

Las nuevas amenazas del avance de los monocultivos de árboles

Ricardo Carrere¹

Extraído de Teixeira Filho, Althen (2009).- Lavouras de destruição: a (im)posição do consenso, Pelotas, Dezembro

La ganancia empresarial es el principal motor de la expansión de los monocultivos de árboles. A los tradicionales actores corporativos interesados en dicha expansión –la industria de la celulosa y la madera- se suman ahora otros que también ven en los monocultivos de árboles una buena oportunidad de negocios. En este artículo intentaremos mostrar a tres de los sectores que están concitando expectativas empresariales: los árboles transgénicos, el etanol celulósico y el mercado de neutralidad en carbono vinculado a las plantaciones de árboles.

Los árboles transgénicos

Hasta ahora el debate sobre los organismos genéticamente modificados –también llamados transgénicos- se ha centrado principalmente en los cultivos agrícolas y sólo en menor medida en los árboles genéticamente modificados. Esto es comprensible, dado que ya se están sembrando comercialmente cultivos transgénicos –por ejemplo maíz y soja- que están destinados a alimentar directa o indirectamente a los seres humanos, lo que constituye una amenaza potencial para su salud.

Peligros aún más graves

El hecho de que los árboles no se coman, no significa que los árboles transgénicos sean menos peligrosos que otros cultivos de ese tipo. Por el contrario, los peligros que plantean los árboles transgénicos son en cierto modo más graves que los presentados por los cultivos de ese tipo, ya que los árboles viven más tiempo que los cultivos agrícolas, y esto significa que puede haber cambios no previstos en su metabolismo muchos años después de haber sido plantados. Por ejemplo, ya se está trabajando en árboles manipulados genéticamente para que no florezcan, con el supuesto objetivo de evitar la posible contaminación de árboles naturales con el polen de transgénicos. El problema es que nadie puede asegurar que, 20 o 30 años después de plantados, uno de entre los miles o millones de árboles transgénicos no pueda florecer y contaminar a los árboles normales de la misma especie, volviendo a su descendencia estéril. El impacto que ello significaría sobre esa especie y sobre el bosque en su conjunto podría ser devastador.

Por otro lado, el polen de los árboles puede ser llevado por el viento a enormes distancias. Ello significa que los árboles transgénicos pueden fácilmente contaminar con su polen a árboles localizados a gran distancia y generar así graves impactos sobre los bosques. Por ejemplo, un pino radiata transgénico resistente al ataque de insectos plantado en Chile puede a la larga contaminar a los pinos de esa misma especie en su lugar de origen en los Estados Unidos, pudiendo exterminar a una amplia gama de insectos y generar graves impactos sobre las cadenas alimenticias vinculadas a los mismos.

En el caso de sauces y álamos, es conocida la capacidad de cruzamiento de distintas especies entre sí, por lo que una especie manipulada genéticamente podría contaminar a muchas otras

¹ Coordinador Internacional del Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales (WRM)

especies y transmitirles características indeseables del punto de vista del funcionamiento de los ecosistemas.

Jugando con los genes

A pesar de las incertidumbres y de los riesgos potenciales, los científicos continúan jugando con los genes para “mejorar” los árboles. Por supuesto que lo que en realidad hacen es cambiar algunas de las características de los árboles para servir mejor los intereses de quienes financian su investigación –en particular grandes empresas vinculadas al sector forestal- de modo de mejorar la rentabilidad de los negocios involucrados.

Pero desde una perspectiva biológica no hay mejora alguna. ¿Es un árbol con menos lignina mejor o peor que uno normal? Es claramente peor, dada la pérdida de fuerza estructural resultante, que lo hace susceptible de sufrir serios daños durante las tormentas de viento. ¿Es una “mejora” un árbol resistente a herbicidas? No lo es, porque permite la fumigación extensiva de herbicidas, que afecta el suelo donde está el árbol, al mismo tiempo que destruye la flora local y repercute sobre la vida silvestre y la salud de la gente. ¿Qué utilidad puede tener un árbol sin flores, sin frutos y sin semillas para los seres vivos, incluyendo al ser humano? Ninguna, porque no proporcionará alimento a numerosas especies de insectos –entre los que se cuentan las abejas productoras de miel- pájaros y otras especies que dependen de las mismas para alimentarse. ¿Es una mejora un árbol con propiedades insecticidas? No solo no lo es, sino que es un peligro para muchas especies de insectos que a su vez son parte de cadenas alimenticias mayores.

Disciplinando a la naturaleza

Desde una perspectiva socioambiental, los árboles transgénicos son un paso muy peligroso y es preciso analizar quienes los están impulsando y para qué. En ese sentido, la industria forestal ha sido históricamente la más interesada en adecuar los bosques - percibidos desde su visión empresarial como “desordenados” y “poco productivos”- a sus intereses comerciales. Se asignó entonces a científicos y técnicos forestales la tarea de “mejorarlos”. La respuesta fue establecer plantaciones de una sola especie en filas rectas equidistantes para así obtener la mayor cantidad posible de madera por hectárea. De ese modo los bosques y praderas comenzaron a ser progresivamente destruidos y reemplazados por monocultivos productores exclusivamente de madera.

Pero eso no fue suficiente y los forestales tomaron diferentes medidas para “mejorar” esos monocultivos. El primer paso fue investigar cuáles eran los árboles más apropiados para cada país y para cada ambiente y seleccionar los que presentaran mejores cualidades para el propósito buscado: la producción de madera para la industria. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) tuvo un papel central a este respecto, en primer lugar definiendo a estos monocultivos como “bosques” y fundamentando la necesidad de promover la plantación de tales “bosques” en los países del Sur. Pero el papel de la FAO no se limitó a eso, sino que promovió la investigación sobre especies que consideró aptas para la plantación -en particular de eucaliptos- y fue uno de los principales vehículos para convencer a los gobiernos sobre la conveniencia de promover este tipo de plantaciones en sus países.

A partir de los resultados de las primeras plantaciones se fueron luego seleccionando las especies más aptas, teniendo sobre todo en cuenta rápido crecimiento, troncos rectos, pocas y delgadas ramas y madera adecuada para la industria.

El segundo paso supuso la adopción gradual de todo el paquete de la Revolución Verde, también respaldado por la FAO: creciente mecanización de las tareas forestales, aplicación de

fertilizantes químicos, agrotóxicos para combatir las plagas y herbicidas para evitar la competencia de otras plantas con los árboles plantados.

