

APROVECHAMIENTO DE BIOMASA RESIDUAL BAJO UN ESQUEMA DE COGENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA. APLICACIÓN DEL ENFOQUE DE MARCO LÓGICO COMO HERRAMIENTA PARA PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DE UN PROYECTO

G. A. Fernández¹, M. Alayón², C. J. Panero³, V. D. Nazario Pedernera⁴, V. Stefanini⁵

¹Facultad de Ingeniería (FIO) – Universidad Nacional de Misiones (UNaM)

²Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

³AES Generación S.A.

^{4,5}Facultad de Ingeniería y Cs. Económico Sociales (FICES) – Universidad Nacional de San Luis (UNSL)

¹Juan Manuel de Rosas N° 325 – Oberá – Misiones – Argentina – C.P. 3360 – Tel.: 3755-422169

guillermo.fernandez.fio@gmail.com – martin_alayon@yahoo.com – claudio.panero@aes.com

vnazario@fices.unsl.edu.ar – vstefan@fices.unsl.edu.ar

RESUMEN: Este trabajo constituye la aplicación del Enfoque de Marco Lógico (EML) como herramienta en el proyecto para el aprovechamiento de biomasa residual animal (estiércol), en la generación de energía eléctrica y térmica requerida en un establecimiento agrícola-ganadero. El mismo se encuentra en la provincia de Misiones y está dedicado a la cría intensiva de ganado porcino y bovino. Para el aprovechamiento del estiércol animal, se recurre a la digestión anaeróbica de la biomasa. Este aprovechamiento no sólo posee fines energéticos, sino que también tiene por objetivo la reducción del impacto ambiental ocasionado por la acumulación del estiércol, típico de la actividad mencionada. Para la planificación de la gestión del proyecto, se tratan las etapas de identificación y diseño, donde han sido realizados los análisis técnico y económico. De este último puede apreciarse que la viabilidad en la producción de energía está sujeta a la comercialización de los efluentes del biodigestor.

Palabras clave: Enfoque del Marco Lógico, aprovechamiento de biomasa residual.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la demanda energética y la contaminación ambiental son dos preocupaciones a nivel mundial. Por tal motivo, el uso de la biomasa residual (residuos orgánicos provenientes de actividades agrícolas, ganaderas, forestal, etc.) puede contribuir a mitigar ambas preocupaciones. En las explotaciones agrícola-ganaderas dedicadas a la cría intensiva de ganado en confinamiento, se producen grandes cantidades de estiércol animal, por lo cual el mismo es acumulado y/o esparcido directamente como abono orgánico (Pordomingo, 2003; Masino, 2010). En la acumulación, los líquidos contenidos en esta materia, pueden filtrarse hacia las aguas superficiales y/o subterráneas, provocando la contaminación de las mismas. También, el gas metano producido es emanado directamente hacia la atmósfera, contribuyendo así al calentamiento global (Herrero y Gil, 2008; Berra y Finster, 2002). Para evitar este impacto ambiental, es necesario efectuar el tratamiento del estiércol producido. La digestión anaeróbica puede aplicarse como tratamiento. En este proceso, el estiércol es depurado generándose biogás y materia orgánica como efluente. El biogás, con alto contenido de metano, puede aprovecharse para la generación de energía térmica y eléctrica (Vienny y Méndez, 2009), mientras que el efluente puede emplearse como abono orgánico, ya que la digestión anaeróbica reduce entre un 90% y 99% la cantidad de microorganismos patógenos y evita la pérdida de algunos nutrientes de esta materia residual (Hilbert, 2003; Botero Botero y Preston, 1987). La digestión mencionada puede realizarse mediante un biodigestor, donde la acción bacteriana produce la descomposición de los residuos provenientes de los animales de cría.

La biodigestión del estiércol, no sólo permite el cuidado del medio ambiente, sino que también puede traer beneficios económicos, utilizando el biogás en la generación de energía térmica o eléctrica, como así también sus efluentes para la fertilización del suelo. Los efluentes pueden constituir un producto de gran importancia en la actividad agrícola-ganadera, ya que representan un abono orgánico de buena calidad, con mejores propiedades que el estiércol fresco (Botero Botero y Preston, 1987).

Con el fin de obtener los beneficios mencionados, en este artículo es expuesto el proyecto para el aprovechamiento del estiércol animal mediante un biodigestor. La materia prima empleada corresponde al estiércol animal producido en un establecimiento agrícola-ganadero ubicado en la zona suburbana de la ciudad de Oberá, provincia de Misiones. Para el proyecto se ha aplicado el EML a parte de su ciclo de gestión, mas específicamente a las etapas de identificación y diseño. Hay que mencionar que este enfoque es aplicable al ciclo de gestión de proyectos de cooperación para el desarrollo, pero también sus elementos pueden utilizarse en proyectos para el desarrollo local (Camacho et al., 2001), como en este caso.

El ciclo de gestión de los proyectos, puede conformarse por las etapas temporales indicadas en la figura 1. Cada etapa está conformada por sub-etapas, a través de las cuales puede obtenerse, de forma ordenada, información importante para el desarrollo del proyecto. A continuación son desarrolladas las etapas de identificación y diseño, para el proyecto mencionado.

¹ Docente - Investigador, FIO - UNaM.

² Docente.

³ Ingeniero de planta.

^{4,5} Docente - Investigador, FICES - UNSL.

