia de cobros por servicios ambientales. La rotación de cultivos y la agricultura orgánica y de bajo impacto en arado pueden ser las soluciones sostenibles en algunas regiones, pero las presiones comerciales pueden conducir al deterioro de los ecosistemas.

- *Dimensión social.* Comprende la seguridad alimentaria, el empleo y la distribución del ingreso, y el desarrollo local. La introducción de cultivos para producción de biocombustibles puede competir en el corto y mediano plazo con la producción de alimentos. Los incrementos y la volatilidad de los precios tienen un impacto negativo, especialmente sobre los sectores de menores ingresos. Hay que tener en cuenta que, en evaluación económica de proyectos, el empleo es siempre un costo (a menos que haya desempleo crónico) porque desplaza recursos laborales de actividades existentes a nuevas. La concentración de la propiedad que puede requerirse para lograr economías de escala puede crear conflictos sociales. Las tierras marginales, a menos que sean parte de un proceso de construcción de suelo con rotación de cultivos, necesitarán tarde o temprano la adición de fertilizantes para sostener la producción de tipo comercial intensiva.

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

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

- *Situación 6.* México: exportador de petróleo, alto consumo de energía per cápita, importador moderado de alimentos, moderados requerimientos de tierras para producir biocombustibles.
- *Situación 7.* Paraguay: importador de petróleo, bajo nivel de consumo de energía per cápita, exportador de alimentos, bajos requerimientos de tierras para producir biodiesel.
- *Situación 8.* Chile y Uruguay: importadores de petróleo y gas que buscan la independencia energética, moderado consumo de energía per cápita, moderados o altos requerimientos de tierras para producir biodiesel, producción forestal importante.
- *Situación 9.* Argentina: autosuficiencia en hidrocarburos, alto consumo de energía per cápita, fuerte exportador de alimentos, fuerte productor de soya y aceite vegetal, bajo requerimientos de tierras para producir biodiesel, alto nivel tecnológico en cultivos y procesos.

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

- La competencia por el suelo y el agua entre biocombustibles y alimentos.
- El aumento de la penetración del gas natural a nivel internacional en el corto plazo, dadas las inmensas reservas de gas no convencional encontradas recientemente en muchas regiones del mundo (ver New York Times 2009; The Economist 2010). El gas no-convencional de tipo “shale” tiene a su disposición nuevas tecnologías de exploración, perforación y extracción a costos que fluctúan alrededor de los precios de mercado observados. Estados Unidos tendría gas no convencional para cubrir 100 años de su demanda doméstica del gas natural. El precio del gas natural se formará a nivel regional y se desacoplará por un largo tiempo del precio de petróleo, teniendo el precio de sus sustitutos locales como techo.
- La penetración de otras energías renovables (eólica, fotovoltaica, solar térmica, geotérmica) y de los biocombustibles de segunda y tercera generación (alcohol celulósico, biodiesel a partir de *jatropha* y algas) en el mediano plazo.

B. I&D+I en América Latina

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

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

TABLA 1.
SOLICITUDES DE PATENTES POR NACIONALES EN PAÍSES SELECCIONADOS

PAÍS	AÑO
	2008
Argentina	899 (1999)
Bolivia, R. P. de	-
Brasil	3.810 (2006)
Chile	291 (2006)
China	194.579
Colombia	121 (2007)
Costa Rica	-
Ecuador	-
Guatemala	5
Honduras	-
India	5.314 (2006)
Israel	1.528
Jamaica	-
México	685
Nicaragua	-
Panamá	-
Perú	31
España	3.632
Inglaterra	16.523
Estados Unidos	231.588
Uruguay	33
Venezuela, R. B. de	-

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

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

TABLA 2.
NÚMERO DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS Y TÉCNICOS PUBLICADO EN PAÍSES
SELECCIONADOS

PAÍS	AÑO
	2005
Argentina	3.058
Bolivia, R. P. de	-
Brasil	9.889
Chile	1.559
China	41.596
Colombia	400
Costa Rica	105
Ecuador	-
Guatemala	-
Honduras	-
India	14.608
Israel	6.309
Jamaica	-
México	3.902
Nicaragua	-
Panamá	-
Perú	133
España	18.336
Inglaterra	45.572
Estados Unidos	205.320
Uruguay	204
Venezuela, R. B. de	534

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

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

TABLA 3.
INVERSIÓN EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO COMO PORCENTAJE DEL PIB EN
PAÍSES SELECCIONADOS

PAÍS	AÑO	
	2005	2006
Argentina	0,4608	0,4942
Bolivia, R. P. de	-	-
Brasil	0,9689	1,0232
Chile	-	-
China	1,3325	1,4171
Colombia	0,1823	0,1830
Costa Rica	-	-
Ecuador	-	0,1454
Guatemala	0,0349	0,0494
Honduras	-	-
India	0,8037	0,7946
Israel	4,509	4,5342
Jamaica	-	-
México	0,5042	-
Nicaragua	-	-
Panamá	0,2452	-
Paraguay	0,0892	-
Perú	-	-
España	1,1262	1,1203
Inglaterra	1,7685	1,7987
Estados Unidos	2,6122	2,6486
Uruguay	-	0,3612

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

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

TABLA 4.
NÚMERO DE INVESTIGADORES QUE TRABAJAN EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
POR MILLÓN DE HABITANTES EN PAÍSES SELECCIONADOS

PAÍS	AÑO	
	2005	2006
Argentina	822,8	896,0
Bolivia, R. P. de	-	-
Brasil	588,0	628,7
Chile	-	-
China	852,5	926,6
Colombia	116,1	151,3
Costa Rica	121,7	-
Ecuador	-	74,6
Guatemala	30,5	24,9
India	136,9	-
México	459,5	-
Nicaragua	-	-
Panamá	-	-
España	2548,1	2657,2
Inglaterra	2896,7	2909,0
Estados Unidos	4584,4	4663,3

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

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

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

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

Las cifras antes presentadas sirven para calificar el entorno general de I&D de la región y la presencia de aglomeraciones y masa crítica investigativa en los países, que son útiles para formarse una opinión sobre los potenciales de la investigación en siguiente generación de biocombustibles. Estas cifras deben compararse con indicadores más enfocados de I&D del sector agrícola, que son útiles para examinar el potencial de emprender investigaciones en biocombustibles de primera generación.