La etapa siguiente fue la selección genética tradicional para “mejorar” el desempeño de las plantaciones en términos de rendimiento de madera, a la que pronto siguió la hibridación y clonación de los “mejores” árboles. Desde esa perspectiva reduccionista, obviamente la siguiente etapa era modificar los árboles genéticamente.

Ignorando los impactos

Es importante señalar que la implantación de ese modelo crecientemente artificializado de plantaciones de árboles de rápido crecimiento a gran escala ha sido acompañado por la oposición cada vez más fuerte y extendida de las comunidades locales que resultaban afectadas por el mismo a causa de sus graves impactos sociales y ambientales.

Sin embargo, a pesar de dicha oposición y pese a los peligros potenciales resultante de la manipulación genética de árboles, los científicos siguen adelante en sus investigaciones, no sólo en el laboratorio y a nivel de ensayos controlados sino también en el campo, como ilustra el caso de China, donde ya se ha plantado bastante más de un millón de álamos transgénicos resistentes a insectos mediante la inserción de genes de una bacteria (*Bacillus thuringiensis*).

Pero la investigación no se limita a álamos, sino a una gran cantidad de especies (sauces, olmos, abetos, nogales, etc.), entre las que, como no podía ser de otra manera, se encuentran los favoritos de las empresas papeleras: eucaliptos y pinos.

Ello no es casual, porque precisamente la industria de la pulpa y el papel es una de las principales interesadas –y financiadoras- de la investigación en árboles transgénicos y aspira a sustituir sus actuales plantaciones de árboles “normales” –si es que las actuales plantaciones se pueden catalogar como “normales- con árboles transgénicos clonados que:

- crezcan más rápido
- contentan más celulosa y menos lignina
- sean resistentes a herbicidas
- sean resistentes al ataque de insectos y hongos
- sean resistentes a la sequía y las bajas temperaturas
- no florezcan

Al mismo tiempo, la industria de la celulosa –al igual que el sector de los combustibles- está también investigando las posibilidades de la manipulación genética de árboles y enzimas para la conversión de la celulosa en un combustible líquido -el etanol- que podría ser utilizado para sustituir el petróleo en el transporte. Ello podría resultar en la instalación de enormes plantaciones de árboles transgénicos –álamos, sauce, eucaliptos y otros- cuya madera sería transformada en celulosa y ésta a su vez convertida –con la ayuda de enzimas también transgénicas- en etanol.

Manipulando árboles en Brasil y Chile

La manipulación genética de árboles con esos y otros objetivos se está llevando a cabo en numerosos países industrializados, tales como Alemania, Australia, Bélgica, Canadá, China, Estados Unidos, Finlandia, Inglaterra, Japón, Nueva Zelanda, Portugal, Rusia y Suecia. En América Latina, Brasil y Chile son los países que están más involucrados en este tema.

En el caso de Brasil, la investigación se ha centrado en el eucalipto y ya se han autorizado –con ciertas limitaciones- ensayos de campo con árboles genéticamente modificados de esa especie. En este caso, el objetivo central es el de proporcionar más, más barata y mejor materia prima para la industria de la celulosa para exportación. Es así que las características más buscadas son: rápido crecimiento, mayor porcentaje de celulosa y tolerancia al herbicida glifosato. Entre quienes están involucrados en tales investigaciones se encuentran empresas como International Paper do Brasil, Suzano Bahia Sul Papel e Celulose, Alellyx Applied Genomics, ArborGen, Monsanto, así como las Universidades Federales de Viçosa y Rio Grande do Sul.

Sin embargo, muchas otras empresas están dando apoyo a esta investigación a través de dos instituciones: 1) El “Projeto Genolyptus”, financiado por un consorcio de empresas de la celulosa y el papel que incluye a Aracruz Celulose, Celmar Indústrias de Celulose e Papel, Bahia Sul Celulose, International Paper do Brasil, Jarcel Celulose, Celulose Nipo-Brasileira, Klabin/Riocell, Veracel Celulose, Lwarcel Celulose e Papel, Rigesa Celulose, Papel e Embalagens, Votorantim Celulose e Papel y Zanini Florestal, entre otros; 2) El Conselho de Informações sobre Biotecnologia (CIB), entre cuyos asociados se incluyen, entre muchos otros Arborgen, BASF, Bayercropsciences, Cargill, Dow Agrosiences, DuPont, Monsanto, Nestlé, Syngenta Seeds.

El gobierno brasileiro ya aprobó una serie de ensayos de campo, que se han implementado principalmente en el Estado de Sao Paulo (São Simão, Mogi Guaçú, Itararé, Itatinga, Brotas, Angatuba, Santa Cruz das Palmeiras, Borebi, Altinópolis, Luiz Antônio, Avaí, Guararema, Taquarivaí, Paranapanema), en tanto que hay uno en Minas Gerais (Coimbra), y otro en Rio Grande do Sul (Eldorado).

En Chile, la investigación apunta a dar solución a dos problemas que afectan a las grandes empresas del sector forestal de ese país. Por un lado, manipular pinos para volverlos resistentes a un insecto que está atacando a las plantaciones (la polilla del brote). Por otro lado, modificar genéticamente a eucaliptos para hacerlos más resistentes al frío y poder así entonces extender las plantaciones –que están siendo activamente resistidas por los Mapuche- más hacia el sur del país y más arriba en la cordillera. A eso se suma la manipulación genética para la resistencia al cancro resinoso que afecta a los pinos y para lograr un crecimiento más rápido y un mayor contenido de celulosa en el caso de los eucaliptos.

Entre quienes llevan a cabo la investigación se encuentran GenFor (una joint venture entre la canadiense Silvagen, la norteamericana Interlink y la Fundación Chile) y el Consorcio Genómico Forestal, que opera en el Centro de Biotecnología de la Región del Bío Bío de la Universidad de Concepción. La investigación está siendo financiada por las principales empresas plantadoras (Forestal Arauco y Forestal Mininco), por el estatal Instituto Forestal INFOR y por las universidades de Concepción, Austral y de la Frontera.

Desiertos verdes aún más desprovistos de vida

Es importante señalar que todas esas investigaciones, tanto dentro como fuera de la región nos conciernen a todos, ya que los árboles que hoy están siendo manipulados en Nueva Zelanda o en Chile o Brasil o en cualquier otro país pueden ser pronto los árboles que se planten en Uruguay, o Colombia, o Sudáfrica o Indonesia.