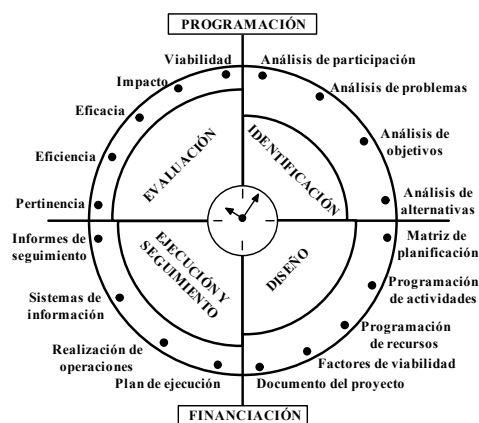


Figura 1: Ciclo de gestión de un proyecto (Camacho et al., 2001).

2. ETAPA DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Esta etapa corresponde a la gestación del proyecto, en la misma se trata de determinar cuales son los problemas que han de resolverse, las oportunidades que pueden aprovecharse, a quienes involucra el desarrollo del proyecto y cuales son los objetivos del mismo. El EML otorga a esta etapa suma importancia, ya que sobre la misma se construye la mayor parte de la estructura, la sistematización y la lógica del proyecto (Camacho et al., 2001). Realizando los distintos análisis pertinentes a esta etapa, para el proyecto presentado, se resume lo siguiente:

- **Necesidad/Propuesta:** El establecimiento agrícola-ganadero en cuestión, está dedicado a la cría intensiva de ganado porcino y bovino (en confinamiento), con los cuales abastece un emprendimiento familiar dedicado a la elaboración y comercialización de embutidos, chacinados y carnes. Las características que pueden destacarse del establecimiento son:

- Producción de ganado porcino y bovino. 250 y 350 animales, respectivamente.
- Cultivo de maíz, avena y caña de azúcar, para alimentación de los animales. Aproximadamente 20 hectáreas cultivadas.
- Producción de alimento balanceado para animales. A través de máquina eléctrica, mediante los cultivos anteriores.
- Agua potable por bombeo.
- Abastecimiento de energía eléctrica de red.
- Uso de leña proveniente del bosque nativo, para la producción de agua caliente, empleada en la faena de animales.
- Vivienda de uso familiar, habitada por el encargado del establecimiento.

El impacto ambiental, las intensiones de autoabastecimiento de energía eléctrica y térmica (total o parcial), y el desaprovechamiento del recurso, generan en los propietarios del establecimiento la inquietud de efectuar el estudio del aprovechamiento del estiércol, a través de la instalación de un biodigestor. Este será del tipo “tubular”, donde la envolvente estará construida con lona impermeable sellada, contando con las cámaras de mezcla y descarga correspondientes. En la figura 2 se indica un esquema de cómo sería el biodigestor.

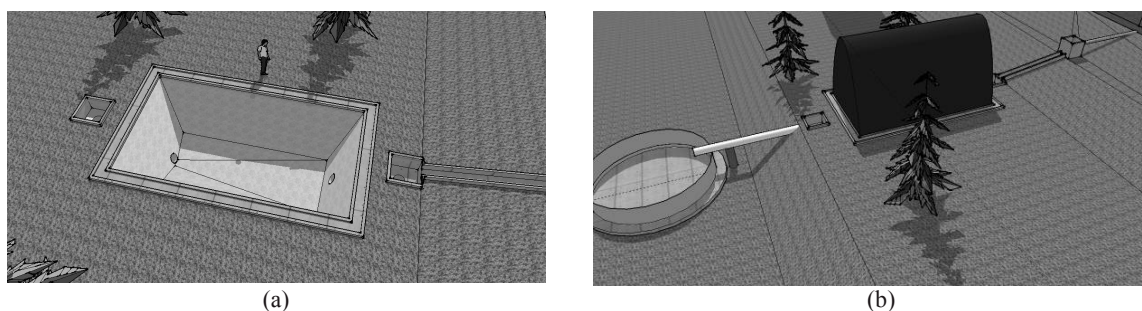


Figura 2: Esquema del biodigestor propuesto. (a) Sin cubierta de lona; (b) Completo.

El biogás producido por el biodigestor, permitirá alimentar un motor de combustión interna, el cual impulsará un generador de corriente alterna para producir energía eléctrica destinada a iluminación, bombeo de agua y elaboración de alimento balanceado. El calor residual de los gases de la combustión, en el motor, será empleado para el funcionamiento del biodigestor. El agua caliente requerida en la faena de los animales, será obtenida mediante la combustión del biogás. El estiércol, el cual es esparcido directamente como abono, será reemplazado por el efluente del biodigestor (biofertilizante).

- **Actores:** Los resultados del proyecto alcanzarán a los siguientes beneficiarios: **A) Directos:** Propietarios y población que rodea al establecimiento. Debido al autoabastecimiento de energía y la reducción en el impacto al medio ambiente. **B) Indirectos:** Proveedores de insumos y operarios eventuales, ya que los materiales y la mano de obra requeridos para la construcción del biodigestor, pueden adquirirse en la localidad. También, debido al tipo de aprovechamiento, pueden considerarse como beneficiarios, las instituciones educativas locales (escuelas, colegios, universidad), a través visitas a las instalaciones. Los resultados del proyecto afectarán a los siguientes grupos: **A) Positivamente:** Propietarios del

establecimiento, no sólo debido al autoabastecimiento energético y la reducción en la contaminación ambiental, sino que también la instalación del biodigestor puede resultar atractivo para el emprendimiento de actividades de agroturismo (actividades de interés para los propietarios). Población que rodea al establecimiento, por la reducción en la contaminación. Proveedores de insumos, por la venta de materiales. Operarios que eventualmente puedan contribuir con su mano de obra. Instituciones educativas, por los fines didácticos que pueda prestar el proyecto. **B) Negativamente:** La cooperativa proveedora de energía eléctrica, por perder un usuario, en el caso de ser factible el autoabastecimiento de energía eléctrica. También los proveedores de leña, por perder un cliente.

