

# Los grandes bosques como fuentes de bioenergía: uso de la tierra y repercusiones económicas y medioambientales

*M. Jack y P. Hall*

*Un análisis de las repercusiones a nivel nacional del aprovechamiento de los bosques plantados para la producción de energía en Nueva Zelanda: una herramienta útil para la toma de decisiones estratégicas.*

Las preocupaciones que despiertan el cambio climático y la seguridad energética han impulsado a muchos países a reconsiderar sus opciones y estrategias en materia de energías renovables. La energía derivada de la biomasa jugará, según se augura, un papel importante; y en los últimos años se le ha prestado gran atención. Si bien los beneficios potenciales que se derivan del uso de la bioenergía han sido cabalmente reconocidos, el desarrollo de los biocombustibles puede también acarrear repercusiones negativas. Por lo tanto, al evaluar las opciones bioenergéticas de un país es preciso analizar:

- los recursos potenciales de biomasa;
- la demanda de energía de consumo (dado que existen otras opciones en cuanto a energías renovables);
- las tecnologías disponibles para convertir la biomasa en energía de consumo;
- los costos económicos;
- la reducción potencial de las emisiones de gases de efecto invernadero;
- las repercusiones del cambio de uso de la tierra;

- la competencia con la producción de alimentos.

Una evaluación de este tipo se llevó a cabo en Nueva Zelanda. La evaluación desveló cuál es en el país el potencial de producción de bioenergía derivada de las actividades forestales en gran escala; y a continuación se examinaron las consecuencias para el uso de la tierra, la economía y el ambiente de la explotación de esta energía. En el presente artículo se resumen los resultados de ese estudio. Una discusión detallada de la metodología y postulados que articulan el trabajo se puede consultar en un informe más amplio (Hall y Jack, 2009). Aunque referido específicamente a Nueva Zelanda, el presente estudio plantea algunas preguntas que podrían resultar de interés para otros países a la hora de revisar sus propias opciones bioenergéticas.

*El desarrollo de recursos forestales en gran escala en tierras marginales representa para Nueva Zelanda la mayor oportunidad en materia de bioenergía*



**Michael Jack** es Investigador principal y Jefe de equipo (Elaboración verde), y **Peter Hall** es Investigador principal y Jefe de proyecto (Energías renovables) de Scion, Rotorua (Nueva Zelanda).

Aunque los aspectos sociopolíticos también intervienen en la toma de decisiones relativas a las cuestiones energéticas, este tema está más allá del ámbito del estudio y no se ha abordado en detalle.

#### ANÁLISIS DE LAS OPCIONES EN MATERIA DE BIOENERGÍA

Los parámetros anteriores fueron evaluados mediante:

- un análisis situacional para examinar los actuales recursos remanentes de biomasa, el potencial de los cultivos dirigidos, y la situación de las tecnologías existentes de suministro de energía desde la fuente de biomasa hasta el consumidor (Hall y Gifford, 2007);
- un análisis de pautas (mediante evaluación del ciclo de vida) de la pertinencia nacional de las tendencias de los costos económicos y el impacto ambiental de la conversión de energía, desde la fuente de biomasa hasta el consumidor (Hall y Jack, 2008).

El estudio determinó que, debido al gran potencial de generación de electricidad que encierran otros recursos renovables, en Nueva Zelandia la bioenergía se habría de utilizar preferentemente para la producción de energía térmica y combustibles de transporte líquidos. La evaluación permitió conocer también que, atendiendo a los aspectos que se enumeran a continuación, en Nueva Zelandia el uso en gran escala de las tierras forestales marginales representa la oportunidad más importante para la producción de bioenergía.

- **Escala potencial del suministro de energía.** Nueva Zelandia dispone de suficientes tierras de pastoreo de productividad baja a mediana—más del 60 por ciento (9,3 millones de hectáreas) de las tierras productivas disponibles—para el establecimiento de bosques de plantación que, para 2040, podrían satisfacer por completo la demanda de combustibles líquidos del país. En cambio, solo alrededor del 26 por ciento (2,4 millones de hectáreas) de las tierras productivas son idóneas para los cultivos agrícolas. El uso de toda esta superficie para cultivos destinados a la producción de biocombustibles líquidos de primera generación no bastaría para satisfacer la demanda nacional y resultaría perjudicial para la producción de cultivos alimenticios y las exportaciones agrícolas.