Es fundamental que todos sepan que plantaciones de árboles transgénicos no harán más que exacerbar todos los impactos de los monocultivos actuales. En efecto, árboles de crecimiento más rápido agotarán el agua más rápidamente; habrá una mayor destrucción de la biodiversidad en los desiertos biológicos de árboles modificados para ser resistentes a insectos y no tener

flores, frutos ni semillas; se destruirá el suelo a un ritmo mayor mediante el aumento de la extracción de biomasa, la mecanización intensiva eliminará aún más empleos y el aumento del uso de agrotóxicos afectará la salud de la gente y de los ecosistemas y se quitará el sustento a más comunidades que serán desplazadas para hacer lugar a “desiertos verdes” aún más desprovistos de vida que los actuales.

Etanol de celulosa: una tecnología que puede resultar desastrosa

Un segundo sector que surge como nueva amenaza de expansión de los monocultivos de árboles es el del etanol celulósico, un tipo de combustible producido a partir de la celulosa contenida en la biomasa de plantas tales como pastos, arbustos y árboles. La mayor parte de la masa de las plantas está compuesta de lignocelulosa, que incluye celulosa, hemicelulosa y lignina. La conversión de la celulosa en etanol implica dos pasos fundamentales: 1) cortar las largas cadenas de las moléculas de celulosa dejando así libres a la glucosa y otros azúcares y 2) fermentar esos azúcares para su conversión en etanol. En la naturaleza, tales procesos son llevados a cabo por diferentes organismos: hongos y bacterias que usan enzimas (celulasas) para “liberar” el azúcar contenido en la celulosa, y otros microbios, en particular levaduras, que fermentan los azúcares y los transforman en alcohol.²

¿Cómo se produce?

Hay muchas técnicas para convertir la biomasa en etanol, pero la mayoría se agrupa bajo dos tipos de enfoques:

Un enfoque involucra el uso de microorganismos como, por ejemplo, un tipo de bacteria llamada *Moorella thermoacetica*, que puede ser hallada en la naturaleza en numerosos sitios, entre los cuales se cuentan el aparato digestivo de las termitas y el rumen de las vacas. Las bacterias convierten el azúcar en ácido acético, que luego es transformado en acetato de etilo. El paso final para su conversión en alcohol requiere el agregado de energía bajo la forma de hidrógeno, que puede obtenerse utilizando la lignina, que a través de su gasificación se convierte en una mezcla de gases rica en hidrógeno. El hidrógeno se combina con el acetato de etilo y se transforma en alcohol.³ (2)

Un segundo enfoque consiste en combinar la producción de pulpa para papel con la producción de etanol en las propias fábricas de celulosa, en lo que se ha denominado “biorefinerías”. El principal componente de la madera de los árboles es la celulosa, en tanto que el segundo es el polisacárido xilán, contenido principalmente en la hemicelulosa. Este componente puede ser separado y fermentado para producir etanol. El proceso involucra calor y flujos de agua presurizada sobre una cama de astillas de madera para separar la celulosa. Luego el agua es forzada a través de una membrana que remueve los azúcares y el ácido acético, que posteriormente son fermentados para producir alcohol.⁴

Los actores involucrados

En el momento actual hay un conjunto de actores activamente involucrados en el desarrollo de etanol celulósico. Los siguientes son apenas algunos ejemplos para ilustrar la diversidad de quienes aspiran a beneficiarse de este desarrollo.

² http://www.technologyreview.com/read_article.aspx?id=17052&ch=biztech&a=f

³ <http://www.technologyreview.com/Energy/20151/>

⁴ <http://www.csmonitor.com/2005/0505/p17s01-sten.html>

La industria de la celulosa y el papel

Masood Akhtar, un miembro del consejo de TAPPI, una asociación técnica de la industria de la celulosa y el papel, afirma que las biorefinerías tienen “el potencial de duplicar las ganancias de la industria a través de la producción *in situ* de productos de valor agregado de la biomasa, al mismo tiempo que continúan elaborando sus productos convencionales de papel”.⁵

No llama entonces la atención que International Paper, la mayor empresa mundial de papel se haya involucrado en esta oportunidad de negocios y esté trabajando con la Universidad Estatal de Nueva York y otros actores para producir etanol a partir de la madera.⁶

Stora Enso y Neste Oil están produciendo etanol mediante la gasificación de biomasa (en este caso a partir de residuos de madera de la fábrica de celulosa de Stora Enso), que se convierte en dióxido de carbono y un gas rico en hidrógeno llamado syngas, el cual luego es licuificado en etanol a través de un proceso tipo Fischer-Tropsch.⁷

Abastecedores de tecnología a la industria de la celulosa

La creación de una organización llamada Biorefinery Deployment Collaborative muestra a través de su membresía el involucramiento de un conjunto de grandes actores tanto del área de la tecnología de la celulosa (Andritz, Metso Power, Pöyry, ThermoChem Recovery International, Voith Paper) como de la propia industria de la celulosa (International Papers, MeadWestvaco, Flambeau River Paper, Parsons and Whittemore).⁸

De acuerdo a un representante de una de las empresas miembro de dicha organización (ThermoChem Recovery International), “el interés por biorefinerías termoquímicas o integradas se está volviendo cada vez más grande, como una bola de nieve”. La misma fuente dice que “el modelo resulta interesante para las empresas de la pulpa y el papel porque crea nuevos rubros de valor para fábricas que han luchado por más de una década para mantenerse globalmente competitivas”. Esto podría lograrse “utilizando biotecnología para extraer la hemicelulosa y para convertir lo que hoy es percibido como un residuo, en una materia prima que puede ser usada para la producción de etanol y productos químicos”.⁹

Del otro lado del Atlántico, la empresa sueca CHEMREC, que opera en el campo de la tecnología de gasificación del licor negro afirma que “esta tecnología ya ha madurado en un concepto comprobado que ofrecemos en términos comerciales a fábricas que buscan expandir sus operaciones e ingresar al nuevo paradigma de fábricas de celulosa: la Biorefinería”.¹⁰ Si se adopta este nuevo “paradigma”, CHEMREC dice que “el potencial global para la producción de biocombustibles es del orden de un equivalente a 225 millones de barriles de petróleo por año” y que los ingresos anuales por combustibles podrían representar “más de 1/3 del total de ingresos de la industria de la celulosa”.¹¹

