

BIOENERGÍA EN EL VALLE DE LERMA: EVALUACION DE SUSTENTABILIDAD DE ALTERNATIVAS

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

Estudios previos en el Valle de Lerma (Salta) han identificado diferentes sistemas bioenergéticos que podrían ser implementados en la zona. Estos sistemas son altamente complejos: incluyen diferentes etapas (desde su producción a su aplicación), sectores involucrados, disciplinas, recursos, entre otros. A su vez, estos sistemas están embebidos en un entramado social, territorial, y un contexto ambiental determinado. La complejidad resultante y el “nivel” de sustentabilidad de cada sistema deben ser estudiados, por tanto, desde una perspectiva integradora y de múltiples criterios. Los objetivos del presente estudio son: detectar, mediante la opinión de múltiples actores internacionales, los aspectos más importantes en la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas bioenergéticos, y aplicar estos criterios en la realización de una Evaluación multi-criterio (EMC) de sistemas bioenergéticos del Valle. La metodología desarrollada se constituye en una herramienta práctica que permitirá una valoración global rápida y completa de sistemas bioenergéticos.

PALABRAS CLAVE: bioenergía, evaluación multi-criterio, encuesta a expertos, sustentabilidad, criterios, sistemas bioenergéticos.

1. INTRODUCCION

La biomasa, desde el punto de vista energético, constituye una fuente de energía renovable, en la cual se depositan grandes expectativas a nivel mundial. De manera general, la biomasa incluye a todas aquellas sustancias orgánicas que tienen su origen en los compuestos de carbono formados en la fotosíntesis, y que pueden haber sufrido o no, diferentes procesos de transformación. La gran diversidad de recursos que se engloban bajo este concepto, su amplia distribución y accesibilidad, así como su cualidad de proveer una energía neutra en emisiones de carbono (en la medida en que todas las emisiones de carbono –C- resultantes de su uso fueron teóricamente⁴ secuestradas de la atmósfera en el proceso natural de crecimiento), la convierten en una alternativa futura frente a los pronósticos de cambio climático y agotamiento de combustibles fósiles.

Por otro lado, la biomasa puede ser producida en un modo insostenible ambientalmente, como por ejemplo, por la cosecha de leña desde bosques nativos sin un plan de manejo (Ruger et al., 2008); por transformar los bosques en tierras agrícolas (Koh y Ghazoul, 2008; Searchinger et al., 2008), por producirla a partir de métodos agrícolas con impactos negativos (altos insumos de fertilizantes y pesticidas, mal manejo del agua, sin prácticas de sistematización y protección de suelos) (Escobal et al., 2000; Berndes, 2002). Por otro lado, el comercio de biomasa debería mejorar la situación económica en las regiones donde la biomasa es producida, aunque existen ejemplos a nivel mundial de que sólo quedan los impactos negativos de la exportación, y la situación de pobreza y desigualdad local se agrava (Kaimowitz y Thiele, 1999). El comercio de biomasa para energía, podría conducir a una escasez de alimentos regionales en el caso de que los propietarios ganen más dinero desde la venta de biomasa para exportación como combustible, que para alimentos o venta en el mercado local (Sahn, 1990).

Los aspectos mencionados no son suficientes para poder definir o conocer si un sistema bioenergético será apropiado para una dada región y una población en particular. Por empezar, cada tipo de recurso de biomasa tiene características diferenciales (humedad, poder calorífico, cenizas, sólidos volátiles, constitución elemental, formato o agregación, origen, frecuencia de generación, entre tantas otras) por lo que un proyecto, plan o alternativa de aprovechamiento de biomasa, debe hacer específica referencia a qué tipo de recurso se refiere. Desde allí, la cadena energética va a variar. Los componentes de un sistema completo de bioenergía o cadena bioenergética incluyen, como etapas fundamentales, la producción de la materia prima (feedstock), la conversión tecnológica, y la distribución de la bioenergía. A éstos pueden agregarse el almacenamiento, el transporte, y el pre-tratamiento, entre otros. Estos componentes están insertos en un contexto social, económico y ambiental que otorga características particulares en cada caso. La complejidad resultante es difícil de manejar efectivamente y es a menudo ignorada cuando se planifican los sistemas bioenergéticos enfocándose en un sólo componente del sistema (Lewandoski y Faaij, 2006; Loken, 2007). En este sentido, para que una alternativa o

¹ Becaria Doctoral del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas).

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

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

⁴ Existe mucha discusión al respecto, dado que la cadena de bioenergía total involucra otras actividades que liberan carbono y pueden no ser compensadas.

proyecto bioenergético resulte en un balance de mayores impactos positivos que negativos en una dada región, es necesario considerar todos estos elementos involucrados. Y si existen varias alternativas posibles, la comparación de estas alternativas desde múltiples aspectos y perspectivas, permitirá realizar la selección más conveniente o más sustentable, en función del sitio. Lo sustentable se asocia por tanto, a cualidades como: apropiable (por la gente), apropiado (para el ambiente) y viable (económicamente) –entre las principales-.

La evaluación de la sustentabilidad de un sistema, plan, o proyecto de bioenergía debe ser holística e integrada, considerando las vinculaciones con el medio socio-cultural y ambiental en diferentes escalas de tiempo y espacio (Tsoutsos et al., 2009). Por esto, un proceso participativo que involucre múltiples actores de la cadena de bioenergía (productores de biomasa en el campo, ingenieros, investigadores, planificadores, comerciantes, agencias de regulación, comunidades locales) es necesario con el fin de elaborar proyectos más sustentables (Buchholz et al., 2009). La metodología de evaluación debe ser racional (aunque el proceso de participación e intercambio de ideas y conocimientos tiene, por naturaleza, un gran componente de subjetividad), explícita y democrática, y los resultados deben ser específicos y concretos, entendibles por los funcionarios que toman decisiones y por el público en general (Seghezze, 2008).

