



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo

Departamento de Ingeniería Industrial

*Tesis presentada en opción al grado
académico de Master en Ingeniería
Industrial*

Mención Logística

*Título: Procedimiento para localizar plantas y
conformar la red logística de la producción de biogás
en la provincia Sancti Spíritus*

Autor (a): Ing. Yaima Oria Gómez

Tutores: Dr. C. Fernando Marrero Delgado

Dr. C. Osvaldo Romero Romero

2009-2010



PENSAMIENTO



*“Produce una inmensa tristeza pensar que
la naturaleza habla mientras el género
humano no escucha.....”*

Víctor Hugo

DEDICATORIA



*A todos los que escuchan el llamado de la
naturaleza y se acercan a este trabajo para
continuar...*

AGRADECIMIENTOS



*A mis tutores que me ayudaron porque
creyeron en mí, sin cuya comprensión y
dedicación esta obra no existiera.*

*A todas aquellas personas que de una
manera u otra han contribuido a la
realización de este trabajo.*

Muchas Gracias!!

RESUMEN



Resumen

En Cuba ya se puso en práctica en la capital del país una planta de biogás para la obtención de energía eléctrica. En la provincia Sancti Spíritus se han realizado investigaciones dirigidas a la producción de biogás específicamente a los tipos de plantas y tecnologías a utilizar y al uso de diferentes sustratos. En la bibliografía consultada no se encontraron herramientas metodológicas que permitan definir la red logística de la cadena de aprovisionamiento de residuos para una futura planta de producción de energía problema que se resuelve durante la investigación. Además se encontraron varias herramientas metodológicas en la bibliografía disponible para la selección de proveedores y la localización de instalaciones pero ninguna de estas es específica para la plantas productoras de energía partiendo de residuos orgánicos por lo que se propone utilizar la establecida por Platea (2006) y por Domínguez Machuca et al., (1995), respectivamente con las adaptaciones necesarias. El resultado de la investigación permitió identificar las alternativas más satisfactorias de acuerdo a los criterios definidos por los expertos; revelando la Destilería "Paraíso" y la Empresa Azucarera "Uruguay" como las mejores fuentes. Además se logró determinar los suministros más importantes a utilizar en la producción de biogás y al aplicar el método AHP se pudo concluir que el orden de prioridad de los diferentes suministros comienza por la vinaza, luego la cachaza, seguido de las excretas porcinas y los RSU. Además se conformó la red logística simplificada de la producción de biogás para la futura planta se contribuye a la aplicación concreta de la producción y utilización del biogás en el territorio.

SUMMARY



Summary

In Cuba is already put into practice in the capital of the country a biogas plant for the electric power obtaining. In the county Sancti Spíritus has been carried out investigations directed specifically to the biogas production to the types of plants and technologies to use and to the use of different residuals. In the consulted bibliography they were not methodological tools that allow to define the logistical net of the chain of provisioning of residuals for a future plant of production of energy problem that is solved during the investigation. They were also several methodological tools in the available bibliography for the selection of suppliers and the localization of facilities but none of these it is specific for the plants energy producers leaving of organic residuals for what intends to use the established one for Platea (2006) and for Domínguez Machuca et to the., (1995), respectively with the necessary adaptations. The result of the investigation allowed to identify the most satisfactory alternatives according to the approaches defined by the experts; revealing the Still "Paradise" and the Sugar Company "Uruguay" as the best sources. Besides it was able to determine the most important supplies to use in the biogas production and when applying the method AHP you could conclude that the order of priority of the different supplies begins with the vinaza, then the phlegm, followed by you excrete them swinish and the USR. Its also conformed to the simplified logistical net of the biogas production for the future plant it is contributed to the concrete application of the production and use of the biogas in the territory.

ÍNDICE

A decorative graphic consisting of two horizontal lines and one vertical line. The top horizontal line is green, and the bottom horizontal line is yellow. The vertical line is green and intersects both horizontal lines.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1: Marco Teórico Referencial de la Investigación	6
1.1 Situación energética en la provincia Sancti Spíritus	7
1.2 Fuentes renovables de energía	9
1.2.1 Tipos de residuos	12
1.2.2 Residuos orgánicos disponibles en Sancti Spíritus	14
1.3 El biogás como fuente de energía renovable	15
1.4 Estado actual de la producción de biogás	17
1.5 Logística. Conceptos y Evolución	19
1.6 Sistemas logísticos	20
1.6.1 Análisis de proveedores	23
1.6.2 Localización de instalaciones	34
1.7 Conclusiones parciales	42
Capítulo 2: Procedimiento general para la localización y conformación de la red logística de la producción de biogás	43
2.1 Características del procedimiento general	43
2.2 Diseño del procedimiento general	45
2.2.1 Fase I: Inicio o preparación	47
2.2.2 Fase II: Selección de las fuentes de suministro de potenciales	50
2.2.3 Fase III: Análisis del uso de los diferentes suministros en la producción de biogás	56
2.2.4 Fase IV: Localización de plantas y determinación de eslabones de la cadena de aprovisionamiento	60
2.3 Conclusiones parciales	63
Capítulo 3: Aplicación del procedimiento propuesto para la localización y conformación de la red logística de la producción de biogás en la provincia de Sancti Spíritus	64
3.1. Aplicación del procedimiento general propuesto	64
3.1.1 Fase I: Inicio o preparación	64
3.1.2 Fase II: Selección de las fuentes de suministro de potenciales	66

3.1.3 Fase III: Análisis del uso de los diferentes suministros en la producción de biogás	78
3.1.4 Fase IV: Localización de plantas y determinación de eslabones de la cadena de aprovisionamiento	87
3.2 Conclusiones Parciales	91
Conclusiones Generales	92
Recomendaciones	93
Bibliografía	94
Anexos	

INTRODUCCIÓN



Introducción

El mundo actual enfrenta una crisis energética debido al uso indiscriminado de los combustibles convencionales (petróleo, gas natural y carbón); y que se hace cada día más grave por el carácter no renovable de estos recursos y su desmedida utilización en diferentes países del mundo.

Dentro de las vías con que cuenta la humanidad para aliviar los problemas energéticos y ambientales, está un mayor aprovechamiento de las fuentes de energía renovables, dentro de las que se destaca el uso de la biomasa. Además se trata de fuentes de energías descentralizadas.

En Alemania por ejemplo, en los últimos años se han logrado buenos resultados en el desarrollo de las fuentes renovables de energía. La ley de las energías renovables en este país, vigente desde el 2000 y modificada en el 2004, favorece con ayudas económicas estatales a los que producen energía eléctrica con fuentes renovables.

Cuba, no se queda atrás en este aspecto, la producción de energía eléctrica, siempre ha presentado dificultades pues ha dependido de la importación de combustible por lo que se impone aprovechar plenamente las fuentes renovables de energía. La utilización de la hidroenergía en Cuba es limitada, al igual que el aprovechamiento de la energía eólica y la energía solar. A partir de este análisis sólo la utilización de la biomasa como fuente de energía representa una alternativa real para la disminución del consumo de portadores energéticos convencionales en la generación de electricidad.

La incineración de la **basura**, es una de las alternativas proclamadas por algunos sectores, pero esto puede contaminar la atmósfera y destruir un recurso valioso. Ya es hora de tener en cuenta estos materiales ricos en nutrientes pues los residuos orgánicos aumentan considerablemente cada año; ya sean las basuras, las aguas fecales o los excrementos que se generan, son vistos en general como un problema del que hay que desprenderse. Pero, ¿y si en lugar de ser un problema se convirtieran en una forma ecológica de obtener energía? Esta idea se lleva practicando desde hace años con el denominado biogás.

En los biodigestores, que son las instalaciones donde ocurre el proceso de biodigestión, se obtiene además un efluente líquido cuyo valor económico como

fertilizante es equivalente al del biogás (Kellner, 1990). Estudios realizados en Cuba han demostrado que el uso del efluente líquido representa económicamente más beneficio que el propio biogás (Carballal, 1998).

El biogás se puede generar de forma natural y en este sentido el gas natural no es más que un tipo de biogás surgido por el mismo proceso a partir de residuos orgánicos que quedaron enterrados o de forma artificial, en dispositivos diseñados para eliminar la contaminación de origen orgánico y producir energía. En teoría, una tecnología adecuada puede aprovechar cualquier residuo orgánico para crear biogás y los usos que pueden dársele son los mismos que cuando se utiliza gas natural porque, en definitiva, no es más que otra forma de biogás. Para comprender el verdadero alcance de sus ventajas es importante asimilar esa doble vertiente que posee el biogás como productor de energía y como eliminador de la contaminación y los residuos (Luis Rico, 2007).

Específicamente en Cuba, el uso del biogás se ha restringido para cocinar y solo en algunos casos como oxicorte, sin embargo existen experiencias internacionales dirigidas a la obtención de energía térmica y eléctrica. Un ejemplo es la empresa Biokraftwerk Furstenwalde en los alrededores de Berlín, donde la energía eléctrica se genera en un generador eléctrico acoplado a un motor de combustión interna de diesel y biogás, utilizando como fuente de energía, una parte de los residuos urbanos de Berlín y Brandenburg (Contreras Velásquez, 2006).

Cuba lleva adelante desde 2005 la "revolución energética", un programa integral para reducir el uso de combustibles desarrollando además tecnologías sustentables o alternativas. Se han realizado varios estudios en lo referido a fuentes de energía renovable y en específico al biogás, ya en la capital cubana se comenzó a poner en práctica una planta de biogás en la calle 100, para producir electricidad a partir del procesamiento de los desechos de los mercados agropecuarios de la ciudad, y cada tonelada produce entre 30 y 40 metros cúbicos de gas metano a partir del cual un grupo electrógeno genera entre 60 y 70 kilovatios/hora (Fernández Sánchez, 2008).

Estudios recientes realizados en la provincia Sancti Spíritus (López González, 2006), se han basado en la estimación teórica de los potenciales de biomasa a partir de recursos agrícolas, pecuarios e industriales, utilizando como base la información de

los anuarios estadísticos del año anterior y referido principalmente al sector estatal. Sin embargo, los valores obtenidos en estos trabajos no tienen en cuenta la disponibilidad real de los recursos a partir de su posible recolección y su concentración en determinadas localidades. También se realizó un estudio (Oria Gómez, 2007), donde se estimó el potencial real de residuos disponibles en el sector cooperativo y campesino que es bien representativo en la producción de residuos que pueden ser utilizados para producir biogás a gran escala.

Todos estos términos constituyen una **situación problemática** que merece ser estudiada pues en la provincia existe un potencial que puede ser utilizado para la producción de biogás pero no se han identificado las posibles localizaciones de plantas ni los eslabones que componen la cadena de aprovisionamiento de residuos para conformar la red logística en la producción de biogás en la provincia Sancti Spíritus, siendo este el **problema científico** a resolver en esta investigación.

En correspondencia con los aspectos señalados anteriormente y de la revisión de la literatura especializada y otras fuentes, a realizar en el marco teórico o referencial de esta investigación, se planteó la **hipótesis** de investigación siguiente: si se desarrolla un procedimiento que permita identificar la localización de plantas de biogás y los eslabones que componen la cadena de aprovisionamiento entonces se podrá conformar la red logística para la producción de biogás en la provincia Sancti Spíritus.

La hipótesis quedará validada si:

- Se logra diseñar un procedimiento generalizador que guíe la localización de plantas productoras de energía y defina los eslabones que componen la cadena de aprovisionamiento para la producción de biogás en la provincia Sancti Spíritus.
- Se logra conformar la red logística de aprovisionamiento de residuos para la producción de biogás con fines energéticos en la provincia Sancti Spíritus.

A partir de la hipótesis anterior, se define objeto de estudio la localización de instalaciones y el diseño de la red logística para la producción de biogás y para la validación de la hipótesis se seleccionará como objeto de estudio práctico el aprovisionamiento de residuos orgánicos para la producción de biogás y el objeto de

estudio práctico específico es la producción de biogás con fines energéticos en la provincia Sancti Spíritus.

Por lo anteriormente expuesto se realiza la presente investigación que tiene como **objetivo general** desarrollar un procedimiento para localizar plantas de biogás e identificar los eslabones que componen la cadena de aprovisionamiento para conformar la red logística de la producción de biogás en la provincia Sancti Spíritus.

