

LA BIOMASA COMO INSTRUMENTO ESTRATEGICO DE DESARROLLO LOCAL: PRINCIPALES RESULTADOS Y REFLEXIONES PARA EL VALLE DE LERMA (SALTA)

Silvina Manrique¹, Judith Franco², Virgilio Núñez³ y Lucas Seghezzo²

Instituto de Investigación en Energía No Convencional (INENCO); Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo (IRNED), Facultad de Ciencias Naturales.

Consejo de Investigaciones de la UNSa. (CIUNSA)

Universidad Nacional de Salta. Avda. Bolivia 5150, A 4408 FVY Salta, Argentina

Tel.: 0387-4255533 – E-mail: silmagda@unsa.edu.ar

RESUMEN

La biomasa, englobando un conjunto de materiales orgánicos de naturaleza diversa, puede ser un instrumento de desarrollo local en los sitios en los que se halla presente. Si bien a nivel mundial se discuten beneficios y perjuicios de su aprovechamiento, en general estas discusiones se circunscriben a la producción de biodiesel y bioetanol (como biocombustibles), y nada tienen que ver con los posibles beneficios de otras fuentes de biomasa y otras aplicaciones. A partir de su detección, estudio, cuantificación y análisis, se definen y especifican las oportunidades y limitaciones de cada uno de los recursos de biomasa disponibles en el Valle de Lerma (Salta, Argentina) en una perspectiva de sustentabilidad. Se resumen en este trabajo los principales aspectos en los cuales las fuentes de biomasa disponibles podrían redundar en impactos positivos, promoviendo sistemas energéticos más sustentables. Dichos aspectos podrían asimismo verificarse en otras regiones y/o países del tercer mundo.

PALABRAS CLAVE: biomasa, bioenergía, mitigación de emisiones, desarrollo local, sustentabilidad.

1. INTRODUCCION

El crecimiento de la economía mundial se ha sustentado de manera especial en las fuentes de combustibles fósiles, que comenzaron a ser intensivamente utilizadas a partir de la Revolución Industrial. En el año 2007, la participación de fuentes fósiles en la matriz energética mundial fue del 81%, repartida entre petróleo (33%), carbón (27%) y gas (21%) (IEA, 2009). Por otra parte, existe una creciente demanda de energía. En los últimos cinco años la demanda energética mundial creció un 3% anual, y se podría estimar a futuro una tasa similar (REN 21, 2008). La IEA (2007) espera un crecimiento de la demanda global de energía del 60% para el año 2030. Si bien otros organismos sostienen que la demanda de energía comenzará a estabilizarse promediando el siglo (WEC, 2006), es inmensa la cantidad de energía que hay que movilizar teniendo en cuenta el acceso de muchos excluidos y la seguridad de suministro. Y esta energía provendrá en gran parte de las fuentes fósiles predominantes actualmente (IPCC, 2007).

En la medida en que los combustibles fósiles son recursos no renovables, existe la posibilidad de la declinación de las reservas existentes, con mayor o menor velocidad, en función de la demanda de energía (Demirbas, 2005). El BP (2008) indica que en el año 2007 la relación promedio mundial R/P (reservas/producción⁴), que señala la longitud de tiempo que las reservas permanecerán si la producción continúa a la tasa considerada, es de aproximadamente 42 años para la declinación del petróleo, de 60 años para el gas natural, y de 133 años para el carbón –con diferencias regionales. Por tratarse de recursos estratégicos, el corto horizonte de reservas genera inquietudes que desencadenan conflictos y guerras por la apropiación de los mismos (WWI, 2006). El EIA (2007) sostiene que el precio del petróleo va en aumento, y que en dos décadas (1986-2006) ha crecido siete veces. La incertidumbre en los precios y la concentración regional de los recursos (principalmente petróleo y gas), crea preocupación en las naciones consumidoras por la seguridad de suministro energético a medida que éstos se agotan (WEC, 2007). Además, la naturaleza centralizada y geográficamente concentrada de la infraestructura energética (centrales eléctricas, refinerías, gasoductos) al interior de los países, los deja vulnerables frente a cualquier desastre natural o ataque terrorista (WWI, 2006).

El empleo de estos recursos fósiles implica asimismo un alto grado de impacto en el ambiente (Demirbas et al., 2009). La generación de energía a partir de estas fuentes, es el principal sector de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se incorporan a la atmósfera y que están asociados con el sobrecalentamiento global y probable cambio climático. Según IPCC (2007) este sector representa el 56,6 % de las emisiones totales de GEI, si bien dichas emisiones son diferenciales por países y por regiones (Flavin, 2008). La quema de estos combustibles es responsable asimismo de la lluvia ácida de las zonas industriales del primer mundo al liberar SO₂ y NO_x (Sanhueza, 1993). Nuevas fuentes de energía, como así, una más eficiente utilización de las mismas, resultan aspectos prioritarios en el diseño de cualquier política energética

¹ Investigadora del Consejo de Investigaciones de la UNSa (CIUNSA).

² Investigador Adjunto CONICET. Instituto de Investigación en Energía No Convencional (INENCO).

³ Director Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo (IRNED).

⁴ R/P: las reservas que permanecen al final de un cierto año, dividido por la producción de ese año (BP, 2008).

actual (Manish et al., 2006). Las fuentes de energía renovable, entre las que se incluyen la energía solar, eólica, biomasa, hidráulica, geotérmica, mareomotriz y otras energías marinas, pueden suministrar energía por periodos indefinidos de tiempo generando menor contaminación que los combustibles fósiles o combustibles nucleares. Algunos autores afirman que la energía renovable es un ingrediente básico para el desarrollo sustentable (Goldemberg y Coelho, 2004; Haas et al., 2008).

La biomasa, que incluye recursos de naturaleza orgánica no fosilizados, fue la primera y única fuente energética utilizada por el hombre hasta el advenimiento del carbón (Karekezi et al., 2004) y sigue constituyendo una de las principales fuentes energéticas de la humanidad (IEA, 2009). En muchos países en desarrollo la biomasa -principalmente en su manifestación como leña o madera- es la más importante fuente de energía, con un aporte en conjunto de alrededor de 35% de su energía primaria (Balat, 2006) y valores muy superiores en algunos países africanos (Hoogwijk et al., 2005; Demirbas et al., 2009). El potencial energético de la biomasa varía en función del tipo y cantidad de recurso y sus características (humedad, composición elemental, cenizas, etc.) (Hatje y Ruhl, 2000; Kishore et al., 2004; Balat et al., 2009) y puede proveer combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, a partir de procesos más o menos complejos, y para diversas aplicaciones (Quaak et al., 1999; McKendry, 2002 a y b; Larsen et al., 2003; Bauen et al., 2004).