Stads y Beintema (2009) compilaron cifras sobre capacidades e inversión agrícola pública en 15 países de América Latina y el Caribe. Estos autores confirman que los sistemas de I&D

agropecuario de la región son muy diversos. En general, las agencias gubernamentales realizan la mayoría de la I&D agropecuario público. En los países de la muestra, el sector gubernamental empleaba en 2006 al 61% del personal de I&D agropecuario, mientras que el sector educativo superior empleaba al 35% y las organizaciones sin ánimo de lucro al 4%. A pesar del gran número de universidades dedicadas a la I&D agropecuaria en la región, la capacidad individual de la mayoría de estas, en términos de investigadores equivalentes de tiempo completo, es reducida.

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

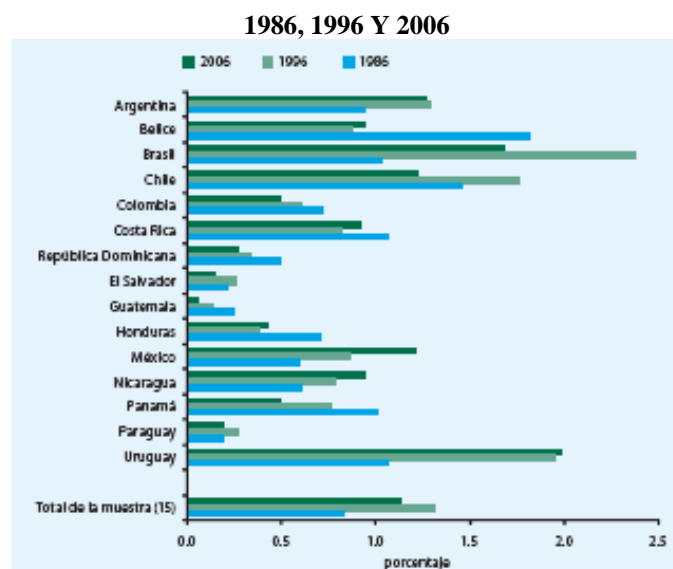
TABLA 5.
GASTO PÚBLICO EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA PÚBLICA 1981-2006

País	Gasto total				Tasa de crecimiento anual (%)			
	1981	1991	2001	2006	1981-91	1991-2001	2001-06	1981-2006
	(Millones de dólares PPP de 2005)				(Porcentaje)			
Argentina	202,7	199,0	221,9	448,6	2,57	1,33	16,01	2,97
Bolivia	1,0	2,3	2,3	2,6	2,50	1,33	2,38	1,92
Brasil	1.005,4	1.432,5	1.194,9	1.224,1	2,99	-1,63	-0,66	0,58
Chile	58,2	65,6	124,3	96,1	5,54	6,71	-4,63	3,41
Colombia	104,0	135,0	176,3	152,4	3,73	3,92	-3,75	0,41
Costa Rica	13,4	20,9	26,7	29,9	-0,49	1,07	2,82	3,04
República Dominicana	14,8	12,2	14,6	17,4	-1,99	1,83	4,17	-0,23
El Salvador	13,5	10,5	6,0	5,7	-2,27	-5,48	-3,32	-4,23
Guatemala	21,4	11,4	9,0	8,3	-1,43	-4,70	-2,04	-3,82
Honduras	5,5	15,8	13,0	11,0	14,60	0,68	-2,94	1,62
México	517,6	369,2	437,0	517,6	-3,20	0,85	2,98	0,84
Nicaragua	11,6	14,6	22,5	24,1	1,28	4,03	-2,27	2,62
Panamá	10,1	12,6	10,5	10,0	1,35	-0,68	-0,98	-0,92
Paraguay	2,8	3,4	2,6	3,1	-6,53	-3,41	1,54	-0,34
Uruguay	17,6	28,5	41,8	59,8	8,30	0,80	9,71	4,94
Total de la muestra (15)	1.999,7	2.333,6	2.303,5	2.614,5	1,79	-0,12	2,56	0,99
Total (26)	2.274,7	2.697,5	2.702,9	2.983,7	1,86	0,02	2,14	1,05

Fuente: Stads y Beintema (2009).

La Gráfica 2 muestra los ratios de intensidad de la investigación (inversión en I&D agrícola como porcentaje del PIB agropecuario), que da una medida del compromiso público con el sector y con la competitividad (Stads y Beintema 2009). En 2006, los 15 países de la muestra invirtieron en promedio 1.14 dólares en I&D agropecuario por cada 100 dólares de valor agregado agrícola. Este promedio es inferior al porcentaje comparable de 1996, que fue 1.31%.

GRÁFICA 2.
RATIOS DE INTENSIDAD DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA PÚBLICA



Fuente: Stads y Beintema (2009).

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

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

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

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

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

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

Hay dos rutas para reducir la brecha en I&D+i en biocombustibles con respecto a los países desarrollados. La primera es aumentar la inversión pública en cada país y trabajar en proyectos independientes por país. La segunda es la crear redes de colaboración en torno a programas comunes de innovación y desarrollo en temas básicos a nivel internacional que apoyen a la innovación local, que se desarrolla en la sección 6 como estrategia regional. La propuesta de crear redes expande a nivel de cooperación internacional y a la integración de la I&D y la i, los principios metodológicos del estudio y gerencia de los llamados Sistemas de Innovación Tecnológica (SIT), apropiados para tecnologías en estado inicial. Un SIT es “una red social conformada por actores e instituciones, construida alrededor de una tecnología específica” (Suurs y Kekkert 2009). El rasgo distintivo es el carácter enfocado y la necesidad de que los gobiernos financien los investigadores asociados a las redes propuestas.