Los objetivos específicos a desarrollar en la investigación son:

1. Realizar la revisión de la bibliografía científica disponible para determinar el “estado del arte” y de la práctica sobre biogás, características del biogás, estudios de potenciales, tipos de residuos, residuos orgánicos, logística, diseños de sistemas logísticos, herramientas para el desarrollo de sistemas logísticos, localización de instalaciones, sistemas de información geográficas, selección de proveedores.
2. Establecer una secuencia de pasos que permitan desarrollar:
 - La especificación del problema que se estudia definiendo sus principales objetivos y la conformación del equipo y el cronograma de trabajo.
 - Evaluar y representar geográficamente las disponibilidades de residuos orgánicos existentes.
 - Determinar la importancia de cada fuente de suministro en la producción de biogás
3. Diseñar el procedimiento general para localizar plantas y conformar la red logística de la producción de biogás en la provincia Sancti Spíritus.
4. Implementar parcialmente el procedimiento para la localización y conformación de la red logística de la producción de biogás en la provincia Sancti Spíritus.

Partiendo de los antecedentes mencionados, que posee actualmente el diseño de los programas formativos en las entidades de los sectores objeto de estudio y de su propio interés por resolver dicha problemática es que se estiman los **aportes** que a continuación son enumerados:

Metodológico: El trabajo ofrecerá un procedimiento para la localización y conformación de la red logística de la producción de biogás en la provincia Sancti Spíritus.

Práctico: El resultado de la investigación contribuirá a crear las condiciones para una aplicación concreta de la producción y utilización del biogás en el territorio.

Desde el punto de vista social, el trabajo aporta información clave para el desarrollo energético de la provincia debido a que se sientan las bases para el establecimiento de una nueva forma de obtención de energía: el biogás.

El trabajo además brinda información de gran importancia que puede ser utilizada en otras investigaciones enfatizando en el desarrollo energético de la provincia.

El trabajo está estructurado en 3 capítulos:

Capítulo 1: Marco teórico-referencial de la investigación. Se abordan las características del biogás, estudios de potenciales, tipos de residuos, residuos orgánicos, logística, diseños de sistemas logísticos, herramientas para el desarrollo de sistemas logísticos, selección de proveedores, localización de instalaciones, sistemas de información geográficas.

Capítulo 2: Propuesta del procedimiento general para localizar plantas y conformar la red logística de la producción de biogás.

Capítulo 3: Aplicación del procedimiento propuesto para la localización y conformación de la red logística de la producción de biogás en la provincia Sancti Spíritus.

Un conjunto de conclusiones que sintetizan los principales resultados de la investigación, las recomendaciones que evidencian la continuidad científica de esta y un grupo de anexos de necesaria inclusión para facilitar la comprensión de la investigación.

CAPÍTULO 1



Capítulo 1: Marco teórico referencial de la investigación

Este capítulo tiene como objetivo mostrar los resultados principales de la revisión de la bibliografía científica disponible para determinar el “estado del arte” y la práctica sobre biogás, características del biogás, estudios de potenciales, tipos de residuos, residuos orgánicos, restricciones para el manejo de éstos, logística, diseños de sistemas logísticos, herramientas para el desarrollo de sistemas logísticos, localización de instalaciones, sistemas de información geográficas.

En la Figura 1.1 se muestra el hilo conductor seguido para la construcción del Marco teórico referencial.

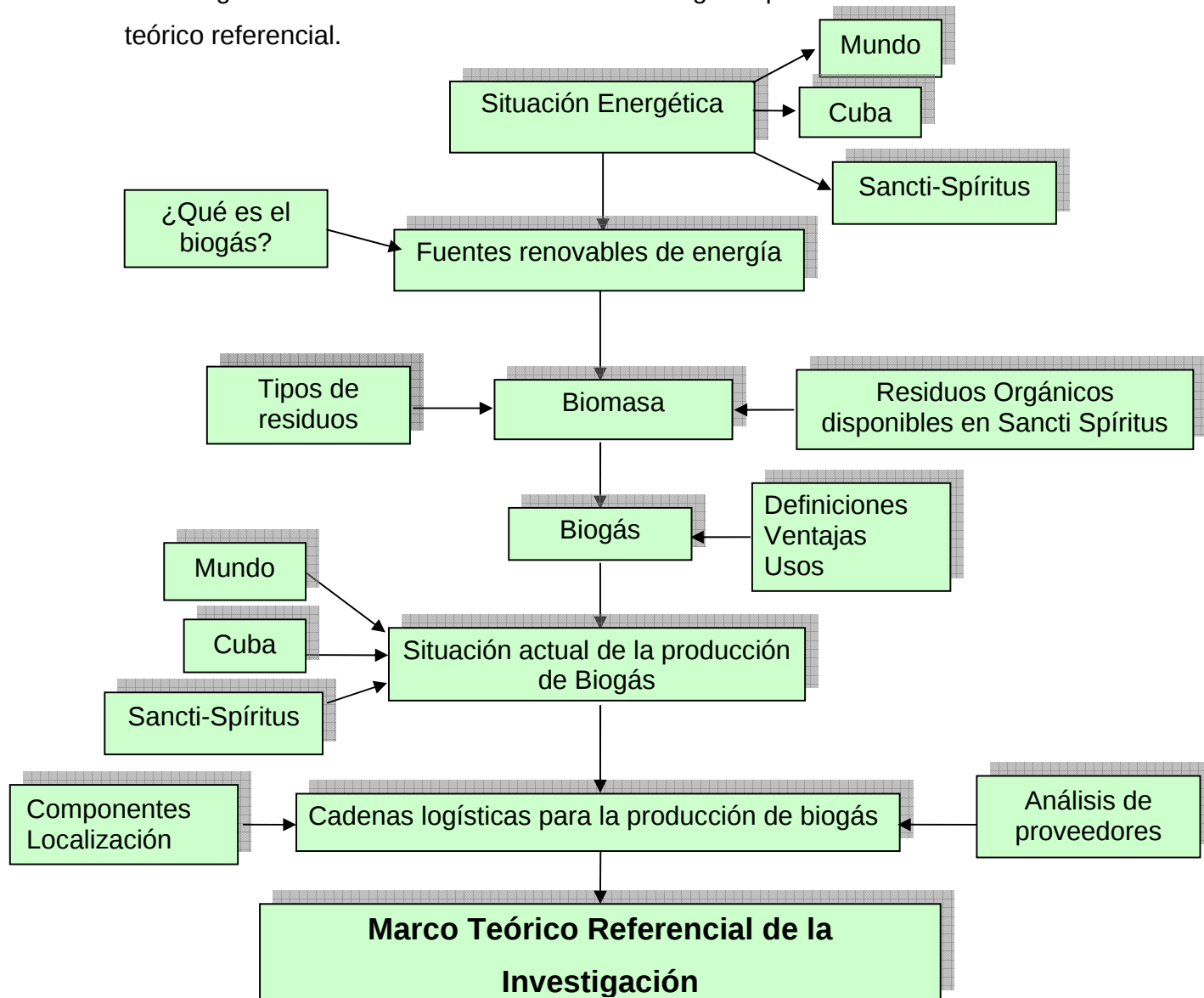


Fig. 1.1 Hilo conductor seguido para la construcción del Marco teórico referencial.

1.1 Situación energética en la provincia Sancti Spíritus

El mundo actual enfrenta una crisis energética debido al uso indiscriminado de los combustibles convencionales (petróleo, gas natural y carbón); y que se hace cada día más grave por el carácter no renovable de estos recursos y su desmedida utilización en diferentes países del mundo.

Las fuentes de energía en el 2005 utilizaban el 80 % combustibles fósiles, el 6 % energía nuclear y el resto fuentes renovables, fundamentalmente biomasa y después energía hidráulica, etcétera. Los combustibles fósiles soportan la responsabilidad de proporcionar energía a la humanidad (Turrini, 2006).

Dentro de las vías con que cuenta la humanidad para aliviar los problemas energéticos y ambientales, está un mayor aprovechamiento de las fuentes de energía renovables, dentro de las que se destaca el uso de la biomasa. Además se trata de fuentes de energías descentralizadas. La falta de voluntad política y la resistencia de grandes industrias interesadas en la opción energética, explican el retraso de la aplicación de las nuevas tecnologías. Suecia y Dinamarca, han obtenido resultados considerables en lo referido a las fuentes renovables de energía (Barrera Cardoso, 2007).

En Alemania en los últimos años se logró buenos resultados en el desarrollo de las fuentes renovables de energía (Contreras Velásquez, 2008). La ley de las energías renovables en este país, vigente desde el 2000 y modificada en el 2004, favorece con ayudas económicas estatales a los que producen energía eléctrica con fuentes renovables. Un estudio mencionado en "Words in to Action" for the International Conference for Renewable Energies, 2005, afirma que en Europa sería posible sin dificultades técnicas y económicas llegar a una reducción del 80% de CO₂ en el 2050, con un uso masivo de las fuentes renovables (solar directa, biomasa, viento y agua), y que en sesenta años todas las fuentes de energía podrían ser renovables.

En el caso más específico de Cuba, se debe señalar que en 1959 la Compañía de Electricidad tenía una capacidad de generación de 470 MW. y sus instalaciones se repartían entre dos sistemas eléctricos independientes: Uno para la zona centro occidental y el otro para la oriental. El total del servicio abarcaba el 56% de la población cubana.

El triunfo de la Revolución Cubana inicia una nueva etapa, son rebajadas las tarifas y en 1966 la situación de la generación de electricidad mejoró en el país con la adquisición y entrada en servicio de generadores de la Unión Soviética y Checoslovaquia, así como se suministró por la URSS el combustible necesario (Material de Estudio, 2006).

El desarrollo del sector energético en Cuba posibilitó una amplia electrificación del país llegando a cubrir un 95 % de la población, pero estuvo caracterizado por la posibilidad de adquirir los combustibles de los países socialistas y por una elevada dependencia del consumo de petróleo (Romero Romero, 2005).

Con el derrumbe del campo socialista se hace insuficiente el suministro de combustible, esto llevó al país a la búsqueda de alternativas para una mayor independencia energética, lo cual se expresa en el Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía del Gobierno Revolucionario, aprobado en 1993.

Después de septiembre del 2004 se ha estado realizando un intenso trabajo, liderado por Fidel Castro Ruz, lo que ha permitido establecer una estrategia para la solución radical y definitiva del déficit energético: La Revolución Energética.

Según expertos de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Cuba es el país latinoamericano de mayor potencial bioenergético aprovechable de residuales orgánicos (Fernández Sánchez, 1999).

Estudios realizados por Saure Rodríguez (2008), refieren que en el año 2007 la provincia Sancti Spíritus, consumió aproximadamente 148 457.562 MW/h, lo que en comparación con el año 2006 muestra un aumento del 1%, lo cual no es significativo, aunque responde a un reacomodamiento como resultado de la implantación de los nuevos programas de generación que la dirección del país a puesto en marcha. Sin embargo, el sector estatal mayor muestra síntomas de avance con respecto al 2006 con una mejora en la reducción del consumo de energía eléctrica en un 19%. No obstante a la aplicación de las medidas de ahorro tomadas por las diferentes direcciones de los organismos, los índices de consumo continúan influyendo considerablemente en el Sistema Electro energético de la provincia Sancti Spíritus.

La provincia cuenta con 8 grupos electrógenos de estos 7 se encuentran instalados al SEN, de los cuales 34.65 MW se generan a partir de fuel-oil y 42.048 MW con diesel.

Dada la crisis energética que existe en el mundo se hace imprescindible cada día buscar fuentes renovables de energía, en la provincia de Sancti Spíritus se cuenta con recursos disponibles para uso energético que pueden ser una fuente importante para la producción de biogás, por lo que deben ser estudiados. Existe un potencial estimado teóricamente para la producción de biogás que asciende a 80 549 777.03 m³ anuales a partir de los desechos de la producción pecuaria, agrícola e industrial, siendo el mayor aporte los desechos pecuarios (63%). Existe un potencial de biomasa que se podría utilizar para la producción de biogás equivalente a 36,9 ktep. La utilización del potencial disponible de desechos orgánicos de la producción agropecuaria y cañero – azucarera posibilitaría la generación de 179.8 GWh de energía eléctrica y 267.9 GWh de energía térmica. Sin embargo, existen otras fuentes no estudiadas como son los desechos orgánicos urbanos, o los provenientes de la producción agropecuaria, forestal, cañero – azucarera e industrial, los cuales son un potencial apreciable para la obtención de energía a gran escala y por tanto una perspectiva para la mejora de las condiciones energéticas de Sancti Spíritus (López González, 2006).

1.2 Fuentes renovables de energía

Para hablar de las energías renovables, se debe recordar que estas se entienden como fuentes de energía cuya durabilidad en el tiempo es inagotable, en comparación con la vida de los seres humanos (Romero Romero, 2005).

Existen, a saber, tres fuentes principales de energías renovables: la energía del sol, la energía del sistema gravitacional tierra – luna (que se manifiesta principalmente por la energía del oleaje del mar) y la energía de las profundidades terrestres (que se manifiesta fundamentalmente por la energía de los volcanes). De las tres primeras, la más conocida y difundida en Sancti Spíritus es la energía solar (Romero Romero, 2005). Existen varias formas de utilizar las energías renovables, las que a su vez poseen tecnologías específicas:

- La energía solar fotovoltaica, procedimiento mediante el cual la energía radiante de la luz solar es convertida en energía eléctrica, mediante el flujo electrónico que se provoca en materiales específicos.
- La energía solar, método que permite utilizar la radiación solar para producir calor, o utilizarla en procesos de secado de materiales.