La contribución de la biomasa, que actualmente difiere entre regiones, países, y aún al interior de los mismos (Parikka, 2004; Smeets et al., 2007), puede valorarse asimismo desde el punto de vista de la mitigación de GEI. La biomasa es un recurso neutro en emisiones de carbono, ya que se considera que todo el CO₂ emitido en la utilización energética de la biomasa ha sido previamente fijado en las estructuras del material vegetal durante su crecimiento, por lo que no contribuye al incremento de su concentración en la atmósfera, y por tanto, al aumento del efecto invernadero (Kirschbaum, 2003). Este balance puede no ser completamente nulo para algunas aplicaciones en función del tipo de recurso de biomasa empleado, y de las características de las diferentes etapas involucradas en su aprovechamiento (producción, procesamiento, distribución) (Haberl y Geissler, 2000; Krajnc y Domac, 2007). Además, el aprovechamiento de biomasa disminuye otras emisiones nocivas (NO_x, SO₂), en relación con las generadas por el empleo de combustibles fósiles (Swezey et al., 1995; Demirbas et al., 2009).

La biomasa en términos de material de origen orgánico generado espontáneamente en la naturaleza, constituye formaciones vegetales o ecosistemas de diferentes características que cubren amplias regiones de la superficie terrestre (FAO, 2001). Estas formaciones, no sólo son la fuente del material leñoso ampliamente utilizado en distintas regiones del mundo, sino que también realizan un importante secuestro de carbono atmosférico, mediante la fijación del mismo en el proceso fotosintético (Dixon et al., 1994). La eliminación de tales ecosistemas, puede por tanto, contribuir a la acumulación de GEI en la atmósfera y un mayor sobrecalentamiento global (Carvalho et al., 2008; Apezteguía et al., 2009). De allí la importancia de su estudio, cuantificación y monitoreo (DeFries et al., 2007; Verbesselt et al., 2010).

Por otra parte, el empleo de biomasa con fines energéticos involucra una serie de eslabones o etapas que van desde la producción del recurso, al procesamiento y aplicación del mismo (Giampietro et al., 2006; Buchholz et al., 2009). Estas etapas varían en función del recurso de biomasa considerado, de la aplicación para la cual serán destinados, de la tecnología de conversión energética empleada, de los canales de distribución de energía utilizados y del sitio en donde será puesta en marcha la alternativa, como así de sus características ambientales, culturales, económicas, institucionales, en un momento histórico dado (Lewandoski y Faaij, 2006; Sheehan, 2009). En este sentido, la contribución de la biomasa como fuente de energía renovable y/o de reservorio de carbono, como dos de sus cualidades más apreciadas actualmente (Hatje y Ruhl, 2000; Karekezi et al., 2004; Demirbas, 2009), debe ser evaluada de manera particular en cada contexto temporal, humano y territorial, en donde se planifique su manejo y aprovechamiento (Tsoutsos et al., 2009). Ambas cualidades fueron exploradas en el presente trabajo, que resume los principales resultados obtenidos dentro de la tesis doctoral (ejecutada por la autora principal del presente) en la cual estos aspectos fueron estudiados. Asimismo, se especifican las principales áreas en las cuales la biomasa podría resultar en un instrumento de desarrollo local, no sólo en el Valle de Lerma, sino en otras regiones de países en vías de desarrollo. Por último, se presentan algunas reflexiones generales, que deberían ser consideradas en futuras políticas de promoción de aprovechamiento de recursos de biomasa con fines energéticos.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Área de estudio

El Valle de Lerma, ubicado entre los 24°25,61' y 25° 43,66' de latitud sur y los 65°15,22' y 65° 46,60' de longitud oeste, tiene una longitud máxima de 144,3 km y un ancho máximo de 52,3 km (5.006 km² de superficie total) (Núñez et al., 2007). Está integrado por 7 departamentos y 13 municipios. En el Valle de Lerma se distinguen dos zonas muy heterogéneas entre sí: a) la zona baja, en donde se concentran la población y las actividades productivas y de servicios (definida arbitrariamente en este estudio hasta los 1600 m.s.n.m.), y b) la zona montañosa, de población dispersa, con actividades de autoconsumo y ganadería extensiva. La ciudad de Salta capital se encuentra en este Valle.

2.2. Identificación y caracterización de recursos

Los principales recursos de biomasa identificados como disponibles en el Valle de Lerma fueron caracterizados en aspectos físicos (humedad), químicos (análisis elemental, análisis inmediato y análisis de componentes) y termoquímicos (poder calorífico superior e inferior). Para esto, se realizaron diferentes muestreos en función del recurso a ser explorado. Los recursos estudiados fueron: residuos agrícolas (residuos de tabaco Criollo, tabaco Virginia y ají), residuos sólidos urbanos, biomasa natural (cuatro especies de Acacias del Valle -*A. caven*, *A. furcatispina*, *A. praecox* y *A. aromo*- y los ecosistemas de Yungas, Chaco y Arbustales, definidos según Cabrera, 1994). Para mayores detalles ver Manrique (2010).

La humedad se determinó a partir del secado en estufas pertenecientes a la Facultad de Ciencias Naturales de la UNSA, manteniendo las muestras a una temperatura de entre 80°C y 100°C, hasta lograr peso constante. Los análisis elementales se realizaron en el INTA, determinando el Nitrógeno (total) mediante el método de micro-Kjeldahl, y el Carbono (total)

mediante el método de Walkley-Black. Se realizó un promedio de las determinaciones para cada cultivo. En todos los casos los resultados se expresaron en base seca. El análisis inmediato se realizó para determinación de fracciones de humedad y cenizas, en el Laboratorio Central de Análisis del INTA. La materia seca inicial (M.S.I) se obtuvo por gravimetría a 70°C. La materia seca final (M.S.F.) por gravimetría a 105°C. Las cenizas se determinaron por gravimetría a 550°C durante 6 horas. Los resultados se expresaron en base seca. El poder calorífico de los materiales de estudio, se determinó experimentalmente mediante una bomba calorimétrica Parr 1108 Oxygen Combustion Bomb perteneciente a la Facultad de Ciencias Exactas de la UNSa. Los resultados específicos de los análisis mencionados, pueden consultarse en Manrique (2010).