- **Reducción de gases de efecto invernadero.** La evaluación del ciclo de vida de la totalidad de la cadena de producción mostró que la producción de biocombustible lignocelulósico derivado de materias primas forestales de plantación tendría un impacto ambiental mucho menor que la producción de biocombustible de primera generación a partir de cultivos oleaginosos y amiláceos, sobre todo porque las prácticas de explotación por unidad de biomasa son menos intensivas.
- **Madurez tecnológica y coste.** La tecnología para convertir la biomasa lignocelulósica en combustibles de transporte líquidos está progresando rápidamente hacia un nivel de factibilidad comercial (Sims *et al.*, 2008).

#### EVALUACIÓN DE LAS ACTIVIDADES FORESTALES EN GRAN ESCALA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA

Los autores evaluaron las repercusiones del desplazamiento de las actividades agrícolas (en especial el pastoreo, que es escasamente productivo) en las tierras de colina para elaborar cuatro hipótesis de forestación en gran escala (Cuadro 1). Para las hipótesis, los terrenos por forestar se seleccionaron recurriendo a una base de datos de clases uso de la tierra del Sistema de información geográfica. Las hipótesis difieren unas de otras en cuanto a clase de uso de la tierra, pendiente, altitud y uso actual de la tierra. Se partió de la suposición de que las tierras de menor valor se utilizarían primero (hipótesis 1) y que los terrenos de valor progresivamente más elevado se incluirían en las hipótesis posteriores. Se consideró que el área de recursos comprendería tierra de matorral, tierra improductiva, tierra marginal y pastizales de productividad baja a mediana. El uso de las tierras para conservación y de tierras arables quedaba explícitamente excluido.

Dejando un cierto margen de flexibilidad respecto a la producción de energía y a otros usos de la tierra (por ejemplo, la producción de madera o los créditos de carbono) con el fin de amortiguar los riesgos a los que quedaría expuesto el propietario de bosque, la productividad de la biomasa potencial se calculó con arreglo a las condiciones del suelo y el clima (Cuadro 2) y a los costos económicos de producción de biomasa (Cuadro 3).

#### Impactos ambientales potenciales

En todas las hipótesis se tuvo en cuenta que las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (calculadas de acuerdo con los métodos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]) serían significativas, y resultarían tanto de la sustitución de los combustibles fósiles como del cambio de uso de la tierra, ya que las tierras dejarían de explotarse con fines agrícolas para destinarse a actividades forestales (Cuadro 4). (Ambas formas de mutación representan en Nueva Zelandia alrededor del 50 por ciento de las emisiones.) Las hipótesis se asociaron con unas existencias de carbono en aumento, porque solo es posible cosechar anualmente de forma sostenible un 4 por ciento de un bosque con un período de rotación de 25 años (Cuadro 4). La reducción de emisiones fue menor en las hipótesis 1 y 2, debido a que la intensidad de utilización es más reducida en las tierras que han sido objeto de sustitución de uso.

Como el nivel de producción en las tierras que se habrán dedicado a la agricultura pastoral sería menor (Cuadro 5), las hipótesis también evidenciaron beneficios en varias otras áreas que han sido motivo de preocupaciones ambientales en Nueva Zelandia, por ejemplo la erosión y la lixiviación de sedimentos y nutrientes hacia los cursos de agua (los cálculos respecto a estos beneficios se hicieron conforme a un modelo de nutrientes y a un modelo espacial de los fenómenos erosivos) (Cuadro 4).

Se constató igualmente que habría repercusiones muy positivas en la biodiversidad, puesto que, en comparación con las pasturas y las tierras arbustivas exóticas, la riqueza de especies de insectos, plantas y pájaros nativos aumentaría. Sin embargo, la cuantificación de estos beneficios exige realizar investigaciones más profundizadas. Para evitar reducir los hábitats de pastizales nativos, podría no convenir, desde el punto de vista de la biodiversidad, forestar los terrenos que tradicionalmente no han estado cubiertos de bosque.

Los análisis mostraron que en algunas zonas —las de precipitaciones escasas donde se han implantado diversos mecanismos para la asignación de aguas— la forestación en gran escala podría tener repercusiones negativas en la disponibilidad hídrica, y que por tanto su conveniencia sería dudosa.