Las industrias del petróleo y la energía

⁵ <http://republicans.resourcescommittee.house.gov/archives/ii00/archives/108/testimony/2004/masoodakhtar.pdf>

⁶ <http://www.esmonitor.com/2005/0505/p17s01-sten.html>

⁷ <http://news.mongabay.com/bioenergy/2007/03/stora-enso-and-nesto-oil-partner-on.html>

⁸ <http://www.biorefinerydc.org/Members.html>

⁹ <http://www.tri-inc.net/common/New%20Biorefinery%20Model%20Would%20Link%20Chemical,%20Forestry%20Companies.pdf>

¹⁰ <http://www.chemrec.se/Page78.aspx>

¹¹ <http://www.chemrec.se/Technology.aspx>

La empresa Shell “ya es la mayor distribuidora de biocombustibles del mundo”. Entre otras inversiones, Shell está involucrada en Iogen, una empresa canadiense que se aseguró una donación de US\$80 millones del gobierno de los Estados Unidos para instalar en Idaho una planta que producirá etanol celulósico a partir de residuos vegetales y paja.¹²

La empresa con sede en Boston Mascoma Corporation “es líder en tecnología de avanzada en combustibles con baja emisión de carbono” y se encuentra actualmente “difundiendo tecnologías avanzadas que permiten la elaboración de combustibles a partir de una serie de insumos no alimenticios. Mascoma está desarrollando instalaciones de producción tanto demostrativas como comerciales a escala global”. General Motors y la petrolera Marathon Oil tienen inversiones en Mascoma.¹³

En 2008, la empresa petrolera Chevron y la compañía forestal Weyerhaeuser lanzaron un emprendimiento conjunto (Catchlight Energy) para desarrollar combustibles renovables a partir de la madera. Catchlight Energy investigará y desarrollará tecnologías para convertir biomasa celulósica en “biocombustibles económicos y con bajas emisiones de carbono”. De acuerdo con una información de prensa, “el emprendimiento se centrará en desarrollar tecnologías para transformar la madera y otras fuentes de celulosa en combustibles limpios para autos y camiones”.¹⁴

La industria biotecnológica

La producción de etanol celulósico ha atraído a importantes actores de la biotecnología que se enfocan en dos niveles diferentes: la materia prima (los árboles) y la transformación de la biomasa en etanol (enzimas y microorganismos).

Parte de la investigación en manipulación genética de árboles se enfoca en la modificación de la madera para facilitar su conversión en etanol. Los cuatro principales países donde se está llevando a cabo este tipo de investigación son Bélgica, Francia, Suecia y los Estados Unidos. Sin embargo, también se está investigando mucho en esos y otros países para incrementar el nivel de celulosa en la madera y disminuir el porcentaje de lignina como forma de abaratar los costos de producción y blanqueo de la celulosa. Aunque apuntando a otro objetivo, tal tipo de investigación también sería beneficioso para la producción de etanol a partir de la madera.¹⁵

En lo referente a la conversión de biomasa en etanol, un conjunto de empresas está seleccionando o manipulando genéticamente diferentes organismos para producir etanol.

Este campo ya ha atraído a actores que representan a la gran industria química (DuPont), a la gran industria petrolera (Shell) y a la gran industria agrícola (Syngenta). Cada una de ellos se ha aliado a pequeñas empresas como Verenum Corp, Codexis Inc. y Novozymes, apuntando al creciente mercado de “cocktails de enzimas”, capaces de producir etanol más rápido y más barato.¹⁶

¹² http://business.timesonline.co.uk/tol/business/industry_sectors/natural_resources/article1459141.ece

¹³ <http://www.mascoma.com/news/pdf/Mascoma%20DOE-Michigan%20funding%20announcement%20joint%20release%20FINAL%2010%207%2008.pdf>

<http://www.tennesseeanytime.org/energy/node/491>

<http://www.autobloggreen.com/2008/05/01/gm-to-invest-in-mascoma-cellulosic-ethanol-project/>

¹⁴ <http://www.economista.es/noticias/noticias/386718/02/08/Weyerhaeuser-and-Chevron-form-biofuels-joint-venture.html>

¹⁵ <http://www.wrm.org.uy/publications/briefings/Ethanol.pdf>

¹⁶ http://bioenergy.checkbiotech.org/news/2007-07-10/Big_business_bets_on_bio-refineries_for_nations_fuel_needs/

El escenario prevaleciente

Todo lo anterior muestra claramente que el escenario prevaleciente no está enfocado en la producción de etanol a pequeña escala a partir de un conjunto de diversas fuentes de biomasa disponibles a nivel local, sino en la producción y comercialización centralizada y a gran escala, involucrando a grandes empresas y manipulación genética.

En ese escenario, la madera de los árboles se convierte en el principal candidato para servir como materia prima a ser extraída tanto de bosques como de plantaciones industriales de árboles. Thomas Amidon, un profesor de la Universidad Estatal de Nueva York, que desarrolla sus tareas en el Colegio de Ciencias Ambientales y Forestales (un centro de investigación que trabaja en colaboración con las empresas International Paper y Lyonsdale Biomass), explica por qué: “la madera es un cultivo permanente que puede ser cosechado en cualquier mes del año. Es relativamente densa y lenta en descomponerse, lo que facilita su transporte y almacenamiento. Las operaciones industriales a gran escala necesitan funcionar durante todo el año para ser económicamente rentables y el uso de la madera como materia prima permite eso”.¹⁷ Esto explica por qué el etanol celulósico ha sido también llamado “treethanol” (árboletanol).