- **Objetivos:** El proyecto tiene como objetivos principales el autoabastecimiento (total o parcial) de energía eléctrica y térmica y la reducción del impacto ambiental, mediante el aprovechamiento del estiércol producido en el establecimiento. Los objetivos específicos son expresados en la etapa de diseño del proyecto.

3. ETAPA DE DISEÑO DEL PROYECTO

En esta etapa se formalizan y organizan los resultados de los análisis efectuados en la etapa de identificación, estableciendo recursos, costes, plazos, etc. En el EML, la información de esta etapa es articulada por la Matriz de Planificación del Proyecto (MPP). Esta matriz es una herramienta que trata de presentar en forma clara, lógica y secuenciada los elementos centrales del proyecto propuesto. Como se verá a continuación, la matriz está conformada por cuatro columnas que expresan: La primera columna es el resumen descriptivo de los objetivos, resultados y actividades del proyecto. La segunda columna establece los indicadores que valoran cuantitativamente el nivel de logro esperado en cada instancia del proyecto. La tercera columna posee las fuentes de verificación de los indicadores. Y la cuarta columna, determina un conjunto de factores externos (supuestos) que permiten asegurar el desarrollo de cada instancia del proyecto. A continuación es detallada la MPP para el proyecto abordado.

	LOGICA DE LA INTERVENCION	INDICADORES	VERIFICACION	FACTORES EXTERNOS
OBJETIVOS GENERALES	Aprovechar el estiércol producido en el establecimiento mencionado, con fines energéticos y para la reducción del impacto ambiental.	Kilogramos de estiércol procesados diariamente.	Procesamiento del estiércol producido.	Rentabilidad positiva de la actividad productiva del establecimiento. Continuidad en la utilización de la tecnología desarrollada.
OBJETIVOS ESPECIFICOS	Producción de energía eléctrica y térmica, a través del biogás.	Consumo de e. eléctrica de red en kWh/día y de leña en m3/día.	Registro contable, facturas. Inspección visual.	Disponibilidad suficiente de estiércol. Continuidad en la utilización de la tecnología instalada.
	Reducción de la deforestación del bosque nativo.	Consumo de leña en m3/día.	Registro contable, facturas. Inspección visual.	
	Producción de abono orgánico (efluentes de la digestión anaeróbica).	Cantidad de efluente producido diariamente.	Nivel en el tanque de almacenamiento de efluentes.	
RESULTADOS	1. Análisis técnico y económico del proyecto.	Informe de factibilidad técnico-económica realizado.	Informe.	Disponibilidad de la información necesaria para efectuar el análisis.
	2. Construcción del biodigestor.	Obras completadas.	Inspección visual.	Disponibilidad del capital necesario para la inversión. Disponibilidad de los insumos y mano de obra. Permisos municipales para la construcción. Ausencia de precipitaciones extraordinarias.
	3. Construcción de tanque de almacenamiento de efluentes (biofertilizante).	Obras completadas.	Inspección visual.	Disponibilidad del capital para la inversión. Disponibilidad de los insumos y mano de obra. Permisos municipales para la construcción. Ausencia de precipitaciones extraordinarias.
	4. Construcción de sala de máquinas para albergar motor-generator y purificador de biogás.	Obras completadas.	Inspección visual.	Disponibilidad del capital necesario para la inversión. Disponibilidad de los insumos y mano de obra. Permisos municipales para la construcción. Ausencia de precipitaciones extraordinarias.
	5. Alimentación de una caldera con biogás producido.	Cantidad de m3/día de biogás quemado.	Inspección visual.	Disponibilidad del capital necesario para la inversión. Permisos municipales para la construcción. Disponibilidad de los insumos y mano de obra.
	6. Capacitación en la utilización de la tecnología aplicada.	Correcto funcionamiento de la planta.	Producción deseada.	Buena disposición para recibir la capacitación.
ACTIVIDADES	1.1. Estudio de factibilidad técnico-económica.	Informe terminado.	Informe.	Disponibilidad de la información necesaria para efectuar el análisis.
	1.2. Búsqueda de posibles créditos y/o subsidios.	Capital financiado.	Aprobación de créditos y/o subsidios.	Existencia de créditos y/o subsidios adecuados para el proyecto.
	2.1. Compra y recepción de insumos, contratación de servicios.	Dinero utilizado.	Registro contable, facturas correspondientes.	Disponibilidad de los insumos y mano de obra.
	2.2. Obras civiles.	Dinero utilizado.	Registro contable, facturas correspondientes.	Permisos municipales para la construcción. Ausencia de precipitaciones extraordinarias.
	2.3. Armado y sellado de la lona con sistema agitador.	Tarea realizada.	Inspección visual.	Disponibilidad de los insumos y mano de obra.
	2.4. Instalación de gas.	Tarea realizada.	Inspección visual.	Permisos municipales correspondientes. Clima propicio.