2.3. Incorporación de múltiples criterios y puntos de vista

Los datos de cualidades de los recursos de biomasa estudiados fueron analizados en el cruce con las demandas energéticas reales de la población (relevadas mediante entrevistas a actores clave y una encuesta realizada a cien pobladores del Valle de Lerma), como así, en la incorporación de múltiples aspectos y criterios propuestos por un grupo de expertos internacionales consultados para este propósito. Las potencialidades, oportunidades y limitaciones de cada uno de los recursos de biomasa analizados pudieron ser detectadas, definidas y cuantificadas, en una perspectiva de desarrollo sustentable local (ver Manrique, 2010).

3. RESULTADOS

El punto de partida de la investigación doctoral que se resume en sus aspectos fundamentales en este trabajo, es la consideración que las fuentes de energías renovables, en especial la biomasa, deberían jugar un papel importante en la transición desde actuales sistemas energéticos hacia sistemas energéticos más sustentables. Al cierre del proceso de investigación realizado y luego de abordar el objeto de estudio –biomasa- desde múltiples perspectivas y dimensiones, los resultados parciales obtenidos permiten definir la magnitud de estos aportes en el Valle de Lerma. Se destacan cinco aspectos principales en los cuales puede verificarse la importancia de la participación de la biomasa, como un instrumento estratégico para la implementación de sistemas integralmente más sustentables. Aspectos que a priori, se considera que podrían verificarse asimismo, en otras regiones del país, y aún en otros países del tercer mundo.

a) Suministro de energía renovable y menos contaminante que fuentes fósiles.

Los combustibles fósiles, que representan la principal fuente de energía en la matriz energética mundial, nacional y provincial, poseen reservas limitadas y son recursos no renovables. Su empleo a gran escala está asociado a contaminación atmosférica y sobrecalentamiento global de la atmósfera. Las fuentes de energía renovable, como la biomasa, pueden proporcionar energía menos contaminante que sustituya parcialmente las fuentes fósiles intensivamente utilizadas, y, asociadas a medidas de eficiencia energética, pueden reducir la cantidad de energía consumida en la provisión de un determinado bien o servicio. El gobierno nacional está promoviendo medidas y políticas que logren la inclusión de las fuentes renovables en la matriz nacional, donde aún tienen una escasa participación. Específicamente ha encarado un estudio nacional de evaluación del potencial de la biomasa, que será el punto de partida para la elaboración de proyectos de implementación, pero que debe ser precisado y complementado con estudios locales. En la provincia de Salta, la bioenergía y la energía solar, han sido detectadas como las dos principales fuentes de energía renovable, que podrían contribuir a la modificación de la matriz energética provincial. Sin embargo, sobre todo en el campo de la biomasa -que incluye diversidad de recursos y sobre la cual existe escasa información generada- es necesario realizar mayores estudios.

b) Provisión de energía desde recursos disponibles localmente (y de bajo o ningún costo).

La biomasa, como fuente de energía renovable, puede resultar en soluciones reales actuales en sitios aislados de la red y de centros poblados, en donde se encuentre disponible. En el Valle de Lerma existen una gran variedad de recursos de biomasa provenientes de diferentes orígenes y con diferentes características. No todos los recursos potenciales identificados, pueden considerarse directamente como recursos disponibles con fines energéticos. Los recursos disponibles en el Valle son: residuos agrícolas, residuos sólidos urbanos (RSU) y biomasa leñosa proveniente de los tres principales ecosistemas representados en la zona. En cualquiera de estos casos, el costo de la materia prima es nulo –residuos agrícolas o RSU- o muy bajo –leña-, si bien, las posibilidades de su aprovechamiento lleven asociados costos de mano de obra, transformación, distribución o almacenamiento, que deberán ser estudiados en cada caso.

La biomasa residual agrícola (residuos de tabaco Criollo, Virginia y Ají, o biomasa residual seca), que actualmente no es aprovechada, implica una oferta anual de bioenergía de aproximadamente 206.000 GJ/año en el Valle de Lerma. Por otra parte, los residuos sólidos urbanos (biomasa residual húmeda) cuyo PCI estimado es de 10,8 GJ/kg (en base húmeda), implican una oferta anual de bioenergía de cerca de 34.000 GJ/año desde el biogás que podría generarse en el relleno sanitario regional (considerando un 70% de valorización del biogás generado). En la suma de ambos potenciales, se estaría recuperando un importante caudal energético, en beneficio local. Algunos de los co-beneficios asociados a este posible aprovechamiento, quizás resulten aún más significativos para la población del Valle (disminución de vectores transmisores de enfermedades, reducción de malos olores y contaminación del aire, suelo, aguas subterráneas, entre otros).

La biomasa natural estudiada (ecosistemas de Yungas, Chaco y Arbustales) podría proveer una oferta bioenergética anual de más de 3.117.000 GJ/año en el Valle. Si bien la biomasa leñosa es utilizada actualmente (aunque sin planes de manejo ni registros estadísticos), sólo en el ordenamiento y manejo con bases científicas del recurso, esta provisión logrará asegurarse en el tiempo. Por otra parte, el estudio específico sobre cuatro especies más representativas del arbustal, muestra que cada especie realiza un aporte diferencial a la oferta de biomasa y bioenergía del ambiente. El manejo de las cuatro especies seleccionadas (*Acacia aroma*, *A. caven*, *A. furcatispina* y *A. praecox*) podría proveer una oferta de aproximadamente 210.000 GJ/año en el Valle de Lerma. Los planes de manejo de los ecosistemas naturales del Valle deberían observar las

particularidades de cada especie para la cual se propone su aprovechamiento. Se requieren mayores estudios botánicos, ecológicos, y silviculturales, para poder definir estrategias científicamente fundadas.

c) Versatilidad de aplicaciones y satisfacción de demandas locales.