Un argumento adicional para la promoción del etanol celulósico es que la celulosa “se encuentra en casi cualquier planta, árbol y arbusto que crece en la naturaleza; en campos, bosques y tierras agrícolas de todo el mundo, sin que se requiera ningún esfuerzo o costo para hacerla crecer”.¹⁸

Las principales amenazas

La producción de etanol implica entonces un conjunto claro de amenazas:

Mayor deforestación y más intensa

De acuerdo con la FAO, “el potencial para la producción comercial a gran escala de biocombustibles de celulosa provocará impactos sin precedentes en el sector forestal”.¹⁹ En muchas regiones del mundo la madera aún abunda en los bosques. Para las empresas madereras, el etanol podría ser una oportunidad de negocios adicional, que les permitiría incrementar sus ganancias mediante la intensificación del maderero “sin que se requiera ningún esfuerzo o costo” para hacer crecer la madera.²⁰ Todos los árboles cuya madera hoy no tiene valor de mercado y que quedan en pie luego del maderero podrían convertirse en una valiosa materia prima para la producción de etanol. Lo mismo sucedería con gran parte de la madera que en la actualidad se deja para que se descomponga en el bosque luego de las operaciones madereras, y cuya remoción para su conversión en etanol podría ser ahora rentable. Todo esto implicaría una intensificación de la deforestación, así como una mayor pérdida de nutrientes a nivel del suelo. Otros bosques, que por diferentes razones hoy no son económicamente atractivos para el maderero comercial, podrían convertirse en una fuente de materia prima para la producción de etanol celulósico, por lo que aumentaría la deforestación.

Mayor expansión de plantaciones de monocultivos de árboles

Las plantaciones a gran escala de monocultivos de árboles son obviamente el candidato más estratégico para la producción de grandes volúmenes de materia prima. Como lo explica la FAO, “aumentará la demanda de madera como fuente de energía, especialmente si la producción de

¹⁷ <http://www.csmonitor.com/2005/0505/p17s01-sten.html>

¹⁸ <http://www.csmonitor.com/2005/0505/p17s01-sten.html>

¹⁹ <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0350e/i0350e00c.pdf>

²⁰ http://en.wikipedia.org/wiki/Cellulosic_ethanol

biocombustibles celulósicos resulta comercialmente viable; es muy probable que esa situación dé origen a muchas mayores inversiones en [sic] bosques plantados.” (terminología de la FAO para referirse a las plantaciones de árboles).²¹

Los árboles a ser plantados serían seleccionados entre los más adecuados para la producción de etanol, la materia prima sería homogénea para facilitar el proceso industrial, la fertilización química y el uso de plaguicidas y herbicidas asegurarían su supervivencia y rápido crecimiento, mientras que la mecanización facilitaría las operaciones de manejo y cosecha. Como resultado, la materia prima sería abundante, homogénea y barata. Sin embargo, desde una perspectiva social y ambiental, tales plantaciones ocuparían vastas áreas de tierra, desplazarían a comunidades locales, tendrían graves impactos sobre los medios de vida de las personas, así como sobre aguas, suelos y biodiversidad.

Árboles, enzimas y microorganismos genéticamente modificados

La utilización de árboles genéticamente modificados sería otro paso para abaratar aún más la producción de materia prima y los procesos industriales para convertir la madera en etanol, a lo que se sumaría la manipulación genética de enzimas y microorganismos.

Ya se explicó el peligro resultante del uso de árboles transgénicos, pero el empleo de enzimas y microorganismos genéticamente modificados para convertir la celulosa en azúcares es aún más aterrador. Alan Shaw, presidente de Codexis, empresa dedicada al “desarrollo de enzimas”, es citado diciendo que si la tierra hubiera creado enzimas capaces de degradar rápidamente la celulosa, “todos nuestros bosques serían lagos de sustancias pegajosas”. A pesar de ello, su empresa “diseña enzimas desde cero”. De allí se desprende que si llegara a ocurrir un accidente, dichas enzimas tendrían el potencial de convertir los bosques en “lagos de sustancias pegajosas”.

²²

Un buen ejemplo de lo que están haciendo los investigadores queda ilustrado en un artículo publicado bajo un título que en castellano puede traducirse como “rediseñando la vida para producir etanol”. Luego de haber entrevistado a varias personas involucradas en investigación sobre etanol, el periodista resume el objetivo al que apuntan: “el organismo ideal haría todo: degradar la celulosa como una bacteria, fermentar el azúcar como una levadura, tolerar altas concentraciones de etanol y dedicar la mayor parte de sus recursos metabólicos a la producción de etanol. Existen dos estrategias para crear tal organismo multipropósito. Una consiste en modificar un microbio existente, incorporándole las cualidades genéticas deseadas a partir otros organismos y eliminando las no deseadas; la otra consiste en partir de una célula sintética elemental e incorporarle un genoma hecho a medida, casi a partir de la nada”.²³

Otros tipos de amenazas

Nueva vida para la industria de la celulosa y el papel

Es importante destacar que la industria de la celulosa y el papel ya tiene acceso o es propietaria de amplias áreas de bosques y/o plantaciones. La producción de etanol podría ser un subproducto que la ayudaría a abaratar la producción de celulosa y por ende a expandirse aún más. Esto provocaría un incremento del maderero en los bosques o la expansión de las plantaciones de monocultivos de árboles o ambos.

²¹ <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0350e/i0350e00c.pdf>

²² http://bioenergy.checkbiotech.org/news/2007-07-10/Big_business_bets_on_bio-refineries_for_nations_fuel_needs/

²³ http://www.technologyreview.com/read_article.aspx?id=17052&ch=biztech&pg=1

Más poder a las grandes empresas

La energía no es solo un tema tecnológico sino también una cuestión de poder. Para empresas como Shell, por ejemplo, poco importa si sus productos son ambientalmente sanos o no. Lo que importa es la rentabilidad, que a escala global solo es posible a través del poder. Tal poder es alcanzado, entre otras cosas, mediante la centralización y la concentración. Lo mismo puede ser dicho de otras grandes empresas ahora involucradas en etanol celulósico, tales como International Paper, General Motors, Dupont, Syngenta.

Conglomerados más poderosos

Las empresas involucradas no solo se están volviendo más poderosas, sino que al mismo tiempo están haciendo alianzas estratégicas que las harán aún más fuertes. Por ejemplo, el matrimonio entre las industrias del petróleo, del automóvil, de la celulosa y el papel y de la biotecnología, sin duda acrecentará su poder.

Mayor escala y concentración

De acuerdo con la forma en que este negocio se viene desarrollando, la materia prima se obtendrá tanto a través del madereo a gran escala de bosques como de plantaciones a gran escala de árboles, en su mayoría instaladas en el Sur. Como resultado de esto, tanto los recursos boscosos como las tierras quedarían directa o indirectamente concentradas en manos de grandes empresas. Al mismo tiempo, la producción y distribución del etanol celulósico se concentraría en unas pocas grandes empresas con la necesaria capacidad técnica y financiera para la producción y distribución a gran escala, así como acceso al redituable mercado energético del Norte industrializado.