ACTIVIDADES	LOGICA DE LA INTERVENCION	INDICADORES	FUENTES DE VERIFICACION	FACTORES EXTERNOS
	3.1. Compra y recepción de insumos, contratación de servicios.	Dinero utilizado.	Registro contable, facturas correspondientes.	Disponibilidad de los insumos y mano de obra.
	3.2. Preparación de la base.	Tarea realizada.	Inspección visual.	Ausencia de precipitaciones extraordinarias.
	3.3. Armado del tanque y cubierta.	Tarea realizada.	Inspección visual.	Disponibilidad de los insumos y mano de obra necesarios. Permisos municipales para la construcción. Ausencia de precipitaciones extraordinarias.
	4.1. Compra y recepción de insumos, contratación de servicios.	Dinero utilizado.	Registro contable, facturas correspondientes.	Disponibilidad de los insumos y mano de obra necesarios (locales).
	4.2. Obras civiles.	Dinero utilizado.	Registro contable, facturas correspondientes.	Disponibilidad de los insumos y mano de obra necesarios. Permisos municipales para la construcción. Ausencia de precipitaciones extraordinarias.
	4.3. Instalación de gas.	Tarea realizada.	Inspección visual.	Permisos municipales correspondientes. Ausencia de precipitaciones extraordinarias.
	4.4. Instalación eléctrica.	Tarea realizada.	Inspección visual.	Disponibilidad de los insumos y mano de obra necesarios (locales). Permisos municipales para la construcción.
	4.5. Montaje del motor-generator y el purificador de biogás.	Tarea realizada.	Inspección visual.	Disponibilidad de los insumos y mano de obra necesarios.
	5.1. Compra y recepción de insumos, contratación de servicios.	Dinero utilizado.	Registro contable, facturas correspondientes.	Disponibilidad de los insumos y mano de obra necesarios.
	5.2. Modificación de la caldera, para alimentación con biogás.	Tarea realizada.	Inspección visual.	Disponibilidad de mano de obra necesaria. Permisos municipales para correspondientes.
	5.3. Instalación de gas.	Tarea realizada.	Inspección visual.	Permisos municipales correspondientes. Ausencia de precipitaciones extraordinarias.
	6.1. Capacitación de los operarios.	Charla de capacitación.	Asistencia de los operarios.	Buena disposición para recibir la capacitación.

Cabe mencionar que el alcance de los resultados deseados está supeditado al cumplimiento de los factores externos (hipótesis). Si el resultado del análisis de factibilidad técnico-económica resultara favorable, esto permitirá validar el inicio del proyecto, pero la ejecución del mismo podrá efectuarse sólo si existen los recursos monetarios, insumos y mano de obra necesarios. A esto último, deben agregarse los permisos municipales requeridos. En cuanto a la inversión, el propietario del establecimiento está dispuesto a efectuar aporte monetario correspondiente, en caso de que no obtener fondos subsidiados o de créditos. Para el cumplimiento de los objetivos generales de este proyecto, es necesario que la actividad del establecimiento siga siendo rentable, que el número de animales criados permita producir la cantidad suficiente de estiércol demanda para la producción de energía (eléctrica y térmica) y que las personas encargadas de la operación y mantenimiento del sistema de generación cumplan correctamente con las tareas correspondientes a los efectos de dar continuidad al uso de la tecnología desarrollada.

A los fines de recabar información respecto de los costos de servicios e insumos requeridos para la ejecución de las actividades del proyecto, es necesario realizar un detalle de los trabajos y los materiales necesarios. A continuación están indicados los resultados generales de esto. Los costos indicados han sido relevados a mediados del año 2009.

ACTIV.	INSUMOS / SERVICIOS	COSTOS
1	Viáticos.	\$4000 (combustible, asesoramiento, etc.).
2	Insumos (cemento, áridos, hierro, caños PVC, lona superior (118m ²) e inferior (72 m ²), tomas y válvulas de gas, cañería de gas). Servicios de excavación, construcción civil y armado lona.	\$25500 (\$6000 excavación y materiales, \$15000 lonas con sistema agitador, \$4500 accesorios).
3	Tanque de almacenamiento tipo australiano de 20000 lts, materiales para base (cemento, malla de hierro, áridos, cañerías de PVC). Servicios de obra civil y de armado del tanque.	\$15400 (\$10000 se comprara tanque usado tipo australiano o similar, \$5400 obra civil con materiales).
4	Insumos (Chapas, cemento, áridos, malla de hierro, bloques de cemento, ventana, puerta, iluminación para sala de 20 m ² , filtro purificador para biotas, cañerías, moto-generator, cables , tablero de mando y distribución). Servicios de obra civil y de armado sala.	\$59600 (\$50000 motor -generator, \$4300 materiales sala y \$2000 mano de obra, \$300 iluminación, \$1000 filtro, \$2000 tablero).
5	Insumos (cañerías, material de adaptación, válvulas, pequeño compresor de gas). Servicio de montaje y puesta a punto caldera y cañerías).	\$1500 (\$1000 compresor, \$500 accesorios).
6	Viáticos.	\$2000
	TOTALES	\$108000

Para obtener un seguimiento eficiente de las actividades propuestas, es necesario realizar un cronograma detallado de las mismas, indicando en que momento de la ejecución del proyecto, comenzará y finalizará cada una de ellas. En la tabla 1 se indica un cronograma de actividades general. Para los tiempos se tuvieron en cuenta que algunos de los insumos (por ejemplo la lona para el biodigestor) deben adquirirse por pedido previo, lo cual dilata la entrega del mismo. En cuanto a las actividades, ya que varias de las mismas son al aire libre, el cronograma indicado está expuesto a modificaciones por malas condiciones climáticas.

ACTIVIDADES	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																																		
	PRIMER MES					SEGUNDO MES					TERCER MES					CUARTO MES			QUINTO MES			SEXTO MES													
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175
1.1 y 1.2	█																																		
2.1a y 3.1	█																																		
2.1b	█																																		
4.1a	█																																		
4.1b y 5.1	█																																		
2.2 a 2.4	█																																		
3.2 y 3.3	█																																		
4.2 a 4.5	█																																		
5.2 y 5.3	█																																		
6.1	█																																		
2.1a = Compra de materiales para estructura e instalaciones del biodigestor. Contratación de servicios.												4.1a = Compra del grupo motor-generator.						4.1b = Compra de materiales para estructura e inst. eléctrica. Contratación de servicios.																	
2.1b = Compra de lona para biodigestor.																																			