Si bien existen diversas aplicaciones potenciales para los recursos de biomasa disponibles en el Valle de Lerma, el estudio y discriminación de las demandas energéticas reales de la población, permitió circunscribir el abanico de opciones posibles. El análisis de los alcances y restricciones de la oferta de biomasa y bioenergía del Valle frente a las distintas aplicaciones, posibilitó observar que existen objetivos concretos de bioenergía que podrán ser cubiertos, como así, la necesidad de otorgarle prioridad de uso a cada recurso, a fin de que puedan cubrirse las demandas energéticas locales antes que las externas. Por otra parte, dada la heterogeneidad de los recursos de biomasa, existen diversos procesos de conversión energética que podrían ser aplicados, como así tecnologías que podrían resultar más adecuadas para la zona y que incluso podrían ser diseñadas y construidas a nivel local. No existen soluciones únicas para el empleo de los recursos de biomasa. Sin embargo, sí existe una única base física que debe ser manejada apropiadamente a fin de perpetuar sus beneficios en el tiempo, por lo que la priorización de los intereses locales, debe primar en futuras políticas para la zona.

d) Mitigación de emisiones de gases efecto invernadero (GEI).

La biomasa existente en la zona ha demostrado ejercer funciones de carácter e importancia sistémica. Los datos sobre secuestro de carbono obtenidos permitieron estimar la capacidad de mitigación de emisiones de GEI de las categorías de biomasa natural y residual seleccionadas, en cuanto a sustitución de combustibles fósiles por empleo de bioenergía, y fijación de carbono por secuestro desde la atmósfera. El secuestro de carbono de los ecosistemas estudiados es de 192 tC/ha para Yungas, 92 tC/ha para Chaco y 48 tC/ha para arbustales, siendo el suelo el segundo reservorio más importante en los sitios más húmedos, y el principal en los ambientes más secos. En términos de emisiones de GEI evitadas, el empleo de la oferta de biomasa disponible anualmente (desde todos los recursos estudiados: biomasa residual y natural), permitiría mitigar las emisiones de aproximadamente 40.000 ciudadanos del Valle por año (considerando la huella de carbono promedio de los mismos). Para el aprovechamiento de los recursos de biomasa natural y residual, se requieren desarrollar estrategias diferentes siendo la categoría de biomasa natural (ecosistemas nativos) la que reviste mayor complejidad y demanda un estudio más exhaustivo. Esta complejidad reside principalmente en el hecho de que cada ecosistema incluye una multiplicidad de especies diferentes y de características particulares, lo que no ocurre con la biomasa residual. En el caso de los recursos de biomasa residual, si bien su empleo podría significar un aporte en la mitigación de emisiones, deben ser estudiados aspectos económicos y de ciclo de vida, buscando la maximización de sus beneficios.

e) Potenciales beneficios económicos, sociales, ambientales desde el manejo integral de la biomasa.

Los resultados parciales logrados en las diferentes instancias de la investigación realizada, develaron cualidades de los recursos explorados que los constituían como opciones válidas de ser utilizadas. Sin embargo, sólo hasta abordar el objeto de estudio desde múltiples dimensiones y aspectos, fue posible simular algunas potenciales respuestas del sistema Valle de Lerma como una totalidad, y desde el punto de vista de la sustentabilidad local. Las alternativas bioenergéticas que fueron exploradas y profundizadas, muestran un nivel de sustentabilidad entre medio y alto, con lo cual denotan sistemas que claramente podrían implicar mayores beneficios que perjuicios al ser implementados en el Valle de Lerma. Dado que el método empleado permitió detectar las dimensiones y criterios que muestran un bajo rendimiento para cada opción propuesta, estos aspectos podrían ser especialmente estudiados en la búsqueda de su optimización.

Por otra parte, en el análisis del comportamiento del sistema Valle de Lerma frente a la implementación de tales sistemas bioenergéticos, puede observarse que dichas alternativas impactarían positivamente en diversos aspectos que hacen, en función de la propia percepción local, a una mayor calidad de vida. Si bien no todos los indicadores definidos y evaluados podrán ser impactados con la puesta en marcha de las alternativas bioenergéticas consideradas, se estima que en términos generales posibilitarán avanzar hacia niveles de mayor sustentabilidad local futura. Es decir, estas alternativas podrían traer aparejados beneficios en distintas facetas del entorno cultural y físico que confluyen en el Valle, lo cual no necesariamente implica acumulación de capital, o generación de excedentes o ganancias. Un sistema o territorio más sustentable –desde el enfoque de este trabajo- será aquel en donde se consideren las necesidades reales de la población, se vele por la salud de la naturaleza viva que allí se manifiesta y se desplieguen alternativas que se adecuen a la dotación de recursos que existen. Para esto es necesario develar y reconocer la interdependencia fundamental entre todos los fenómenos y el hecho de que, como individuos y sociedades, estamos todos inmersos en los procesos cíclicos de la naturaleza. Toda entidad real no es resultante de causas internas, ni externas ni lineales ni simples, sino del inter-retro-juego de interrelaciones múltiples que definen la complejidad. Lo real, debido a la trama de sus relaciones, es por su misma naturaleza complejo.

Si bien el abordaje del objeto de estudio se realizó considerando múltiples dimensiones y perspectivas, existe una compleja conjunción de factores, elementos, interrelaciones, energías, coyunturas temporales, que entran en sinergia y en sintonía en la constitución concreta del sistema, y de sus aspectos relacionales individuales. Aún las partes aparentemente más simples de la realidad están conformadas por interrelaciones entre sus componentes y con el entorno que lo rodea (contexto territorial, temporal y humano) y el mismo sujeto que analiza no se sitúa al margen de esta realidad, sino que es parte del proceso de la realidad y de su conocimiento reflejo. Por tanto, la exploración, descripción, explicación de las partes del sistema estudiadas no agotaron el conocimiento sobre el mismo. El desarrollo del conocimiento resolvió enigmas, pero a la misma vez, reveló nuevos misterios.