El Valle de Lerma, en la provincia de Salta, concentra más de la mitad de la población provincial. Estudios previos han identificado diferentes tipos de recursos de biomasa que podrían ser aprovechados con fines energéticos, como así también diferentes aplicaciones, procesos y tecnologías a ser aplicadas (Manrique et al., 2008; Manrique et al., 2009a, b, c, d; Manrique et al., 2010). Los posibles sistemas a ser implementados, efectivamente resultan altamente complejos. El “nivel” de sustentabilidad de cada sistema, debe ser estudiado, por tanto, desde una perspectiva integradora y de múltiples-criterios. Los objetivos de este trabajo se definen como: i) detectar, mediante un análisis multidisciplinario, los aspectos más importantes en la evaluación de la sustentabilidad de un sistema bioenergético, y ii) aplicar estos criterios en la realización de una Evaluación Multi-Criterio (EMC) de sistemas bioenergéticos del Valle. La metodología desarrollada pretende constituirse en una herramienta práctica que permita una apreciación global rápida y completa de los sistemas bioenergéticos que podrían implementarse en el Valle de Lerma, u otros sitios de la provincia.

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 (Núñez et al., 1997). 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. Considerando la curva de nivel de 1600 m.s.n.m., la superficie de la zona montañosa es de cerca de 210.000 ha, mientras que 292.000 ha aproximadamente quedan incluidas en la zona plana.

2.2. Sistemas bioenergéticos

Los principales recursos de biomasa detectados en la zona, aplicaciones y procesos-dispositivos de conversión energética (Manrique et al., 2008; Manrique et al., 2009a, b, c, d; Manrique et al., 2010), son los que figuran en la Tabla 1.

Opción	Recurso	Aplicación	Proceso	Dispositivo	Población Destino
A	Residuos sólidos urbanos	Electricidad	Digestión anaeróbica	Relleno sanitario-motor de combustión interna	Comunidad en general (centros de salud, barrios, complejos, luminarias, etc.) (zona baja)
B	Biomasa leñosa de arbustales (Acacias)	Cocción y Calefacción	Combustión	Hornos y estufas eficientes	Comunidad en general (zona baja)
C	Biomasa residual agrícola	Calor de proceso	Combustión	Calderas de parrilla fija	Productores tabacaleros (zona baja)

Tabla 1. Características de los sistemas bioenergéticos propuestos para el Valle de Lerma.

En el caso de la opción A) *Digestión anaeróbica y aprovechamiento de biogás desde los residuos sólidos urbanos (RSU)*, (depositados en un relleno sanitario regional), la generación potencial de electricidad es baja (Manrique et al., 2010), pero aún es importante su recuperación y previo a esto, la adecuada disposición de los RSU dispersos en el Valle. En el caso B) *Combustión –calderas y estufas eficientes- de leña proveniente del manejo de arbustales y matorrales* del Valle (específicamente biomasa de Acacias, cuya potencialidad ha sido estudiada), es indispensable un plan de manejo y mayores estudios botánicos y ecológicos que permitan definir el porcentaje de utilización óptimo del crecimiento anual (Manrique et al., 2009c). El caso C), *Combustión de residuos agrícolas* (principalmente de la producción de tabaco) para sustitución de combustibles fósiles en los ciclos productivos (calor de proceso), sería adecuado para los tabacaleros que trabajan la variedad Virginia, ya que es la variedad que requiere de estufas de secado. De hecho, esta es la situación típica, ya que un 95% de la superficie promedio sembrada de tabaco en el valle, pertenece a esta variedad. Sin embargo, considerando el impacto sobre la salud de este cultivo, como así las prácticas actuales de producción (monocultivo, excesiva dependencia de fertilizantes y pesticidas, ausencia de prácticas de manejo y descanso del suelo, etc.), nuevos cultivos agrícolas podrían ser ensayados en la zona, diversificando la producción.

Como puede notarse, los tres sistemas propuestos beneficiarían a la zona baja del Valle. En efecto, la zona montañosa no fue incorporada en los análisis ya que el único recurso de biomasa posible de ser aprovechado es la biomasa natural leñosa, obtenida desde los ecosistemas de Yungas o de Chaco (Cabrera, 1994). La aplicación prioritaria en este caso, sería la generación de energía calórica.

2.3. Aplicación práctica del concepto de sustentabilidad

Encuesta a expertos internacionales

Para hacer operativo el concepto de sustentabilidad de una manera que permitiera el análisis integral de potenciales sistemas bioenergéticos a desarrollarse en el Valle de Lerma, se recurrió a sus orígenes en el Informe Brundtland (WCED, 1987), que reconoce tres dimensiones: económica, social y ambiental. Si bien hay muchas discusiones a partir de entonces, y nuevos enfoques para estudiar la sustentabilidad (Mauerhofer, 2008; Del Río y Burguillo, 2008; Seghezze, 2009), puede decirse que estas tres dimensiones pueden abarcar la complejidad de diferentes sistemas bajo análisis, de una manera sencilla y comprensible para actores de diferentes regiones geográficas del mundo⁵.