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

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

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

El emprendimiento local ALS Bioenergías tiene un acuerdo técnico y comercial con Dow Chemical Cono Sur para producir 60,000 toneladas anuales de biodiesel con insumos flexibles (aceite de soya, aceites usados, grasas animales, algas, aceites crudos de girasol y colza y la salicornia o espárrago de mar; iEco Clarín 2010). Las plantas de ALS son modulares, lo que permite la producción comercial en pequeña escala. Esta es una innovación importante en la producción de biocombustibles

de siguiente generación. El objetivo de ALS y Dow es vender plantas llave en mano para la región. A su vez, Dow tiene los ojos puestos en las algas, dado su gran potencial no sólo en la producción de combustibles, sino en toda la industria química y la presencia de 4 de sus plantas en la región de Bahía Blanca.

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

Por su parte, la firma argentina Biocombustibles Chubut produce pequeñas cantidades de diesel a partir de aceite de microalgas (iEco Clarín 2010), pero ha logrado pasar rápidamente a la materialización de negocios por el éxito de sus aplicaciones demostrativas; ha firmado un convenio con EADS, el consorcio dueño de Airbus y Eurocopter, para suministrar el combustible a 50 helicópteros. Además, en la feria de aviación de Berlín de junio de 2010, un avión de Airbus realizó un vuelo de prueba con combustible producido con 18 variedades de algas por esta compañía (NextFuel 2010). Esta firma planea invertir en Sao Paulo (Brasil), con el fin de producir combustible para aviación, aprovechando que EADS fabrica los aviones de la fuerza aérea brasileña. Biocombustible Chubut ha firmado una carta de intención con Oil Fox y la provincia de Buenos Aires con la intención de producir 10 toneladas diarias de biodiesel de algas.

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

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

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

El sector público lleva décadas invirtiendo consistentemente en mejora genética de semillas a través de EMBRAPA y mejoras en uso del suelo de sabana (se cultivan 500 variedades de caña en Brasil; cerca de 24 grupos de investigación están trabajando en la identificación de genomas de la caña (Macedo (ed.) 2007). El estado también dio claras indicaciones de política energética con el diseño de programas de producción de alcohol carburante para reducir las importaciones de petróleo, liderados a partir de 1975 por Pro Álcool. Como resultado de estos esfuerzos continuos por más de

tres décadas, Brasil tiene la tecnología de producción de alcohol de caña más eficiente del mundo. La productividad de la producción de bioetanol ha crecido 3.77% anualmente desde 1975; la productividad promedio actual es de 9,000 litros por hectárea (Goldemberg 2008).

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

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

El dinamismo de la inversión en biocombustibles en Brasil destaca a nivel mundial. Durante 2009, se invirtieron USD 8,737 millones en 81 proyectos repartidos en 18 países en las áreas de tecnologías de procesamiento y desarrollo de materias primas. El país donde más se invirtió fue Brasil, con un total de USD 3,454 millones, y la inversión individual más grande estuvo a cargo de Petrobras. Esta firma invirtió USD 2,800 millones para expandir su capacidad de producción de biocombustibles de primera generación (Biofuels Digest 2010). En 2009 también, BP anunció que abandonaba su producción en jatropha en Estados Unidos, concentrándose en etanol en Brasil y en biomasa de siguiente generación en Estados Unidos. Las inversiones de BP en plantaciones de caña de azúcar y producción de etanol ascienden a USD 1,000 millones, por intermedio de su subsidiaria BP Biofuels Brasil (Green Momentum 2009).

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

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

La importancia que se otorga a la producción de biocombustibles de siguiente generación se refleja en el esmerado esfuerzo de prospección de la Comisión Nacional de Energía (CNE) en la generación de energía a través de microalgas (CNE 2009a) y macroalgas (CNE 2009b). Estos dos estudios de vigilancia tecnológica (basados en el seguimiento del estado de las patentes) revisan el estado del arte, las variedades disponibles, las modificaciones genéticas necesarias para la producción

de energía, el estado de las patentes y herramientas para movilizar la escalera de innovación, las tecnologías, los sistemas de cultivo, los procesos biotecnológicos basados en enzimas o microorganismos para mejorar el rendimiento de los cultivos y la conversión de los productos en energía.

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

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

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

Los beneficios de obligar a los contribuyentes a subsidiar a una industria protegida sin que existan presiones de abastecimiento o altos niveles absolutos o per cápita de emisión de gases invernadero, son difíciles de justificar. Para insertarse en el mercado mundial de biocombustibles, Colombia enfrenta el dilema de mejorar su productividad y reducir los factores de geografía económica que inhiben la rentabilidad de los actuales cultivos, como los costos logísticos no competitivos. Las barreras impuestas para proteger la industria no se usan para ganar tiempo e invertir

en investigación y desarrollo. Existe una amplia frontera por desarrollar (Orinoquia), de varios millones de hectáreas potenciales para cultivos, pero no se han desarrollado y confirmado las tecnologías propias para la gestión sostenible de una región con un ciclo hidrológico complejo y baja fertilidad (similar en algunos sentidos al Cerrado brasileño).

Otros países. Un pequeño apartado sobre otros países (e.g. México, Perú, talvez Costa Rica).