- La energía eólica, que permite utilizar la fuerza del viento para generar electricidad, o para procesos de bombeo de agua. La energía hidráulica, mediante esta vía se utiliza la energía potencial gravitatoria de saltos de agua o columnas de líquido que se formaron por vía natural o artificial, para mover una turbina hidráulica que genere electricidad. Otra forma de utilizar la energía hidráulica es la utilización del llamado *golpe de ariete* para impulsar agua de un lugar para otro, de mayor altura.
- La biomasa como fuente de energía: el uso de la biomasa como fuente de energía, es una vía de utilización indirecta de la energía solar. Las plantas, mediante el proceso de fotosíntesis, producen biomasa vegetal que puede ser utilizada por combustión, gasificación o biodigestión anaerobia para producir biogás, entre otras, para finalmente generar energía (ya sea térmica, eléctrica, o mecánica) (Romero Romero, 2005).

Energía eólica

Es la fuente de energía que está creciendo más rápidamente y podría cubrir en el 2020 el 12% de toda la electricidad mundial (Greenpace, 2007). La energía eólica requiere condiciones de intensidad y regularidad en el régimen de vientos para poder aprovecharlos. El viento contiene energía cinética (de las masas de aire en movimiento) que puede convertirse en energía mecánica o eléctrica por medio de aeroturbinas, las cuales están integradas por un arreglo de aspas, un generador y una torre, principalmente.

Energía solar

La energía solar que recibe el planeta es resultado de un proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el interior del sol. Esa radiación solar se puede transformar directamente en electricidad o en calor. El calor, a su vez, puede ser utilizado para producir vapor y generar electricidad. La energía del sol se transforma en electricidad mediante células fotovoltaicas, aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores. En la actualidad se están desarrollando sistemas fotovoltaicos conectados directamente a la red eléctrica, evitando así el uso de baterías, por lo que la energía que generan se usa de inmediato.

Energía hidráulica

La energía hidráulica se basa en aprovechar la caída del agua desde cierta altura. La energía potencial, durante la caída, se convierte en cinética. El agua pasa por las turbinas a gran velocidad, provocando un movimiento de rotación que finalmente, se transforma en energía eléctrica por medio de los generadores. Es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua, y una vez utilizada, es devuelta río abajo. Su desarrollo requiere construir pantanos, presas, canales de derivación, y la instalación de grandes turbinas y equipamiento para generar electricidad. Todo ello implica la inversión de grandes sumas de dinero, por lo que no resulta competitiva en regiones donde el carbón o el petróleo son baratos. Sin embargo, el peso de las consideraciones medioambientales y el bajo mantenimiento que precisan una vez estén en funcionamiento, centran la atención en esta fuente de energía (EMC, 2009).

Energía geotérmica

La energía geotérmica se obtiene aprovechando el calor que emana de la profundidad de la Tierra. La energía geotérmica se produce cuando el vapor de los yacimientos es conducido por tuberías. Al centrifugarse se obtiene una mezcla de agua y vapor seco, el cual es utilizado para activar turbinas que generan electricidad.

En términos estrictos no es una energía renovable, pero se le considera como tal debido a que existe en tan grandes cantidades que el ser humano no verá su fin y con un mínimo de cuidados es una energía limpia. Este calor también se puede aprovechar para usos térmicos.

Hidrógeno

En las células de hidrógeno se rompe una molécula de agua (H_2O) para obtener hidrógeno con el cual se produce electricidad. El único subproducto resultante es oxígeno y vapor de agua. Estas células se están utilizando en hogares y negocios de algunos países desarrollados; incluso fabricantes de automóviles ya tienen vehículos que funcionan con este sistema.

Biomasa

La generación de energía a partir de biomasa es una de las fuentes renovables con mayor potencialidades en Cuba, con un potencial estimado en el orden de las 176 000 toneladas de combustible equivalente anuales, proveniente de residuales de vacunos y

de porcinos, de la producción de azúcar, alcohol, despulpadoras de café y de vertederos sanitarios, que constituyen hoy día, en su conjunto, una vía de contaminación ambiental. Son 78 millones de metros cúbicos de vertimientos biodegradables, concentrados en las fábricas de azúcar, destilerías de alcohol y despulpadoras de café (Indicadores Socioeconómicos, 2003).

La biomasa está compuesta por residuos biodegradables y a partir del procesamiento de la biomasa se obtiene el Biogás pero no se incluyen como biomasa los desechos sólidos, peligrosos, hospitalarios u otro tipo de basura que produzca contaminación atmosférica, como la quema llantas. De igual forma, por la incertidumbre que rodea el tema, se descartan los residuos de cosechas modificadas genéticamente (Contreras Velásquez, 2006).

Esta autora plantea que los recursos de biomasa para uso energético se pueden clasificar en seis grandes grupos que se denominan: Recurso forestal, agrícola, acuático, pecuario, industrial y urbano

La biomasa de acuerdo a su contenido de humedad puede utilizarse en diferentes procesos para su conversión en energía. En este sentido, se recomiendan los procesos bioquímicos (digestión aeróbica o anaeróbica) cuando la humedad es superior al 60% (IDAE 2002). Sin embargo, existen experiencias con el uso de otros sustratos con un contenido de humedad inferior, los cuales pueden utilizarse con algún tipo de pretratamiento que aumente su biodegradabilidad (Fernández Sánchez, 1999; Smith 1988).

1.2.1 Tipos de residuos

La humanidad genera volúmenes inmensos y crecientes de residuos de todo tipo, cuya gestión se está transformando en uno de los mayores problemas que tiene planteada la sociedad moderna. En este ámbito, la conciencia conservacionista surgida a partir de los años 70 ha hecho surgir normativas muy diversas, basadas fundamentalmente en el reciclado y reutilización de los materiales ya utilizados. Sin embargo, un volumen muy significativo de residuos no puede ser reciclado ni reutilizado por motivos diversos: pueden ser materiales para los que no se encuentren usos adecuados en ese momento, o cuyo empleo represente un riesgo para la salud o para el medio ambiente. Estos últimos son los denominados “residuos tóxicos y peligrosos” (Waste, 2009).

Existen diferentes criterios según los que se pueden clasificar los residuos. En primer lugar, dependiendo de su composición, se distinguen los residuos orgánicos y los residuos inorgánicos. Los **inorgánicos**, tienen un origen distinto al biológico, tienen características químicas, lo que permite que tengan una descomposición lenta. Muchos de ellos son de origen natural, pero no son biodegradables como por ejemplo los plásticos, vidrios, metales, entre otros (López González 2006).

Los residuos **orgánicos** son biodegradables, se componen naturalmente y tienen la propiedad de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otra materia orgánica, son todos los residuos de origen biológico, es decir, que se generó como parte de un ser vivo. Por ejemplo: restos de comida, frutas y verduras, carne, las hojas y ramas, cáscaras, maderas, papeles, entre otros (López González 2006).

En la bibliografía consultada se pudo constatar que existen varios tipos de residuos, según el lugar o proceso en que se originan, es posible clasificar los residuos como:

Residuos industriales y agrícolas: son los que se generan en los procesos de manufactura o transformación de materias primas o como resultado de las cosechas. Pueden ser muy variados, en función del tipo de industria que los genere, aunque poseen en común la característica de ser potencialmente peligrosos y pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos (Colectivo Ecologista Guelaya de Melilla, 2009).

Residuos tóxicos y peligrosos: Es imprescindible evitar que acaben en la alcantarilla los residuos tóxicos líquidos, debido a que puede afectar en el posible aprovechamiento de las aguas y lodos de depuradora. Existe una gran variedad de tipos de residuos peligrosos que exigen tratamiento especial (KDM, 2009).

Residuos hospitalarios: Son los generados en clínicas y hospitales, como agujas, gasas, telas u otros que, independientemente de su origen (orgánico o inorgánico), se consideran como residuos peligrosos (KDM, 2009).

Residuos sólidos urbanos: Son los que se originan en las ciudades y áreas próximas, e incluyen los residuos domiciliarios, los generados en vías urbanas, zonas verdes y recreativas, los de construcción, demoliciones y obras domiciliarias, animales domésticos muertos, muebles y enseres, y vehículos abandonados.

Particularmente los residuos domiciliarios son los generados en los hogares y/o comunidades. En general éstos son sólidos y frecuentemente se les denomina Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) (OPS, 1999).

1.2.2 Residuos orgánicos disponibles en Sancti Spíritus

Estudios recientes realizados en la provincia de Sancti Spíritus (López González, 2006), se han basado en la estimación teórica de los potenciales de biomasa a partir de recursos agrícolas, pecuarios e industriales, utilizando como base la información de los anuarios estadísticos del año anterior y referido principalmente al sector estatal aunque como se reconoce el principal aporte estaría en los excrementos porcinos y vacuno.

El estimado 69200115 m³ anuales de biogás, distribuidos de la forma que se muestra en la tabla 1.1, de acuerdo al tipo de recurso.

Tabla 1.1 Estimación teórica de los m³ anuales de biogás por recursos

Recurso	m ³ /año	%
PECUARIO	17880402	25%
AGRÍCOLA	39709305	58%
INDUSTRIAL	11610408	16%
Total	69200115	99%

Fuente: López González, 2006.

Sin embargo, los valores obtenidos en estos trabajos no tienen en cuenta la disponibilidad real de los recursos a partir de su posible recolección y su concentración en determinadas localidades.

También se realizó un estudio (Oria Gómez, 2007), donde se estimó el potencial real de residuos disponibles en el Sector Cooperativo y Campesino que es bien representativo en la producción de residuos que pueden ser utilizados para producir biogás a gran escala, donde se obtuvo como resultado que en este sector el recurso agrícola genera 91 084.2 toneladas al año de biomasa y el recurso pecuario unas 698 427.5 t. El potencial de biogás estimado a partir de los residuos analizados en el sector asciende a 51 402 762 m³ anuales, donde el recurso pecuario equivale al 51.03% y el agrícola al 48.97%.

En la provincia existen otros sectores que también son representativos en la producción de residuos y no existe un procedimiento que permita determinar los principales potenciales de residuos orgánicos disponibles en Sancti Spíritus y que pueden ser utilizados para producir biogás con fines energéticos, situación que requiere ser estudiada.

1.3 El biogás como fuente de energía renovable

Del biogás se puede también extraer del abono animal y puede ser quemado para producir electricidad. Los combustibles de la biomasa y del biogás se pueden almacenar para producir energía. Usar este combustible podría también reducir el consumo del combustible fósil y la contaminación atmosférica (López Gonzáles, 2006).

¿Qué es el biogás?

Se llama biogás al gas que se produce mediante un proceso metabólico de descomposición de la materia orgánica sin la presencia del oxígeno del aire. Este biogás es combustible, tiene un valor calórico alto de 4 700 a 5 500 kcal/m³ (Werner, 1989) y puede ser utilizado en la cocción de alimentos, para la iluminación de naves y viviendas, así como para la alimentación de motores de combustión interna que accionan, máquinas herramientas, molinos de granos, generadores eléctricos, bombas de agua y vehículos agrícolas o de cualquier otro tipo. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente (Brinkman, 1999).

Ventajas y posibles usos del biogás

A escala pequeña y mediana, el biogás ha sido utilizado en la mayor parte de los casos para cocinar en combustión directa en estufas simples. Sin embargo, también puede ser utilizado para iluminación, para calefacción y como reemplazo de la gasolina y del combustible diesel en motores de combustión interna. La utilización de los biodigestores, además de permitir la producción de biogás, ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos:

- Mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Todos los nutrientes, tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, así como los elementos menores son conservados en el efluente. En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio (NH_4), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta. Debe notarse que en los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde alrededor de un 50% del nitrógeno (Hohlfeld y Sasse 1986).
- El efluente es mucho menos oloroso que el afluente.
- Control de patógenos. Aunque el nivel de destrucción de patógenos variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobreviven el proceso de biodigestión (Hohlfeld y Sasse 1986). En condiciones de laboratorio, con temperaturas de 35 °C los coliformes fecales fueron reducidos en 50 – 70% y los hongos en 95% en 24 horas (Marchaim 1992).

En Cuba el biogás producido se usa principalmente para la cocción de alimentos y una menor cantidad para el oxígeno y la iluminación.