Menos inversión en tecnologías mejores

Tal como lo plantea Scot Quaranda de la estadounidense Dogwood Alliance: “el etanol celulósico es una falsa solución, que debería ser dejada de lado para dar lugar a soluciones más positivas. Los biocombustibles han servido como una distracción y han desviado fondos que podrían haberse utilizado en tecnologías más comprobadas o prometedoras en las áreas de conservación y eficiencia energética, en energía solar, eólica y en base a hidrógeno, entre otras”.²⁴ (24)

Manipulando a la opinión pública

Como de costumbre, las empresas que aspiran a obtener ganancias de este nuevo proceso están usando una serie de argumentos para manipular al público no informado.

Uno de sus principales argumentos consiste en destacar que, a diferencia de otros agrocombustibles tales como los basados en maíz o caña de azúcar, el etanol celulósico “no está compitiendo por tierras agrícolas o productoras de alimentos”.²⁵

Otro argumento es que ayuda a evitar el cambio climático, porque “ la quema de un galón de etanol ... poco agrega al total de carbono en la atmósfera, dado que el dióxido de carbono

²⁴ <http://pressroomda.greenmediatoolshed.org/sites/default/files/Forest4Fuel08.pdf>

²⁵ <http://www.chemrec.se/Technology.aspx>

liberado en el proceso es prácticamente equivalente al carbono absorbido por las plantas usadas para producir el siguiente galón”.²⁶

Ambos argumentos podrían ser convincentes si no fuera porque:

- la mayoría de las empresas involucradas ya están ocupando o degradando tierras agrícolas en todo el mundo para producir productos no alimenticios
- gran parte del etanol se produciría a partir de plantaciones industriales de árboles, con la consiguiente ocupación y degradación de tierras agrícolas
- el madereo de bosques para obtener madera para etanol provocaría enormes emisiones de dióxido de carbono
- el reemplazo de ecosistemas nativos por plantaciones, trátase de bosques o praderas, también provocaría grandes emisiones de dióxido de carbono

¿Hay lugar para el etanol celulósico?

Al menos en teoría, el etanol celulósico puede ser una buena idea. Sin embargo, buenas ideas en las manos equivocadas pueden terminar siendo un desastre y es claro que ésta ya ha caído en algunas de las peores manos posibles del mundo.

Para que el etanol celulósico pueda jugar un papel positivo se requiere que cumpla con algunas condiciones simples, las principales de las cuales serían:

- que se produzca y use localmente
- que se trate de operaciones a pequeña escala
- que se base en recursos disponibles a nivel local
- que la principal materia prima utilizada sean los desperdicios
- que su producción y comercialización sean descentralizados
- que sea parte de un conjunto de fuentes diversas de energía localmente disponibles
- que no implique la manipulación genética de organismos vivos

Tales condiciones son imposibles de cumplir en el actual escenario dominado por corporaciones de alcance global. Dentro de tal contexto, el etanol celulósico debe ser por tanto denunciado como una falsa solución que debería dejarse de lado para favorecer el desarrollo de alternativas más positivas.

La mentira del carbono neutro

Una tercera amenaza de expansión de los monocultivos de árboles surge del mal llamado mercado de “neutralidad de carbono”. Ser “neutro en carbono” se ha puesto de moda. El Banco Mundial, el Vaticano, las Olimpiadas, la Copa del Mundo de Fútbol, el Body Shop, los Rolling Stones y una larga lista de celebridades se autoproclaman como total o parcialmente “neutros en carbono”. Hasta la propia Mercedes Benz organizó en California lo que describió como “La primera semana de la moda neutra en carbono”. Un ejemplo reciente es el de la reunión del G-20 en Pittsburg, EE.UU (setiembre 2009), sobre la que el director del equipo de cambio climático de las Naciones Unidas Janos Pasztor informó que se habían calculado todas las emisiones de CO2 resultantes de la reunión (vuelos de los mandatarios, transporte local, emisiones del acompañamiento policial, etc.) y que habían sido “compensadas” a través de un proyecto de energía en la India²⁷.

²⁶ http://www.technologyreview.com/read_article.aspx?id=17052&ch=biztech&pg=1

²⁷ http://news.yahoo.com/s/ap/20090923/ap_on_re_us/un_un_summit_carbon_footprint

El mito de la “compensación”

Hay que reconocer que ser “neutro en carbono” suena bien y que algunos de los mencionados al principio honestamente creen estar haciendo lo correcto, puesto que da la impresión de que “neutro” es sinónimo de cero emisiones de dióxido de carbono. Sin embargo, el concepto esconde un peligroso juego de engaño, en el que muchos jugadores empresariales están ganando, en tanto que el clima de la Tierra pierde.

Aunque el término “neutro en carbono” puede tener distintos significados, en general se lo usa para “describir la práctica, criticada por algunos, de la compensación de carbono a través del procedimiento de pagar a otros para que remuevan o secuestren de la atmósfera el 100% del dióxido de carbono emitido –por ejemplo, a través de la plantación de árboles- o mediante el financiamiento de “proyectos de carbono” que llevarían a evitar emisiones futuras de gases de efecto invernadero, o a través de la compra de créditos de carbono para removerlos (o ‘retirarlos’) a través del comercio de emisiones de carbono (Wikipedia, traducido del inglés).

La idea de “compensar” las emisiones de combustibles fósiles se basa en la premisa de que el carbono liberado por la quema de combustibles fósiles puede ser de alguna manera “compensado” por otras actividades tales como la plantación de árboles. Esto simplemente no es posible.

Debe comprenderse que el carbono liberado por el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) no ha sido parte del funcionamiento de la biósfera por millones de años. Una vez que los combustibles fósiles son extraídos y quemados, ese carbono –que hasta entonces había estado almacenado bajo tierra- es liberado, dando como resultado un incremento en la cantidad total de carbono existente sobre la corteza terrestre. Una vez liberado, ese carbono no puede ser devuelto a su lugar de almacenamiento original y cuanto más se lo extrae, más aumenta la cantidad total de carbono en la biósfera, dando como resultado el agravamiento del efecto invernadero.