E. El papel del capital de riesgo en la innovación de los biocombustibles³

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

El capital de riesgo tiene un ambiente propicio para crecer en *economías emprendedoras*, que tienen cuatro características (Baumol, Litan y Schramm 2007): (i) *facilidad de iniciar y hacer crecer un negocio*, que incluye los bajos costos de iniciar y registrar un negocio, la flexibilidad de contratación laboral, una legislación y una cultura de bancarrota benévolas (que no castigue financieramente ni estigmatice socialmente a quienes entren en ése régimen) y el acceso a la financiación; (ii) *remuneración adecuada al emprendimiento productivo* (innovativo y replicativo), que ocurre cuando rige el imperio de la ley y los contratos se cumplen, los impuestos no son onerosos, la regulación es apropiada, existen mecanismos efectivos de remuneración de la innovación (dando algún grado de exclusividad sobre los ingresos generados por un invento), la investigación y desarrollo es apoyada por el gobierno, las universidades comercializan sus inventos y el emprendimiento imitativo es bienvenido (tal como lo hicieron en su momento algunas economías asiáticas); (iii) *desincentivo a la caza de rentas*, que incluye la inversión improductiva en actividades ilegales -la corrupción y el soborno- y legales -proteccionismo, preferencias tributarias-; (iv) *presión permanente sobre los ganadores*,⁴ con el fin de evitar que se conviertan en monopolistas y bloqueen la entrada a nuevos jugadores; incluye la existencia de leyes de defensa de la competencia y la bienvenida a la inversión y el comercio internacional.

La Tabla 7 presenta las calificaciones que la Asociación Latinoamericana de Capital de Riesgo (LAVCA 2010) otorga a países seleccionados de la región y el porcentaje de negocios de capital de riesgo y capital privado como porcentaje del PIB. Este indicador mide la respuesta del emprendimiento al clima para este tipo de negocios.

³ Este apartado se basa en Benavides (2009).

⁴ Las economías emprendedoras deben asegurar que las firmas apuesten a permanecer en un juego en el cual el éxito de cada jugador dependa de su habilidad de exceder los esfuerzos de sus rivales, de forma que cada uno esté obligado por los demás a hacer esfuerzos cada vez mayores.

Esta tabla comprueba una alta correlación entre la calificación del clima para el capital privado y el capital de riesgo, y el porcentaje de negocios financiados de esta manera como participación del PIB.⁵ El Reino Unido e Israel tienen alta intensidad de financiación. Destaca El Salvador por su intensidad de inversión, a pesar de la baja calificación. Chile y Brasil, países destacados en la región por su actividad en capital de riesgo, alcanzan aproximadamente 1/10 de la intensidad de financiación del Reino Unido. Argentina no está en la muestra.

TABLA 7.
CALIFICACIÓN DEL CLIMA PARA EL CAPITAL DE RIESGO Y EL CAPITAL PRIVADO EN AMÉRICA LATINA

Regional Rank	Country	Score <i>(1-100 where 100 = best)</i>	Change from 2009 (▲▼)	PE/VC % GDP
1	UK	<div><div></div></div> 93	▲ 3	1.36%
2	Israel	<div><div></div></div> 81		0.82%
=3	Chile	<div><div></div></div> 76		0.14%
=3	Spain	<div><div></div></div> 76	▼ 1	0.25%
5	Brazil	<div><div></div></div> 75		0.11%
6	Mexico	<div><div></div></div> 63	▲ 5	0.04%
7	Taiwan	<div><div></div></div> 61	▼ 1	0.10%
8	Colombia	<div><div></div></div> 60	▲ 3	0.05%
9	Uruguay	<div><div></div></div> 57	▲ 3	0.00%
10	Trinidad & Tobago	<div><div></div></div> 56	▼ 7	0.06%
11	Costa Rica	<div><div></div></div> 54	▲ 1	0.05%
12	Peru	<div><div></div></div> 51	▲ 1	0.06%
13	Panama	<div><div></div></div> 49		0.07%
=14	Argentina	<div><div></div></div> 43	▼ 3	0.02%
=14	El Salvador	<div><div></div></div> 43	▼ 3	0.19%
16	Dominican Republic	<div><div></div></div> 38	▲ 5	0.08%

Overall score is the weighted total of all scorecard indicators, ranging from 0 - 100 where 100 = best/most favorable environment

† = First year in study; No comparative score for 2009

Fuente: LAVCA (2010).

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

⁵ Para llegar a la calificación del clima, LAVCA utiliza trece criterios: leyes para formación y operación de firmas de capital de riesgo y capital privado; tratamiento fiscal para fondos e inversiones en capital de riesgo y capital privado; protección de derechos de accionistas minoritarios; restricciones a los inversionistas institucionales (fondos de pensiones, aseguradoras) para invertir en capital de riesgo y capital privado; protección de derechos de propiedad intelectual; normativa de bancarrota; desarrollo del mercado de capitales y factibilidad de salida por bolsa; requisitos de registro y de reserva para inversiones extranjeras; requisitos de gobierno corporativo; fortaleza del sistema judicial; percepción de corrupción; calidad de las normas contables; y emprendimiento.

VII. Propuesta de I&I+I en redes para biocombustibles en América Latina

A. Redes de I&D+I en biocombustibles

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

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

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

En un primer grupo están Argentina, Brasil y Chile, que tienen tradiciones de investigación agrícola, química, e ingeniería, así como masa crítica de investigadores; los dos primeros tienen grandes potenciales en primera y siguiente generación. Chile tiene una élite técnica, instituciones investigativas reputadas, tradiciones de uso del capital de riesgo y oportunidades de negocios en siguiente generación. En un segundo grupo están Colombia, Perú y México. Colombia y Perú tienen una base de buenas universidades orientadas todavía a la docencia, centros de investigación agrícola y

potencial de producción, pero no son competitivos y son débiles en emprendimiento; su potencial competitivo podría ser grande en el futuro. México tiene una base investigativa de alto nivel y potencial productivo en biomasa y algas, pero su sector de energía está altamente regulado y no existe un ambiente favorable para el emprendimiento masivo en el sector de biocombustibles. El tercer grupo de países está compuesto por países con potenciales de producción y necesidades energéticas disímiles, pero con el factor común de no disponer de una plataforma nacional de I&D sólida.

