

PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA TOMA DE DECISIONES SOBRE BIOENERGIA EN UN CONTEXTO COMPLEJO Y DIVERSO

Silvina Manrique¹, Judith Franco², Virgilio Núñez³ y Lucas Seghezze²

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 aproximación al estudio de la biomasa en sitios donde ésta se muestra en múltiples facetas y características, requiere de un método práctico y de fácil aplicación. Si bien no existen recetas únicas, en este paper se presenta un esquema que sistematiza trabajo de terreno, de gabinete e interconsulta con expertos en temas de biomasa. Dicho esquema condensa y brinda de manera didáctica, los principales criterios que deberían ser utilizados para evaluar a priori, las potenciales fuentes de biomasa que podrían ser manejadas con fines energéticos. Asimismo, se relevan los aspectos más importantes de las instancias subsiguientes sobre asignación de usos y aplicaciones para cada recurso, y se brindan herramientas para su evaluación dentro del contexto del cambio climático mundial. La metodología desarrollada se aplica en una situación concreta, a manera de ejemplificación y a fin de poner de manifiesto algunos de los principales resultados logrados con su aplicación.

PALABRAS CLAVE: biomasa, bioenergía, criterios, sistemas bioenergéticos, complejidad, metodología.

1. INTRODUCCION

Desde el punto de vista de su aprovechamiento energético, sólo se considera biomasa a aquellos productos que son susceptibles de ser utilizados de manera sostenible, es decir, por debajo de su tasa de renovación natural (cantidad producida por unidad de tiempo), no incluyendo por tanto en la definición a productos como los combustibles fósiles que si bien tienen un primer origen en los compuestos formados en la fotosíntesis, se usan muy por encima de su tasa de renovación (tardan millones de años en formarse) (Puigdevall y Galindo, 2007). El término *bioenergía*, implica toda la energía que puede obtenerse cuando la biomasa es sometida a algún tipo de proceso de transformación.

La gran diversidad de materiales que se engloban bajo este término, la convierten en una fuente de energía versátil, a partir de la cual pueden obtenerse combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, utilizando 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). Sin embargo, esta misma diversidad genera un panorama complejo, que adquiere tamicos propios en función del contexto socio-cultural, económico, político-institucional y ambiental, de un sitio dado, en un momento histórico determinado (Giampietro et al., 2006; Buchholz et al., 2009).

Los estudios de biomasa no se tratan en lo absoluto de una cuestión sencilla. Existen diversos tipos de recursos de biomasa que es necesario explicitar y conocer en el momento de realizar una evaluación del potencial energético para un sitio dado, como así existen diferentes tipos de demanda, y es necesario conocer cuáles de ellas está en condiciones de satisfacer la biomasa disponible. Para poder entender el futuro rol de la bioenergía en un sitio determinado es necesario analizar ambos aspectos: oferta y demanda. Los recursos de biomasa deberían ser una fuente energética a nivel local en primer lugar, y en el caso de existir superávit, esta escala podría ser ampliada. Esto se justifica, entre otras razones, en el hecho de que los costos de logística y transporte son una parte importante en los sistemas de aprovechamiento de biomasa, pero por otra parte -y que es el interés perseguido en la presente investigación- en que la biomasa debería ser empleada como instrumento válido para la implementación de esquemas sociales –no sólo energéticos- más sustentables: mayor acceso a la energía a sectores marginados, mejora de la calidad de vida, preservación del patrimonio natural, menor contaminación local y emisiones atmosféricas, entre otros. Al hablar de sistemas energéticos más sustentables, no se hace referencia exclusivamente al tipo de fuentes y procesos involucrados en la generación de energía útil, o sólo a aspectos tecnológicos. Todos estos aspectos se consideran en conjunción a los impactos y vinculaciones con las dimensiones territoriales, temporales y humanas. Esto implica la inclusión y consideración de los contextos físico y cultural (incluyendo aquí todos los aspectos que hacen a la vida humana), con sus oportunidades y fortalezas, debilidades y amenazas, y las cosmovisiones humanas existentes.

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).

Este panorama muestra la complejidad con la que se debe enfrentar el investigador cuando se aboca al estudio de la biomasa. Esa misma complejidad es a la que se enfrentan las esferas de gestión, administración y gobierno, cuando se planifican proyectos que incluyen este recurso. En la búsqueda de precisar una vía de aproximación a su aprovechamiento, y considerando que la biomasa puede constituirse en un instrumento estratégico para el desarrollo de una región o mejora de su calidad de vida, una secuencia metodológica sencilla y replicable se presenta en este trabajo.

Dicho camino metodológico, ha sido empleado en la región de estudio de esta investigación: Valle de Lerma en la provincia de Salta, a fin de reconocer los recursos de biomasa disponibles que serían factibles de ser sujetos a algún tipo de manejo o aprovechamiento, explorando alternativas de utilización y beneficios en términos de mitigación de emisiones de GEI. Las relaciones y elementos que conforman el sistema 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.