Este gas se puede utilizar como uso indirecto para generar electricidad, hacer funcionar un motor de combustión, también se puede utilizar en la cogeneración energética, Según Barrera Cardoso, (2007), teniendo un metro cúbico de biogás totalmente combustionado es suficiente para:

- Generar 1.25 KW /h de electricidad.
- Generar 6 h de luz equivalente a un bombillo de 60 W.
- Poner a funcionar un refrigerador de 1 m³ de capacidad durante 1 hora.
- Hacer funcionar una incubadora de 1 m³ de capacidad de 30 min.
- Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 h.

Solo en la Ciudad de la Habana se comenzó a poner en práctica una planta de biogás en la calle 100, para producir electricidad a partir del procesamiento de los desechos de los mercados agropecuarios de la ciudad, y cada tonelada produce entre 30 y 40 metros cúbicos de gas metano a partir del cual un grupo electrógeno genera entre 60 y 70 kilovatios/hora (Fernández Sánchez, 2008).

Hoy la provincia Sancti Spíritus cuenta con residuos orgánicos generados diariamente, posibles de ser utilizados en la producción de Energía a través del uso de la tecnología del biogás, por lo que deben ser estudiados.

Partiendo de que la provincia cuenta con una estructura productiva eminentemente agrícola, la producción de biogás para generar electricidad de forma descentralizada puede constituir una excelente solución para dar respuesta a las crecientes demandas energéticas, con una mayor seguridad en el servicio eléctrico, disminución de las pérdidas por transmisión de la energía, disminución del impacto ambiental de la generación energética y una mayor rentabilidad para las empresas que operan estas plantas, a la vez que concuerda con los planes actuales del gobierno cubano de ubicar grupos electrógenos de forma descentralizada en el país para aumentar la seguridad energética.

1.4 Estado actual de la producción de biogás

Para producir biogás se puede partir de una gran diversidad de sustancias orgánicas, por lo que las posibles materias primas a emplear en el proceso conforman un amplio rango de posibilidades y combinaciones. Son utilizables desechos de diversa naturaleza, como excrementos de animales, residuos de cosechas agrícolas, residuales de industrias (agroazucareras, alimenticias y otras), residuos sólidos municipales, residuales líquidos de procesos agroindustriales, aguas albañales y otros.

Por otra parte, la digestión anaerobia de mezclas de diferentes tipos de residuos ha dado buenos resultados a escala de laboratorio y en algunos casos a escala industrial, tal y como se recoge en la literatura internacional (Brinkman, 1999; Edelmann, Engeli, Gaddenecker, 1999; Dinsdale *et al.*, 2000; Campos 2001; Kim *et al.*, 2003). Estudios recientes realizados en Alemania a escala de laboratorio se dirigen a la optimización de la producción de biogás a partir de forrajes, silage de maíz, de remolacha, heno triturado y restos de la producción de papas; utilizando en la mayoría de los casos excreta animal como aporte de carbono adicional y de microorganismos para la fermentación (Linke Bernd, 2004; Mähner, 2006). Solo el 7% de las plantas que operan en ese país funcionan exclusivamente con excreta animal como sustrato único (Weiland, 2003).

En Cuba, dadas las características de su base productiva, la aplicación de tecnologías para la producción de biogás ha estado dirigida fundamentalmente a residuales de ingenios azucareros y fábricas de derivados de la caña de azúcar (Valdés Delgado, 2002; Obaya, 2004; Hermida García, 2006), de plantas procesadoras de café (Bermúdez, 1995) y de instalaciones pecuarias (Sánchez, 1994; Espineira, 2003 ; Savran, 2005)

La mezcla de cachaza y aguas residuales de la producción de azúcar es el sustrato más utilizado en esta industria con índices obtenidos de 0.83 y 1.5 m³ de biogás por volumen de reactor. El destino principal está dirigido a la sustitución del combustible doméstico, y solo en dos casos se usa como combustible industrial y en el oxicorte. Resulta igualmente importante la producción de biofertilizante a partir del lodo efluente (Valdés, 2002).

Otros residuos han sido estudiados a diferentes escalas como son los residuales de la industria del cítrico (Prévez, 2000); vinaza diluida con aguas residuales de la industria azucarera (Obaya, 2004); cachaza, lodos de depuradoras y residuos sólidos urbanos (López Gonzáles, 2000 y 2006; Hermida García, 2006).

Como vemos existe un gran número de fuentes de residuos orgánicos que pueden utilizarse para la producción de biogás, fermentándose por sí solos o en codigestión con excretas de animales.

Producción de biogás en Sancti Spíritus

La provincia Sancti Spíritus es una de las provincias surgidas en Cuba con la división político-administrativa de 1976, con una superficie de 6 731.9 km² ocupa el séptimo lugar en extensión territorial entre las provincias cubanas (Domínguez, Ceballo, García-Lahera y González, 2008).

En la actualidad existen 18 plantas de biogás en la provincia, la mayoría de nueva construcción en lo que comprende los años del 2004 al 2006. El total de plantas existentes, 7 utilizan residuos porcinos como sustratos, 9 vacuno, una utiliza cachaza y una perteneciente al Ministerio del Interior, la cual está concebido para tratar los residuales de una planta empacadora; sin embargo existen convenios porcinos distribuidos en toda la provincia, que vierten indiscriminadamente sus desechos al medio sin previo tratamiento, lo cual contribuye a la contaminación de las aguas

(Campos Posuelo, 2001), tanto superficiales como subterráneas así como a la contaminación del suelo, resultado de una aplicación excesiva de nutrientes, llevando a un desequilibrio y a la acumulación de determinados elementos, incluyendo algunos metales pesados; y a la contaminación atmosférica por la producción de olores y emisiones gaseosas de NH_3 , SH_2 , NO_2 , compuestos orgánicos volátiles, etc. (Contreras Velásquez, 2006).

La provincia Sancti Spíritus dispone de un potencial de residuos orgánicos generados diariamente con posibilidades de ser utilizados en la producción de energía a través del uso de la tecnología del biogás, que aún está en fase de desarrollo y para el uso de ella en la generación de energía eléctrica es necesario conformar la red logística de aprovisionamiento.

1.5 Logística. Conceptos y Evolución

Puede plantearse que la Logística se relaciona de una manera directa con todas las actividades inherentes a los procesos de aprovisionamiento, fabricación, almacenaje y distribución de los productos y está asociada al ciclo Abastecimiento-Producción-Distribución. Desde el punto de vista de este ciclo la Logística como tal no aparece en la literatura económica de los primeros siglos y surge en la historia asociada a las actividades militares (Felipe Valdés, 2001).

En la literatura científica, existe cierta confusión entre los términos de Logística Empresarial y Administración de la Cadena de Suministros (SCM: Supply Chain Management), derivándose de ello dos enfoques fundamentales. El primero, considera que ambos términos son conceptos iguales, mientras que el segundo, establece una diferencia radical entre ambos, al considerar la Administración de la Cadena de Suministros una filosofía de gestión y a la Logística una función empresarial con objetivos concretos. Este elemento es importante, por el empleo que se le da en la bibliografía disponible sobre el tema, siendo necesario diferenciar cuando se está analizando uno u otro aspecto. A los efectos de esta investigación, es necesario aclarar que se asume el primero de los enfoques señalados.

La logística asociada al ciclo abastecimiento – producción – distribución, no aparece en la literatura económica de los primeros siglos y surge en la historia asociada a las actividades militares. En este ámbito ha transitado desde la proeza de la logística

militar griega de la antigüedad, descrita en el acto segundo de la Ilíada, hasta el actual ejército de los Estados Unidos de América, el que tiene la organización logística más amplia que se conoce, integrada por tres niveles de dirección: central, intermedio y el operacional o directo (Cespón Castro y Amador Orellana, 2003).

En la bibliografía consultada no se encontraron referencias específicas sobre términos de Logística empresarial y Administración de la cadena de suministros de residuos para producir biogás, pero se propone en esta investigación el análisis de la logística de abastecimiento de residuos orgánicos para la producción de biogás con fines energéticos y para ello se deben tener presente los conceptos de sistemas logísticos.

1.6 Sistemas logísticos

Como plantea Fusté (1999), aplicar la logística es evitar, como ocurre en la empresa tradicional, que las diferentes áreas que la conforman (compras, producción, distribución, transporte, etc.) intenten de manera independiente optimizar los resultados económicos. Por el contrario, todos los departamentos trabajando de forma coordinada con visión de conjunto garantizan lo que se conoce con el término de enfoque logístico.

Se define un sistema logístico como “el conjunto de elementos físicos e informativos, necesarios para la realización de cierto flujo material, a lo largo de múltiples filas de proveedores y clientes”.

A causa de la interacción tan estrecha que existen entre los sistemas logísticos y productivos es necesario definir claramente sus interfaces. Esto normalmente se logra a través de la asignación de responsabilidades para la planificación de la producción como función logística, que consiste en llevar los pronósticos de ventas a los pronósticos de embarque, los cuales en su momento se emplean para calcular los niveles de inventario requeridos en diferentes puntos del sistema logístico. Sobre esta base, al sistema de producción se le puede asignar entonces las responsabilidades de la programación de la producción, para producir los inventarios requeridos en el momento y lugar que estos sean necesarios (Cespón Castro y Amador Orellana, 2003).

La estructura de un sistema logístico puede ser como se describe en la figura 1.2

Para el diseño de un sistema logístico debe especificarse lo siguiente:

1. La estructura y características de cada uno de los tres componentes principales: red logística, organización logística y el sistema de dirección.
2. La forma en la cual cada componente se interrelaciona con los otros dos.
3. La interrelación entre el sistema logístico y otras funciones importantes con las cuales este se relaciona directamente: el marketing, la producción y las finanzas

Los dos primeros puntos se pueden cumplir simultáneamente, diseñando los tres componentes secuencialmente. El tercer punto se realiza con la inclusión en los requerimientos del sistema logístico, de las políticas establecidas relacionadas a través de la función de marketing, producción y finanzas.

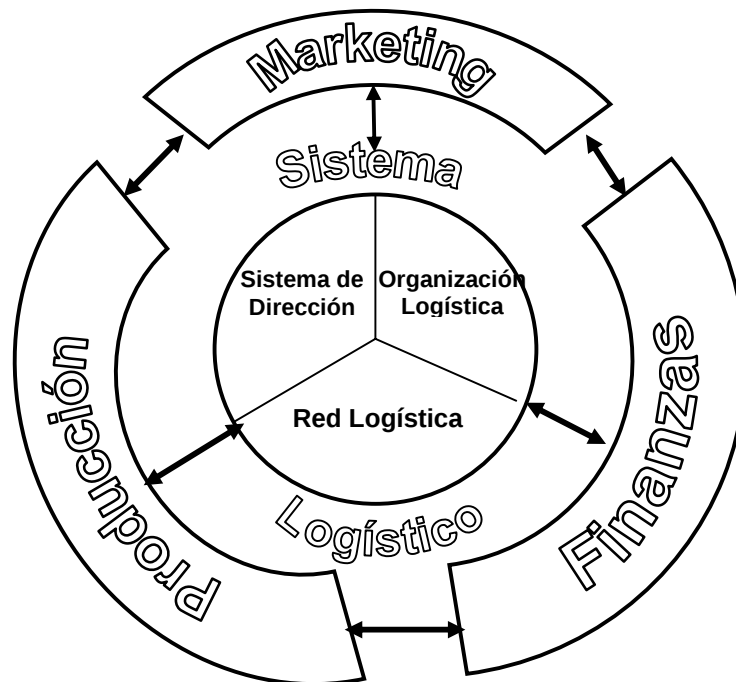


Figura 1.2: Componentes del sistema Logístico. Fuente: Cespón Castro y Amador Orellana, 2003.

En este aspecto, el objetivo principal es diseñar el sistema logístico de forma tal, que logre armonizar las necesidades de todas las funciones. Desde el punto de vista sistémico, la intención de la logística, en el marco de este enfoque, ha de estar orientada hacia la integración de los elementos que conforman su cadena: proveedor, productor y cliente. Desde el proveedor, el productor necesita no solo de las cantidades adecuadas, en los momentos precisos, y con la calidad requerida,

sino que además, demanda de una relación sólida en términos de confianza en las entregas, al depender de estas, la credibilidad del productor de cara al cliente. La única forma efectiva y eficiente de mantener estas delicadas interrelaciones es conformando cada uno de los eslabones, como partes componentes de un solo sistema, es decir, en el marco del enfoque integral de logística, la gestión del aprovisionamiento, la gestión de la producción, la distribución física de los productos terminados, así como la logística residual o inversa son partes indisolubles de un *sistema logístico de aprovisionamiento*.

En toda cadena de suministros; aún cuando debe ser administrada de manera integral, es posible realizar un estudio más detallado cuando se concibe como la unión de cuatro partes esenciales: Logística de Aprovisionamiento, de Producción/Operaciones, Distribución y Residual. Por esa razón, a continuación se analizarán estos aspectos por separado.