Para cada una de estas dimensiones, se definieron criterios⁶, mediante la participación de 120 expertos internacionales identificados en el tema, y consultados a través de encuestas. Los expertos, pertenecientes a diferentes regiones, con diferentes profesiones y escalas geográficas de operación, fueron identificados a partir del relevamiento de autores de publicaciones científicas, búsquedas en Internet de investigadores en centros especializados, y listas de participantes en eventos internacionales. La encuesta fue confeccionada en formato de planilla de cálculo de Excel y distribuida mediante e-mail en dos idiomas: español e inglés, y fue elaborada de manera sencilla a fin de poder ser resuelta en el menor tiempo posible. Si bien algunos actores solicitaban se realice la consulta vía telefónica, dado lo limitado del presupuesto disponible, esta operación no pudo ser realizada. En algunos casos las encuestas fueron re-enviadas dos y tres veces (correo rechazado, contestación automática de fuera de oficina, mensajes no enviados, etc.) hasta lograr la respuesta o descartar la participación. El objetivo de las encuestas fue relevar desde una perspectiva multidisciplinaria y multiregional, los siguientes aspectos: i) valoración de importancia de cada una de las dimensiones de la sustentabilidad (en una escala de 0 a 100 en orden creciente de importancia); ii) descripción de los principales criterios que permitirían la evaluación de sustentabilidad de un sistema bioenergético en el Valle de Lerma; y iii) asignación del peso de cada uno de los criterios propuestos. En este caso, se solicitó que la asignación de peso se realizara considerando un rango de entre 1 (menor importancia) y 100 (mayor importancia o peso). En las encuestas, además de recabar datos de origen del encuestado y área de trabajo (no se solicitó el nombre y se trabajaron en forma anónima), se incluyó una breve descripción del área de estudio y de los tres tipos de recursos de biomasa seleccionados (superficie ocupada; potencial energético; contexto de uso o no uso actual; características físicas del material; aspectos puntuales de consideración con respecto a cada recurso).

Los datos e información obtenidos fueron sistematizados y procesados a medida que las encuestas completas (total o parcialmente) se fueron recibiendo. Asimismo, los comentarios y sugerencias se ordenaron a fin de ser incluidos como elementos de juicio en el desarrollo del trabajo. En cuanto al análisis de las *dimensiones* de la sustentabilidad, los puntajes de importancia obtenidos se procesaron en una planilla de cálculo, a fin de obtener un peso ponderado para cada una de ellas (sobre un total de 100 puntos). El valor obtenido fue luego considerado el 100% de peso de cada dimensión y los valores de importancia relativa obtenidos fueron ponderados en base a este valor. Con respecto a los *criterios*, en un principio se registraron todos los aportes. Posteriormente, en un análisis en mayor profundidad, con soporte de literatura internacional reciente y los conocimientos logrados desde los trabajos de terreno, dichos criterios fueron reprocesados y condensados en un número total manejable. Los puntajes otorgados por los expertos fueron reasignados en función de este procesamiento. Finalmente éstos fueron ordenados jerárquicamente en base a su peso ponderado (o importancia) e incorporados en una matriz de Evaluación multi-criterio (EMC), también confeccionada en una planilla de cálculo de Excel.

Evaluación multi-criterio (EMC)

La EMC puede ser definida como una aproximación formal que busca tener explícita cuenta de múltiples criterios para ayudar a individuos o grupos a explorar las decisiones y soluciones que les preocupan (Mendoza y Martín, 2006; Buchholz et al., 2009). Las herramientas basadas en EMC han mostrado un alto potencial para guiar a los actores a encontrar o lograr un acuerdo sobre soluciones sustentables en un amplio rango de campos incluyendo manejo forestal, manejo de recursos naturales y sistemas de energía renovable (Mendoza y Prabu, 2006; Giampietro et al., 2006; Gamboa y Munda, 2007; Cavallaro, 2009). El método de resolución matricial utilizado fue el de sumatoria lineal ponderada (SLP) o método SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique). El método SLP da un valor único que permite comparar y ordenar las opciones. A pesar de su simplicidad, este método proporciona valores confiables y resulta de gran ayuda para la toma de decisiones (Hajkowicz, 2007).

La EMC fue distribuida en una nueva encuesta a los expertos identificados, pero, dado los tiempos necesarios para poder recibir las respuestas por parte de los encuestados, sólo se envió a aquellos que ya habían respondido previamente. Se consideró el promedio de las opiniones. En la encuesta, además de los 3 sistemas de la Tabla 1, se agregaron dos alternativas más: d) biomasa lignocelulósica para biocombustibles de segunda generación y e) escenario actual de uso de combustibles fósiles (gas natural y gasoil). La incorporación de estas alternativas se realizó, por un lado, porque los biocombustibles resultan un tema controvertido a nivel local, nacional y mundial. Por otro lado, era necesario evaluar con idénticos criterios de sustentabilidad la opción actual de uso en la zona, y observar en forma comparativa los resultados. En total, 5 alternativas fueron comparadas mediante una EMC, en base a los criterios ya definidos. Si bien las 3 primeras alternativas se consideraron compatibles entre sí (es decir, que podrían ser implementadas simultáneamente), igualmente se evaluó el nivel de sustentabilidad de cada una de ellas. La participación de los expertos en este caso consistió en la asignación del valor de rendimiento de cada opción con respecto a cada criterio considerado, o dicho de otro modo, en cuál de las opciones presentadas, este criterio respondería mejor. Es decir, estimar el impacto de los cruces: criterio-opción energética. La escala en este caso, también fue de 0-100 puntos. Para cada una de las alternativas se halló el nivel de sustentabilidad estimado, evaluado en una escala de muy baja (0-25%), baja (25-50%), media (50-75%) y alta (más de 75%) sustentabilidad.

⁵ Ya que éstas son las dimensiones internacionalmente reconocidas e incorporadas en políticas, programas, esquemas de certificación, etc.

⁶ Un criterio es un conjunto de condiciones por las cuales un objeto es evaluado para unas dimensiones dadas. Este define las reglas a ser cumplidas a fin de lograr el principio de sustentabilidad y trasladar operacionalmente el significado del principio (Gnansounou et al., 2007).