**CUADRO 1. Hipótesis de forestación formuladas según criterios basados en las clases de uso de la tierra, pendiente, altitud y uso actual de la tierra (no se incluyen las superficies destinadas a usos menores tales como la cría de ciervos)**

Hipótesis	Superficie total (miles de ha)	Zona de maleza (miles de ha)	Zona de pastoreo para ganado lanar y de carne (miles de ha)
1	831	0	533
2	1 856	51	1 619
3	3 475	69	3 160
4	4 927	198	4 412

Nota: El patrimonio neozelandés actual de plantaciones es de 1,8 millones de hectáreas.

**CUADRO 2. Biomasa total extraíble con arreglo a métodos sostenibles y potencial correspondiente de energía, respecto a cada una de las hipótesis de forestación, para satisfacer la demanda de energía de consumo**

Hipótesis	Biomasa total extraíble (millones de m <sup>3</sup> /año)	Porcentaje de la demanda actual de energía de consumo <sup>a</sup>
1	23	68% de energía térmica, ó 20% de combustible de transporte líquido
2	74	100% de energía térmica y 42% de combustible de transporte líquido, ó 72% de combustible de transporte líquido, ó 73% de electricidad
3	127	100% de energía térmica y 100% de combustible de transporte líquido
4	169	100% de energía térmica y 100% de combustible de transporte líquido y 85% de electricidad

<sup>a</sup> En este cuadro, por «energía térmica» se entienden todos los tipos de energía térmica industriales y domésticos; y por «electricidad» la generación centralizada en gran escala de energía eléctrica.

**CUADRO 3. Valores del rendimiento de la biomasa y costos de producción<sup>a</sup>**

Hipótesis	Rendimiento de la biomasa (m <sup>3</sup> /ha)	Costos por metro cúbico <sup>b</sup>									
		Cultivo <sup>c</sup>		Carreteras		Cosecha		Transporte <sup>d</sup>		Total	
		NZD	USD	NZD	USD	NZD	USD	NZD	USD	NZD	USD
1	640-850	21-28	15-20	4-6	3-4	34-38	24-27	13-15	9-11	72-87	50-70
2	940-1 240	14-19	10-13	3-4	2-3	34-38	24-27	13-15	9-11	64-76	45-53
3	940-1 240	14-19	10-13	3-4	2-3	34-38	24-27	13-15	9-11	64-76	45-53
4	910-1 200	15-20	11-14	3-4	2-3	34-38	24-27	13-15	9-11	65-77	46-54

<sup>a</sup> El registro de valores se basa en un crecimiento potencial del 32 por ciento producto de las especies alternativas, de la mejora o modificación genética de árboles forestales y de los posibles perfeccionamientos en los transportes y el aumento de la eficiencia de la cosecha.

<sup>b</sup> Todos los costos se determinaron según las condiciones locales y se convirtieron en USD suponiendo un tipo de cambio de 1 NZD = 0,7 USD.

<sup>c</sup> Incluye el arriendo de la tierra, la preparación del suelo, la plantación, el control de malezas y el mantenimiento del bosque (tasa de descuento, 6%).

<sup>d</sup> 75 km.

**CUADRO 4. Cambios porcentuales en los principales parámetros ambientales que tienen pertinencia para Nueva Zelanda**

Hipótesis	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero <sup>a</sup> (%)	Existencias de carbono (millones de toneladas de equivalente de CO <sub>2</sub> )	Reducción de la lixiviación de nitrógeno <sup>b</sup> (%)	Reducción de la erosión <sup>c</sup> (%)	Reducción del agua disponible <sup>d</sup> (%)
1	6	208	0,3	1	1
2	20	647	3	8	3
3	37	1 183	8	17	5
4	48	2 034	12	20	7

<sup>a</sup> En comparación con las emisiones neozelandesas totales en 2006.

<sup>b</sup> En relación con los niveles actuales. Nótese que el nivel de lixiviación puede mantenerse elevado durante varios años si el suelo ya contiene una gran cantidad de nitrógeno excedente.

<sup>c</sup> En relación con los niveles actuales.

<sup>d</sup> En porcentaje del balance hídrico anual.