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

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

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

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

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

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

Las redes propuestas trabajarían dentro del marco conceptual denominado Sistemas de Innovación Tecnológica (SIT; ver Suurs y Hekkert 2008; Cimoli y Constantino 2000; Cimoli y Giusta 2000), especialmente útil para analizar y gerenciar los esfuerzos en innovación en tecnologías que no han llegado al mercado. Un SIT tiene siete funciones centrales: actividades emprendedoras, desarrollo de conocimiento, difusión de conocimiento, orientación de búsquedas, formación de mercados, movilización de recursos y logro de apoyo de coaliciones favorables a la nueva tecnología. La Tabla 8 explica la naturaleza y alcance de cada una de las funciones enumeradas. Uno de los retos centrales de este tipo de redes es diseñar salvaguardias evitar su captura política o por intereses especiales, que es uno de los riesgos de las políticas enfocadas (Lipsei, Carlaw y Bekar 2005).

TABLA 8.
FUNCIONES QUE DEBEN TENER LAS REDES DE I&D+I EN BIOCOMBUSTIBLES EN AMÉRICA LATINA

<i>F1. Entrepreneurial Activities</i>	At the core of any innovation system are the entrepreneurs. These risk takers perform the innovative commercial experiments, seeing and exploiting business opportunities.
<i>F2. Knowledge Development</i>	Technology research and development (R&D) are prerequisites for innovation. R&D activities are often performed by researchers, but contributions from other actors are also possible.
<i>F3. Knowledge Diffusion</i>	The typical organisational structure of an emergent innovation system is the knowledge network, primarily facilitating information exchange.
<i>F4. Guidance of the Search</i>	This system function represents the selection process that is necessary to facilitate a convergence in development, involving, for example, policy targets, outcomes of technical or economic studies and expectations about technological options.
<i>F5. Market Formation</i>	New technologies often cannot outperform established ones. In order to stimulate innovation it is necessary to facilitate the creation of (niche) markets, where new technologies have a possibility to grow.
<i>F6. Resource Mobilisation</i>	Financial, material and human factors are necessary inputs for all innovation system developments, e.g., investments by venture capitalists or governmental support programmes.
<i>F7. Support from Advocacy Coalitions</i>	The emergence of a new technology often leads to resistance from established actors. In order for an innovation system to develop, actors need to raise a political lobby that counteracts this inertia, and supports the new technology.

Fuente: Suurs y Hekkert (2008).

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

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

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

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

B. Medidas transversales y complementarias

1. Apoyo a la creación de un nuevo orden energético

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

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

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

El precio del carbono es también esencial para catalizar la innovación por el mercado y la adopción de nuevas tecnologías y mecanismos de mitigación (Banco Mundial 2010). Dos mecanismos

compiten para mitigar el impacto de los gases de efecto invernadero: los impuestos al carbono y el mecanismo de cap-and-trade. En el primer caso, el tributo se impone a los insumos energéticos, lo que incentiva la eficiencia o el cambio a una tecnología con menores emisiones de carbono. En el segundo caso, los gobiernos emiten permisos mercadeables de contaminación, libremente transables entre los participantes.

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

3. Política de desarrollo regional, y uso y restauración de suelos

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

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

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

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

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

La rotación de cultivos puede servir para construir o reconstruir suelos. La rotación limita la producción total de cualquiera de los cultivos aplicados en comparación con los monocultivos en el corto plazo, a cambio de la producción diversificada y sostenible. El pasto aguja y la jatropha pueden crecer en terrenos degradados y también ayudan a restaurar su productividad. El pasto aguja es capaz

de fijar hasta ocho veces más materia orgánica bajo tierra y hasta un 55% más de carbono orgánico en el suelo que la combinación maíz-fríjol de soya en dos rotaciones de cultivos. La *jatropha* puede soportar ambientes hostiles y ayudar a regenerar los suelos degradados, pero su cultivo a gran escala requiere condiciones favorables de suelos y disponibilidad de agua.

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

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

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

5. Líneas de investigación: identificar y priorizar

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

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

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

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

Construcción de biorrefinerías. En analogía con las refinerías de petróleo que aceptan insumos variados y producen una gama de productos, uno de los retos de la producción de biocombustibles es aceptar materias básicas distintas para producir alcoholes, electricidad, calor, diesel y productos químicos de alto valor. La viabilidad de esta idea depende fundamentalmente de las

mejoras genéticas de los cultivos, que brinden variedades apropiadas en costo, calidad o propiedades específicas. Muchos de los ejemplos de la sección 3 están ligados o proveen la plataforma para buscar la viabilidad de las biorrefinerías. Se requieren avances en el fraccionamiento y separación de los residuos agrícolas y forestales; la hidrólisis y fermentación de la lignocelulosa; identificar nuevos procesos catalíticos y auto catalíticos; y avanzar en la construcción de plantas piloto y a escala de demostración.

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

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

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

La *universidad* tiene tres tareas en este respecto: (i) focalizar sus recursos y trabajar en redes de colaboración con el sector privado y otras universidades, en torno a programas concretos y *realistas* de investigación en genética o química de procesos, financiados mediante la modalidad de “matching grants” con el sector público y el sector privado; (ii) estar atenta a la formación emprendedora, el estudio permanente del estado de la industria energética y alimentaria y sus problemas, y el fortalecimiento de los vínculos con empresarios de estos sectores. Se deben potenciar y coordinar concursos de planes de negocios, eventos sobre innovación relacionados con el programa e investigación; (iii) estudiar la dinámica del capital de riesgo y apoyar el diseño de instrumentos y esquemas de articulación de eslabones de la parte “aguas arriba” del emprendimiento (inversionistas ángeles) en biocombustibles.