El enfoque tradicional de aprovisionamientos puede caracterizarse por una relación entre proveedor y cliente, marcada por una fuerte competencia entre ambas partes. Esta confrontación es estimulada por la tendencia de aprovisionamientos hacia la reducción de los precios a corto plazo y se pone en práctica por las políticas de negociación, donde calidad, plazo de entrega y especificaciones de diseño, actúan como restricciones impuestas por el usuario y se transmiten al proveedor con el filtro de la negociación entre comprador y vendedor (Cespón Castro y Amador Orellana, 2003).

El aprovisionamiento, abarca tres áreas: Compras, almacenamiento y gestión de inventarios, las que aportan técnicas y procedimientos que permitan lograr el mejor resultado del aprovisionamiento en su conjunto. En ese sentido, se asume que para el uso de la biomasa en la producción de biogás con fines energéticos el aprovisionamiento debe estar encaminado a disponer y mantener los residuos biodegradables en la cantidad correcta, en el tiempo oportuno y con el menor costo posible.

Por otra parte las *compras* como función empresarial, se identifica con la anterior definición y presenta un carácter más restringido, teniendo por objeto adquirir los bienes y servicios que la empresa necesita, garantizando el abastecimiento de las

cantidades requeridas en términos de tiempo, calidad y precio. Aunque esta función es de una importancia vital para la empresa, como puede verse solo es una parte de todas las operaciones que esta debe realizar para aprovisionarse.

La función de compras tiene amplia implicación sobre la estructura financiera de la empresa ya que a ésta le interesa mantener la mejor relación posible entre los recursos monetarios invertidos en activo fijo y circulante, procurando que este se mantenga en un nivel que permita una gestión eficiente (Cespón Castro y Amador Orellana, 2003).

Es indudable que la nueva concepción del sistema logístico como cadena integrada de suministros, hace necesario que proveedores y clientes comiencen a reconocer las oportunidades de obtener ventajas mutuas que pueden derivarse de compartir información acerca de las necesidades de materiales de una manera continua y leal. Es por esto que se hace necesario en el marco de esta investigación realizar un análisis de los proveedores de residuos orgánicos existentes en la provincia para asegurar los mejores suministros a emplear en la producción de biogás con fines energéticos.

1.6.1 Análisis de proveedores

Las exigencias competitivas actuales han forzado a las organizaciones empresariales a adoptar estrategias colaborativas a lo largo de su cadena logística, con el fin de mejorar su desempeño en precio, calidad, plazo y servicio. En este sentido, la selección de una base de proveedores competitiva es de gran importancia en la búsqueda de mejores resultados.

El proveedor ya no solo es la empresa que vende un producto/servicio o insumo, sino que perfectamente puede ser la barrera de entrada al sector de negocios para la posible competencia, puede ser el que defina la diferenciación al producto o el socio estratégico que tanto se busca para lograr el ansiado "mejoramiento continuo" en la línea de producción o quizás el que administre de mejor forma el inventario de materias primas.

La organización debe evaluar y seleccionar los proveedores en función de su capacidad para suministrar productos y/o servicios de acuerdo con los requisitos de la organización. Deben establecerse los criterios para la selección, la evaluación y la

re-evaluación. Deben mantenerse los registros de los resultados de las evaluaciones y de cualquier acción necesaria que se derive de las mismas (NC-ISO 9000, 2001).

La selección del mejor proveedor de residuos orgánicos para producir biogás con fines energéticos es de gran importancia para esta investigación pues así se asegura la adquisición del mejor residuo a utilizar en la producción de biogás con fines energéticos, es por eso que se deben analizar las diferentes metodologías para dicha selección.

Metodologías de selección de proveedores

Existen dos herramientas fundamentales empleadas para encontrar el socio correcto del outsourcing, ellas son la Solicitud de Demanda (RFP: Request For Proposal) y la Solicitud de Información (RFI: Request For Information). Ambas deben usarse siempre que sean necesarias, con brevedad, como la guía de un principio.

Según Sánchez Amador, 2007, el proceso de selección de proveedores de desarrollo de software en Rusia (Outsourcing-Rusia (2001) y el procedimiento para la transición eficaz del negocio de un comprador a un modelo de outsourcing presentado por Everest Partners, (2004) tienen varios puntos comunes, dígame: investigación en línea, envío de la RFP y procesar las propuestas. Este autor además considera una etapa de introspección y otra de compromiso, mientras que Outsourcing-Russia (2001) propone antes de la selección del proveedor una visita a la empresa suministradora.

Parada Gutiérrez (sin fecha) propone un procedimiento para realizar una evaluación estratégica de los proveedores sobre la base de parámetros o criterios que inciden directamente en la calidad y eficiencia del servicio hotelero, que a su vez coincide en algunas de sus etapas con el procedimiento desarrollado por Sarache, et al. (2004) para detectar el conjunto de proveedores críticos a partir de una valoración integral de su desempeño, en función de los criterios más importantes para una empresa.

Las semejanzas se establecen en cuanto a:

- Definición de los parámetros más importantes para la evaluación de los proveedores.
- Formulación de la matriz de evaluación de los proveedores.
- Evaluación integral del desempeño de los proveedores.

Parada Gutiérrez (sin fecha) propone, como un primer paso en su proceso, la clasificación de los proveedores, mientras Sarache, (2004) considera otros como la determinación de la importancia relativa entre criterios y la clasificación de la base de proveedores.

Sánchez Amador (2007) cita a Platea (2006), que plantea que previamente al inicio de la búsqueda de proveedores se ha de tener muy claro cuáles son los productos/servicios que se desean adquirir, así como la calidad y cantidad de estos, y una vez realizado este análisis, comienza el proceso de selección en el que se pueden dar diversas situaciones:

- La empresa inicia su actividad y debe buscar toda clase de proveedores.
- La empresa tiene unos proveedores que habitualmente le suministran pero no se encuentra satisfecha con ellos.
- Se quiere ampliar la cartera de proveedores para realizar comparaciones de servicios y de condiciones comerciales con el objetivo de mejorar la gestión empresarial.

En esta investigación se trata de una planta de producción de energía a partir del biogás que inicia su actividad y debe buscar toda clase de proveedores, por lo que la autora propone tener en cuenta los tres pasos del proceso de selección referenciados por Sánchez Amador (2007): búsqueda de información, solicitud de información y evaluación y elección de proveedores

García Machado y Padilla Garrido (2001) proponen el empleo de la metodología llamada Proceso de Jerarquía Analítica (AHP: Analytic Hierarchy Process), también conocido como Método de la Jerarquía Analítica para la selección de un proveedor internacional en el comercio exterior. Este es un proceso marcado por su complejidad, no sólo por la presencia de factores adicionales, tan importantes como las diferencias culturales o lingüísticas, sino, también, por la necesidad de evaluar a los diferentes suministradores en función de criterios tanto de carácter cuantitativo como cualitativo y que, a menudo, pueden entrar en conflicto unos con otros. Aunque, tradicionalmente, muchos gerentes y ejecutivos de empresas dedicadas al comercio internacional piensen que estos problemas deben ser resueltos mediante la utilización de técnicas sofisticadas, ellos proponen el empleo de un método tan fácil

de usar y de tan reconocido éxito empírico como el AHP que, además de solventar los inconvenientes anteriores, aporta numerosas ventajas.

La aplicación del método para resolver un problema como el de la selección de un proveedor internacional exige llevar a cabo tres etapas: construcción de la jerarquización, realización de comparaciones y obtención de resultados finales.

También Cespón Castro y Amador Orellana (2003) recomiendan utilizar este método para definir la función de compras dentro de un canal de aprovisionamiento, el cual se enmarca dentro de la denominada óptica multicriterio, pues permite obtener el mejor proveedor integralmente dentro de un grupo, considerando las cualidades de los mismos, a partir de la opinión de los expertos seleccionados.

Para analizar y evaluar el desempeño de los proveedores, de acuerdo a los criterios identificados con las condiciones de compra establecidas a través de los contratos y finalmente calificarlos y tomar cualquier medida pertinente para mejorar continuamente su desempeño, INNOVA (2001) referenciado por Sánchez Amador (2007), propone un proceso que consta de las actividades siguientes: seleccionar proveedores a evaluar, registro de calificaciones por criterio, determinar el nivel del proveedor, registrar el nivel de proveedor y finalmente bloquear al proveedor.

Avaria Alvarado (2006) establece un procedimiento de compras generales y específicas y servicios de terceros que consta de los pasos siguientes: registro de proveedores que incluye vías de incorporación al registro, criterios para la selección de proveedores, criterios de evaluación de proveedores, estándares de recepción de compras y criterios de reevaluación de proveedores.

Juran (2001), por su parte, plantea que una vez establecida una organización enfocada a facilitar las relaciones con los proveedores, se puede aplicar la trilogía Planificación de la calidad, Control de la calidad y Mejora de la calidad a la cadena de aprovisionamiento. Gestionar las relaciones con los proveedores es identificar y satisfacer las necesidades de los clientes. La aplicación de los procesos de la trilogía a la cadena de aprovisionamiento es una secuencia de fases que a menudo se solapan: Planificación, Control y Mejora.

Específicamente, el control se aplica a las relaciones con los proveedores para evaluar su rendimiento y seleccionar aquellos pocos pero vitales, capaces de

optimizar el rendimiento. Sin embargo, como resultado del proceso de planificación, ya se han definido algunos criterios para la evaluación y medida del rendimiento de los servicios prestados; definiéndose el objetivo de la etapa de control como: mantener el nivel de satisfacción de los clientes a la altura definida en la fase de planificación. Los sistemas de control de los procesos de aprovisionamiento con mayor éxito siguen una metodología similar a la siguiente:

Paso 1: crear un equipo multifuncional.

Paso 2: determinar los estándares mínimos de rendimiento.

Paso 3: reducción de la base de proveedores.

Paso 4: evaluación del rendimiento de los proveedores.

La evaluación de los proveedores comprende tres procesos separados pero interrelacionados que deben ser asumidos por el equipo multifuncional. Esos tres procesos aseguran la conformidad con la calidad y los estándares de rendimiento y establecen una línea base para los procesos de mejora.

Evaluación 1: evaluación del sistema de calidad del proveedor.

Evaluación 2: capacidad de gestión de los proveedores.

Evaluación 3: adecuación para el uso del producto/servicio del proveedor.

Hernández Garzón (2006) propone, para la evaluación de proveedores de material bibliográfico, un procedimiento que incluye: selección de proveedores, evaluación de los mismos y criterio de permanencia en el registro de proveedores.

Uno de los estudios más completos realizados sobre el tema de selección de proveedores es el presentado por Sonmez (2006) en el cual presenta una amplia revisión de 147 artículos publicados entre los años 1985 y 2005 en 54 revistas académicas. El estudio arroja varias tendencias en los estudios relativos a la selección de proveedores; específicamente, revela que un gran énfasis ha sido puesto en *i)* los criterios de decisión y su asociación mediante la asignación de pesos o niveles de importancia usados para la selección, *ii)* las herramientas/métodos de toma de decisiones usados y/o propuestos y *iii)*, más recientemente, en el estudio de los efectos de las relaciones entre las partes, la selección de proveedores internacionales y el empleo del comercio electrónico para este fin.

El autor plantea que más de la mitad de los artículos consultados reportan y/o introducen el uso de diferentes métodos y herramientas para la toma de decisiones para la selección de proveedores, los cuales clasifica en cinco categorías, dígame: la tradicional (convencional) técnica de toma de decisiones multicriterial, la programación matemática, los sistemas expertos y la inteligencia artificial y el análisis estadístico multivariado. En el **anexo 1** se muestra la clasificación de los diferentes métodos encontrados en el estudio según las cinco categorías presentadas anteriormente.

Forslund (2006), coincidiendo con Lasch y Janker (2005), presenta un método para la selección de los proveedores que consta de los siguientes pasos: preparación, identificación y limitación (pre-calificación), análisis, ranking, selección y control y administración de las relaciones con el proveedor. Además, expone un grupo de modelos para la selección y evaluación de los proveedores, los cuales constituyen una clasificación en términos genéricos de un conjunto de métodos más específicos. Entre los modelos de evaluación general esbozados por la autora se destacan el Modelo de Ponderación Lineal, el Método del Costo Basado en la Actividad, los Modelos de Programación Matemática, los Modelos estadísticos y los Modelos basados en la Inteligencia Artificial. Por su parte, Pudenci Furtado (2005) clasifica los modelos para la toma de decisiones en el proceso de selección de proveedores en tres categorías: modelos de distribución lineal de pesos, modelos de programación matemática y modelos de aproximación estadística.