Tabla 1: Cronograma general de las actividades para la ejecución del proyecto.

4. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA

En orden de dimensionar el biodigestor, se partió de recabar información acerca de las necesidades energéticas del establecimiento y los recursos que se cuentan para suplirlas. El requerimiento energético es dividido en un consumo eléctrico mensual de aproximadamente 4000kWh y un consumo de leña mensual de aproximadamente 1m³ de maderas duras. Los recursos de biomasa están basados en la producción diaria de 1500kg de estiércol fresco, correspondientes a 250 cerdos, y de 10500kg de estiércol fresco, provenientes de 350 novillos. A razón de una producción de estiércol diaria por animal de 6kg y 30kg, para cerdos y novillos respectivamente (Hilbert, 2003). Debido a que los datos obtenidos, consumo y recursos, están en unidades distintas, no es evidente que el recurso sea capaz de suplir la demanda. Por ello, tanto los valores de consumo como los de recurso, serán expresados a continuación, en unidades de m³ de biogás por día, para de esta forma poder de dimensionar el biodigestor.

- **Requerimiento energético en m³ de biogás/día:** Los 4000kWh mensuales de consumo eléctrico corresponden a 133kWh diarios, que deben ser producidos por un motor a explosión acoplado a un generador. Este motor será alimentado por una cierta cantidad biogás (X), que al ser multiplicada por un factor de rendimiento del equipo motor-generator (η) y por un factor de conversión de unidades, resultará igual a 133kWh. Esto es lo que indica la expresión 1.

$$\eta = \frac{\text{Energía Eléctrica (MJ)}}{\text{Poder Calorífico del Biogás (MJ) * X}} = \frac{133\text{kW} * 3600\text{s}}{4,18 \frac{\text{J}}{\text{Cal}} * 5000 \frac{\text{kCal}}{\text{m}^3} * X} = \frac{478,8\text{MJ}}{20,7 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} * X} \quad (1)$$

Donde X es la cantidad de m³ de biogás con un poder calorífico de 5000kcal/m³ (Guevara Vera A., 1996) necesaria para generar 133kWh. Luego puede despejarse el volumen diario X, al considerar que el rendimiento del equipo generador (η) es del orden de 20%. Finalmente, el consumo eléctrico diario requiere de **115,6m³** de biogás por día.

Por otra parte, un metro cúbico de leña consumido mensualmente representa 0,033m³ de leña diarios. Aproximadamente, para maderas duras, la densidad aparente es de 500 kg/m³ (FAO, 1993). Es decir que 0,033m³ corresponden a 16,66kg de leña diarios. Por lo tanto, estableciendo que 1m³ de biogás posee el mismo poder calorífico que 1,3kg de madera (Herrero Martí, 2008), 16,66kg de leña diarios equivalen a 12,8m³ de biogás por día. Finalmente, el consumo total resulta ser **128,4m³** de biogás por día.

- **Recurso en m³ de biogás/día:** El estiércol porcino fresco posee un 20% de sólidos volátiles (SV) (Guevara Vera, 1996). Por lo tanto, de los 1500kg diarios de estiércol porcino, solamente 300kg son biodigeribles. Teniendo en cuenta que por cada kg de sólidos volátiles, son generados aproximadamente 400litros de biogás (Hilbert, 2003), nos lleva a que 300kg de SV producirán 120000litros (120m³) de biogás por día. Con esto puede observarse que el estiércol porcino prácticamente suple el requerimiento energético del establecimiento. Debido a que hay mayor producción de biogás por cada kg de SV de estiércol de cerdo frente al estiércol bovino, y la incidencia directa de esto en el volumen del biodigestor, se determinó utilizar sólo la biomasa producida por los cerdos. Además, en el establecimiento, la recolección del estiércol porcino se encuentra optimizada, ya que los chiqueros están contruidos sobre una gran pileta donde se deposita la biomasa residual producida. En cambio, para el estiércol bovino, habría que recurrir a la recolección mecanizada del mismo.

- **Dimensionamiento del biodigestor:** Para digestores continuos, la dilución de los sólidos volátiles óptima oscila en 8% y 12% (Hilbert, 2003), es decir, que por cada kg de SV debe haber aproximadamente 9litros de agua. Dado que el porcentaje de SV en las excretas frescas de los cerdos es de 20%, para alcanzar la dilución óptima mencionada (10%) se deberá agregar un litro de agua por cada kg de excreta fresca. Es decir que diariamente deberá cargarse 1500kg de excretas frescas mezcladas con 1500 litros de agua. Por lo tanto, la carga diaria debida al estiércol porcino ronda los 3000litros.

Para que la carga diaria de entrada pueda ser digerida por las bacterias, es necesario que permanezca en el interior del biodigestor tanto tiempo como el tiempo de retención hidráulico (THR) estimado. Debido a que el biodigestor es de flujo continuo, el volumen será el resultado de multiplicar el tiempo de retención por la carga diaria (Herrero Martí, 2008). Dado que el THR es aproximadamente de 20 días para estiércol porcino a temperaturas mesofílicas cercanas a 30°C (Hilbert, 2003) y que la carga diaria es de 3000 litros, el volumen necesario para el estiércol porcino será de 60000litros (60m³).

- **Esquema de cogeneración:** Una vez definido que los recursos orgánicos son suficientes para satisfacer la demanda energética, se planteó el esquema indicado en la figura 3. El estiércol de cerdo llega al mezclador por gravedad. Desde el mezclador, la carga diaria llega al biodigestor, donde permanece aproximadamente 20 días. Por cada carga diaria, rebalsará la carga realizada 20 días atrás, ya digerida y convertida en biofertilizante (efluente). Luego este último es recogido en un depósito, para su posterior utilización.