Los objetivos del presente trabajo se definen de la siguiente manera: i) precisar los principales criterios que deberían ser utilizados para evaluar a priori, las potenciales fuentes de biomasa que podrían ser manejadas con fines energéticos en una región determinada; ii) relevar y poner de manifiesto los aspectos más importantes de las instancias subsiguientes sobre asignación de usos y aplicaciones para cada recurso, y iii) delimitar un camino metodológico sencillo y replicable para definir sistemas bioenergéticos posibles de ser implementados. El trabajo que aquí se presenta pone de manifiesto algunos de los principales resultados obtenidos en la tesis doctoral desarrollada por la autora principal.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Identificación de recursos y demandas de energía

En primer lugar la posibilidad de identificar todos los recursos de biomasa existentes en un sitio dado requiere el relevamiento exhaustivo de la información sobre el sitio tanto desde fuentes primarias como secundarias. Entre las secundarias pueden mencionarse documentos, registros de datos en bruto generados por otros investigadores o por sistemas de registros ordinarios de instituciones; informes científicos, memorias, ponencias de congresos, artículos publicados. La cartografía e imágenes satelitales son un punto de apoyo importante para una primera aproximación, y el posterior chequeo de la información con recorridos a campo. En el caso del Valle de Lerma, la identificación de recursos pero también de demandas energéticas reales de la población se realizó en base a las fuentes de información mencionadas más la triangulación de entrevistas a actores clave y encuestas a pobladores locales.

2.2. Selección de opciones estratégicas de aprovechamiento de biomasa

Para la definición de las posibles estrategias a implementarse en base a los recursos de biomasa disponibles, se realizó una encuesta a expertos, incorporando una visión externa del contexto local. La encuesta fue distribuida internacionalmente, e incluyó los principales resultados obtenidos para los recursos de biomasa estudiados a nivel de Valle, así como las principales demandas detectadas, y una breve descripción del área de estudio. Un total de 120 expertos internacionales fueron identificados, pertenecientes a diferentes regiones, y con diferentes profesiones y escalas de operación. Con una breve introducción inicial, y detalles del proyecto, institución, participantes y objetivos, las encuestas fueron enviadas vía correo electrónico en dos idiomas: español e inglés. Dado que los encuestados contaron con un marco introductorio de la situación del Valle y del potencial de cada recurso consultado, los expertos tendieron a ser precisos en las sugerencias planteadas. La definición de la aplicación más conveniente, se realizó incorporando como insumos las respuestas y sugerencias de los expertos internacionales, y aplicando el criterio propio en función del conocimiento de la zona, los alcances y potencialidades de los recursos, y las demandas más importantes detectadas. En segundo lugar se procedió a estimar el grado de cobertura de dicha demanda que podrían realizar los recursos estudiados, y finalmente se trabajó en la construcción de criterios que permitieran decidir sobre la conveniencia de utilización de algún proceso de conversión energética sobre otro, lo cual se detalla en el apartado siguiente.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1.1. Priorización de recursos de biomasa

A partir del análisis de la literatura internacional disponible y de las reflexiones logradas en el desarrollo de la investigación, se construyeron 8 (ocho) criterios clave de priorización, según juicio propio, que pueden observarse en la Tabla 1.

Nº	Criterio	Definición
1	Existencia	“E1” Cantidad, en peso o volumen de recurso en unidad de superficie.
2	Equilibrio	“E2” Periodicidad, Frecuencia o Tasa de generación del recurso, por día, mes, año, o ciclo de producción.
3	Esparcimiento	“E3” Dispersión o concentración del recurso. Fuentes puntuales de generación.
4	Efectos	“E4” Impacto local visible. Su empleo podría impactar visiblemente a la zona, desde el punto de vista de la contaminación, de las emisiones, de la disposición de residuos, u otros, por lo cual se propone o descarta a priori su uso. Pueden considerarse aspectos sociales u otros.
5	Experiencias	“E5” Usos actuales. Usos establecidos del recurso como por ejemplo abono, forraje, artesanías, etc.
6	Exigencias	“E6” Accesibilidad legal y física. Incluye Propiedad particular, restricciones legales de áreas protegidas u otras. También considera Orografía, situaciones de terreno dificultosas.
7	Estimación	“E7” Percepción sobre el recurso y su interés de uso o aceptación social (apropiable).
8	Expectativa	“E8” Perspectiva de existencia futura del recurso en calidad y cantidad. Probabilidad de que continúe existiendo la fuente de generación del recurso, ya sea por respaldo político, legal, económico, financiero, cultural, etc.

Tabla 1. Los 8 puntos clave para seleccionar tipos de biomasa disponible.

Siguiendo estos criterios, el universo de tipos de biomasa potenciales identificados en el primer paso, se reduce notablemente, tan sólo al analizar la existencia o cantidad de recurso que se observa a nivel de toda la superficie del Valle. Si bien en esta instancia no se pretende realizar la cuantificación precisa de cada recurso, los estudios previos en gabinete (literatura, mapas, imágenes satelitales), sumados a los de reconocimiento a nivel de terreno, y las entrevistas y encuestas locales, se consideran como elementos más que suficientes para definir el estado de los recursos en esta etapa. Claramente, los recursos más visibles son los que se hallan en mayor proporción, aunque en algunos casos (como los RSU) es difícil que sean reconocidos como potenciales recursos. El criterio E1, permite, a partir de información de base, tener una primera aproximación a la cuantificación del recurso, que será precisado en estudios posteriores, para cada uno de los recursos identificados como disponibles. En este caso, a este nivel de análisis, la cuantificación se realizó en función de la observación de su presencia en los distintos municipios del área de estudio.

El criterio E2 “equilibrio”, incorpora en el análisis la frecuencia o periodicidad de generación del recurso. Si la frecuencia de generación de un recurso es puntual, es decir una vez por año, o una vez por mes, en un determinado sitio, es imposible pensar en instalaciones que dependan de este insumo, y obliga a complementar con otros recursos cercanos. Es necesario evaluar este parámetro antes de realizar mayores estudios. La observación de la frecuencia de generación también marca la sostenibilidad natural del recurso en el tiempo, que también dependerá, por otra parte, del nivel de intervención antrópica que permita o no la continuidad de dicha sostenibilidad.