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

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

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

Sobre la base de que estos problemas han sido resueltos, el sector público debe mejorar el clima de negocios y ayudar a la formación de una cultura emprendedora. De otra forma no aparecerán las acumulaciones que dan lugar a escaleras de calidad en innovación. Pasar de una cultura basada en la protección y la caza de rentas en la agricultura y la energía, a una cultura que premie el trabajo duro, la competencia y la innovación es una tarea en progreso y no existe una varita mágica de política pública en este ámbito para inducir el cambio. Las medidas de fortalecimiento “desde fuera” de cada

uno 13 ítems con los que LAVCA califica el clima de negocios para el capital de riesgo en los países de América puede que no surtan efecto. Los cambios institucionales deben darse endógenamente.

Bibliografía

Al-Kaisi, M. 2000. "Crop water use or evapotranspiration." Integrated Crop Management. May 29. Iowa State University. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en:

<http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/2000/5-29-2000/wateruse.html>

Alston, J. M. et al. 2000. "A Meta-Analysis of Rates of Return to Agricultural R&D – Ex Pede Herculem?" Washignton, D.C.: IFPRI Research Report 113.

Anlló, G. y D. Suárez. 2008. "Innovation: something more than R&D – Latin American evidence from innovation surveys: building competitive business strategies." Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT). Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.ricyt.org/interior/difusion/pubs/elc2008/InnovaEN.pdf>

Aoki, K. 2008. *Seed Wars – Controversies and Cases on Plant Genetic Resources and Intellectual Property Rights*. Durham, NC: Carolina Academic Press.

Arthur, B. 2007. *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy*. Ann Arbor, MI: The University of Michigan Press.

- Banco Mundial. 2010. *World Development Report 2010. Development and Climate Change*. Washington, D.C.: The World Bank.
- Banco Mundial. 2009. *World Development Report 2009. Reshaping Economic Geography*. Washington, D.C.: The World Bank.
- Baregheh A., J. Rowley y S. Sambrook. 2009. “Towards a multidisciplinary definition of innovation.” *Management Decision* 47: 1323–1339.
- Baumol, W. J., R. E. Litan y C. J. Schramm. 2007. *Good Capitalism, Bad Capitalism, and the Economics of Growth and Prosperity*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Beadle, C. L. et al. 1985. *Photosynthesis in Relation to Plant Production in Terrestrial Environments*. Oxford, UK: United Nations Environment Programme/Tycooly International. Pp. 156.
- Beintema, N. M., A. F. D. Avila y P. G. Pardey. 2001. *Agricultural R&D in Brazil: Policy, Investments, and Institutional Profile*. Washington, D.C.: IFPRI, Embrapa, and FONTAGRO, August 2001.
- Beintema, N. M., L. J. Romano y P. G. Pardey. 2000. *I&D agropecuario en Colombia: Política, inversiones y perfil institucional*. Washington, D.C.: IFPRI y Fontagro.
- Benavides, J. 2010. “El desarrollo económico de la Orinoquia como aprendizaje y construcción de instituciones.” Facultad de Administración, Universidad de los Andes (Colombia). Preparado para la Corporación Andina de Fomento (CAF). Marzo de 2010.
- Benavides, J. 2009. “Promoción del capital de riesgo y el capital privado en Colombia.” Documento de trabajo. Facultad de Administración, Universidad de los Andes. Bogotá, D.C.
- Benkler, Y. 2005. “Coase’s Penguin, Linux and the Nature of the Firm.” Capítulo 11 en R. A. Ghosh (ed.) *Code – Collaborative Ownership and the Digital Economy*. Cambridge, MA: The MIT Press. Pp. 169-206.
- BioDieselSpain. 2009. “Colombia apuesta por el etanol.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en:
<http://www.biodieselspain.com/2009/03/20/colombia-apuesta-por-el-etanol/>
- Biofuels Digest. 2010. “Brazil tops US: \$8.737 in global biofuels investments in 2009.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en:
<http://www.biofuelsdigest.com/blog2/2010/01/05/brazil-tops-us-8-737-in-announced-biofuels-investments-in-2009-free-download-of-projects/>
- BNDES-CGEE. 2008. *Bioetanol de Caña de Azúcar. Energía para el Desarrollo Sostenible*. Río de Janeiro.
- Brookhaven National Laboratory. 2009. “Making New Enzymes to Engineer Plants for Biofuel Production.” December 21. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en:
http://www.bnl.gov/bnlweb/pubaf/pr/PR_display.asp?prID=1021
- Cavitation Technologies, Inc. 2010. “Cavitation Technologies, Inc., is Unveiling Renewable Fuel Technology for Algae Oil.” Recuperado el 2 de mayo de 2010 en:
<http://www.cavitationtechnologies.com/news/business/cavitation-technologies-inc-is-unveiling-renewable-fuel-technology-for-algae-oil.html>
- Cenipalma. 2010. “B10 para toda Colombia en 2010.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en:
<http://www.cenipalma.org/es/taxonomy/term/25>
- CEPAL. 2008. *Aportes de los biocombustibles a la sustentabilidad del desarrollo en América Latina y el Caribe – Elementos para la formulación de políticas públicas*. Documento de proyecto. Marzo de 2008.

Cimoli, M. y R. Constantino (2000). “Systems of innovation, knowledge and networks: Latin America and its capability to capture benefits”. En A. Piccaluga (ed) *Knowledge Flows in National Systems of Innovation*, Edward Elgar Publishing, London.

Cimoli, M. y M. Della Giusta (2000), “The Nature of Technological Change and its Main Implications on National and Local Systems of Innovation”. En P. Batten, D. Martellato (eds), *Innovation and Regional Development*, Kluwer Academic, Boston/Dordrecht/London.

Chrispeels, M. J. y D. E. Sadava. 2003. *Plants, Genes, and Crop Biotechnology*. Sudbury, MA: Jones and Bartlett Publishers. Second Edition.