4. DISCUSION

En Argentina, dada la existencia de diversos ecosistemas naturales (PNUMA, 2004) como así el carácter agrícola-ganadero de sus principales actividades económicas (SAyDS, 2005), existe un alto potencial para el aprovechamiento de recursos de biomasa. La FAO (2009), dentro del marco institucional conformado por diversos organismos nacionales, ha realizado una evaluación nacional de la biomasa (incluyendo leña, otra biomasa leñosa, bagazo, residuos agrícolas y agroindustriales), señalando que su contribución es cercana al doble de lo que evidencian las estadísticas energéticas, agropecuarias y forestales nacionales actualmente en uso.

Este potencial debe ser considerado en dos de sus facetas por separado. Por un lado, la biomasa leñosa generada en los ecosistemas naturales, ha sido tradicionalmente utilizada por los pobladores, sin ningún tipo de plan de manejo u ordenamiento forestal. La carencia de planes de manejo del recurso, la intensa explotación maderera del mismo y la administración nacional llevada a cabo por un sector de intereses antagónicos (sector agro- ganadero) agudizaron el deterioro de los bosques y ecosistemas naturales con el correr del tiempo (SAyDS, 2005). Por otro lado, y precisamente por este carácter agrícola del país, uno de los principales recursos de biomasa que se está promoviendo actualmente, pero cuya expansión en superficie ya viene aumentando en los últimos años, es el cultivo de soja (Panichelli et al., 2009). Argentina es uno de los tres mayores productores y exportadores de aceites vegetales y el mayor exportador global de aceite de soja y girasol (FAO, 2008), y dado que la producción de biodiesel (diesel obtenido desde aceite vegetal) es un eslabón más en la cadena oleaginoso (CAER, 2008), en el 2007 el país se ubicó tercero en la lista de países con potencial para la producción de biodiesel (Johnston y Holloway, 2007). Alcanzar esta posición significó que en el periodo 2000-2008 se incrementara un 32% la superficie total cultivada, pasando de 24.5 a 32 millones de hectáreas (FAO, 2008), siendo el cultivo de soja el que ocupó el 50% de la superficie cubierta con granos (Panichelli et al., 2009). En consiguiente, la pérdida de bosques nativos asociada al avance de la frontera agropecuaria (como uno de los principales factores de impacto, entre los que también se cuentan las actividades ganaderas) ha alcanzado niveles críticos en los últimos años (PNUMA, 2004). La producción de biodiesel ha generado controversias no sólo a nivel nacional, sino también internacional principalmente por su competencia en el uso de la tierra (Righelato y Spracklen, 2007; Searchinger et al., 2008; Phalan, 2009); competencia por el agua (Schnoor et al., 2008; Domínguez Faus et al., 2009); su posible repercusión en los precios de productos alimenticios (Rahman et al., 2008; Koh y Ghazoul, 2008); sus efectos en la biodiversidad (Fitzherbert et al., 2007); su balance energético (Pimentel et al., 2007; Rajagopal et al., 2007; Campbell et al., 2009) y las emisiones de GEI no siempre favorables (Farrell et al., 2006; Hill et al., 2006; Alder et al., 2007; Gibbs et al., 2008).

Las experiencias a nivel nacional, como así las discusiones y experiencias relevadas de diferentes sectores del mundo (Kaimowitz y Thiele, 1999; Koh, 2007; Bush, 2008; Righelato y Spracklen, 2007; Bindrabán et al., 2009; entre otros), conducen a la reflexión y el planteamiento de algunas cuestiones básicas en relación con el aprovechamiento de recursos de biomasa. En primer lugar, el potencial de la “biomasa” considerada ésta como una categoría universal, no puede ser evaluado, si no se especifica su alcance y definición, ya que no es posible invocar los atributos positivos de un tipo de combustible para una defensa genérica y menos para su evaluación (Honty y Gudynas, 2007). Es necesario que la problemática específica de cada tipo de biocombustible (combustible derivado desde recursos de biomasa) cobre identidad propia, a fin de que pueda ser estudiado y optimizado para obtener los mayores beneficios posibles de su empleo. En segundo lugar, aún realizando la discriminación del recurso y especificando su modo de producción, los potenciales beneficios a obtener serán diferentes en función de la escala en la cual será empleado el recurso, como así, del contexto humano, territorial y temporal en el cual se planifica su utilización (Mol, 2007; Koh y Ghazoul, 2008; Bindrabán et al., 2009).

En tercer lugar, el carácter de renovabilidad de los recursos de biomasa es “condicional”, y su utilización por encima de su tasa de renovación, puede conducir al deterioro del recurso base (Sasaki et al., 2010), y el cese de la provisión de energía o su contribución como reservorio de carbono (entre otros beneficios asociados a la biomasa, principalmente a aquella que conforma ecosistemas naturales de diferente naturaleza: Costanza et al., 1997; De Groot et al., 2002; Kumar y Kumar, 2008). En cuarto lugar, dada la complejidad que revisten los sistemas bioenergéticos en general, la evaluación de su “contribución” al nivel de sustentabilidad de un sitio determinado, debe ser lo más inclusiva y holística posible. Lo sustentable, asociado con condiciones deseables en las diferentes facetas de la vida humana, debe ser definido asimismo, en cada contexto particular, e incluiría en términos generales aspectos como: bienestar económico, protección ambiental, justicia social, fortalecimiento o empoderamiento de las comunidades locales, reconocimiento y valorización de la importancia de las diferencias culturales y el derecho de cada nación de ejercer un dominio efectivo sobre sus bienes y servicios ecosistémicos (George, 1999; Richardson y Verwijst, 2005; Schubert y Blasch, 2009). En este sentido, no existe una condición sustentable universal hacia la cual todo debe ser encaminado. Lo sustentable tiene claramente una connotación particular en cada caso, en cada contexto, en cada momento histórico y frente a cada grupo humano, en cada uno de los cuales se define su esencia, su significado y su “utopía” a seguir.

Lograr beneficios en un área como la provisión de energía, por ejemplo, no debería generar nuevos problemas en otras áreas tales como contaminación o degradación de recursos naturales; afectación de modos de vida o desplazamiento de comunidades; avasallamiento de derechos humanos; escasez de alimentos o aumento de precios en los mismos; debilitamiento de las economías regionales; generación de emisiones contaminantes o con efecto invernadero, entre los principales aspectos (Naik et al., 2009; Sanhueza, 2009). La biomasa, como fuente de energía renovable, pero también como instrumento estratégico de aplicación local, podría contribuir al establecimiento de sistemas energéticos más sustentables, lo cual deberá ser evaluado en cada caso. En particular, en el noroeste argentino, donde se incluye la provincia de Salta, que ha sido identificado como un territorio o región donde existe una amplia oferta de recursos de biomasa (GENREN, 2007).