El esparcimiento o dispersión (E3) o su inversa, la concentración puntual de un recurso en un sitio específico, lo convierte en potencialmente útil sólo para ese sitio, ya que no alcanzará en sus beneficios energéticos a la mayor parte de la población del Valle, que es el objetivo perseguido en la presente investigación. Ahora bien, un tipo de biomasa demasiado dispersa puede significar altos costos para su utilización, lo que también debe ser evaluado. Por otro lado, en función de la escala en que se analice, un recurso concentrado en una región geográfica, puede ser beneficioso. En este caso el puntaje final se otorgó en función de en cuántos municipios se encontraba concentrado en un radio máximo de 30 km, considerando que una alta dispersión local es mala (menor puntaje), ya que implicará mayores costos de transporte de ese recurso hacia el sitio de aprovechamiento.

El impacto del uso del recurso (E4) a primera vista, incluye aspectos ambientales, sociales y económicos. Si bien es sólo de manera preliminar (ya que evaluaciones de factibilidad económica y técnica deben ser desarrolladas cuando se decida un aprovechamiento concreto), puede fácilmente percibirse que mientras mayores sean los impactos positivos esperados, mayor será el puntaje otorgado.

Los *efectos*, o impactos locales visibles, pueden reconocerse en algunos casos fácilmente con los mismos estudios señalados anteriormente (estudios de gabinete, de reconocimiento en terreno y de entrevistas locales). Sin embargo, aquellas que parecen las más grandes ventajas en el aprovechamiento de un recurso, pueden convertirse justamente en los peores impactos en la zona. Todo depende de cómo se definan, planifiquen y ejecuten los sistemas propuestos. En este nivel de análisis, sólo es posible una aproximación gruesa (demandas energéticas, contaminación visible y aguda que podría ser revertida). Si los beneficios planificados se alcanzan, seguramente se estará impactando en los sistemas humanos de la zona.

Distintos usos tradicionales del recurso (E5) pueden superponerse significando una sobredemanda del recurso, y por tanto, significando una mayor presión sobre ellos. Es necesario identificar estos usos, y observar la adecuación del proyecto en la zona. En este caso, mientras mayor demanda exista del recurso –para otros fines- menor puntaje tendrá. Los usos actuales de los recursos disponibles o experiencias de uso pueden limitar absolutamente el empleo de un determinado recurso, como por ejemplo, si los residuos de una cosecha determinada son el insumo de una fábrica de artesanías o si constituyen la base del próximo ciclo de siembra.

En cuanto a las exigencias (E6) entendidas como restricciones del sistema humano o natural, pueden circunscribir aún más los recursos accesibles y disponibles, ya que en muchos casos los propietarios pueden no compartir la idea de su uso, o la orografía, (que en la zona divide de por sí el área de estudio en dos sectores) puede no permitir el traslado de materiales a ciertas zonas. Para la consideración de restricciones, si bien son de diferente índole, deben analizarse cuidadosamente cada una de ellas. Lógicamente, a mayores restricciones, menor será el puntaje asignado. Sin embargo, una sola restricción por ejemplo de índole legal, será suficiente para que el recurso no pueda ser empleado. Por tanto, no sólo cuántas sino cuáles restricciones existen, deberían ser identificadas.

La mirada local, la percepción o estimación (E7) de los pobladores sobre el recurso y su empleo, son de fundamental interés, para conocer la posibilidad de supervivencia e impactos (sociales) del proyecto. Si un recurso es reconocido, se reconocen los problemas que causa o los beneficios que podría tener, y si es manifiesta su aceptación local, seguramente, implicará un proyecto duradero, y por tanto, se le asignará un mayor puntaje. En los análisis realizados, se tuvo en cuenta la opinión de la totalidad de la muestra entrevistada más la población encuestada. Es fundamental asimismo la percepción local sobre alternativas de aprovechamiento de recursos, como así su percepción sobre los posibles recursos a utilizarse. Generar cualquier cambio en las pautas culturales es un proceso costoso en tiempo y esfuerzo, pero intentar imponer algo que culturalmente no es aceptado o reconocido, implicará sin duda una pérdida infructuosa de tiempo.

Finalmente, en cuanto a la expectativa (E8) de existencia futura o probabilidad de que continúe existiendo la fuente de generación del recurso, es notorio que si dicha probabilidad es alta, mayor será el puntaje que deba asignarse. Si esa fuente desaparecerá el año próximo, sólo medidas de muy corto plazo de aprovechamiento podrían ser aplicadas, aún con las restricciones de que quizás no existan los tiempos mínimos como para que el recurso pueda ser estudiado y pueda planificarse su empleo. La expectativa de existencia del recurso o de la fuente de generación del mismo, es de fundamental importancia para la proyección de su uso sobre todo a gran escala, por el nivel de inversiones que implica. Sin embargo, también es importante a escala más pequeña, ya que si se proyectan trabajos de concientización, capacitación y entrenamiento en determinados proyectos, el hecho de que desaparezca la fuente de generación del recurso, y por lo tanto, el

recurso mismo, implicaría un valioso tiempo desperdiciado. A esto, sin duda debe sumarse la generación de frustración entre los participantes y la reticencia futura a incorporarse en cualquier propuesta de esta índole.