Son varios los autores que han presentado metodologías para la selección de proveedores para empresas que se desempeñan en diferentes contextos operacionales, pero en la bibliografía consultada, no se encontró específicamente para la selección de proveedores de residuos orgánicos para producir biogás con fines energéticos e aquí la importancia de considerar este aspecto en el marco de esta investigación, y para ello la autora considera de gran valor para la investigación lo planteado por Platea (2006) y citado por Sánchez Amador (2007), por el carácter integrador de los pasos antes mencionados, pero se necesita precisar los criterios de selección a tener en cuenta en la selección final.

Criterios de selección de proveedores

Para la selección de proveedores es necesario juzgar sus habilidades para alcanzar las necesidades del contratista de manera consistente y económica. Esto puede ser logrado utilizando criterios y medidas apropiadas para la evaluación. Las empresas pueden tener diferentes necesidades y cada una de ellas son diferentes y generan diferentes metas. A menudo es difícil convertir esas necesidades en criterios apropiados porque muchas veces éstos son expresados cualitativamente, mientras que los criterios deben ser requerimientos específicos para que puedan ser cuantitativamente evaluados (Forslund, 2006). Esta autora clasifica los criterios de evaluación en cuatro categorías fundamentales: criterios del proveedor, criterios de desempeño del producto, criterio del nivel de servicio y criterios de costo.

Pudenci Furtado (2005) plantea que los criterios comúnmente encontrados en la literatura de selección de proveedores son de dos naturalezas: cuantitativos y cualitativos. Los criterios cuantitativos como precio, capacidad productiva y conformidad en cuanto a calidad son más fáciles de evaluar, permitiendo una medición clara y precisa para los efectos de comparaciones entre alternativas. Los criterios cualitativos como confianza y compatibilidad administrativa conllevan un alto factor de subjetivismo en la evaluación ya que depende del juicio del personal encargado del proceso.

Bailey, (2002) y Choi y Hartley (1996) (Referenciado en Bertolini, et al., 2004) reconocen la importancia vital de desarrollar los criterios para la selección de proveedores y las actividades de Benchmarking para evaluar y analizar sus capacidades. Estos autores plantean que la posición geográfica (es decir, la presencia de un contratista local), la calidad percibida de productos y servicios, la flexibilidad del contratista, la excelencia técnica (es decir, un personal con una capacitación probada), la dirección, la pericia y experiencia en plantas específicas, y el precio bajo, son buenos ejemplos de factores del desempeño que pueden usarse con este objetivo:

Valeria y Oscar (2003) y Paleneeswaran y Kumaraswamy (2000) (Referenciados en Yiu, Lo, Thomas Ng, Ng, 2002) coinciden en que la valoración de los proveedores se realiza en base a criterios importantes de preselección como: finanzas, recursos humanos, tecnología, desempeños anteriores, sistema de calidad, capacidad y

velocidad de respuesta. Independientemente, definen una serie de atributos no menos deseables de los proveedores: precio, innovación, cartera de clientes, imagen en el mercado, equipamiento y sistemas de seguridad y salud.

Otros autores (Bendaña, et al, 2006; Valenzuela, 2006 y O.P-Group, 2006) han examinado críticamente la bibliografía relacionada con la preselección de los proveedores y los criterios utilizados para la misma. A continuación se muestra un resumen de los criterios presentados:

- Satisfacción total del cliente.
- Calidad y problemas de calidad en años anteriores.
- Recursos internos.
- Comprensión de varios de los problemas del proyecto (diseño, necesidades del cliente...)
- Capacidad para diseñar la oferta, diseñar las alternativas propuestas por el contratista.
- Aseguramiento de la política de fondos.
- Interés mostrado por el contratista durante el proceso de contratación.
- Servicio post-venta.
- Especificaciones técnicas.

Por su parte Bendaña, (2006) consideran el conocimiento de los códigos, las regulaciones locales y el mercado un criterio clave; mientras que Valenzuela (2006) y O.P-Group (2006) aprecian con gran interés la reputación general del proveedor, el precio y la confianza en la fecha o plazo de entrega ofrecido.

Para la contratación de proveedores externos de servicios tecnológicos Cruz Martínez (2007) considera difícil elegir al suministrador que mejor se ajusta a las necesidades de la compañía en base a criterios tales como su oferta de servicios, precios, formas de trabajar y de colaborar, agilidad, innovación, coincidencia entre las culturas de negocio de ambas organizaciones o su posicionamiento en el mercado local, nacional e internacional. Agrega que esta selección exige un acercamiento estructurado que ayude a la organización en la comparación de productos y servicios más o menos similares, ofertados por diferentes proveedores.

Cespón Castro y Amador Orellana (2003) para la selección de los mejores proveedores en la actividad de compras, sugieren el análisis de una gran cantidad de cualidades o características de estos, entre las cuales se destacan: precios, entregas a tiempo, calidad de los suministros, ayuda en emergencias, comunicaciones, ideas de reducción de costos, fiabilidad del proveedor, servicio, garantía que ofrecen, variedad de insumos que puede suministrar, volumen de insumo de cada tipo capaz de suministrar, entre otros.

La selección de proveedores según Juran (2001) se inicia con la decisión de si fabricar o comprar (realizar con medios propios o contratar). Esta decisión requiere el análisis de factores tales como los conocimientos e instalaciones necesarias, la capacidad de la planta, la posibilidad de cumplir con los programas de entregas, los costos esperados de “hacer” o “comprar” y muchos otros.

Al principio, cuando no hay experiencia anterior con el proveedor, la selección debe hacerse en base a la información obtenida de compradores que han tenido experiencia con este proveedor para productos similares, ensayos de calificación del diseño del proveedor, examen de las instalaciones de fabricación del proveedor e información obtenida en banco de datos, aunque existen muchos criterios que también deben considerarse, pues la selección de proveedores no está basada solamente en la calidad.

Colectivamente, todos estos datos pueden dejar, no obstante, algunas dudas, como la de cuál será el rendimiento real posterior del proveedor. Muchas compañías compradoras responden a esto colocando a los nuevos proveedores en una lista provisional hasta que los servicios subsiguientes eliminen las dudas. En este momento, el suministrador es transferido a la lista de proveedores aprobados.

En el caso de los criterios de selección, en la bibliografía consultada en esta investigación, no se encontraron criterios específicos para la selección de proveedores de residuos orgánicos para producir biogás con fines energéticos. En esta investigación, se asume la función de compras como la actividad clave del aprovisionamiento, por esta razón la autora se inclina por lo planteado por Cespón Castro y Amador Orellana (2003) pues el análisis de las cualidades o características

de los diferentes proveedores aseguran la selección del mejor integralmente mediante el proceso de toma de decisiones.

Toma de decisiones

Para poder comprender el proceso de toma de decisiones, es necesario considerar el concepto de decisión, como la elección que se hace entre medidas optativas, siempre que se conozcan estas. En este proceso intervienen un conjunto de subdecisiones como: la decisión de buscar medidas optativas; la decisión de determinar las posibilidades de éxito; la elección real de las medidas optativas para satisfacer más plenamente las posibilidades (Bayos y Benítez, 1994).

Dado que los creadores de la Investigación de Operaciones, no pudieron visualizar cómo, a medida que iban conformando algoritmos capaces de darle solución a determinados problemas, el propio desarrollo de la Ciencia y la Técnica, sumado a la complejidad de la tecnología de producción y la dimensión ambiental, entre otros factores, surgían problemas a solucionar que se traducirían en un incremento del nivel de conocimientos acerca de las variantes de decisión en el proceso de preparación de la misma. Es así como la Investigación de Operaciones comienza a funcionar en el sentido de una tecnología óptima de la Dirección y Planificación como plantea Schreiter et al. (1968) y confirma Asencio García (1994), y es citado por la fuente analizada (Marrero Delgado, 2001).

Esta toma de decisiones en las organizaciones, teniendo en cuenta lo planteado por autores tales como Gomes y Duarte (1991), Romero (1993), es un proceso a lo largo del tiempo en el que se pueden identificar al menos cuatro fases:

- 1- Recogida de información (obtención de datos de criterios y alternativas).
- 2- Diseño (determinación precisa de criterios y sus escalas de medida, así como la construcción completa del conjunto de elección).
- 3- Selección (elección de una de las alternativas)
- 4- Revisión (revisión de las decisiones).

Otros autores como Hampton (1989), Gomes y Duarte (1991), Monks (1991), Hillier y Lieberman (1993), Asencio García y Kalifa (1994), Hernández Rodríguez (1994), Marrero Delgado (1994), Mathur y Solow (1996), Heizer y Render (2005), Hernández Maden (1997), Taha (1998), (referenciados por Diéguez Mantellán 2008) han

abordado sistemas de procedimientos a seguir para la toma de decisiones, pero todos, de una forma u otra, coinciden en que es necesario acometer el procedimiento planteado por Marrero Delgado, 2001, reflejado el **anexo 2**.

Dicho procedimiento representa un elemento vital para la obtención de una solución premiada de alternativas, ya sea por variación de los valores de los parámetros del sistema o por proyecciones futuras del objeto que generarán un conjunto de opciones, posibilitando que los directivos de la organización seleccionen la más satisfactoria, pertinente y consecuente con las metas establecidas. Finalmente estas redundan, en la asignación de las tareas y de una guía para su realización; este proceso es registrado por algunos autores con el nombre de «Catálogo de Decisiones» (Tietboehl, 1988).

Métodos multicriterios

Los métodos multicriterios son referenciados en muchos casos como métodos que contribuyen al proceso de toma de decisiones relacionadas con la localización de una instalación, se caracterizan por la selección de alternativas en presencia de múltiples criterios. En el marco de esta Tesis se hará referencia esencialmente a los discretos, ya que los métodos de localización de instalaciones analizados en este contexto corresponden a esta clasificación.

Para su estudio, varios autores los han clasificado, destacando la que ofrece Barba-Romero y Pomerol (1997), que los agrupa en continuos y discretos, de acuerdo con el número de alternativas que intervienen en el proceso; Hwang y Yoon (1980), por su parte, analizan la agrupación de 16 métodos, a partir de los tipos de decisión y los factores de información, Abreu Ledón (2004), a partir del agrupamiento realizado por Marrero Delgado (2001)¹, clasifica 42 métodos multicriterios en 10 grupos lo que se considera que es la clasificación más abarcadora de las consultadas al enunciar una gran cantidad de métodos tomados de diversas fuentes, pero adecuadamente enmarcados y caracterizados dentro de las decisiones multicriterios discretas.

Por lo planteado anteriormente es que la autora propone la utilización de un método multicriterio para la selección de los mejores proveedores de residuos para producir biogás con fines energéticos, teniendo en cuenta los criterios antes mencionados,

¹ Este autor refiere un total de 39 métodos multicriterios agrupados en 10 categorías.

para luego comenzar con el proceso de localización de la futura planta productora de energía.

1.6.2 Localización de instalaciones

El objetivo general de la localización es la elección de un lugar para las instalaciones que favorezca el desarrollo de las operaciones, esta meta se concreta en forma de estrategia de localización (Domínguez Machuca *et al.*, 1995). Esta estrategia está muy relacionada con los factores² de localización, especialmente con los dominantes³ (Heizer y Render, 2005) y está condicionada además por el conjunto de estrategias de la empresa. En este sentido se establece como norma general que la elección de la localización debe contemplar simultáneamente la consecución de los distintos objetivos, siendo la distinta prioridad de estos la que guíe la elección definitiva, (Domínguez Machuca *et al.*, 1995).

Según Heizer y Render (2005), el objetivo de la estrategia de localización es maximizar el beneficio de la localización para la empresa, planeando en este contexto que los criterios de estrategia de localización difieren según el tipo de empresa. En las organizaciones de manufactura, generalmente se enfocan a la minimización de los costos tangibles e intangibles, los cuales pueden ser evaluados y dependen del lugar donde se decida ubicar la empresa; su valor está determinado, en gran medida, por la propia localización de la instalación. Por su parte, las entidades que prestan servicios están orientadas a la maximización de sus ingresos, su valor depende de la localización de estas instalaciones y un elevado contacto con el cliente es crítico. Estos autores plantean, además, que la localización para el caso específico de almacenes puede estar determinada por una combinación de costos y velocidad de entrega.

Otra arista de este problema es analizada por Urtasun Alonso (2004)⁴, que plantea que en el momento fundacional, la nueva empresa tiene la posibilidad de elegir entre

² Criterios o elementos utilizados por el decisor para representar sus objetivos y en los cuales estará basado el proceso de decisión de la localización.

³ Son los derivados de prioridades competitivas (costo, calidad, tiempo y flexibilidad) y tienen un efecto particularmente poderoso sobre las ventas o los costos, Krajewski & Ritzman (2000).