Las oportunidades y límites de lo posible en el campo de la biomasa, en la presente investigación, quedan definidos por lo percibido y asumido como sustentable desde el contexto cultural y físico que enmarca el Valle de Lerma. Las relaciones y elementos que conforman la organización, poco a poco son develados y profundizados desde bases científicas, generando resultados que permiten entender parte de la complejidad del sistema y sus reales posibilidades en cuanto al aprovechamiento

sustentable de los recursos de biomasa que en él se encuentran. Sin embargo, la realidad –cuya naturaleza sistémica es compleja en sí misma- no desemboca “hacia abajo”, en niveles inferiores del sistema, en un nivel básico simple. Aún las partes consideradas más simples de la realidad o muy elementales, están conformadas por interrelaciones entre sus componentes, y esas interrelaciones son acontecimientos leídos como eventos ligados entre ellos, formando parte de conjuntos organizados (Morín, 2006). La realidad, que se da en niveles múltiples y todos de la misma categoría ontológica, debe por tanto entenderse y explicarse simultáneamente, desde todas las perspectivas posibles. Por tanto, cualquier aproximación al estudio y manejo de los recursos de biomasa, requiere una visión analítica y sistémica a la vez, participativa y multidisciplinaria, comprometida y localmente enfocada. Lo “universalmente” bueno y deseable, puede no serlo a escala micro.

5. CONCLUSIONES

La biomasa es parte de la solución para combatir el cambio climático a nivel mundial, como así, para proveer soluciones creativas a muchos otros aspectos que guíen a una mayor sustentabilidad local. Pero no es “la” solución, y puede aún convertirse en parte del problema que busca resolver, o aún generar nuevos problemas a resolver. La sustentabilidad energética del territorio, correctamente definida, consensuada, y sustentada en principios y valores éticos solidarios y fraternos permitirán dejar atrás territorios y sistemas energéticos insustentables.

Los resultados logrados a partir de las diferentes instancias que se resumen brevemente en este trabajo, sólo redireccionan al mismo punto desde el cual se partiera en la investigación desarrollada. Es decir, es imposible abordar el estudio de la biomasa, de naturaleza intrínsecamente compleja, desde una sola perspectiva o dimensión, ya que las partes aparentemente más simples de la realidad están conformadas por interrelaciones entre sus componentes y con el entorno que lo rodea (contexto territorial, temporal y humano). Si bien los resultados parciales logrados en las diferentes instancias de esta investigación develaron cualidades de los recursos explorados que los constituían como opciones válidas de ser utilizadas, sólo hasta abordar este estudio desde múltiples dimensiones y aspectos, es posible conocer y simular algunas posibles respuestas del sistema como una totalidad. Esto resulta fundamental cuando el objetivo final es coadyuvar a la implementación de sistemas energéticos más sustentables.

AGRADECIMIENTOS

Al CIUNSa (Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta), por el financiamiento parcial otorgado a la presente investigación, bajo el proyecto N° 1.955. Al CONICET, por la beca doctoral otorgada a la autora principal, que fue el soporte para el desarrollo de la presente investigación. Al INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), y profesores de la Facultad de Ciencias Naturales, Cs. Exactas e Ingeniería. A los estudiantes que participaron de las tareas de campo. A los profesionales (locales e internacionales) que brindaron datos, información, opiniones, sugerencias, comentarios. A los intendentes, pobladores, y actores del Valle de Lerma, por sus valiosos aportes y participación.

ABSTRACT

Biomass, that includes different kinds of organic materials, can be an instrument of local development in places where it is present. While the world discusses benefits and drawbacks of its use, in general these discussions are limited to the production of biodiesel and bioethanol (as biofuels), and have nothing to do with the potential benefits of other sources of biomass and other applications. Since its detection, study, quantification and analysis, define and specify the opportunities and limitations of each of the biomass resources available in the Valle de Lerma (Salta, Argentina) in a perspective of sustainability. Are summarized in this paper the main aspects in which the available biomass sources could result in positive impacts, promoting more sustainable energy systems. These aspects could also be verified in other regions and / or third world countries.

REFERENCIAS

- Alder, P.R., Grosso, S.J.D. y Parton, W.J. (2007). Life cycle assessment of net greenhouse-gas flux for bioenergy cropping systems. *Ecological Applications* 17, 675–91.
- Apezteguía, H.P., Izaurralde, R.C. y Sereno, R. (2009). Simulation study of soil organic matter dynamics as affected by land use and agricultural practices in semiarid Córdoba, Argentina. *Soil and Tillage Research* 102, 101–108.
- Balat, M., Balat, M., Kirtay, E. y Balat, H. (2009). Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 1: Pyrolysis systems. doi:10.1016/j.enconman.2009.08.014.
- Balat, M. (2006). Biomass energy and biochemical conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Sources A* 28, 517–25.
- Bauen, A., Woods, J. y Hailes, R. (2004). Bioelectricity vision: achieving 15% of electricity from biomass in OECD countries by 2020. WWF and Aebiom report. United Kingdom: Imperial College London and E4tech (UK) Ltd.
- Bindrabán, P.S., Bulte, E.H. y Conijn, S.G. (2009). Can large-scale biofuels production be sustainable by 2020?. *Short Communication. Agricultural Systems* 101, 197–199.
- BP (Beyond Petroleum). (2008). *Statistical Review of World Energy* June 2008. www.bp.com/statisticalreview.
- Buchholz, T., Rametsteiner, E., Volk T.A. y Luzadis, V.A. (2009). Multi Criteria Analysis for bioenergy systems assessments. *Energy Policy* 37, 484–495.
- Bush, S.R. (2008). The social science of sustainable bioenergy production in Southeast Asia. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 2, 126–132.
- Cabrera, A. (1994). *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Editorial Acme S.A.C.I. Tomo II (1). Buenos Aires.
- CAER (Cámara Argentina de Energías Renovables). (2008). *Outlook for the Argentine biodiesel industry*. Buenos Aires.
- Campbell, A., Dickson, B., Kapos, V., Miles, L. y Scharlemann, J. (2009). Biofuels and biodiversity: an assessment of the impacts of biofuels on biodiversity and the appropriate policy responses. *Earth and Environmental Science* 6.