**CUADRO 5. Reducción en el número de cabezas de ganado (%)**

Hipótesis	Ganado de carne	Ganado de leche	Ciervos	Ovejas
1	3,0	0,1	2,0	2,8
2	15,0	0,8	11,1	15,1
3	33,3	2,0	14,9	32,1
4	46,8	3,5	27,2	42,0

**CUADRO 6. Beneficios promedio anuales de la preforestación (ganancias antes de intereses e impuestos) de tierras seleccionadas para cultivos bioenergéticos<sup>a</sup>**

Hipótesis	Sin tomar en cuenta el precio del carbono		Tomando en cuenta el precio del carbono <sup>b</sup>	
	NZD/ha	USD/ha	NZD/ha	USD/ha
	1	94	66	60
2	144	101	100	70
3	162	113	114	80
4	160	112	108	76

<sup>a</sup> Todos los precios se determinaron según las condiciones locales y se convirtieron en USD suponiendo un tipo de cambio de 1 NZD = 0,7 USD.

<sup>b</sup> Suponiendo un precio del carbono de 25 NZD (17,5 USD) por tonelada de equivalente de CO<sub>2</sub>.

**CUADRO 7. Costos presuntos de producción de biocombustible (por litro)<sup>a</sup>**

Proceso	Bioetanol <sup>b</sup>		Biodiésel Fischer-Tropsch <sup>c</sup>	
	NZD	USD	NZD	USD
Materia prima <sup>d</sup>	0,61	0,43	0,89	0,62
Conversión <sup>e</sup>	1,12	0,78	0,70	0,49
<b>Total</b>	<b>1,73</b>	<b>1,21</b>	<b>1,59</b>	<b>1,11</b>

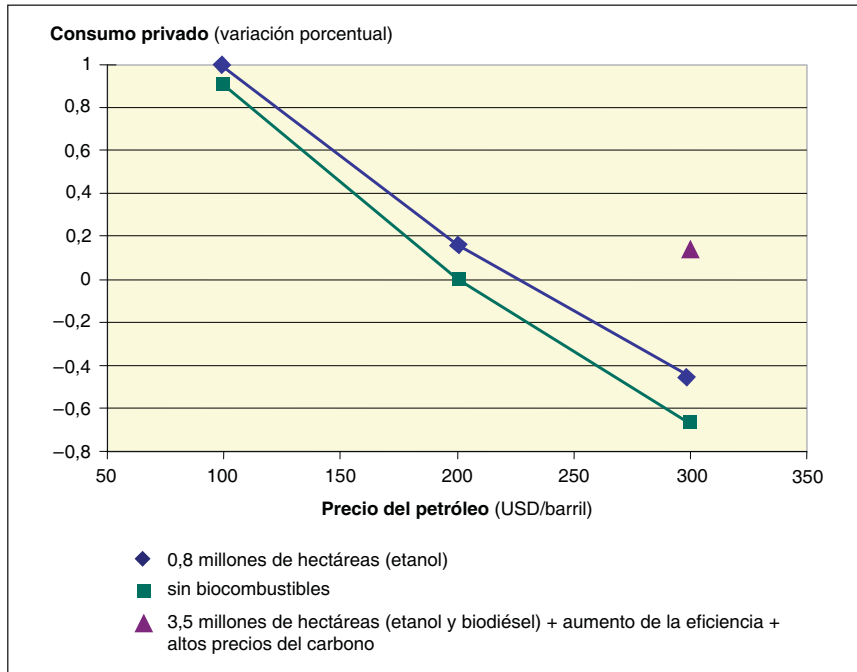
<sup>a</sup> Todos los costos se determinaron según las condiciones locales y se convirtieron en USD suponiendo un tipo de cambio de 1 NZD = 0,7 USD.

<sup>b</sup> Se supone un rendimiento de 140 litros/m<sup>3</sup>. El contenido de energía de un litro de etanol es de 0,67 litros de gasolina, lo que significa que los costos de producción totales son de 2,58 NZD (1,81 USD) por litro de equivalente de petróleo.

<sup>c</sup> Se supone un rendimiento de 95 litros/m<sup>3</sup>. Se supone que el contenido de energía del biodiésel Fischer-Tropsch es el mismo que el del diésel fósil.

<sup>d</sup> Este valor representa el límite superior de los valores que se muestran en el Cuadro 3.

<sup>e</sup> Para más detalles acerca de las suposiciones relativas a los costos de conversión, véase Hall y Jack, 2009.