Los resultados no pretenden ser excluyentes ni definitivos, sino que buscan aplicar una metodología sencilla en un ejemplo concreto. Nuevos resultados podrán obtenerse frente a la incorporación de otros actores –que deben tener una base de conocimiento teórico-, en el caso en que interesen precisar estos resultados. Este primer análisis permite detectar algunas de las áreas (criterios) en las cuales posiblemente haga falta intervenir (medido por el bajo rendimiento de la opción en ese criterio), frente a la aplicación de las propuestas bioenergéticas. En otros casos, cuando son áreas que por algún motivo no pueden modificarse, o sólo sería posible una ligera modificación, la detección de estos aspectos permite una evaluación más completa y resignación conciente de algunos aspectos, en la búsqueda de un balance óptimo.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Tipología de los encuestados

La mayor proporción de participantes fueron hombres (cerca del 83%), de perfil profesional asociado con producción, evaluación y optimización de biomasa o sistemas bioenergéticos (62%), incluyendo también especialistas en aspectos de sustentabilidad (33%). Mayormente, el segmento de trabajo estuvo asociado al sector académico (investigadores, docentes), seguido por el sector de consultores y finalmente el sector de industrias y gobierno (70%, 14% y 10%, respectivamente). La escala de operación fue mayormente nacional e internacional (71%), y en menor proporción local (29%). Y los sitios desde donde se recibieron respuestas fueron: Alemania, Italia, Canadá, EEUU, Suiza, Suecia, Reino Unido, Bélgica, Chile, España, Holanda, Turquía, Cuba y Brasil.

3.2. Participación internacional

En la primera ronda de respuestas, se recibieron un total de 21 encuestas internacionales resueltas. En la segunda ronda, se obtuvieron 4 respuestas. La segunda encuesta planteó una mayor complejidad de resolución para aquellos que no estaban familiarizados con la utilización de planillas de este tipo. En la medida en que no podían resolverse las cuestiones que se planteaban en tiempo real, esta etapa implicó importantes retrasos para los expertos que tuvieron la paciencia de tratar de comprender y aportar desinteresadamente. Para el resto, implicó un gran porcentaje de deserción. Sin embargo, las respuestas de los expertos fueron de suma riqueza para la definición fundamentada de las alternativas de mayor sustentabilidad para la zona, en función de los recursos de biomasa detectados. La gentileza de algunos de estos profesionales, los impulsó a anexar información, trabajos, enlaces y otros, de interés para el desarrollo de la tesis, o simplemente, a volcar algunas sugerencias y recomendaciones. Los resultados de este estudio representan las opiniones de 21 expertos clave en bioenergía de alrededor del mundo mirando la realidad contextual del Valle de Lerma.

3.3. Criterios para la evaluación del nivel de sustentabilidad de alternativas energéticas

La importancia relativa de cada una de las *dimensiones* de la sustentabilidad fue: 37% el aspecto ambiental, 36% el aspecto social, y 27% el aspecto económico. En concordancia con lo afirmado por Gnansounou et al. (2007), los expertos internacionales (de países desarrollados mayormente) otorgaron mayor valoración a los aspectos ambientales y sociales (en contraste con la priorización de los aspectos económicos que realizan actores de países en desarrollo, según lo afirman los autores citados).

Con respecto a los *criterios*, se recabaron 160 *criterios* de los expertos internacionales, que si bien muchos de ellos versaban sobre aspectos similares, incluían particularidades que debieron ser consideradas. De esta forma, los criterios fueron condensados en un total de 30 (10 criterios por cada una de las dimensiones definidas: ambiental, social, económica). Cabe mencionar que hubo disparidades entre los expertos en cuanto a la ubicación de los criterios en una dimensión u otra, en la medida en que existen interrelaciones entre ellas y un criterio puede asociarse a una u otra en función de cómo se defina. Así por tanto, la asignación de los criterios en las dimensiones A, S o E (Tabla 1) es relativa y puede ser sometida a discusión.

D	Criterio	Descripción del criterio
A	Balance Energético	Balance de la energía que se obtiene versus la energía que se consume en la cadena bioenergética. Implica también eficiencia en el uso de la energía, por menor uso de combustibles fósiles y transportes.
A	Eficiencia En Uso De Recursos Naturales	Incluye uso cascada ⁷ de la biomasa, planes de manejo que respeten los ciclos naturales de los recursos (la tasa de cosecha no debe ser superior a la de crecimiento), minimización en el uso de recursos, materias primas y tierras.
A	Protección De Biodiversidad	Preservación de especies nativas vulnerables, raras, amenazadas o en peligro. Mantenimiento del pool génico de ecosistemas biodiversos, protegiendo el hábitat de la flora y fauna silvestre. Si se introducen especies exóticas, existencia de un estricto sistema de monitoreo y control.
A	Preservación De Ecosistemas	Preservación de la conectividad, la biodiversidad de los mismos, sin disminución en la densidad de especies multipropósito utilizadas localmente ni introducción de organismos genéticamente modificados. Mantenimiento de la calidad del paisaje, sin impactos irreversibles.
A	Protección Del Suelo	Tipo de prácticas realizadas (tradicionales, conservacionistas, etc.) y modo en que conserven la estructura, fertilidad, materia orgánica y capacidad de almacenamiento de agua. Periodo de descanso y rotación de los potreros, coberturas verdes, etc. para evitar erosión y desgaste del suelo.
A	Contaminación Local	Dependencia de químicos, control de plagas, fertilizantes, que pueden afectar agua, suelo, aire, vegetación u hombre. Control de pesticidas en el agua, posible eutroficación de cuerpos de agua por emisiones fosforadas, enfermedades respiratorias y de piel, acumulación de metales pesados, quema de residuos localmente. Incluye emisiones diferentes de GEI, como emisiones de nitrógeno y contaminantes orgánicos persistentes, emisiones de SO _x , CO, NO _x y partículas.
A	Cambio De Uso Del Suelo	Afectación de la tasa de deforestación. Utilización de tierras marginales o con aptitud agrícola para el proyecto. Sustitución de cultivos alimenticios.
A	Manejo De Agua	Agotamiento de reservas de agua, existencia de un plan de manejo, aprovisionamiento, tratamiento y distribución. Requerimientos para el proyecto.
A	Manejo De Residuos	Minimización de generación de residuos, manejo y disposición de residuos apropiada, reciclado de residuos cuando es posible, reciclado de cenizas de la combustión de biomasa, otorgamiento de valor agregado a la basura. Generación de otros residuos