Las “8E” deberían ser consideradas en una primera aproximación a los recursos de biomasa disponible en un sitio, y antes de realizar una evaluación de mayor detalle, ya que es un esquema que puede seguirse contando con información de base, obtenida sin demasiadas inversiones. Esto no significa, no obstante, que esta información no deba ser generada de manera cuidadosa, ya que puede orientar el rumbo de las decisiones de forma equivocada. Los 8 criterios clave, se presentan asimismo en un orden jerárquico, que implican un valor de importancia diferencial descendente, siguiendo un “embudo” o pirámide invertida. No se descarta que, en situaciones particulares, cualquiera de los criterios inferiores pueda tornarse el limitante y/o que todos ellos inviertan su lugar, en casos excepcionales. Sin embargo, los criterios se jerarquizaron siguiendo un orden lógico, por lo que se considera que pueden servir en este orden, como un primer filtro de análisis para conocer la biomasa disponible.



La Figura 1 esquematiza el procedimiento de evaluación de las tres categorías de biomasa que deben ser consideradas, desde la biomasa potencial (todos los recursos existentes), a la biomasa disponible (recursos más o menos disponibles en función de los 8 criterios construidos) y finalmente, luego de los análisis económicos y técnicos específicos, a la biomasa utilizable en un sitio determinado.

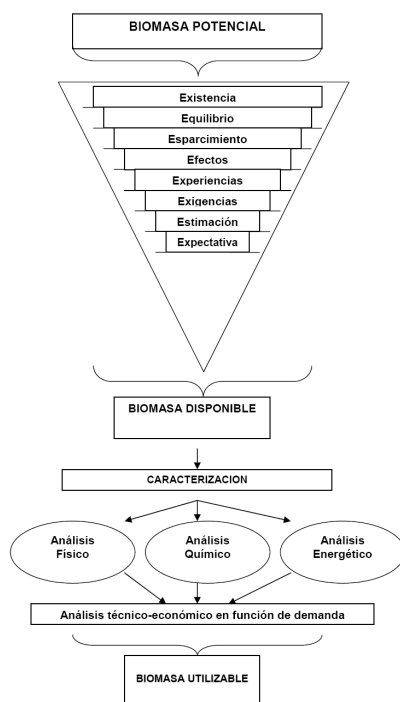


Figura 1. Esquema embudo de priorización de recursos de biomasa.

3.1.2. Índice de disponibilidad (IDI) de recursos de biomasa

Se consideró que cada recurso de biomasa detectado, podía obtener un valor alto, medio, bajo para cada uno de los 8 criterios clave, y que esta escala cualitativa podía ser analizada de manera cuantitativa si se normalizaba considerando un puntaje (P) numérico. Los puntajes asignados variaron en el siguiente modo: 0, 5 y 10, en función de si correspondía en la escala a bajo, medio o alto, respectivamente. En este sentido, el puntaje máximo que podía obtener cada recurso es de 80 puntos.

Para poder clasificar el recurso según las categorías alta, media y baja, fue necesario definir parámetros. Desde el material de entrevistas y de encuestas, del relevamiento personal en terreno, y de la literatura existente, y siguiendo los objetivos de satisfacción de necesidades energéticas de la mayor cantidad de personas posible, y/o impacto en su calidad de vida, las categorías fueron definidas considerando el total de municipios incluidos en el Valle (excluyendo el departamento capitalino). Cabe mencionar que estos parámetros serán diferentes en función de la escala de trabajo, del objetivo perseguido, del tipo de recurso, de la zona geográfica, entre otros. Además, mientras más reducida sea el área de trabajo, mayor exactitud podrá lograrse en la definición de cada uno de estos parámetros. Esto puede comprenderse mejor observando la Tabla 2, donde se vuelcan las escalas:

C	Alto	Medio	Bajo
E1	El recurso se genera o existe en más de 8 municipios del valle.	El recurso se genera o existe en 4 a 8 de los municipios del valle.	El recurso se genera o existe en menos de 4 municipios del Valle.
E2	La frecuencia de generación del recurso es de diaria a mensual	La frecuencia de generación del recurso es de mensual a anual	La frecuencia de generación del recurso es bianual o plurianual

E3	El recurso se encuentra concentrado (en un radio máximo de 30 km desde el centro de cada municipio) en más de 8 municipios del valle	El recurso se encuentra concentrado en 4 a 8 municipios del valle (en un radio máximo de 30 km desde el centro de cada municipio)	El recurso se encuentra concentrado en menos de 4 municipios del valle (en un radio máximo de 30 km desde el centro del municipio)
E4	El impacto del uso de este recurso alcanzaría a la población de 8 municipios o más del valle (aunque no a todos sus habitantes)	El impacto del uso de este recurso alcanzaría a la población de 4 a 8 municipios del valle (aunque no a todos sus habitantes)	El impacto del uso de este recurso alcanzaría a la población de menos de 4 municipios del valle (aunque no a todos sus habitantes)
E5	No existen otros usos del recurso en el Valle	Existen 1-2 usos del recurso identificados en el Valle	Existen 3 o más usos del recurso identificados en el Valle
E6	No se detectan restricciones legales o físicas para su uso	Se detectan 1 o 2 restricciones legales o físicas para su uso	Se detectan 3 o más restricciones físicas para su uso en el Valle
E7	Existe aceptación y/o interés de uso del recurso en pobladores de más de 8 municipios del Valle	Existe aceptación y/o interés de uso del recurso en pobladores de 4 a 8 municipios del Valle	Existe aceptación y/o interés de uso del recurso en pobladores de menos de 4 municipios del Valle
E8	Existe una alta probabilidad de que el recurso continúe generándose (por factores políticos, legales, financieros, culturales u otros) en por lo menos 8 municipios del Valle	Existe probabilidad de que el recurso continúe generándose en 4 a 8 municipios del Valle.	Existe probabilidad de que el recurso continúe generándose en menos de 4 municipios del Valle.