Trampas en el aire

Los vuelos neutros en carbono son quizá la mejor manera para mostrar que éste es un juego tramposo. Los aviones no vuelan con energías renovables: lo hacen con derivados del petróleo. Una vez quemado para que los aviones vuelen, el carbono contenido en el combustible es liberado. Ninguna cantidad de molinos de viento, o células solares o árboles plantados podrán hacer que ese carbono regrese a su lugar original bajo tierra.

Pese a ello, los mercaderes del carbono están haciendo dinero a través de la venta de “neutralidad en carbono” a personas preocupadas por su contribución al cambio climático y a empresas que quieren publicitarse como “amigables con el clima”. A cambio de una suma de dinero, un creciente número de empresas del mercado de carbono están dispuestas a brindarles una “solución”.

Por ejemplo, la británica Carbon Neutral Company informa que “Los viajes aéreos son una de las causas del cambio climático que crecen más rápido”. Sin embargo, a quienquiera pueda sentirse preocupado por ello se le asegura inmediatamente que es posible “neutralizar sus emisiones de carbono con nuestros Vuelos Neutros en Carbono y así hacer que su vuelo sea más ‘ecológico’”. Dependiendo de la distancia de vuelo, la “neutralización” del vuelo puede costar entre 4,50 y 52,50 libras esterlinas. Aparte de liberarles de culpabilidad, la compañía también ofrece a los compradores “un certificado con una dedicatoria personal si usted lo quiere”, un “mapa en color con información sobre ‘sus’ proyectos”, una “etiqueta para la maleta hecha en

cuero reciclado” y “una carpeta, atada con cinta” (lo anterior no es broma; así estaba colgado –en inglés- en la página web de Carbon Neutral).

Árboles carismáticos

Muchas otras empresas han sido creadas para beneficiarse del mercado de compensación de emisiones de carbono. TerraPass, Native Energy, DriveNeutral, Climate Friendly, AtmosFair, Climate Care, GreenSeat son algunos ejemplos entre un creciente número de empresas que ofrecen tales servicios.

Los métodos que estas empresas utilizan para la “compensación” son diversos y se extienden desde las bombillas eléctricas de bajo consumo hasta la plantación de árboles. Dentro de este juego tramposo, son estas últimas las que más nos preocupan. Un informe reciente (State of the Voluntary Carbon Market 2007), explica que algunos proyectos son más “carismáticos” que otros, agregando que “los árboles constituyen un área de secuestro de carbono que todos entienden, hasta los niños pequeños lo comprenden ... la gente se da cuenta”.

A pesar de su “carisma”, los árboles han demostrado ser problemáticos y ello ha llevado a algunas instituciones que comparten la idea de la neutralidad en carbono a desligarse públicamente de tales emprendimientos. “Debido a los muchos problemas con los proyectos de plantación de árboles, la Fundación David Suzuki solo compra compensaciones de proyectos de eficiencia energética y de energías renovables”. El Body Shop explica que “en 2006 compensamos nuestros viajes de negocios ... financiando proyectos no vinculados a la plantación de árboles”. La empresa Cleaner Climate Company –que provee servicios de neutralidad en carbono a Adobe- explica que “no planta árboles” porque “la ciencia que sustenta el secuestro de carbono [por los árboles] no es suficientemente precisa” y porque está “comprometida en lograr tener un impacto positivo en las comunidades locales”, lo que implícitamente significa decir que las plantaciones tienen un impacto negativo.

Esta preocupación sobre compensaciones relacionadas con la plantación de árboles no ha ocurrido por casualidad, sino que es el resultado de años de campañas contra los monocultivos de árboles a gran escala y de haberse documentado tanto sus impactos como las luchas que se han desatado en su contra.

La creciente preocupación sobre plantaciones es una muy buena noticia para comunidades locales que podrían ser impactadas por plantaciones de compensación de carbono. Sin embargo, también implica que el próspero mercado de carbono se está simplemente trasladando a otras áreas más “carismáticas”.

El caso de las Olimpiadas de Pequín

Los grandes encuentros internacionales –tales como los principales eventos deportivos- dan lugar a grandes cantidades de emisiones de carbono, contribuyendo así al cambio climático. Dado que tales eventos se han convertido en oportunidades muy rentables de inversiones y negocios, necesitan demostrar que su impacto climático puede ser de alguna manera “compensado”.

Por ejemplo, de acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), las Olimpiadas de Invierno de Turín (2006) causaron la liberación del equivalente a 100.000 toneladas de dióxido de carbono, del cual –de acuerdo con el PNUMA- el 70% fue “compensado” a través de inversiones en proyectos de ahorro energético y energía renovable en Italia y en la plantación de árboles en Kenia. Por su parte, los organizadores de la Copa del Mundo de Fútbol 2006 dijeron que el evento resultó en la emisión de 92.000 toneladas de CO₂,

en tanto que se compensaron 100.000 toneladas mediante proyectos de energía limpia en India y Sudáfrica. Esto la convirtió –al menos según sus organizadores- en la primera Copa del Mundo “neutra en carbono”.

Los Juegos Olímpicos de Pequín de 2008 fueron un evento de gran envergadura, al que asistieron una enorme cantidad de atletas y espectadores de todo el mundo. En relación con su posible impacto en materia de emisiones de carbono, el Ministro de Tecnología Wan Gang informó que las Olimpiadas resultarían en la emisión de unas 1,18 millones de toneladas de carbono a la atmósfera, “en parte porque tantos atletas y espectadores viajarían desde largas distancias”. Sin embargo, le dijo a la prensa que “Las ‘Olimpiadas Verdes’ tomarían una serie de medidas, incluida la plantación de árboles y el control en el uso de vehículos, para reducir las emisiones entre 1 y 1,29 millones de toneladas”. Agregó que “Estamos básicamente en condiciones de poder asegurar que las emisiones serán balanceadas”.

En palabras del ministro, los Juegos Olímpicos serían “básicamente” neutros en carbono, quien agregó que “China espera que al organizar unas Olimpiadas neutras en carbono, esté de esa manera aportando un buen ejemplo al resto del mundo”.

Lamentablemente, resulta imposible que esas emisiones hayan sido “reducidas”, debido a que el combustible fósil requerido para viajar “desde largas distancias” –en avión, bus o automóvil- fue utilizado y el carbono que contenía fue efectivamente emitido. No solo no se aportó un buen ejemplo al mundo sino que, al contrario, China contribuyó a dar credibilidad al tramposo juego del mercadeo de carbono.