⁷ Bringezu et al. (2007) sostienen que el “uso en cascada” de la biomasa - primero para fabricar productos materiales, y luego para fuente de energía- permitiría mejorar mucho la eficiencia de su aprovechamiento.

		sólidos o líquidos.
A	Balace De Gases Efecto Invernadero (GEI)	Emisiones de CO ₂ realizadas durante la cadena bioenergética y nivel de compensación posible desde la absorción de la biomasa en el ciclo. Balance cercano a la neutralidad. Otras emisiones de GEI como CH ₄ , O ₃ , NO ₂ , H ₂ O
S	Cumplimiento De Leyes Y Reglamentaciones	Estricto cumplimiento de las ordenanzas, disposiciones, reglamentaciones y leyes de cada área de la cadena (laborales, de producción, de comercio, etc.) a nivel local, regional y nacional.
S	Participación Democrática	Nivel de participación de los diferentes actores y sectores involucrados o afectados, en los procesos de toma de decisiones. Nivel de vinculación con las opiniones y sugerencias de los actores en los niveles administrativos y políticos.
S	Aceptabilidad Cultural	Identificación de pautas culturales, tradiciones, creencias que podría dificultar el desarrollo de los proyectos y nivel de compromiso expresado por la población.
S	Respeto De Derechos Humanos	Nivel de respeto y promoción de los derechos humanos básicos (acceso a salud, educación, vivienda, trabajo, etc.). Existencia de discriminaciones, marginaciones, exclusiones de minorías, abusos contra sectores marginados o vulnerables (comunidades aborígenes, poblaciones rurales, niños y mujeres).
S	Condiciones Laborales	Retribución de salario mínimo justo, jornada de trabajo saludable, prohibición de trabajo infantil, pago de todos los beneficios sociales y coberturas legales, equipamiento de protección para el desarrollo de las actividades, calidad del medio de trabajo.
S	Derechos De Uso Y De Propiedad	Desplazamientos de comunidades o destrucción de valores culturales asociados con el territorio. Respeto por la propiedad individual y colectiva, con o sin la legalización correspondiente.
S	Planificación Corto, Mediano Y Largo Plazo	Existencia de planificación de uso y manejo de los recursos, de desarrollo de la actividad a mediano y largo plazo, de monitoreo de indicadores que permitan verificar la adecuada marcha del proyecto.
S	Organización Y Vinculación	Vínculos entre actores y sectores. Creación o fortalecimiento de cooperativas, asociaciones. Contratos y acuerdos de suministro y otros aspectos de la cadena comercial previstos.
S	Comunicación E Información	Mecanismos de comunicación e intercambio de información entre todos los eslabones de la cadena, como así mecanismos de resolución de conflictos y de diálogo. Libre acceso a la información y registros generados y mecanismos de operación públicos.
S	Satisfacción De Demandas	Adecuación del proyecto en la satisfacción de las necesidades detectadas en el sitio donde será ejecutado. Los beneficios pueden percibirse a nivel local antes que externo.
E	Generación De Empleo	Generación de empleo en condiciones justas, entrenamiento y capacitación de la mano de obra local y fortalecimiento de las capacidades locales.
E	Comercio Y Distribución De Ingresos	Desarrollo de un comercio justo y una equitativa distribución de ingresos a todos los eslabones de la cadena bioenergética, para lo cual deben existir mecanismos de regulación, monitoreo y control del gobierno y otros organismos que puedan participar.
E	Costo-Eficiencia Del Proyecto	Beneficios potenciales del proyecto y costos e impactos asociados al mismo. Aprovechamiento eficiente de recursos y minimización de impactos. Costos de operación y funcionamiento. Costos de instalación.
E	Impacto Económico En La Región	Sectores y personas afectadas en su economía (por ahorro de gasto en combustibles fósiles, reducción de tarifas eléctricas o de otros combustibles como biomasa procedente de los proyectos). La actividad puede contribuir al fortalecimiento y diversificación de su economía.
E	Seguridad Energética Local	La seguridad de suministro energético puede asegurarse por la diversificación de fuentes de combustibles que pueden ser empleadas en la zona, y la disminución de combustibles fósiles sujeto a la variación de precios. Acceso de población local a la energía.
E	Dependencia De Inputs Externos	Medido como insumos para la producción, subsidios y primas para el desarrollo de la actividad, repuestos para el funcionamiento de la tecnología propuesta, etc.
E	Desarrollo De La Tecnología	Nivel de conocimiento y ensayo de la misma, ya sea localmente o a nivel mundial. Etapa de desarrollo comercial. Aplicaciones y experiencias a diferentes escalas y regiones. Complejidad de instalación y funcionamiento.
E	Confiabledad De La Propuesta	Transparencia en la ejecución, accesibilidad pública, nivel de divulgación y apertura, mecanismos de contabilización, capital inicial asegurado, mecanismos de retroalimentación, generación de externalidades.
E	Mecanismos De Persistencia	Voluntad de respaldo gubernamental ya sea político, financiero o de infraestructura. Posibles mecanismos de certificación. Fuentes de financiamiento potenciales para el proyecto, experiencias exitosas disponibles. Compatibilidad con otras alternativas beneficiosas para la región.
E	Seguridad Alimentaria	Competencia por el uso de la tierra para alimentos vs energía. Resguardo de las producciones alimenticias y economías locales.

Tabla 2. Criterios definidos desde la opinión de los expertos, incorporados en la matriz de EMC (la letra D de la primera columna se refiere a "dimensión"; A=ambiental; S=social; E=económica).

Los puntajes de importancia asignados a los 160 criterios relevados fueron redistribuidos y reasignados entre los 30 criterios finales, obteniendo 6 puntajes de importancia para cada criterio. Estos valores de importancia se ponderaron por un peso total de 100, obteniendo la importancia relativa de los mismos. De esta manera, se obtuvo un ranking de importancia relativa, ordenando los diferentes criterios en función del punto de vista de los expertos internacionales (Fig.1).