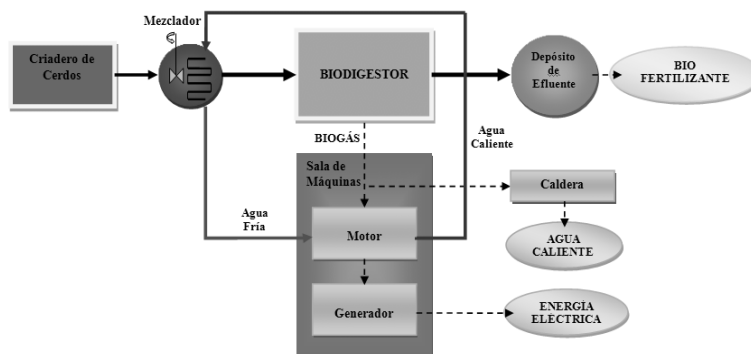


Figura 3: Esquema del sistema de cogeneración propuesto.

La digestión anaeróbica producida en el digestor genera el biogás, que en la sala de máquinas es distribuido para ser utilizado en la caldera y en el motor que impulsa al generador. En la caldera, el biogás es quemado para calentar agua. En el motor, es utilizado como combustible proporcionando la energía mecánica necesaria para accionar el generador eléctrico acoplado. La energía térmica producida por el motor, generalmente es disipada al ambiente y por ende desaprovechada. En este caso se propone utilizarla para mantener la temperatura óptima del biodigestor, como lo indica la figura 3, esto se logra recirculando agua por el circuito de refrigeración del motor hasta calentarla. Luego, el agua caliente es bombeada al sistema de calefacción del mezclador. En el mezclador, la carga diaria deberá ser calentada por sobre la temperatura óptima de trabajo, a los fines de compensar las pérdidas térmicas en el biodigestor.

- **Circuito de calefacción:** Suponiendo un rendimiento aproximado de 20% para el equipo generador y un consumo diario de biogás correspondiente a 115m^3 (con un poder calorífico de $5000\text{kCal}/\text{m}^3$), entonces se disponen de $500\text{ kWh}/\text{día}$ de energía térmica para mantener a 30°C el biodigestor. Es decir, que en promedio se dispone de una potencia aproximada de 20 kW . El requerimiento térmico está dado por la suma de 3 términos: las pérdidas térmicas en el biodigestor, las pérdidas térmicas en el mezclador y la energía diaria necesaria para elevar la temperatura de la carga diaria desde la temperatura ambiente hasta 30°C . Las pérdidas térmicas en el mezclador y en el biodigestor han sido obtenidas a partir del cálculo según modelo de resistencia térmica en pisos, paredes y tapa (Incropera y DeWitt, 1999), considerando que la temperatura de suelo (T_s) es igual a la temperatura ambiente media anual en la provincia de Misiones (alrededor de 20°C). Las pérdidas térmicas resultaron del orden de los 2 kW , es decir, $48\text{ kWh}/\text{día}$. Considerando que la carga diaria es de 3000 litros (mezcla de estiércol y agua, mayoritariamente agua, debido a la dilución utilizada), el calentamiento necesario (ΔT) para compensar las pérdidas del biodigestor pueden calcularse a través de la expresión 2.

$$\text{Pérdidas} = 2\text{ kW} * 24\text{ h}/\text{día} * 3600\text{ s}/\text{h} = 3000\text{ litros} * 1\text{ kg}/\text{litro} * 4,18\text{ KJ}/\text{Kg} * \Delta T \quad (2)$$

A partir de la expresión 2, obtenemos $\Delta T \cong 14^\circ\text{C}$. Es decir, que la carga diaria dentro del mezclador, deberá calentarse hasta los 44°C . Considerando que la temperatura inicial de la carga en el biodigestor es de 20°C , el requerimiento energético diario en el mezclador puede calcularse mediante la expresión 3.

$$Q = \left(3000\text{ litros}/\text{día} * 1\text{ kg}/\text{litro} * 4,18\text{ KJ}/\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K} * 24^\circ\text{K} \right) / 3600\text{ s}/\text{h} \cong 84\text{ kWh}/\text{día} \quad (3)$$

Observándose que los $500\text{ kWh}/\text{día}$ disponibles de las pérdidas en el motor son suficientes para suplir el requerimiento energético del sistema de calefacción. Cabe destacar que la eficiencia del equipo que transfiera la energía térmica del equipo motor-generador al mezclador, no podrá ser menor al 20%.

- **Equipo de generación de energía eléctrica:** Si bien la potencia media requerida es de $5,5\text{ kW}$, durante el día se producen períodos de mayor consumo. El consumo máximo puede llegar a $12,5\text{ kW}$ siendo este el peor de los casos si se encendiesen todos los artefactos eléctricos simultáneamente. El factor de potencia, actualmente corregido en el establecimiento, es de 0,9, por lo cual la potencia aparente resulta de 14 kVA . Teniendo en cuenta este dato se ha escogido el grupo motor-generador Bounous MWM que produce 30 kVA , si es alimentado con gas natural. Sin embargo, al utilizar biogás, que posee un menor poder calorífico ($5000\text{ kcal}/\text{m}^3$ vs $9200\text{ kcal}/\text{m}^3$), habrá una disminución en la potencia eléctrica con una proporción de 0,54 (5/9,2). Es decir que la máxima producción eléctrica resulta ser $16,2\text{ kVA}$. Para el grupo motor-generador seleccionado, está especificado que el consumo máximo es de $12\text{ m}^3/\text{h}$ de gas natural, para una generación de 30 kVA . Pero, como se ha mencionado, la máxima producción eléctrica será de $16,2\text{ kVA}$, con un consumo de $12\text{ m}^3/\text{h}$ de biogás. El consumo de energía eléctrica mensual del establecimiento es del orden de 4000 kWh que representa una potencia promedio diaria de $5,5\text{ kW}$. Siendo el factor de potencia 0,9 la potencia aparente, resulta $6,17\text{ kVA}$. El consumo de biogás para que la máquina funcione entregando esta potencia, puede estimarse a partir de la expresión 4.