**Repercusiones económicas de las variaciones en los precios del petróleo en Nueva Zelanda, con y sin biocombustibles y otras medidas de mitigación del cambio climático**

#### Competencia potencial con formas alternativas de uso de la tierra

El rendimiento actual de la tierra según las distintas hipótesis fue evaluado para determinar la viabilidad económica de las actividades forestales para la producción de energía derivada de la biomasa (Todd, Zhang y Kerr, 2009). Como las actividades agrícolas son generadoras de emisiones de gases de efecto invernadero, el rendimiento de la tierra depende del precio del carbono (Cuadro 6); y la competitividad de la biomasa como fuente de combustible, en comparación con el uso actual de la tierra, depende del precio del petróleo. Tomando como base de cálculo el costo de producción del biocombustible que se ha supuesto para el presente estudio (Cuadro 7), la bioenergía obtenida a partir de la explotación forestal resulta ser una opción más rentable: rinde un beneficio de más de 200 NZD (140 USD) por hectárea cuando el precio del petróleo llega a 180 a 250 USD el barril (según el tipo de cambio). (Nótese que el precio del petróleo era de 147 USD el barril en julio de 2008.) Sin embargo, este factor económico impulsor puede no bastar para conducir a un cambio en el uso de la tierra, puesto que, históricamente, los agricultores han

preferido seguir explotando ganado lanar y de carne aun si la rentabilidad era baja. Se requieren más investigaciones para entender aquellos factores de la dinámica social que no fueron tomados en cuenta para este estudio.

#### Repercusiones macroeconómicas

Un modelo de equilibrio general fue utilizado para estimar las consecuencias del uso de los recursos de tierras nacionales para producir biomasa, en lugar de otros bienes y servicios que se exportan a cambio de petróleo (Stroombergen, 2009). Se compararon varias hipótesis económicas basadas en los costos de producción presuntos, los precios del petróleo y las existencias de

carbono con una imagen de la economía en la que se considera que, en 2050, todo seguirá igual.

En la actualidad, Nueva Zelanda obtiene el 50 por ciento de su energía de consumo y el 93 por ciento de sus combustibles de transporte del petróleo importado, y su consumo de petróleo por unidad de producto nacional bruto (PNB) es el tercero más alto del mundo (Delbruck, 2005). Una gran parte de las ganancias de exportación utilizadas para comprar este petróleo proviene de la producción agrícola. Por lo tanto, un aumento de los precios del petróleo tendría, en relación con los productos agrícolas, efectos perjudiciales en la relación de intercambio y por consiguiente en la economía nacional en su conjunto.

Este comercio también tiene repercusiones importantes en las emisiones de gases de efecto invernadero nacionales, puesto que incluye tanto las emisiones de carbono directas producidas por el consumo de petróleo como las emisiones de gases de efecto invernadero indirectas que resultan de las actividades agrícolas realizadas para pagar el petróleo de importación. Si en el futuro se incluyeran en el precio del carbono todos los sectores de la economía neozelandesa (cosa probable con arreglo al Régimen neozelandés de comercio de

**Los residuos de la producción de madera se usan para generar bioenergía: los bosques de fines múltiples representan seguramente la opción económica más viable, ya que producen una gran variedad de productos, incluida la madera y la biomasa de las que se derivan los combustibles**



emisiones), este comercio ampliaría las eventuales repercusiones en la economía de los mecanismos de control de emisiones. De este modo, si en Nueva Zelandia se producen biocombustibles de bajo índice de emisiones de carbono, se conseguiría reducir tanto las repercusiones del aumento de los precios del petróleo como las consecuencias de los futuros más estrictos controles de emisiones.

La figura demuestra de qué forma el recurso a los biocombustibles podría amortiguar las repercusiones de la subida de los precios del petróleo en el futuro. Los puntos indican la repercusión que ejercen los cambios de los precios del petróleo y de la producción de biocombustible en el consumo privado (un indicador del bienestar económico) en comparación con una hipótesis de referencia en la que se proyecta, para 2050, un precio del petróleo de 200 USD el barril, una producción de biocombustibles nula y una economía con una estructura similar a la de hoy.

Suponiendo una producción de biocombustibles nula y un precio del petróleo de 300 USD el barril, el consumo privado se reduciría en aproximadamente 0,7 por ciento (respecto a la línea de base) debido a la disminución de la relación de intercambio. Si se destinaran 0,8 millones de hectáreas a la producción de etanol, las importaciones de petróleo podrían ser un 15 por ciento inferiores, y el mismo aumento del precio del petróleo se traduciría en una más leve contracción del consumo privado (de cerca del 0,45 por ciento). Si la producción de biocombustibles se expandiese aún más (y se dedicaran a este fin 3,5 millones de hectáreas, con lo cual las importaciones de petróleo se reducirían en 63 por ciento), y si además se consiguiera realizar ganancias de eficiencia y el precio del carbono alcanzara una cota más alta, el impacto macroeconómico de un precio del petróleo de 300 USD por barril quedaría más que completamente mitigado.