CNE. 2009a. *Generación de energía a partir de microalgas*. Informe de vigilancia tecnológica. Preparado por novairis para la Comisión Nacional de Energía. Santiago de Chile.

CNE. 2009b. *Generación de energía a partir de macroalgas*. Informe de vigilancia tecnológica. Preparado por novairis para la Comisión Nacional de Energía. Santiago de Chile.

CORFO. 2010. “¿Qué es InnovaChile?”. Recuperado el 2 de julio de 2010 en:

http://www.corfo.cl/acerca_de_corfo/innova_chile/que_es_innovachile

de Groot, H. L. F., J. Poot y M. J. Smit. 2007. “Agglomeration, Innovation and Regional Development: Theoretical Perspectives and Meta-Analysis.” Rotterdam y Amsterdam: Tinbergen Institute Discussion Paper TI 2007-079/3.

Exxon Mobil. 2009. *Exxon Mobil Algae Biofuels Research and Development Program*. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en:

http://www.exxonmobil.com/corporate/files/news_pub_algae_factsheet.pdf

Foroenergías. 2009. “Biocombustibles de segunda generación: la nueva clave energética de Chile.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en: <http://foroenergias.cl/reportajes/?p=295>

GEXSI. 2008. New Feedstocks for Biofuels – Global Market Study for Jatropha. The Global Exchange for Social Investment (GEXSI). Recuperado el 2 de mayo de 2010 en:

<http://www.bioenergie.de/kraftstoffe-der-zukunft/Vortraege/zelt.pdf>

Ghosh, R. A. 2005. “Cooking-pot Markets and Balanced Value Flows.” Capítulo 10 en R. A. Ghosh (ed.) *Code – Collaborative Ownership and the Digital Economy*. Cambridge, MA: The MIT Press. Pp. 153-168.

Gibson, D. R. et al. 2010. “Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome.” Published Online May 20, 2010 *Science* DOI: 10.1126/science.1190719. Recuperado el 21 de mayo de 2010 en: <http://www.sciencemag.org/cgi/rapidpdf/science.1190719v1.pdf>

Goldemberg, J. 2008. “The Brazilian biofuels industry.” *Biotechnology for fuels* 2008: 1-6. Recuperado el 2 de julio de 2010 en:

<http://www.biotechnologyforbiofuels.com/content/pdf/1754-6834-1-6.pdf>

Green Momentum. 2009. “BP Biofuels Brasil principal beneficiado con nueva estrategia.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en:

http://www.greenmomentum.com/wb3/wb/gm/gm_content?id_content=3573

Guardian. 2009. “Gene Scientist to create algae biofuel with Exxon Mobil.” Recuperado el 2 de mayo de 2010 en:

<http://www.guardian.co.uk/environment/2009/jul/14/green-algae-exxon-mobil>

Hausmann, R. y D. Rodrik. 2003. “Economic Development as Self-Discovery.” *Journal of Development Economics* 72: 603-633.

Heller, M. A. y S. R. Eisenberg. 1998. "Can Patents Deter Innovations? The Anticommons in Biomedical Research." *Science* 280: 698-701.

ICIS Chemical Business. 2009a. "Chemical and oil firms pitch in to accelerate development of next-generation liquid biofuels." Recuperado el 2 de mayo de 2010 en:

<http://www.icis.com/Articles/2009/10/05/9251278/development-of-next-generation-biofuels-accelerates.html>

ICIS Chemical Business. 2009b. "Developers find the best microbes in order to outdo ethanol in the biofuel race." Recuperado el 2 de mayo de 2010 en:

<http://www.icis.com/Articles/2009/02/23/9195088/biobutanol-development-makes-headway.html>

IEA. 2008. "From 1st to 2nd Generation Biofuel Technologies – An overview of current industry and R&D activities." Paris, Francia: OECD/IEA. IEA Bioenergy.

iEco Clarín. 2010. "Surgen nuevas tecnologías para producir biocombustibles sin depender de la soja." Recuperado el 2 de julio de 2010 en:

http://www.ieco.clarin.com/empresas/Surgen-tecnologias-producir-biocombustibles-depender_0_144000006.html

Imbs, J. y R. Wacziarg. 2003. "Stages of Diversification." *American Economic Review* 93: 63-86.

Inc. 2010. Innovation – Companies on the Cutting Edge: Algaeventure Systems. Pp. 44-45. May 2010.

International Water Management Institute (IWMI). 2007. *Water for Food, Water for Life- A Comprehensive Assessment of Water Management*. Colombo, Sri Lanka. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.iwmi.cgiar.org/Assessment/>

James, C. 1996. *Agricultural Research and Development: The Need for Public-Private Sector Partnerships*. Issues in Agriculture 9. Consultive Group on International Agricultural Research (CGIAR). Washington, D.C.

Jatropha Alliance. 2010. "Jatropha Market Overview." World Biofuel Markets. Amsterdam, March 15, 2010. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en:

http://www.worldbiofuelsmarkets.com/downloads/presentations/EnergyCrops_15th/thilo_zelt.pdf

Jones Prather, K. 2007. "The Biofuels R&D Agenda. Introductory Testimony." MIT. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en:

<http://web.mit.edu/CHEME/news/includes/MIT%20Energy%20Kris%20Prather%20testimony%20Senate%20Energy%202%201%2007.pdf>

Klinger, B. y D. Lederman. 2009. "Diversification, innovation, and imitation of the global technological frontier." Capítulo 5 en R. Newfarmer, R., W. Shaw y P. Walkenhorst (eds.) *Breaking into New Markets – Emerging Lessons for Export Diversification*. Washington, D.C.: Banco Mundial. Pp. 101-110.

Koshel, P. y K. McCallister (Rapporteurs). 2008. *Transitioning to Sustainability Through Research and Development on Ecosystem Services and Biofuels*. Washington, D.C.: The National Academies Press.

Kremer, M. y A. Peterson Zwane. 2005. "Encouraging Private Sector Search for Tropical Agriculture." *World Development* 33: 87-105.