⁴ Este autor realiza un estudio de las posibles estrategias de localización en el momento fundacional de una empresa, con un análisis empírico del tema a la industria de hoteles de Madrid.

dos estrategias extremas de localización de sus actividades, pasando por una estrategia de balance:

1. Estrategia de similitud: Para obtener beneficios de las economías de localización y aglomeración⁵, la nueva empresa decide no diferenciarse de las empresas ya instaladas, localizando su nuevo negocio próximo al de sus competidoras tanto en el espacio geográfico como en el de producto.
2. Estrategia de diferenciación: Para minimizar los costos asociados a la competencia localizada y obtener poder de mercado, la nueva empresa decide diferenciarse de las empresas ya instaladas, localizando su nuevo negocio alejado de las posiciones de sus competidoras, tanto en el espacio geográfico, como en el de producto.
3. Estrategia de balance: Las nuevas empresas deciden ser similares en unas dimensiones estratégicas y diferentes en otros aspectos a sus competidores.

Desde este punto de vista se reduce la estrategia de localización a un factor dominante: el acercamiento en el espacio geográfico de la nueva empresa a sus competidoras, con lo que, siguiendo en línea con Urtasun Alonso (2004), se establecen economías producto de la diferenciación en la localización y de la aglomeración; en ambos casos puede derivarse en incrementos de la demanda o en mejoras de los procesos productivos.

La autora propone para esta investigación asumir lo planteado por Domínguez Machuca et al., 1995, pues no se encontraron metodologías específicas para la localización de plantas productoras de energía a partir del biogás, pero se tiene muy claro que esto está estrechamente relacionado con los factores de localización y especialmente con los dominantes pero se debe basar en el proceso de toma de decisiones.

Como se mencionó en el epígrafe anterior la toma de decisiones es también de gran importancia en la localización de una planta productora de energía, en esta investigación la autora propone un análisis de los procedimientos existentes para esta actividad.

⁵ Scheifler (2007) realiza un análisis de la estrategia de aglomeración y descentralización en la localización para empresas de servicios y de alta tecnología, definiendo los factores que podrían influir en la decisión de localización.

Procedimientos para la toma de decisiones de localización

La toma de decisiones de localización como proceso, comprende un procedimiento que ha sido definido por varios autores según referencias de Diéguez Mantellán 2008. A partir del análisis de los propuestos por Carrol y Dean (1980)⁶, Salvendy (1982), Woithe y Hernández Pérez (1986), Pérez Goróstegui (1991), Hopeman (1992), Fernández Sánchez (1993), Domínguez Machuca *et al.* (1995), Padrón Robaina (1998), Gaither y Frazier (2000) y Heizer y Render (1997, 2005) (**ver anexo 3**). De su análisis se distinguen dos o tres niveles geográficos, aunque la diferencia es más bien de forma que de contenido. Así, están los que optan por:

- Tres niveles, distinguen el nivel regional /internacional; el de la comunidad o ciudad y el del lugar concreto (Muther , 1968, Trespalacios, s.a).
- Dos niveles: **macroanálisis** o evaluación de países, regiones, comunidades o ciudades y **microanálisis** o evaluación de emplazamientos específicos (Fernández Sánchez, 1993 y Chase, Aquilano y Jacobs, 2000).

Otros autores, como Everett y Ronald (1981)⁷, plantean realizar primero un estudio preliminar; que implica, revisar el proceso de planeación para identificar lugares factibles, distinguir factores claves para la localización y luego iniciar la búsqueda para encontrar áreas geográficas alternativas que sean consistentes, o al menos lo parezcan. Este tipo de estudio reduce a pocos el número de sitios alternativos, para luego pasar a realizar un análisis detallado. Los factores a analizar dependen de las instalaciones que sean objeto de localización. En ocasiones se debe hacer una encuesta en aquellos sitios donde exista una dudosa reacción de la comunidad para evaluar la actitud de las personas ante el objeto de localización.

Woithe y Hernández Pérez (1986)⁷, plantean que la localización de inversiones, específicamente industriales, se lleva a cabo en cuatro etapas: la planificación territorial, la macro y la micro localización y la proyección del plan general. Las primeras tres fases representan el núcleo del problema de la localización de fábricas, mientras que la cuarta es el punto de unión entre la localización y la proyección de instalaciones. La planificación territorial o regional es objeto de decisión para

⁶ Citado por Chase, Aquilano & Jacobs (2000).

⁷ Citado por Diéguez Mantellán (2008).

aquellas inversiones importantes de los niveles más altos de la dirección del Estado, debido a su importancia estratégica, para una adecuada distribución de las fuerzas productivas. La macro localización es la distribución de las inversiones sobre la base de los planes de ordenamiento territorial, definiendo la provincia, ciudad o territorio para su localización. A través de la micro localización se determina el lugar preciso para la ubicación de la instalación dentro de la provincia, el territorio o la ciudad, previamente elegido y aprobado en la macro localización, así como las características del terreno seleccionado.

Pérez Gorostegui (1991), analiza el procedimiento de localización, relacionando los factores de localización con el tipo de instalación, para luego plantear un modelo de ubicación según el tipo de instalación que se trate.

Para Ballou (1991, 2004), la localización de instalaciones se realiza en dos etapas: la primera, la localización general, mediante el empleo de métodos, y la segunda, la selección de un punto o zona por parte del decisor, a través de su sentido común.

Schroeder (1992), sugiere para realizar el análisis de las decisiones de instalaciones, los pasos siguientes: medición de la capacidad, pronóstico de la demanda, determinación de las necesidades de capacidad, generación de alternativas, evaluación de alternativas y toma de decisiones.

Otros autores como Heizer y Render (2005), no realizan este tipo de análisis, sino que abordan las variables de localización y luego los métodos para determinar la localización.

Los procedimientos propuestos por Domínguez Machuca et al. (1995) y Krajewski y Ritzman (2000) plantean que en cualquiera de los niveles mencionados, el procedimiento de análisis de la localización abarcaría las fases que se enuncian a continuación:

1. Análisis preliminar: En esta fase se estudian las estrategias empresariales y las políticas de las diversas áreas, para traducirlas en requerimientos para la localización de las instalaciones ⁸

⁸ Dada la gran cantidad de factores que afectan a la localización, cada empresa deberá determinar cuáles son los criterios importantes en la evaluación de las alternativas. El equipo de localización deberá evaluar la importancia de cada factor, distinguiendo entre los factores dominantes o claves y los factores secundarios (Krajewski & Ritzman, 1990).

2. **Búsqueda de alternativas de localización:** Se establecen un conjunto de “localizaciones candidatas” para un análisis más profundo, rechazándose aquellas que no satisfagan los factores dominantes de la empresa.

3. **Evaluación de alternativas (análisis detallado):** En esta fase se recoge toda la información acerca de cada alternativa de localización, para medirla en función de cada uno de los factores considerados. Esta evaluación puede consistir en una medida cuantitativa, si es un factor tangible o en la emisión de un juicio, si el factor es cualitativo.

4. **Selección de la localización:** A través de análisis cuantitativos y/o cualitativos se comparan entre sí las diferentes alternativas, para conseguir determinar una o varias localizaciones válidas. En general, no habrá una alternativa que sea mejor que las demás en todos los aspectos; el objetivo del estudio no debe ser buscar una localización óptima, sino una o varias localizaciones “aceptables”. En última instancia, otros factores más subjetivos, como pueden ser las propias preferencias de la dirección, determinarán la localización definitiva.

El análisis crítico de este tema permite considerar que, aunque se establecen varios procedimientos, no se aprecian diferencias significativas entre los mismos, predominando la tendencia al análisis por áreas o niveles geográficos y no existen procedimientos específicos para la localización de plantas de biogás con fines energéticos. De manera general, el estudio de localización cuenta con dos etapas: la macro y la micro localización. La primera ofrece la posibilidad de acotar el número de soluciones posibles, determinando la región óptima; la segunda, determina el emplazamiento definitivo del proyecto, partiendo de la región determinada en la primera etapa. En ambas etapas, los autores estudiados plantean la necesidad de analizar los factores asociados al proceso de localización.

En esta investigación la autora considera importante tener en cuenta los factores de localización y específicamente los dominantes como plantean Heizer y Render (2005).

Factores de localización

Los gerentes de organizaciones de servicio y de manufactura tienen que sopesar muchos factores cuando evalúan la conveniencia de un sitio en particular, tales como la proximidad a clientes y proveedores, los costos de mano de obra y de transporte, etcétera. Generalmente, los gerentes pueden pasar por alto cualquier factor que no cumpla, por lo menos, con una de las condiciones siguientes (Krajewski & Ritzman, 2000):

- Tendrá que ser sensible a la localización; es decir, los gerentes en materia de localización no deben tomar en cuenta un factor que no resulte afectado por sus decisiones.
- Debe tener repercusiones sobre la capacidad de la empresa para alcanzar sus metas.

Las clasificaciones de los factores más empleadas por los diferentes autores, son las relacionadas con los niveles geográficos, aunque otros como Buffa (1981), Heizer y Render (2005) y Krajewski y Ritzman (2000) los clasifican en factores críticos, objetivos y subjetivos, tangibles e intangibles, dominantes y secundarios.

- **Críticos:** Son aquellos criterios cuya naturaleza puede hacer imposible la localización de una planta en un lugar determinado, cualesquiera que fueren las demás condiciones que pudieran existir. Los factores críticos tienen el efecto de descartar algunos lugares.

- **Tangibles/ objetivos:** Se definen como los costos claramente identificables que pueden ser medidos con alguna precisión. Los costos tangibles incluyen las herramientas, la mano de obra, los materiales, los impuestos, la depreciación y otros costos que el departamento contable y la administración pueden identificar.

- **Intangibles y los costos futuros/ subjetivos:** Son menos fáciles de cuantificar y pueden ser nombrados a través de las técnicas de ponderación. Estos costos incluyen la calidad de la educación, las instalaciones de transporte público, las actitudes de la comunidad hacia la industria y la compañía, la calidad y actitud de los empleados, así como otras variables, tales como: el clima, las instalaciones recreativas, los deportes, y las que forman parte de la calidad de vida y que pueden influenciar el reclutamiento de personal.

- **Dominantes:** Incluyen los derivados de prioridades competitivas (por ejemplo, costo, calidad, tiempo y flexibilidad) y que tienen un efecto particularmente poderoso sobre las ventas o los costos.
- **Secundarios:** También son importantes, pero la gerencia tiene la posibilidad de restar importancia o incluso, ignorar algunos de ellos, si otros factores son más importantes.

La autora de esta investigación considera que para la localización de una planta productora de energía se deben tener en cuenta los factores antes mencionados, pues la utilización de ellos en la toma de decisiones de localización de instalaciones, está estrechamente relacionado con las etapas de este proceso, visto desde diferentes planos de análisis, a través de los cuales se va acotando la selección del lugar en que se localizarán estas, conjugando en este análisis, casi siempre métodos específicos de localización, por lo que resulta un aspecto de singular importancia para esta investigación.

Métodos de localización de instalaciones

Los métodos de localización de instalaciones pertenecen a un área de investigación denominada Teoría de la Localización, que como plantean Domínguez Machuca et al. (1995), inicia con Max Weber a principios del siglo pasado, y que está resultando enormemente fértil desde los años ´60, habiendo creado infinidad de métodos analíticos, cuyas aplicaciones se extienden más allá de la administración de empresas, lo cual la convierte en un área multidisciplinaria.

Según Diéguez Mantellán (2008), el desarrollo de estos métodos ha derivado en que varios autores e instituciones los clasifiquen para una mejor comprensión, estudio y aplicación (Buffa, 1981; Salvendy, 1982; Pérez Gorostegui, 1990; Ballou, 1991; Vallhonrat y Corominas Subias, 1991; Schroeder, 1992; Fernández Sánchez, 1993; Domínguez Machuca et al., 1995; Chase y Aquilano, 2000; Gaither y Frazier, 2000; Krajewski y Ritzman, 2000; Sepalla, 2003 y Trespacios, s.a), aunque otros, incluso, no los clasifican (por ejemplo Whoite y Hernández Pérez, 1986; Hopeman, 1991 y Heizer y Render, 2005).

La clasificación de los métodos de localización se rige por diversos criterios, como se puede observar en el **Anexo 4** y las características de los métodos utilizados para localizar instalaciones pueden observarse en el **Anexo 5**.

En la bibliografía consultada no se encontraron métodos específicos para localizar instalaciones productoras de energía a partir del biogás por lo que pudieran representarse en un sistema de información geográfico los principales potenciales de residuos existentes para una mejor claridad en la localización de futuras plantas de biogás.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la localización de instalaciones

Según Anguix Alfaro (2007) un Sistema de Información Geográfico está compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelar y representar datos referenciados⁹, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación.