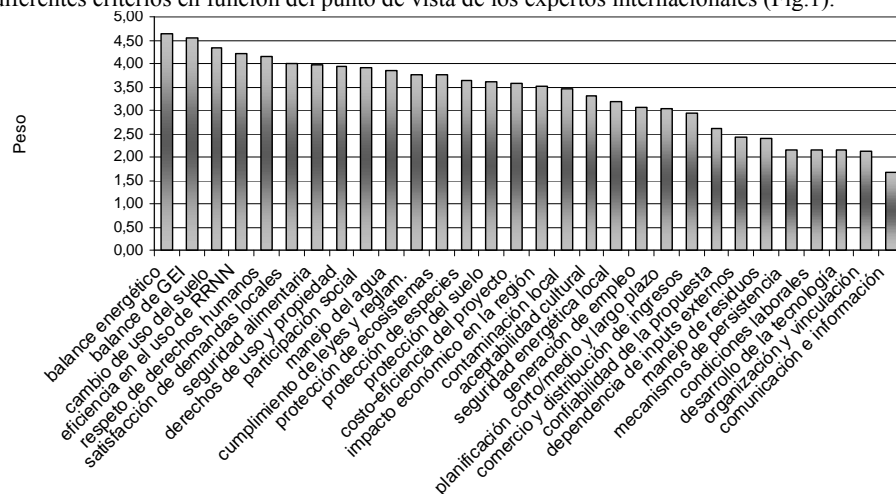


Figura 1. Asignación de importancia relativa o peso ponderado de cada criterio de la matriz EMC.

Por otra parte, observando estos criterios al interior de cada dimensión, y estimando el peso ponderado de cada uno de ellos en función del valor asignado por los expertos a la dimensión, se tiene un resultado como el que se observa en las Fig.2,3 y 4.

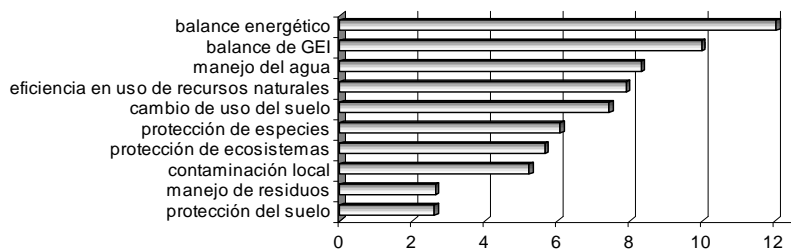


Figura 2. Asignación de importancia relativa o peso ponderado de cada criterio de la dimensión ambiental.

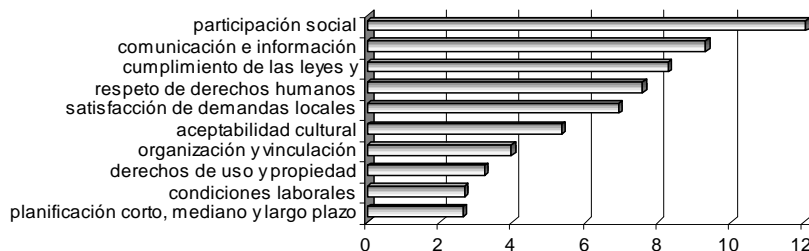


Figura 3. Asignación de importancia relativa o peso ponderado de cada criterio de la dimensión social.

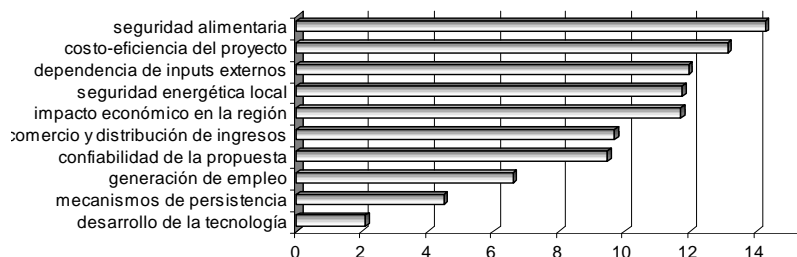


Figura 4. Asignación de importancia relativa o peso ponderado de cada criterio de la dimensión económica.

3.4. EMC de los sistemas propuestos

El nivel de sustentabilidad (según la opinión promedio de los cuatro actores), es como se muestra en la Fig. 5.

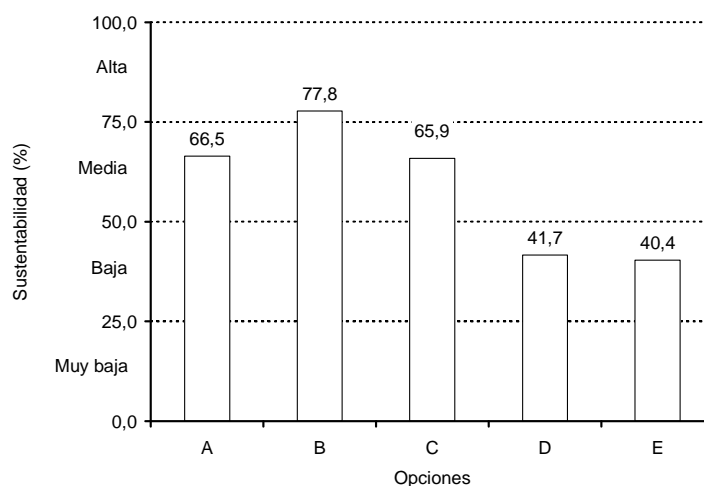


Figura 5. Nivel de sustentabilidad de cada una de las alternativas evaluadas.