- Carvalho, J.L.N., Cerri, C.E.P., Feigl, B.J., Godinho, V.P. y Cerri, C.C. (2008). Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil Tillage Research*. doi:10.1016/j.still.2008.10.022.
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, et al. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253–260.
- De Groot, R.S., Wilson, M.A. y Boumans, R.M.J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Special Issue: The Dynamics and Value of Ecosystem Services: Integrating Economic and Ecological Perspectives *Ecological Economics* 41, 393–408.
- DeFries, R., Achard, F., Brown, S., Herold, M., Murdiyarso, D., et al. (2007). Earth observations for estimating greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries. *Environmental science and policy* 10, 385–394.
- Demirbas, M.F., Balat, M. y Balat, H. (2009). Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. *Energy Conversion and Management* 50, 1746–1760.
- Demirbas, A. (2005). Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. *Progress in Energy and Combustion* 31, 171–192.
- Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C. y Wisniewski, J. (1994). Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science* 263 (14), 185–190.
- Domínguez-Faus, R., Powers, S., Burken, J., Alvarez, P.J. (2009). The Water Footprint of Biofuels: A Drink or Drive Issue?. *Environmental Science and Technology* 43, 3005–3010.
- EIA (Energy Information Administration). (2007). Annual energy outlook 2007 with projections to 2030. Washington (DC): US Department of Energy.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2001). Situación de los bosques del mundo. Departamento de Montes de la FAO. Roma, Italia.
- FAO. 2008. Food and Agricultural Organisation Statistics: Production. FAO, Rome. /<http://faostat.fao.org/default.aspx>S.
- FAO. 2009. Análisis del Balance de Energía derivada de Biomasa en Argentina - WISDOM Argentina-Informe Final. Departamento Forestal Dendroenergía. Proyecto TCP/ARG/3103. 118 p.
- Farrell, A.E., Plevin, R.J., Turner, B.T., Jones, A.D., O'Hare, M. y Kammen, D.M. (2006). Ethanol can contribute to energy and environmental goals. *Science* 311, 506–508.
- Fitzherbert, E.B., Struebig, M.J., Morel, A., Danielsen, F., Bruhl, C.A., Donald, P.F. y Phalan, B. (2007). How will oil palm expansion affect biodiversity? *Trends in Ecology and Evolution* 23 (10), 538–545.
- Flavin, C. (2008). Worldwatch Report 178. Low-Carbon Energy: A Roadmap. 52 p.
- GENREN (Programa de Generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables). Argentina. <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3065>.
- George, C. (1999). Testing for sustainable development through environmental assessment. *Environmental Impact Assessment Review* 19, 175–200.
- Giampietro, M., Mayumi, K. y Munda, G. (2006). Integrated assessment and energy analysis: quality assurance in multi-criteria analysis of sustainability. *Energy* 31, 59–86.
- Gibbs, H. K., Johnston, M., Foley, J., Holloway, T., Monfreda, C., et al. (2008). Carbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropics: The effects of changing yield and technology. *Environ. Research Letters* 3 (034001): 10pp.
- Goldemberg, J. y Coelho, S.T. (2004). Renewable energy—traditional biomass vs. modern biomass. *Energy Policy* 32, 711–714.
- Haas, R., Nakicenovic, N., Ajanovic, A., Faber, T., Kranz, L., Muller, A. y Resch, G. (2008). Towards sustainability of energy systems: A primer on how to apply the concept of energy services to identify necessary trends and policies. *Energy Policy* 36, 4012–4021.
- Haberl, H. y Geissler, S. (2000). Cascade utilization of biomass: strategies for a more efficient use of a scarce resource. *Ecological Engineering* 16, S111–S121.
- Hatje, W. y Ruhl, M. (2000). Use of biomass for power- and heat-generation: possibilities and limits. *Ecological Engineering* 16, S41–S49.
- Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S. y Tiffany, D. (2006). Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proceedings of the National Academy of Science. U.S.A.* 103, 11206.
- Honty, G. y Gudynas, E. (2007). “Agrocombustibles y desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe”. Serie Observatorio del Desarrollo. CLAES. Desarrollo, Economía, Ecología y Equidad. América Latina.
- Hoogwijk, M., Faaij, A., Eickhout, B., De Vries, B. y Turkenburg, W. (2005). Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass and Bioenergy* 29, 225–257.
- IEA (International Energy Agency). (2007). Biomass for power generation and CHP. IEA energy technology essentials. Paris: OECD/IEA.
- IEA (International Energy Agency). (2009). Key world energy statistics – 2009 edition. Paris (France): OECD/IEA.
- IPCC (Intergovernmental Panel Climate Change). (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación. Ginebra, Suiza, 104 págs.
- Johnston, M. y Holloway, T. (2007). A global comparison of national biodiesel production potentials. *Environmental Science and Technology* 41(23), 7967–7973.
- Kaimowitz, D. y Thiele, G. (1999). The effects of structural adjustment on deforestation and forest degradation in lowland Bolivia. *World Development* 27(3), 505–520.
- Karekezi, S., Lata, K. y Coelho, S.T. (2004). Traditional Biomass Energy. Improving its Use and Moving to Modern Energy Use. Editing: Secretariat of the International Conference for Renewable Energies, Bonn 2004.
- Kirschbaum, M.U.F. (2003). To sink or burn? A discussion of the potential contributions of forests to greenhouse gas balances through storing carbon or providing biofuels. *Biomass and Bioenergy* 24, 297–310.
- Kishore, V.V.N., Bhandari, P.M. y Gupta, P. (2004). Biomass energy technologies for rural infrastructure and village power—opportunities and challenges in the context of global climate change concerns. *Energy Policy* 32, 801–810.
- Koh, L.P. y Ghazoul, J. (2008). Biofuels, biodiversity, and people: Understanding the conflicts and finding opportunities. *Review. Biological Conservation* 141, 2450–2460.