Tabla 2. Parámetros que definen las categorías de la escala, según cada criterio, para el análisis a nivel de Valle de Lerma como ejemplo.

Considerando un puntaje máximo de 80 puntos, los valores obtenidos por recurso se ponderaron en función de este máximo y se multiplicaron por 100 para llevarlo a una escala de fácil comprensión. Se obtuvo así, un “Índice de Disponibilidad” o también denominado IDI, para cada recurso detectado. El IDI quedó definido de la siguiente manera:

$$IDI(\%) = \sum \left(\frac{c1 + c2 + c3 + cn... + c8}{80} \right) \times 100$$

Una vez asignados los puntajes a los recursos, era necesario conocer cuál sería el “dictamen” para cada uno en función del puntaje obtenido en el IDI. Por supuesto, aún esta graduación puede ser definida considerando los mismos aspectos anteriormente nombrados: escala de trabajo, objetivo perseguido, tipo de recurso, zona de trabajo, criterios personales, entre otros. En este caso, la escala propuesta y utilizada es la que sigue:

- óptimo: cuando el recurso muestra un IDI o disponibilidad de 81 a 100%.
- estable: cuando el recurso muestra un IDI o disponibilidad de entre 61 a 80%.
- inestable: cuando el recurso muestra un IDI o disponibilidad entre 41 a 60%.
- crítico: cuando el recurso muestra un IDI o disponibilidad de entre 21 a 40%.
- colapso: cuando el recurso muestra un IDI o disponibilidad de entre 0 a 20%.

3.1.3. Muestreo y caracterización de recursos de biomasa priorizados

Luego de seleccionados los recursos prioritarios del sitio, dicho recursos deben ser estudiados en profundidad. Para esto, es necesario definir un diseño de muestreo en función del tipo de recurso a estudiar y sus características. En laboratorio, todas las muestras colectadas en el campo deben ser secadas en estufa a 100°C ± 5°C hasta obtener peso constante. El rango de temperaturas aconsejado para el secado oscila entre 80°C y 100°C (Dra. Brown, com.pers.). Por último, la etapa de caracterización incluye aspectos que en términos generales, deben ser considerados para todas las categorías de recursos, adecuando los mismos en función de los objetivos de investigación. Dichos aspectos son: i) físicos: humedad y formato del material o distribución granulométrica; ii) químicos: análisis elemental, análisis inmediato y análisis de componentes, y iii) energéticos: poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI).

3.1.4. Aplicaciones y procesos de conversión energética

Para cada uno de los tipos de biomasa estudiados, se realizaron estimaciones de la potencial satisfacción de las principales demandas energéticas de los pobladores, tanto a nivel de Valle como de municipio. Las estimaciones se realizaron en función de las demandas de la población, considerando: a) potencial satisfacción de demandas calóricas: las estimaciones incluyeron las demandas a nivel de hogar (actualmente abastecida por gas natural, gas de garrafa o leña), y las demandas desde procesos productivos (abastecida actualmente desde gas natural y leña, considerando principalmente la demanda de calor desde las estufas de secado de tabaco Virginia) y b) potencial satisfacción de demandas eléctricas: en este caso se consideró la demanda anual de electricidad per cápita. Los valores de referencia se obtuvieron de literatura relevante.

Similar a lo analizado en la etapa de evaluación de los recursos de biomasa, también aquí se consideró que de todos los procesos posibles (“potenciales”), sólo algunos de ellos podrían resultar “adecuados” a la luz de su análisis bajo criterios definidos (considerando no sólo los recursos y demandas de la población, sino también su experiencia de uso, sus posibilidades de manejo y su aceptación, entre otros). Finalmente, de entre estos últimos, sólo alguno de ellos, asociado con alguna tecnología (como producto tecnológico tangible o dispositivo⁴) particular, podría resultar verdaderamente “óptimo”, incorporando en los análisis aspectos técnicos y económicos.

⁴ Aparato, artefacto, mecanismo, artefacto, órgano o elemento de un sistema.



De este modo, a partir del análisis de la literatura internacional disponible y de las reflexiones logradas en este trabajo, se construyeron 8 (ocho) criterios clave de priorización, según juicio propio, que pueden observarse en la Tabla 3. Los diferentes procesos de conversión sugeridos por los expertos, fueron analizados a la luz de estos criterios. Una vez alcanzado el nivel de “proceso óptimo” en realidad es un proceso-dispositivo óptimo el que quedaría definido (aplicación tecnológica concreta, con un dispositivo particular).

El criterio E1, “especificidad”, hace referencia a que si bien los recursos de biomasa en términos generales pueden utilizarse empleando muy diversos procesos, se busca en todos los casos la mayor simplicidad y la menor inversión posible. Así por tanto, un recurso de naturaleza húmeda (con más de 30% de humedad) requerirá un secado previo a su combustión o la eficiencia del proceso disminuirá (y hasta puede extinguirse la llama). Por otra parte, si el recurso es muy seco, la realización de procesos de digestión anaeróbica se complicará, como así también los de degradación aeróbica. Los procesos que admitan sin ningún tratamiento previo, recursos de diferente naturaleza, recibirán comparativamente más puntaje.