Dos de los sistemas energéticos muestran un nivel de sustentabilidad *muy baja*: la opción de bioetanol de residuos lignocelulósicos (D) y la de empleo de combustibles fósiles (E) (escenario actual). En el primer caso, entre los aspectos (criterios) que muestran comparativamente los menores valores figuran: el balance energético (hay mucha discusión al respecto, pero igualmente es una tecnología que actualmente no se encuentra en estado comercial sino de evaluación, e implicaría una alta demanda energética), el cambio de uso del suelo (ya que si la alternativa resulta viable el paso siguiente es expandirla en una mayor superficie), la satisfacción de demandas locales (en este caso, no cubriría una demanda fundamental de la zona, y el destino seguramente sería la exportación, como actualmente ocurre con el biodiesel nacional), el nulo impacto

económico, de mejora de las condiciones de vida y de acceso a la energía en la región, la baja aceptabilidad cultural (en la provincia se reconocen impactos negativos de los monocultivos de soja para exportación de biodiesel), la alta dependencia de inputs, entre otros.

En el segundo caso (E), el balance de GEI (absolutamente negativo), la baja eficiencia en el uso de los recursos (que incluye un aprovechamiento por debajo de la tasa de generación), el modo en que se ha desarrollado en muchas regiones esta actividad en cuanto a falta de participación democrática, falta de respeto de los derechos de uso y de propiedad de las tierras (desplazamiento de comunidades aborígenes o destrucción de valores culturales), falta de protección de ecosistemas y especies, inseguridad energética por dependencia de recursos con precios fluctuantes y con horizontes de reservas limitados, desarrollo monopólico de la actividad, entre otros, son algunos de los factores por los cuales el nivel de sustentabilidad de este sistema es *muy bajo*.

En una instancia intermedia, dos alternativas de uso de bioenergía muestran un nivel de sustentabilidad *media*: uso de RSU (A) y de residuos agrícolas (C). Ambas, podrían ser perfeccionadas en sus detalles, investigadas en profundidad y aplicadas a la región con una alta probabilidad de un balance positivo en el medio natural y socio-cultural. Estos resultados muestran que, necesariamente, cualquier propuesta de uso energético, debe contemplar la integralidad del sistema, ya que si bien la propuesta puede resultar óptima en algunos aspectos (potencial de los recursos, mano de obra, tecnología disponible, legislación favorable u otros tantos), en otros aspectos puede causar graves impactos y alterar la tendencia del sistema o unidad de análisis en un sentido negativo. Esta opción debe ser analizada en mayor profundidad previo a su implementación. Por último, la opción B (empleo de leña de arbustales), con adecuados planes de manejo, podría impactar positivamente en las comunidades locales.

Los resultados obtenidos podrían ser nuevamente discutidos a la luz de la definición de *indicadores* concretos para evaluar cada uno de los criterios. Esto ayudaría a precisar la evaluación en el contexto específico trabajado. Por otra parte, el “umbral de aceptación” de las alternativas en función del nivel de sustentabilidad hallado, debe ser definido. Es decir, si el nivel de sustentabilidad es “bajo” o “muy bajo”, posiblemente deberían buscarse nuevas alternativas, o intervenir de alguna manera, para que el nivel de rendimiento de la alternativa en un criterio dado, sea superior. Esto podría significar, por ejemplo, conseguir la titularidad de las tierras de comunidades involucradas, promover la consolidación de asociaciones o cooperativas, cambiar las prácticas de labranza y/o cultivo, respetar los corredores ecológicos, entre tantos otros aspectos. En este caso, los sistemas A, B y C podrían ser optimizados en varios de estos aspectos.

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se muestran los resultados de un análisis de sustentabilidad realizado mediante una evaluación multi-criterio (EMC). Los insumos más importantes para esta evaluación se obtuvieron luego de una consulta a expertos internacionales del área de biomasa, bioenergía y sustentabilidad –principalmente-. Dichos expertos aportaron su experiencia y un gran número de criterios para el desarrollo de la EMC, desde una perspectiva tridimensional de la sustentabilidad (económica, social y ambiental). Los aportes obtenidos fueron de suma importancia y diversidad como para conformar un marco de análisis integralmente abarcativo.

La EMC aplicada permitió conocer y evaluar el nivel de sustentabilidad de cinco sistemas energéticos (cuatro en base a biomasa y uno en base a combustibles fósiles). En este análisis la puesta en perspectiva de los diferentes sistemas, permite no sólo detectar aquel que, según las particularidades locales, presenta un mayor nivel de sustentabilidad, sino también, los aspectos –criterios- que deberían ser mejorados o tratados –en cada sistema- frente a decisiones de implementación.

Se considera que el relevamiento, análisis y procesamiento realizados en el presente trabajo brindan un marco de análisis lo suficientemente completo como para poder ser utilizado con otros sistemas bioenergéticos, además de los propuestos.

La inclusión de actores locales podría enriquecer aún más el método, lo cual se considera valioso asimismo para incentivar el debate y la búsqueda de soluciones integrales para la zona.

AGRADECIMIENTOS

Al CIUNSA, de la Universidad Nacional de Salta, por el financiamiento parcial otorgado a la presente investigación, bajo el proyecto N° 1.955, a cargo de la autora principal, como así, al CONICET, por la beca doctoral otorgada a la misma. A todos los expertos que colaboraron desinteresadamente brindando sus opiniones, experiencias y conocimientos sobre sustentabilidad de sistemas de bioenergía. Sin su valiosa participación, este trabajo no hubiera sido posible.

ABSTRACT

Previous studies in the Lerma Valley (Salta) have identified different bioenergy systems that might be implemented in the region. These systems are complex, since they include different stages, sectors, disciplines, and resources. These systems are also embedded in a specific social, territorial, and environmental context. The resulting complexity and the degree of sustainability of each system must be studied from an integral perspective using multiple criteria. The aims of this study are: i) to detect the most important aspects for the assessment of the sustainability of the bioenergy systems; ii) to apply these criteria in the multiple criteria assessment (MCA) of bioenergy systems of the Valley. Multiple international actors have been consulted through expert opinion polls. The methodology used can be a practical tool for a quick and complete assessment of a number of alternative bioenergy systems in the Lerma Valley and similar places in the region.