- Koh, L.P. (2007). Potential habitat and biodiversity losses from intensified biodiesel feedstock production. *Conservation Biology* 21, 1373–1375.
- Krajnc, N. y Domac, J. (2007). How to model different socio-economic and environmental aspects of biomass utilisation: Case study in selected regions in Slovenia and Croatia. *Energy Policy* 35, 6010–6020.
- Kumar, M. y Kumar, P. (2008). Valuation of the ecosystem services: A psycho-cultural perspective. *Ecological Economics* 64, 808–819.
- Larsen, H., Kossmann, J. y Petersen, L.S.(2003). New and emerging bioenergy Technologies. Risø Energy Report 2. Risø National Laboratory. 48 p.
- Lewandowski, I. y Faaij, A.P.C. (2006). Steps towards the development of a certification system for sustainable bio-energy trade. *Biomass and Bioenergy* 30, 83–104.
- Manish, S., Indu, R.P. y Rangan, B. (2006). Sustainability analysis of renewables for climate change mitigation. *Energy for Sustainable Development* 10(4), 5-36.
- Manrique, S. 2010. Posibilidades de Recuperación y Aprovechamiento Energético de la Biomasa del Valle de Lerma, Provincia de Salta, Argentina. Oportunidades y Limitaciones en un Marco de Sustentabilidad. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta. 427 p.
- McKendry, P. (2002a). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83, 37–46.
- McKendry, P. (2002b). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Biores. Technology* 83, 47–54.
- Mol, A.P.J. (2007). Boundless Biofuels? Between Environmental Sustainability and Vulnerability. *Sociologia Ruralis* 47 (4), 297-315.
- Morín, E. (2006). El método III. El conocimiento del conocimiento. Cátedra. Madrid, España.
- Naik, S.N., Goud, V.V., Rout, P.K. y Dalai, A.K. (2009). Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2), 318-345.
- Núñez, V. et al. 2007. Cartografía digital generada en el marco del proyecto CIUNSA 1345: Pautas para el ordenamiento territorial del Valle de Lerma. Parte II. Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Salta.
- Panichelli, L., Dauriat, A. y Gnansounou, E. (2009). Life cycle assessment of soybean- based biodiesel in Argentina for export. *International Journal of Life Cycle Assessment* 14,144–159.
- Parikka, M. (2004). Global biomass fuel resources. *Biomass and Bioenergy* 27, 613–620.
- Phalan, B. (2009). The social and environmental impacts of biofuels in Asia: An overview. *Applied Energy* 86, S21–S29.
- Pimentel, D., Patzek, T. y Cecil, G. (2007). Ethanol production: energy, economic, and environmental losses. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 189, 25.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). (2004). Informe del Estado del Ambiente - GEO Argentina. PNUMA-ORPALC y Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la República Argentina. 270 p.
- Quaak, P., Knoef, H. y Stassen, H. (1999). Energy from biomass: a review of combustion and gasification technologies. World Bank technical paper 422. Energy series.
- Rahman, S.H., Ahmed, A.M., Bauer, A., et al. (2008). Soaring Food Prices: Response to the Crisis. Asian Development Bank, Manila, Philippines. <<http://www.adb.org/Documents/Papers/soaringfood- prices/soaring-food-prices.pdf>>.
- Rajagopal, D., Sexton, S.E., Roland-Holst, D. y Zilberman, D. (2007). Challenge of biofuel: filling the tank without emptying the stomach?. *Environmental Research Letter* 2: doi:10.1088/1748-9326/2/4/044004.
- REN21 (Renewable Energy Network for the 21st Century).(2008). *Renewables 2007 Global Status Report* (Paris: REN21 Secretariat and Washington, DC: Worldwatch Institute). GTZ, GmbH.
- Richardson, J. y Verwijst, T. (2005). Sustainable bioenergy production systems: environmental, operational and social implications. *Biomass and Bioenergy* 28 (2005) 95–96.
- Righelato, R. y Spracklen, D. V. (2007). Environment - Carbon mitigation by biofuels or by saving and restoring forests. *Science* 317 (5840), 902–902.
- Sanhueza, E. (1993). ¿Es el gas natural un combustible menos contaminante? *Interciencia* 18(6), 285-286. http://www.interciencia.org/v18_06/carta_al_editor.html
- Sanhueza, E. (2009). Agroetanol ¿Un combustible ambientalmente amigable?. *Interciencia* 34 (2), 106-112.
- SAyDS (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable). (2005). Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas. Préstamo BIRF 4085-AR; 2005. Informe Nacional. Argentina.
- Schnoor, J.L., Doering, O.C., Entekhabi, D., Hiler, E.A., Hullar, T.L. y Tilman, D. (2008). Water Implications of Biofuels Production in the United States. National Academy of Sciences, Washington DC, USA.
- Schubert, R. y Blasch, J. (2009). Sustainability standards for bioenergy - a means to reduce climate change risks. *Earth and Environmental Science* 6 (2009) 182003 doi:10.1088/1755-1307/6/8/182003.
- Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R. A., Dong, F. X., et al. (2008). Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 319 (5867), 1238–1240.
- Seghezze, L. (2009). The five dimensions of sustainability. *Environmental Politics* 18(4): 539-556.
- Sheehan, J.J. (2009). Biofuels and the conundrum of sustainability. *Current Opinion in Biotechnology* 20, 318–324.
- Smeets, E.M.W., Faaij, A.P.C., Lewandowski, I.M., Turkenburg, W.C. (2007). A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050. *Progress in Energy and Combustion Science* 33, 56–106.
- Swezey, B.G., Porter, K.L. y Feher, J.S. (1995). The Potential Impact of Externalities Considerations on the Market for Biomass Power Technologies. *Biomass and Bioenergy* 8 (4), 207-220.
- Tsoutsos, T., Drandaki, M., Frantzeskaki, N., Iosifidis, E. y Kiosses, I. (2009). Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete. *Energy Policy* 37, 1587–1600.
- Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G. y Culvenor, D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment* 114, 106–115.
- WEC (World Energy Council). (2007). Survey of Energy Resources. Executive Summary. Promoting the sustainable supply and use of energy for the greatest benefit of all.
- WWI (Worldwatch Institute). (2006). American Energy. The Renewable Path to Energy Security. Project Team Worldwatch Institute. Center for American Progress. 40 p.