$$\text{Consumo} = \frac{6,17 \text{ kVA}}{16,2 \text{ kVA}} * 12 \text{ m}^3/\text{h} = 4,57 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4)$$

El valor en la expresión 4, se corresponde con la producción diaria de 120 m³ de biogás obtenida anteriormente. A partir del poder calorífico del biogás (5000kcal/m³), puede obtenerse que el consumo de 4,57m³/h equivale a una potencia de 26,5kW. Con esto, el rendimiento del equipo motor-generator puede estimarse haciendo el cociente entre la potencia entregada (5,5kW) y la potencia consumida (26,5kW), resultando en un valor de 20,7%.

5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA

A partir de los costos correspondientes a las actividades planteadas en la matriz de planificación del proyecto (MPP), ha sido realizado el flujo de caja partiendo de un capital inicial de \$108000. Se consideró 20 años de vida útil del proyecto que corresponde al tiempo que estimativamente durará la lona con la cual estará construido el biodigestor. En el flujo de caja también han sido considerados los costos de operación y mantenimiento (O&M). Con respecto al mantenimiento, el costo más significativo corresponde a que el equipo motor-generator deberá ser reemplazado dos veces durante la vida útil del proyecto, distribuyéndose su costo en cuatro veces. Se estimó, además, un costo de mantenimiento adicional del orden 30% del costo de reposición de la máquina lo cual resulta en un valor de \$3000 anuales. Finalmente, la operación de los equipos será llevada a cabo por personal que actualmente trabaja en el establecimiento. Debido a que esta tarea conlleva más responsabilidades y trabajo para el encargado del mantenimiento, se estableció, conjuntamente con el dueño del establecimiento, un adicional a su sueldo del orden de los \$300 mensuales.

La tasa de descuento se cálculo a partir de un valor promedio de las rentas de inversiones conservadoras tales como plazos fijos en pesos que se encuentran en plaza hoy en día. Esto arrojó un valor aproximado de 10% anual. Con las consideraciones mencionadas, del análisis económico ha resultado un VAN negativo, es decir, el proyecto no es rentable solo con los ahorros obtenidos por la no compra de energía eléctrica y leña. Teniendo en cuenta esto, considerando la cantidad de efluente del biodigestor y que el mismo puede utilizarse como abono orgánico (Botero Botero y Preston, 1987), es efectuado un nuevo análisis económico, donde se propone al efluente (biofertilizante) como producto de venta. De esta forma podrá apreciarse el impacto sobre la viabilidad económica del proyecto que proporcionará dicho producto y en particular el precio de corte que torna positivo el VAN. Cabe mencionar que en este nuevo análisis, no han sido considerados gastos de comercialización del producto, sólo se tiene en cuenta el valor del biofertilizante sobre la cantidad producida.

A partir del análisis de sensibilidad que relaciona los valores de VAN y TIR en función del precio del producto, se determinó que con un precio de venta del biofertilizante de 8,9\$/tn, el proyecto comienza a ser rentable y su VAN resulta positiva. De lo anterior se desprende lo beneficioso de llevar adelante la venta del biofertilizante. El análisis de sensibilidad permite conocer el rango del precio de venta que mantiene valores de VAN positivo. Un precio bajo pero rentable del biofertilizante, podría ser una estrategia de venta que logre con el tiempo la difusión de esta alternativa. Sin embargo, resulta prioritario para determinar la factibilidad económica del proyecto realizar estudios de mercado que permitan determinar un precio de venta del fertilizante. La figura 4 muestra los resultados del análisis de sensibilidad realizado.

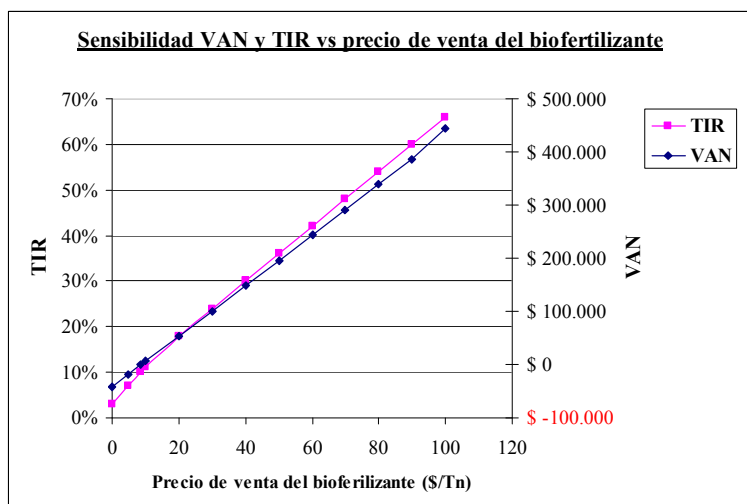


Figura 4: Análisis de sensibilidad correspondientes al VAN y la TIR, en función del precio de venta del biofertilizante.

Tomando como base las posibilidades que podría brindar la ley provincial de energías renovables N° 4439, que trata la creación de fondos para el financiamiento del uso sustentable de fuentes de energías renovables y biocombustibles, se deberá considerar la posibilidad de conseguir créditos blandos que financien total o parcialmente el proyecto.