Nº	Criterio	Definición
E1	Especificidad	Tipo de recurso de biomasa a emplear: necesidad de adecuación del mismo para poder aplicar un determinado proceso. Características y naturaleza del recurso que obligan a realizar pre-tratamientos.
E2	Empleo	Aplicaciones o uso final de la biomasa factibles de lograrse con el proceso.
E3	Escala	Magnitud del emprendimiento, alcance.
E4	Estado	Nivel de conocimiento del proceso. Trayectoria de uso a nivel mundial.
E5	Ejecución	Tipo de desempeño del proceso. Nivel de sencillez o complejidad del mismo.
E6	Experiencia	Nivel o grado de experiencia en el manejo del proceso por parte de la población destinataria. Aceptación social en su empleo.
E7	Emisiones	Emisiones contaminantes y/o de gases con efecto invernadero emanadas de la utilización de este proceso.
E8	Eficiencia	Eficiencia total del proceso de conversión. Dado que está directamente ligado con un dispositivo particular, puede considerarse el de uso más común.

Tabla 3. Los 8 puntos clave para seleccionar tipos de procesos de conversión de biomasa.

Para E2, “empleo”, dadas las aplicaciones generales posibles, y que las mismas son detectadas en el Valle, se asignaron los puntajes siempre observando que la diversidad de aplicaciones implique las menores inversiones y complejidad (más aplicaciones, más puntaje).

En el caso de E3, “escala”, dependerá del tipo de aplicación de que se trate y cómo se defina. Es decir, para una compañía internacional, posiblemente lo que considere de pequeña escala, desde el punto de vista de la población local resulta un mega-emprendimiento. Esta escala debe definirse en función del estudio particular, de la zona, y del tipo de aplicación. Si bien se puede discutir y ajustar en función del objetivo, el proceso que puede ser aplicado en cualquier escala, recibirá más puntaje, lo cual no exime que para cada aplicación, sea necesario el estudio de impacto ambiental específico, y más aún si se trata de una gran escala.

En cuanto al “estado” de conocimiento del proceso (E4), puede ser relativizado en función del grupo destinatario: es decir, un grupo de científicos seguramente tendrá conocimiento pleno de algún proceso que a nivel de pobladores rurales, es absolutamente desconocido. Sin embargo, interesa justamente evaluar la adecuación de los procesos para la zona, por lo que mientras mayor sea el conocimiento del mismo por parte de los habitantes del Valle, mayor puntaje obtendrá este proceso.

La “complejidad” del proceso (E5), por más que sea conocido, puede actuar como una limitante en su aplicación local: así, mientras más sencillez revista el proceso bajo análisis, mayor puntaje será asignado.

El criterio E6, “experiencia”, está estrechamente vinculado con el E4, aunque puede haber situaciones donde un proceso sea ampliamente conocido, y sin embargo, la población local no tenga experiencia en su uso. Por tanto, a mayor experiencia, más adecuado será el proceso por la respuesta positiva que se obtendrá de la población, y más puntaje deberá ser asignado. Lógicamente, si la introducción de un proceso nuevo para la zona, se hace acompañado de una intensa campaña de capacitación e incentivos, seguramente la respuesta de la población también será alta. En estos casos, habría que tener cuidado con que no sea un entusiasmo pasajero, y pasada la promoción, esta novedad caiga en el olvido.

En el caso de las “emisiones” (E7) éstas pueden ser de diferente naturaleza, que en esta etapa, sólo pueden ser estimadas de manera aproximada. Las emisiones o efluentes, también estarán asociadas con algún tipo de dispositivo en particular, pero en este punto, y en línea con lo ya mencionado, interesan de manera comparativa -entre los procesos considerados- la mayor o menor eliminación de estas “emisiones”. Este ítem no se circunscribe sólo a las emisiones gaseosas, sino que incluye posibles efluentes líquidos o aún sólidos generados. A mayores emisiones, menor puntaje.

Finalmente, en cuanto a la “eficiencia” (E8), lógicamente está asociada a un dispositivo de transformación, y por tanto, se aclara en la tabla que se considerará el dispositivo comúnmente empleado, en el caso de que este proceso se utilice, o el de mayor difusión o aplicación a nivel general. En esta evaluación a priori de su utilización, la eficiencia considerada será la teórica mencionada en la literatura. A mayor eficiencia de conversión de la energía química del combustible en la forma de energía requerida, mayor puntaje.

Los 8 criterios clave, se presentan asimismo en un orden jerárquico, que implican un valor de importancia diferencial descendente, siguiendo un “embudo” o pirámide invertida. No se descarta que, en situaciones particulares, cualquiera de los criterios inferiores pueda tornarse el limitante y/o que todos ellos inviertan su lugar, en casos excepcionales. Sin embargo, los

criterios se jerarquizaron siguiendo un orden lógico, por lo que se considera que pueden servir en este orden, como un primer filtro de análisis para conocer los procesos adecuados.

3.1.5. Índice de adecuación de procesos de conversión (IDA)

Se consideró que cada proceso de conversión identificado, podía obtener un valor alto, medio, bajo para cada uno de los 8 criterios clave (“8E”), y que esta escala cualitativa podía ser analizada de manera cuantitativa si se normalizaba considerando un puntaje (P) numérico. Así, los puntajes asignados variaron en el siguiente modo: 0, 5 y 10, en función de si correspondía en la escala a bajo, medio o alto, respectivamente. En este sentido, el puntaje máximo que podía obtener cada proceso es de 80 puntos. Para poder clasificar el proceso según las categorías alta, media y baja, fue necesario definir parámetros y categorías, que se muestran en la Tabla 4.