Los bosques de fines múltiples que producen una variedad de productos, incluida la madera y la biomasa destinadas a obtener combustible, representan probablemente la fuente de biocombustibles económicamente más viable; asimismo, los beneficios económicos que se derivan de los biocombustibles son máximos cuando su precio resulta competitivo respecto al de los combustibles fósiles. Sin embargo, y tal como se deduce de este ejemplo,

es preciso tomar en cuenta, en el diseño de las políticas energéticas a largo plazo, que los biocombustibles pueden arrojar beneficios económicos futuros aunque sus costos de producción actuales sean más altos que los de los combustibles fósiles importados.

### CONCLUSIONES

Una de las principales conclusiones a que conduce esta evaluación es que, en Nueva Zelandia, el establecimiento de plantaciones forestales en gran escala para la producción de bioenergía en tierras agrícolas escasamente productivas puede llevar a una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero; y que este resultado se consigue tanto mediante el cambio de uso de las tierras –que de agrícolas pasarán a ser forestales– como por conducto de la sustitución de los combustibles fósiles. En comparación con las actividades agrícolas, también se pueden lograr otros beneficios medioambientales en cuanto a calidad del agua y control de la erosión. Este es pues un caso en el que el cambio de uso de la tierra produciría repercusiones ambientales positivas. Los resultados alcanzados en Nueva Zelandia también pueden ser válidos para otros países en los cuales las tierras agrícolas de baja productividad se podrían destinar a establecer bosques utilizando pocos insumos.

Este tipo de evaluación del uso de la tierra y de los impactos medioambientales y económicos de la bioenergía a nivel nacional puede permitir a los gobiernos adoptar decisiones estratégicas acerca de las oportunidades que brinda el uso de la bioenergía en gran escala para asegurar una parte del suministro energético nacional. El enfoque también puede ayudar a identificar cuestiones nacionales y regionales que es necesario abordar para realizar los beneficios que ofrecen estas oportunidades. ♦



### Bibliografía

- Delbruck, F.** 2005. Oil prices and the New Zealand economy. *Reserve Bank of New Zealand Bulletin*, 68: 5.
- Hall, P. y Gifford, J.** 2007. *Bioenergy options for New Zealand: situation analysis*. Rotorua, Nueva Zelandia, Scion. Disponible en: [www.scionresearch.com/\\_\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0008/5786/SCIONBioenergyOptions\\_situationAnalysis.pdf](http://www.scionresearch.com/___data/assets/pdf_file/0008/5786/SCIONBioenergyOptions_situationAnalysis.pdf)
- Hall, P. y Jack, M.** 2008. *Bioenergy options for New Zealand: pathways analysis*. Scion, Rotorua, Nueva Zelandia, Scion. Disponible en: [www.scionresearch.com/\\_\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0007/5785/SCION-Bioenergy-Options\\_Pathways-Analysis.pdf](http://www.scionresearch.com/___data/assets/pdf_file/0007/5785/SCION-Bioenergy-Options_Pathways-Analysis.pdf)
- Hall, P. y Jack, M.** 2009. *Bioenergy options for New Zealand: analysis of large-scale bioenergy from forestry*. Rotorua, Nueva Zelandia, Scion. Disponible en: [www.scionresearch.com/\\_\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/5783/Large-scale-bioenergy-from-forestry.pdf](http://www.scionresearch.com/___data/assets/pdf_file/0005/5783/Large-scale-bioenergy-from-forestry.pdf)
- Sims, R., Taylor, M., Saddler, J. y Mabee, W.** 2008. *From 1st- to 2nd-generation biofuel technologies*. París, Francia, Agencia Internacional de Energía.
- Stroombergen, A.** 2009. *General equilibrium analysis of bioenergy options*. Informe de aportación para Hall y Jack, 2009.
- Todd, M., Zhang, W. y Kerr, S.** 2009. *Competition for land between biofuels, pastoral agricultural and scrub lands*. Informe de aportación para Hall y Jack, 2009. ♦