REFERENCIAS

Berndes G. (2002). Bioenergy and water-the implications of large-scale bioenergy production for water use and supply. *Global Environmental Change* 12:253–71.

- Buchholz, T., Rametsteiner, E., Volk T.A. y Luzadis, V.A. (2009). Multi Criteria Analysis for bioenergy systems assessments. *Energy Policy* 37: 484–495.
- Cavallaro, F. (2009). Multi-criteria decision aid to assess concentrated solar thermal technologies. *Renewable Energy* 34: 1678–1685.
- Del Río, P. Y Burguillo, M. (2008). Assessing the impact of renewable energy deployment on local sustainability: Towards a theoretical Framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12: 1325–1344.
- Escobal J, Agreda V, Reardon T. (2000). Endogenous institutional innovation and agroindustrialization on the Peruvian coast. *Agricultural Economics* 23:267–77.
- Gamboa, G. Y Munda, G. (2007). The problem of wind farm location: a social multi-criteria evaluation framework. *Energy Policy* 35,1564–1583.
- 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.
- Gnansounou E, Panichelli L, Villegas J D. (2008). Sustainable liquid biofuels development for transport, working paper, LASEN, Ref.437.103. See also: Lausanne, Switzerland: EPFL <http://bpe.epfl.ch>.
- Hajkovicz, S. (2007). A comparison of multiple criteria analysis and unaided approaches to environmental decision making. *Environmental science and policy* 10: 177–184.
- Kaimowitz, D. Y G. Thiele. (1999). The effects of structural adjustment on deforestation and forest degradation in lowland Bolivia. *World Development* 27(3):505–20.
- Koh, L.P. Y J. Ghazoul. (2008). Biofuels, biodiversity, and people: Understanding the conflicts and finding opportunities. *Review. Biological conservation* 141: 2450–2460.
- Lewandowski, I. Y A.P.C. Faaij. (2006). Steps towards the development of a certification system for sustainable bio-energy trade. *Biomass and Bioenergy* 30: 83–104.
- Løken, E. (2007). Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11(7), 1584–1595.
- Manrique S; Franco, J.; Núñez, V. y L. Seghezzo. (2008). Potencial Energético De Biomasa Residual De Tabaco Y Aji En El Municipio De Coronel Moldes (Salta – Argentina). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente AVERMA* 12 (6): 87- 94. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique, S.; Franco, J., Núñez, V. y L. Seghezzo. (2009a). Estimación De Densidad De Biomasa Aérea En Ecosistemas Naturales De La Provincia De Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente AVERMA* 13 (6): 37-45. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique, S; Franco, J; Núñez, V. y L. Seghezzo. (2009b). Alternativa bioenergética en el Valle de Lerma, Salta (Argentina). Trabajo seleccionado para su presentación oral en el 1º Congreso Internacional de Ambiente y Energías Renovables, con publicación de trabajo completo en CD- libro. Universidad Nacional de Villa María, Córdoba. 11-13 Noviembre de 2009.
- Manrique, S; Franco, J; Núñez, V. y L. Seghezzo. (2009c). Índice De Valor Combustible De Arbustales Naturales Y Su Potencialidad Como Cultivos Energéticos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente AVERMA* 13 (6): 47-56. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique, S; Franco, J; Núñez, V. y L. Seghezzo. (2009d). Stock De Biomasa Y Carbono En Una Zona Del Chaco Occidental En El Departamento De La Viña, Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente AVERMA* 13 (6): 155-164. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique, S.M.; Franco, J.; Núñez, V. y L. Seghezzo. (2010). Perspectiva Bioenergética De Los Residuos Sólidos Urbanos En El Valle De Lerma. Presentado para la XXXIII Reunión de Trabajo de Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente y XIX Encuentro de la Sección Argentina de la Asociación Internacional para la Educación en Energía Solar – IASEE (15 al 18 de noviembre de 2010).
- Mauerhofer, V. (2008). 3-D Sustainability: An approach for priority setting in situation of conflicting interests towards a Sustainable Development. *Ecological economics* 64: 496–506.
- Mendoza, G.A. Y Martins, H. (2006). Multi-criteria decision análisis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management* 230 (1–3),1–22.
- Mendoza, G.A. Y Prabu, R. (2006). Participatory modeling and analysis for sustainable forest management: overview of soft system dynamics models and applications. *Forest Policy and Economics* 9,179–196.
- Núñez, V; M. Menéndez y R. Moreno. (1997). Clasificación de la vegetación del Valle de Lerma a partir de imágenes Landsat. CIUNSA (Consejo de Investigaciones de la UNSa) . Universidad Nacional de Salta.
- Puigdevall, J. y Galindo, D. (2007). Apuntes del Curso De Postgrado de Energía de la Biomasa de la Maestría en Energías Renovables de la Universidad de Zaragoza, España. Febrero 2007.
- Ruger, N., G. Williams-Linera, W. D. Kissling, Y A. Huth. (2008). Long-Term Impacts of Fuelwood Extraction on a Tropical Montane Cloud Forest. *Ecosystems* 11: 868–881.
- Sahn, D.E. (1990). The impact of export crop production on nutritional status in Cote d'Ivoire. *World Development* 18(12):1635–53.
- Searchinger, T., R. Heimlich, A. Houghton, F. Dong, A. Elobeid, J. Fabiosa, S. Tokgoz, D. Hayes, T. Yu. (2008). Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. *Science* 319, 1238.
- Seghezzo, L. (2008). Desarrollo a Secas, Desarrollo Sustentable y Sustentabilidad. Curso de Postgrado. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Argentina.
- Seghezzo, L. (2009). The five dimensions of sustainability. *Environmental Politics* 18(4): 539-556.
- Tsoutsos, T.; M. Drandaki; N. Frantzeskaki; E. Iosifidis; I. Kiosses. (2009). Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete. *Energy Policy* 37: 1587–1600.
- WCED (World Commission on Environment and Development) (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.