Una mentira repetida mil veces ...

El problema radica en que mucha gente cree honestamente en la posibilidad de convertirse en “neutros en carbono” principalmente porque –como dice el dicho- “una mentira repetida mil veces se convierte en una verdad”. Y esta mentira en particular está siendo constantemente repetida por numerosos “expertos” con mucho para ganar en el mercado de carbono, por agencias de las Naciones Unidas tales como el PNUMA e incluso por algunas organizaciones supuestamente “verdes”.

Tal es el caso de la muy conocida WWF (que tiene un oso panda en su logotipo), cuya sección china creó una sección especial en su página web para facilitar pagos para convertirse en “neutros en carbono”. En la página se explica que “A través de su campaña Go for Gold (Ve por Oro), el WWF también está haciendo un llamamiento a los atletas a que se comprometan a hacer un viaje neutro en carbono a los Juegos de Pequín mediante la donación del equivalente del costo de carbono de su vuelo a un proyecto Gold Standard de cambio climático”. WWF-China incluso recomendó cinco “puntos de venta” específicos: www.climatefriendly.com, www.myclimate.org, www.atmosfair.de, www.nativeenergy.com, www.tricoronagreen.com

Esa cita del WWF apoya la idea de que mediante el pago –“donación”- de una cierta suma de dinero, alguien hará desaparecer en algún lugar el carbono emitido por el avión, bus o automóvil, haciendo algo que “compensará” esas emisiones. Parafraseando una muy conocida película, esto es de hecho una “Emisión Imposible”.

Medidas positivas no son sinónimo de neutralidad

En el caso de las Olimpiadas de Pequín, las autoridades pusieron en práctica una serie de medidas para declararlas como “neutras en carbono”: se usaría energía solar, eólica y geotérmica en los edificios relacionados con las Olimpiadas, se instrumentaría un plan masivo para la

plantación de árboles, se desarrollaría nueva tecnología de transporte incluyendo vehículos híbridos. Sin embargo, ninguna de esas medidas guarda relación alguna con la “neutralización” de las emisiones de carbono de combustibles fósiles. Sin duda que medidas para ahorrar energía, para lograr una eficiencia energética, el uso de energía solar, eólica y geotérmica, la reducción en el uso de automóviles son todas medidas positivas en la dirección correcta para abordar el cambio climático. El problema surge cuando los organizadores afirman que esas medidas asegurarían que las Olimpiadas serían “básicamente” neutras en emisiones de carbono y aún menos que podrían tener “un efecto positivo sobre el cambio climático”, como el Ministro Wan Gang incorrectamente afirmó.

Lo que se requiere para abordar en serio el problema del cambio climático es reducir drásticamente y eventualmente eliminar el uso de combustibles fósiles. La adopción de medidas efectivas con respecto al cambio climático por supuesto significa que las personas deberán hacer ajustes en su vida cotidiana, pero el tema es esencialmente sistémico y político y debe ser abordado a ese nivel. Los esquemas de compensación de carbono desalientan el involucramiento de las personas en la organización política y comunitaria necesaria para hacer posible la transición hacia una sociedad post combustibles fósiles, al poner todo el énfasis de la acción sobre el clima a nivel de lo individual y del discurso de “bombillas de luz y estilos de vida”. En ese contexto, el juego de la “neutralidad en carbono” es una forma de desviar la atención de ese muy real y acuciante tema y debe ser por lo tanto denunciado como un fraude.

Las obvias conclusiones

De todo lo anterior se desprende claramente que tanto los árboles transgénicos como el “carbono neutro” y el etanol celulósico implicarían una expansión aún mayor del actual modelo de monocultivos de árboles y un agravamiento de sus impactos. Resulta igualmente claro que a sus promotores solo les interesa la obtención de las enormes ganancias que esperan obtener de estos nuevos negocios y que poco les importan las graves consecuencias sociales y ambientales que conllevan.

Dada la amplia gama de actores involucrados – que van desde el sector celulósico al energético, del biotecnológico al automotriz, del universitario al gubernamental- se concluye que las luchas actuales contra la expansión de los monocultivos de árboles deberán enfrentarse a coaliciones empresariales mucho más poderosas que las actuales. Con igual claridad se concluye que la única forma para frenar el avance de estas nuevas amenazas antes de que sea demasiado tarde, consiste en la creación de alianzas que incluyan a los más amplios sectores de la sociedad, desde lo local a lo nacional y desde lo regional a lo internacional.

La necesidad de alianzas con una amplia gama de nuevos actores es más que evidente, ya que tanto las plantaciones actuales como las que se instalarían vinculadas a estos nuevos negocios impactarían sobre amplios sectores de la sociedad, puesto que resultarían en la ocupación de tierras productoras de alimentos, impactando por tanto sobre la alimentación de los más pobres y expulsando a más pobladores rurales; resultarían en el agotamiento de recursos hídricos, con impactos sobre amplios sectores a nivel local; darían lugar a problemas de salud, tanto por desnutrición como por el uso de agrotóxicos y la extinción de plantas medicinales locales; generarían impactos diferenciados de género, siendo las mujeres las más afectadas; darían lugar a una mayor desocupación a nivel rural, dado que los escasos empleos generados no compensarían la pérdida de los actuales; impactarían gravemente sobre la biodiversidad local y planetaria, por la conjunción del modelo de monocultivos y los árboles transgénicos; impactarían directamente sobre el clima y retrasarían la adopción de las medidas necesarias para evitar el cambio climático.

En consecuencia, la incorporación de estos nuevos temas al problema ya existente de los monocultivos de árboles a gran escala podría resultar en el fortalecimiento del frente opositor a su expansión, en la medida en que se incorporen al mismo quienes podrían ser afectados en caso de que se convirtieran en realidad. Ello por supuesto presupone que sean conscientes sobre estas nuevas amenazas y a ello apunta el presente artículo.

Fuentes:

Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales (2007).- Los árboles transgénicos. Documento Informativo

http://www.wrm.org.uy/temas/AGM/documento_AGM.pdf

Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales (2008).- Los magos del carbono neutro. Documento Informativo

<http://www.wrm.org.uy/publicaciones/CarbonoNeutro.pdf>

Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales (2008).- Etanol de celulosa. Una tecnología que puede resultar desastrosa. Documento Informativo

http://www.wrm.org.uy/publicaciones/Etanol_sp.pdf