Cabe mencionar que la escala debe ajustarse en cada caso, y que, en el presente trabajo, los análisis de los diferentes procesos pre-seleccionados, se realizaron de manera comparativa (tomando la escala definida en forma relativa al rendimiento de los procesos bajo análisis). En este caso, quizás la definición del criterio no se cumplía de manera estricta para algún proceso, pero en comparación con los otros procesos bajo análisis, se consideró que debía recibir mayor puntaje en este criterio o en este aspecto. Es necesario mencionar que criterios de impactos ambientales generales, o de costos, no son incorporados. Estos análisis deberán realizarse una vez definido el dispositivo o producto tecnológico concreto a utilizarse. En esta investigación en particular, aspectos globales del sistema o cadena energética de la biomasa (incluidos aspectos de impacto ambiental) son incorporados a través de un análisis de sustentabilidad (Manrique et al., 2010 a y b).

C	Alto	Medio	Bajo
E1	Se pueden utilizar recursos de diferente naturaleza sin necesidad de realizar ningún pretratamiento o acondicionamiento.	Se pueden utilizar recursos de un solo tipo (seco o húmedo - con más de 30% de humedad-), pero de origen diverso, sin acondicionamiento.	Se pueden utilizar sólo recursos específicos (azucarados, oleaginosos, amiláceos). Necesidad de realizar acondicionamientos del material.
E2	Puede proveer energía para tres tipos de aplicaciones: térmica, eléctrica, mecánica	Puede proveer energía para dos tipos de aplicaciones (térmica- eléctrica, térmica-mecánica, etc.)	Mediante este proceso sólo se puede generar un tipo de aplicación (térmica o eléctrica o mecánica).
E3	Se puede utilizar en cualquier tipo de escala (doméstico, local-municipio-, regional -valle-). Incluye potencias de > 10 MW.	Se puede utilizar en escalas medias (doméstico y local) < de 10 MW y ≥ 1 MW.	Se puede utilizar sólo a pequeña escala (ámbito doméstico) y/o para una potencia de < 1 MW.
E4	Es un proceso ampliamente conocido, que se encuentra en un estado avanzado de investigación y desarrollo (es utilizado mundialmente).	Es un proceso conocido, pero que aún no ha tenido suficiente aplicación, y se encuentra en un estado de investigación intermedio (ha sido utilizado en ciertas zonas).	Es un proceso prácticamente desconocido, no ha sido aplicado en escala industrial, salvo en ensayos piloto. Falta mucho aún en desarrollo e investigación (sólo se utiliza en laboratorios)
E5	Es un proceso sencillo, fácilmente replicable y de fácil replicación.	Es un proceso algo complejo, requiere conocimientos de aspectos particulares. Puede ser replicado, pero bajo condiciones específicas (requiere entrenamiento y apoyo específico en algunas cuestiones).	Es un proceso muy complejo. No puede replicarse sin equipamiento y conocimiento específico. Requiere personal altamente capacitado y entrenado.
E6	Proceso en el que la población destinataria tiene mucha experiencia de utilización (>50% de la población).	Proceso poco conocido por la población local (lo conoce entre un 50% a 10% de la población).	Proceso prácticamente desconocido (<10% de la población).
E7	Proceso que emite gases efecto invernadero (GEI), que pueden ser controlados.	Proceso que emite GEI y otros gases o líquidos contaminantes, que pueden ser controlados con dispositivos especiales.	Proceso que emite GEI y otros gases o líquidos contaminantes, y otras sustancias tóxicas, que pueden ser tratados con altas inversiones y complejos dispositivos.
E8	La eficiencia de conversión con la tecnología disponible es de más de 30%.	La eficiencia de conversión con la tecnología disponible es entre 16 y 30%.	La eficiencia de conversión con la tecnología habitual es de hasta 15%.

Tabla 4. Definición de las escalas para cada criterio.

Considerando un puntaje máximo a obtener de 80 puntos, los valores obtenidos por proceso se ponderaron en función de este máximo y se multiplicaron por 100 para llevarlo a una escala de fácil comprensión. Se obtuvo así, un “Índice de Adecuación” o también denominado IDA, para cada proceso detectado. Es decir, el IDA quedó definido de la siguiente manera:

$$IDA(\%) = \sum \left(\frac{c1 + c2 + c3 + cn... + c8}{80} \right) \times 100$$

El proceso bajo análisis puede ser clasificado en función de 5 condiciones de adecuación –para la zona, en función del recurso y demanda-, en función del IDA obtenido; óptimo: cuando el proceso muestra un IDA o adecuación de 81-100%; adecuado: cuando el proceso muestra un IDA o adecuación de entre 61-80%; medianamente adecuado: cuando el proceso muestra un IDA o adecuación entre 41-60%; poco adecuado: cuando el proceso muestra un IDA o adecuación de entre 21-40% y inadecuado: cuando el proceso muestra un IDA o adecuación de entre 0-20%. Se consideró que un proceso con más de 50% de IDA, era un proceso que podía ser utilizado para aprovechar el recurso considerado, con beneficios locales. Por debajo de 50%, posiblemente la aplicación de este proceso sea inadecuada por la falta de conocimiento local del mismo, por

la necesidad de realizar acondicionamientos y pre-tratamientos al recurso, por las emisiones contaminantes que produce, entre otras causales. Sin embargo, en algunos casos puede ser necesaria la utilización de un determinado proceso, aunque no resulte del todo conveniente, ya sea por el tipo de recurso, por la falta de capital, por la falta de mano de obra calificada, u otras razones.