6. CONCLUSIONES

- El EML es una herramienta importante que permite reunir y ordenar la información necesaria para el desarrollo de un proyecto. Puede aplicarse a las cuatro etapas de un proyecto indicadas en la figura 1. En la etapa de identificación permite

comprender claramente a quienes afecta el proyecto, cual es el punto de partida y a que se quiere llegar con el mismo. En la etapa de diseño, a través de la matriz de planificación de proyecto, podemos visualizar todas las actividades que requiere la ejecución del proyecto, como así también los costos que intervienen en las mismas. En esta etapa reunimos información muy importante para efectuar los análisis técnicos y económicos que definen la factibilidad del proyecto, como así también se desarrolla el cronograma de las actividades teniendo en cuenta las posibles eventualidades que afectarían el desarrollo de las mismas (factores externos). Si bien en este artículo no se han abordado las etapas de ejecución y evaluación, puede mencionarse que en la ejecución, el EML apunta a verificar el cumplimiento en tiempo y forma de las actividades especificadas en la etapa de diseño. Para esto hay que contar con un sistema de seguimiento sólido que favorezca la atención y análisis permanente de la ejecución, permitiendo reencauzar la misma si es necesario. En cuanto a la etapa de evaluación del proyecto, en el EML se hace referencia a cuatro instancias temporales de evaluación del proyecto: previa, simultánea, final y posterior. Estas etapas de evaluación requiere la recopilación de información su análisis sistemático y objetivo.

- Los valores de demanda de energía (eléctrica y térmica) y la cantidad de biomasa residual disponible, permiten constatar que en este caso, la factibilidad técnico-económica permite sólo el uso de estiércol porcino, ya que el mismo es suficiente para cubrir prácticamente la totalidad de la energía necesaria en el establecimiento. Además, en este caso, el estiércol de cerdo presenta beneficios técnicos y económicos en la recolección del mismo. El estiércol bovino restante podría aprovecharse a futuro para la producción de energía y biofertilizante, en caso que se produzcan ampliaciones en la demanda energética del establecimiento.

- A partir del análisis económico, podemos concluir que la factibilidad del proyecto está sujeta a la comercialización del biofertilizante producido por el biodigestor. Esto demuestra que, en el uso de biomasa residual (estiércol) para la generación de energía, en particular eléctrica, hay que considerar la rentabilidad que puedan brindar los subproductos obtenidos de la biodigestión, a los fines de contribuir a la factibilidad del proyecto. Entonces, de modo de establecer la factibilidad económica del proyecto, resulta necesario realizar estudios de mercado que permitan estimar un precio de venta del biofertilizante.

REFERENCIAS

- Berra G. y Finster L. (2002). "Influencia de la ganadería argentina. Emisión de Gases de Efecto Invernadero". Revista Idia XXI, año II, número 2, Julio de 2002, pp. 212-216.
- Botero Botero R. y Preston T. (1987). "Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas". Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda, Universidad EARTH, San José, Costa Rica, pp. 3-4.
- Camacho H., Cámara L., Cascante R. y Sainz H. (2001). "El enfoque del Marco Lógico: 10 casos prácticos". Fundación CIDEAL y Acciones de Desarrollo y Cooperación, Madrid, España, pp. 14-41.
- FAO (1993). "El gas de madera como combustible para motores". Estudio FAO Montes 72, Roma, Italia, pp. 36.
- Guevara Vera, A. (1996). "Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales". Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, Lima, Perú, pp. 39-42.
- Herrero M. A. y Gil S. B. (2008). "Consideraciones Ambientales de la intensificación en producción animal". Revista Ecología Austral, Asociación Argentina de Ecología, Diciembre 2008, pp. 273-289.
- Herrero Martí J. (2008). "Biodigestores familiares, guía de diseño y manual de instalación". GTZ-Cooperación Técnica Alemana, La Paz, Bolivia, pp. 25-29, 30-31.
- Hilbert J. A. (2003). "Manual para la producción de biogás". INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina, pp. 6-12, 34-40, 42-43.
- Incropera F.P. y DeWitt D.P. (1999). "Fundamentos de transferencia de calor", 4ª edición, pp. 74-79. Prentice Hall, México.
- Masino A. (2010). "Alternativa de mitigación de los riesgos de contaminación asociados a la actividad porcina intensiva: posibilidades de uso de los efluentes porcinos como Biofertilizantes". Agencia INTA Corral de Bustos, Córdoba, Argentina.
- Pordomingo A. J. (2003). "Gestión Ambiental en Feedlot, guía de buenas prácticas". INTA Anguil, La Pampa, Argentina, pp. 54-87.
- Profertil (2010). "Tabla general". <http://www.profertil.com.ar/nuestros-productos.jsp#1>.
- Sociocultural Project (2008). Tutorial sobre el Enfoque de Marco Lógico. Sociocultural Project, España, pp. 2-4.
- Vienny F. y Méndez J. M. (2009). "Producción de biogás en la granja Marujo, propiedad del sr. Jan Haasjes". Proyecto de Eficiencia de Cosecha y Postcosecha de Granos, INTA Totoras, Santa Fe, Argentina.

ABSTRACT: This paper presents the application of the "EML" to a project of electrical and thermal energy generation using pork manure for a livestock farm located in the province of Misiones. The anaerobic bio-digestion of biomass provides not only biogas for heating and electrical generation, but also allows to reduce the environmental impact caused by the accumulation of manure, typical of this kind of activity. During the planning stage of this project, technical and economical analysis showed that the viability strongly depends on the ability to sell the effluent of the digester.

Keywords: EML, biomass, heating and electrical generation.