Krupp, F. y M. Horn. 2008. *Earth: The Sequel*. New York, NY: Norton.

LAVCA. 2010. *LAVCA 2010 Scorecard – The Private Equity and Venture Capital Environment in Latin America*. New York, NY.

- Lipsey, R. G., K. I. Carlaw y C. T. Bekar. 2005. *Economic Transformations – General Purpose Technologies and Long Term Economic Growth*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Macedo, I. (ed.). 2007. *A Energia da Cana-de-Açúcar – Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade* (Second ed.). Berlendis & Vertecchia, São Paulo: UNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo.
- Mendonça, M. L. 2009. “The Environmental and Social Consequences of ‘Green Capitalism’ in Brazil.” Capítulo V en R. Jonasse (ed.) *Agrofuels in the Americas*. Oakland, CA: Institute for Food and Development Policy. Pp. 65-76.
- Mitchell, S. K. y R. E. Stonecash. 1996. “The Role of Economies of Scale in Australian R&D.” *Prometheus* 14: 152–167.
- Murphy, D. 2007. *Plant Breeding and Biotechnology*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Nelson, R. R. 2005. *Technology, Institutions and Economic Growth*. Harvard, MA: Harvard University Press.
- NextFuel. 2010. “EADS, fabricante de aviones dueño de Airbus realizó un vuelo de prueba con biodiesel a base de algas provisto por una empresa argentina.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en: <http://biodiesel.com.ar/3654/eads-fabricante-de-aviones-dueno-de-airbus-realizo-un-vuelo-de-prueba-con-biodiesel-a-base-de-algas-provisto-por-una-empresa-argentina>
- New York Times. 2009. “Estimate Places Natural Gas Reserves 35% Higher.” Publicado el 17 de junio de 2009. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.nytimes.com/2009/06/18/business/energy-environment/18gas.html>
- Nightingale, P. 2000. “Economies of Scale in Experimentation: Knowledge and Technology in Pharmaceutical R&D.” *Industrial and Corporate Change* 9: 315-359.
- OECD. 2009. *OECD Factbook 2009: Economic, Environmental and Social Statistics*. Recuperado el 15 de junio de 2010 en: <http://oberon.sourceoecd.org/vl=932504/cl=18/nw=1/rpsv/factbook/07/01/01/index.htm>
- OECD. 2007. “Biofuels: Is the Cure Worse Than the Disease?” Paris, 11-12 September. Round Table on Sustainable Development. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://media.ft.com/cms/fb8b5078-5fdb-11dc-b0fe-0000779fd2ac.pdf>
- Oilfox. 2010. “Nuestros avances.” Recuperado el 2 de julio de 2010 en: <http://www.oilfox.com.ar/avances.php>
- Pardey, P. G. y J. M. Alston. 1995. *Revamping Agricultural R&D*. Brief 24, 2020 Vision of IFPRI. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
- PRNewswire. 2010. “Leading Bio Jet Fuel Players Team Up.” Recuperado el 2 de mayo de 2010 en: <http://www.prnewswire.com/news-releases/leading-bio-jet-fuel-players-team-up-80818197.html>
- Renewable Fuels Association 2010. 2010 *Ethanol Industry Outlook: Climate and Opportunity*. February. Recuperado el 2 de julio de 2010 en: http://ethanolrfa.3cdn.net/32b7ed69bd366321cb_r1m626lb0.pdf
- Scotchmer, S. 2004. *Innovation and Incentives*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Snapp, S. y B. Pound. 2008. *Agricultural Systems – Agroecology & Rural Innovation for Development*. Burlington, MA: Academic Press.

Stads, G.-J. y N. M. Beintema. 2009. *Investigación agrícola pública en América Latina y el Caribe – Tendencia de capacidad e inversión*. Informe de síntesis ASTI – Marzo. Washington, D.C.: IFPRI. ASTI-IFPRI-IDB.

Suurs, R. A. A. y M. P. Hekkert. 2009. “Cumulative causation in the formation of a technological innovation system: The case of Biofuels in the Netherlands. *Technological Forecasting & Social Change* 76: 1003-1020.

The Economist. 2010. “An unconventional glut. Newly economic, widely distributed sources are shifting the balance of power in the world’s gas markets.” Publicado el 11 de marzo de 2010. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en:

http://www.economist.com/business-finance/displaystory.cfm?story_id=15661889

The Economist. 2009. “Fish out of water”; October 31st 2009; p. 78. Recuperado el 9 de noviembre de 2009 en:

http://www.economist.com/businessfinance/displaystory.cfm?story_id=14743944;

The University of Sheffield Media Centre. 2010a. “Sheffield selected for UK dream team in biofuel challenge.” 19 March 2010. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en:

<http://www.sheffield.ac.uk/mediacentre/2010/1562.html>

The University of Sheffield Media Centre. 2010b. “Scientists’ breakthrough in production of biofuels.” 7 January 2010. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en:

<http://www.sheffield.ac.uk/mediacentre/2010/1468.html>

United Nations Environment Programme (UNEP). 2009. *Towards sustainable production and use of resources: Assessing Biofuels*.

Victor, D. G. y L. Yueh. 2010. “The New Energy Order.” *Foreign Affairs* 89: 61-73.

World of Wind Energy. 2010. “SG Biofuels and Life Technologies Team to Advance Jatropha as Sustainable Biofuel.” Recuperado el 2 de mayo de 2010 en:

<http://www.worldofwindenergy.com/showthread.php?t=2705>

Zelt, T. 2010. “Jatropha Market Overview.” Jatropha Alliance. World Biofuel Markets. Amsterdam, March 15, 2010. Recuperado el 2 de mayo de 2010 en:

http://www.worldbiofuelsmarkets.com/downloads/presentations/EnergyCrops_15th/thilo_zelt.pdf