El índice calculado (IDA) para cada proceso incluye 8 aspectos clave de diversa índole, por lo que la observación del puntaje asignado de manera particular para cada proceso, permite conocer los aspectos de mayor o menor fortaleza o puntaje, los que fueron analizados a partir de gráficos de área (donde a mayor superficie cubierta, y mejor distribución en cada uno de sus vértices, mayor fortaleza presentaba el proceso para su empleo). Los principales procesos recomendados para cada tipo de recurso de biomasa bajo análisis, fueron analizados de manera comparativa mediante el IDA. Los procesos más adecuados fueron seleccionados.

4. CONCLUSIONES

Se presenta un esquema metodológico construido y empleado en el desarrollo de un trabajo de investigación doctoral sobre la biomasa del Valle de Lerma, que puede ser adecuado y utilizado para su aplicación en otras zonas. Los criterios construidos y el modo de abordaje para el estudio de la biomasa del Valle de Lerma, condensan la opinión de una gran diversidad de actores, desde diferentes localizaciones geográficas, cosmovisión, y área de interés. Por tanto, se considera que este estudio brinda herramientas científicamente construidas que facilitarán la aproximación y estudio a la complejidad de la biomasa en el contexto en el cual se detecte y planifique su aprovechamiento.

AGRADECIMIENTOS

Al CIUNSA, 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 otorgada a la autora principal, que fue el soporte para el desarrollo de la investigación doctoral. A todos los expertos que colaboraron desinteresadamente brindando sus opiniones, experiencias y conocimientos sobre biomasa y bioenergía. A los estudiantes que acompañaron en las tareas de terreno, y cuya participación resultó central en el desarrollo de este trabajo. A los pobladores y actores del Valle, que nutrieron ampliamente la presente investigación.

ABSTRACT

The approximation to the study of the biomass in sites where this exists in multiple facets and characteristics, needs of a practical and easy application method. Though the only method do not exist, in this paper one presents a scheme that systematizes work of area, of office and interconsultation with experts in topics of biomass. This scheme condenses and shows in a didactic way, the principal criteria that should be used to evaluate a priori, the potential sources of biomass that might be handled by energetic purposes. Likewise, are relieved the most important aspects of the subsequent instances on assignment of uses and applications for every resource, and tools are offered for his evaluation inside the context of the world climate change. The developed methodology is applied in a concrete situation, as example but also in order to reveal some of the principal results achieved with his application.

REFERENCIAS

- Bauen, A., Woods, J. y Hailes, R. (2004). Bioelectricity vision: achieving 15% of electricity from biomass in OECD countries by 2020. WWF international and Aebiom report. United Kingdom: Imperial College London and E4tech (UK) Ltd.
- Buchholz, T., Rametsteiner, E., Volk T.A. y Luzadis, V.A. (2009). Multi Criteria Analysis for bioenergy systems assessments. *Energy Policy* 37, 484–495.
- 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.
- Larsen, H., Kossmann, J. y Petersen, L.S.(2003). New and emerging bioenergy Technologies. Risø Energy Report 2. Risø National Laboratory. 48 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. *Bioresource Technology* 83, 47–54.
- Manrique S; Franco, J.; Núñez, V. y Seghezzo, L. (2008). Potencial Energético de Biomasa Residual de Tabaco y Aji en el Municipio de Coronel Moldes (Salta – Argentina). *AVERMA* 12 (6): 87- 94. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique, S.; Franco, J., Núñez, V. y Seghezzo, L. (2009a). Estimación de Densidad de Biomasa Aérea en Ecosistemas Naturales de la Provincia de Salta. *AVERMA* 13 (6): 37-45. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique, S; Franco, J; Núñez, V. y Seghezzo, L. (2009b). Alternativa bioenergética en el Valle de Lerma, Salta (Argentina). Trabajo seleccionado para su presentación oral en el 1° 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 Seghezzo, L. (2009c). Índice de Valor Combustible de Arbustales Naturales y su Potencialidad como Cultivos Energéticos. *AVERMA* 13 (6): 47-56. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique, S; Franco, J; Núñez, V. y Seghezzo, L. (2009d). Stock de Biomasa y Carbono en una Zona del Chaco Occidental en el departamento de La Viña, Salta. *AVERMA* 13 (6): 155-164. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique, S.; Franco, J.; Núñez, V. y Seghezzo, L. (2010a). Bioenergía en el Valle de Lerma: Evaluación de Sustentabilidad de Alternativas. *AVERMA* 14 (6): 31-38. Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique, S.; Franco, J.; Núñez, V. y Seghezzo, L. (2010b). Opciones bioenergéticas y su contribución al desarrollo sustentable del Valle de Lerma. *AVERMA* 14 (6): 39-46. Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique, S.; Franco, J.; Núñez, V. y Seghezzo, L. (2010c). Perspectiva bioenergética de los residuos sólidos urbanos en el Valle de Lerma. *AVERMA* 14 (6): 47-54. Argentina. ISSN 0329-5184.

- Manrique, S.; Franco, J.; Núñez, V. y Seghezzo, L. (2010d). Secuestro de carbono en sistemas agrícolas del Valle de Lerma. *AVERMA* 14 (6): 55-62. Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique, S.; Franco, J.; Núñez, V. y Seghezzo, L. (2010e). Predicción de biomasa natural a partir de sensores remotos en el Valle de Lerma. *AVERMA* 14 (6): 63-70. Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique, S.; Franco, J.; Núñez, V. y Seghezzo, L. (2011). Potential of native forests for the mitigation of greenhouse gases in Salta, Argentina. *Revista Biomass and Bioenergy* 35(5): 2184-2193. ISSN: 0961-9534. DOI information: 10.1016/j.biombioe.2011.02.029.
- 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.
- 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.
- 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.