Moreno Jiménez y Bosque Sendra (2004) en su libro *Sistemas de Información Geográfica y localización óptima de instalaciones y equipamientos* plantean una metodología de análisis y se facilitan las herramientas operativas necesarias para la ejecución de la localización de instalaciones. El libro se organiza en tres partes, en la primera se trata la teoría relacionada con: modelos matemáticos empleados, accesibilidad, etcétera. En la segunda se describe LOCALIZA, un programa informático que resuelve los problemas de localización óptima y que se considera un Sistema de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE), ya que en él se integran herramientas de análisis y bases de datos geográficas para generar informes y evaluaciones que son requeridos por los decisores (Bosque Sendra, 2006).

El sistema LOCALIZA es la propuesta específica de un SADE aplicado a la Localización de Equipamientos. Finalmente, en la tercera parte, se ha incluido un amplio número de ejemplos de estudio de problemas concretos de localización de equipamientos a través de la herramienta LOCALIZA: escuelas, guarderías infantiles, hospitales, vertederos de residuos sólidos urbanos, contenedores de basuras,

⁹ Característica de un dato relacionada con su componente espacial, posibilidad de ubicarlo en un territorio (Anguix Alfaro, 2007).

etcétera. A lo largo de toda la obra, se insiste en la importancia y utilidad de emplear los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la resolución de los problemas de localización. Un aspecto común que tienen las aplicaciones y el sistema es que en general se trabaja con problemas de localización donde la distancia es un factor importante ya sea para minimizarla, maximizarla o ambas, dependiendo del tipo de instalación y sus características, no existiendo aplicaciones a residuos orgánicos.

1.7 Conclusiones parciales

- 1) En la bibliografía consultada, no se encontraron criterios específicos para la selección de proveedores de residuos orgánicos para producir biogás con fines energéticos pero se propone emplear los planteados por Cespón Castro y Amador Orellana (2003).
- 2) En la bibliografía consultada se encontraron varias herramientas metodológicas para la selección de proveedores pero no específicamente para proveedores de residuos orgánicos a utilizar en la producción de energía, pero la propuesta de Platea, 2006 y citada por Sánchez Amador 2007 se acerca a las características del objeto de estudio pudiéndose combinar con el empleo de un método multicriterio para la elección de los mejores y la mejor localización de plantas productora de energía.
- 3) Existen varias herramientas metodológicas, en la bibliografía disponible, para localización de instalaciones pero ninguna de ellas es específica para la plantas productoras de energía por lo que se propone utilizar la planteada por Domínguez Machuca et al., 1995, con las adaptaciones pertinentes.
- 4) En la provincia Sancti Spíritus existe un potencial de residuos biodegradables que se puede utilizar en la producción de energía pero no se han identificado las posibles localizaciones de plantas ni los eslabones que componen la cadena de aprovisionamiento de residuos para conformar la red logística en la producción de biogás en la provincia Sancti Spíritus.

CAPÍTULO 2



Capítulo 2: Procedimiento general para la localización y conformación de la red logística de la producción de biogás

El objetivo de este capítulo es mostrar el procedimiento general y los procedimientos de apoyo que permitan identificar los eslabones que componen la cadena de aprovisionamiento de residuos orgánicos y su localización geográfica para producir biogás con fines energéticos a partir de la elaboración de un inventario de los principales residuos biodegradables existentes.

2.1 Características del procedimiento general

El procedimiento general concebido y desarrollado en esta investigación consta de fases y etapas interrelacionadas que incluye procedimientos específicos como instrumentos de apoyo a la toma de las decisiones asociadas. Un conjunto de premisas, principios y objetivos sustenta la herramienta metodológica desarrollada. El alcance del procedimiento se define en la precisión de los principales potenciales de residuos orgánicos disponibles y su localización geográfica teniendo en cuenta su factibilidad para ser utilizados en la producción de biogás con fines energéticos, para definir la posible ubicación de plantas de biogás, identificando los eslabones que componen la cadena de aprovisionamiento de la futura instalación.

Objetivo del procedimiento

El objetivo general del procedimiento es lograr identificar la localización y los eslabones de la cadena de aprovisionamiento de residuos orgánicos en una planta de biogás.

Premisas y principios que sustentan el procedimiento

Constituyen *premisas* para la aplicación del procedimiento general:

- Motivación e implicación de los especialistas, directivos y expertos de las entidades vinculadas con la aplicación de este procedimiento, de modo tal que comprendan la importancia de la acción conjunta para el logro de los objetivos propuestos.
- Clima de trabajo que refuerce las habilidades del trabajo en grupo; se trabajará para satisfacer necesidades generales y no las individuales de cada organismo implicado, las cuales se someterán a las primeras.

➤ La participación y patrocinio de la alta dirección de la provincia como fuente de ideas y de impulso al proyecto (se reconozca la necesidad identificar los eslabones de una cadena de aprovisionamiento de residuos orgánicos para la futura construcción de la planta)

El procedimiento desarrollado se sustenta en los *principios* siguientes:

Flexibilidad: el procedimiento tiene potencialidades para adaptarse con racionalidad a los cambios provenientes de un entorno muy dinámico, sin que se produzcan cambios significativos en su estructura, métodos y procedimientos de trabajo.

Consistencia lógica: A partir de la secuencia lógica, interrelación de aspectos y coherencia de contenidos, en correspondencia con la lógica de ejecución de este tipo de estudio.

Trascendencia: las decisiones y acciones derivadas de su proceder tienen un impacto significativo, en la utilización de fuentes de energía renovable.

Racionalidad: posibilidad de implementación con un presupuesto razonable, conduciendo, asimismo, a la obtención de beneficios de diversa índole y valor para la región que se analice.

Fiabilidad: capacidad de funcionar continuamente facilitando el proceso de toma de decisiones.

Perspectiva: posibilidad de adaptación y de hacer extensible su aplicación como instrumento metodológico a otros procesos e instalaciones productivas con diferentes tipos de materia prima con los ajustes pertinentes.

Carácter participativo y creativo: Dado por su capacidad de desarrollar un ambiente participativo y colaborativo de trabajo en equipos multidisciplinarios de todos los implicados, de forma tal que propicie el despliegue de iniciativas.

Mejoramiento sistemático: En función de su capacidad de mejorar progresiva y continuamente el nivel de conocimiento, que permita considerarlo un entrenamiento sistemático basado en la formación-acción.

Transparencia: la estructuración, armonía entre los pasos y la consistencia lógica del procedimiento, a la vez que permiten cumplir los objetivos para los cuales fue diseñado, son relativamente sencilla, comprensible y práctica, respectivamente,

permitiendo su asimilación rápida por parte de las personas que se inician en su explotación.

Entradas del procedimiento

Como entradas el procedimiento tiene:

- Objetivos gerenciales.
- Datos e informaciones sobre las variables evaluadas para determinar los potenciales de residuos orgánicos disponibles.

Salidas del procedimiento

Las salidas principales del procedimiento son:

- Inventario de residuos orgánicos disponibles en la provincia.
- Selección de los mejores potenciales de residuos orgánicos disponibles.
- Representación geográfica en un SIG de los potenciales principales de residuos orgánicos.
- Importancia de cada suministro potencial en la producción de biogás con fines energéticos.
- Localización de plantas de biogás con fines energéticos y eslabones de la cadena de aprovisionamiento para ellas.

2.2 Diseño del procedimiento general

El procedimiento general propuesto se deberá ver como un conjunto de herramientas, las cuales deben ser personalizadas para satisfacer las necesidades del objeto de estudio pues se ha elaborado a partir de la necesidad de dar respuesta a la situación problemática originaria de la presente investigación, sobre la base del análisis efectuado en el Capítulo I de esta Tesis no existen herramientas metodológicas que permitan identificar los eslabones de la cadena de aprovisionamiento de residuos orgánicos.

Este procedimiento (ver figura 2.1) se ha estructurado en **cuatro (4) fases:** de inicio o preparación, de selección de las fuentes de suministro de potenciales, de análisis del uso de estos en la producción de biogás y de localización de plantas y determinación eslabones de la cadena de aprovisionamiento, que implican, a su vez, un conjunto de etapas y pasos con acciones correspondientes. A continuación se describen cada una de las fases y sus etapas de forma detallada.

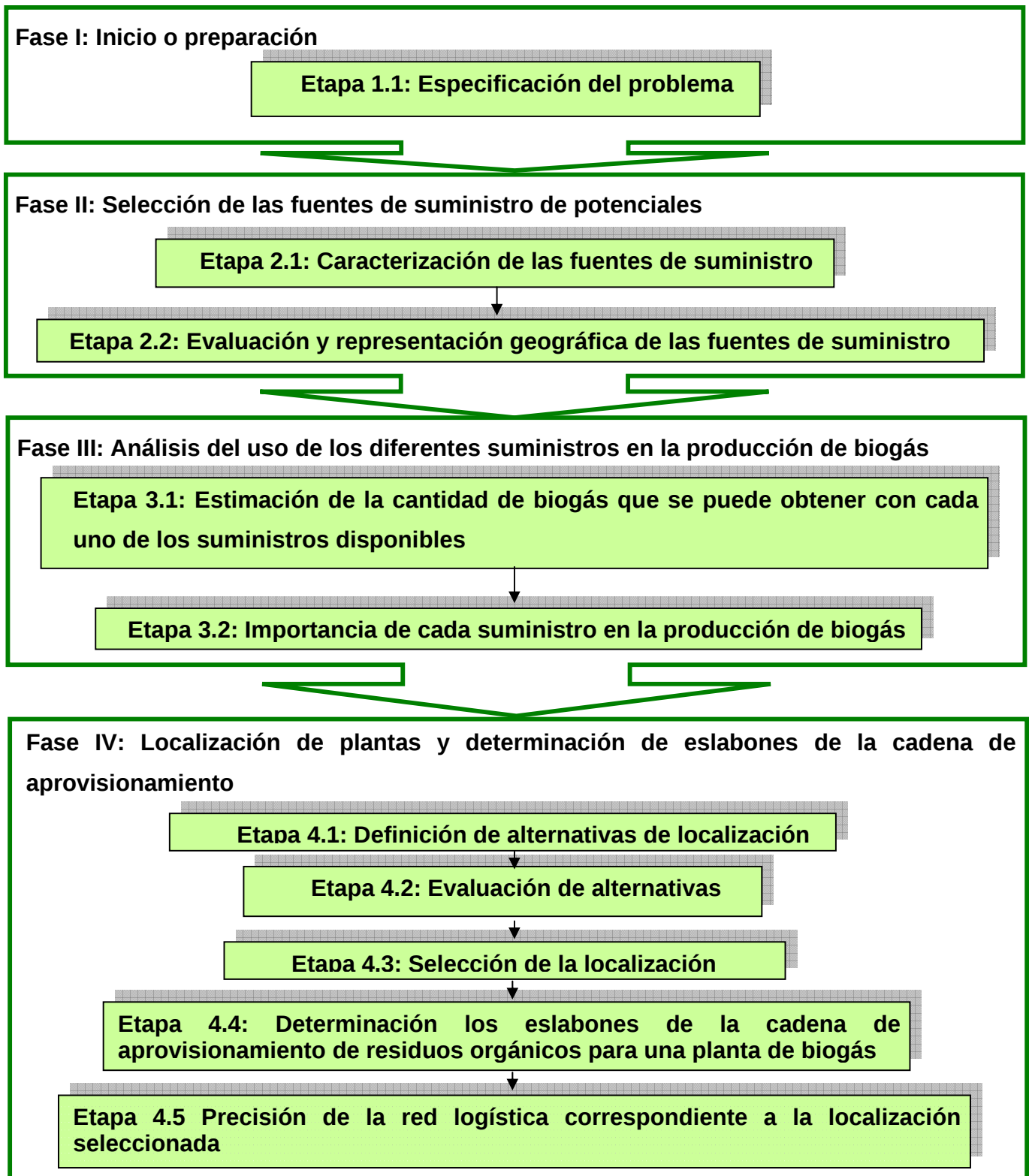


Figura 2.1: Procedimiento general propuesto para la localización y conformación de la red logística de la producción de biogás

2.2.1 Fase I: Inicio o preparación

En esta fase es donde comienza el proceso de preparación para el desarrollo del procedimiento, la misma contiene la etapa de especificación del problema con un conjunto de pasos que contribuyen a dar cumplimiento al objetivo propuesto.

Etapla 1.1: Especificación del problema

Primeramente es necesario explicar el problema del que se trata, definiendo el objeto de estudio, su alcance y conformando el equipo de trabajo, así como creando un cronograma de trabajo, partiendo de la necesidad que existe de crear un procedimiento que permita dar respuesta a la situación problemática planteada, dada por la carencia de herramientas metodológicas para identificar los eslabones de la cadena de aprovisionamiento de residuos orgánicos, para el desarrollo de esta etapa se propone el procedimiento específico que se representa en la figura 2.2.

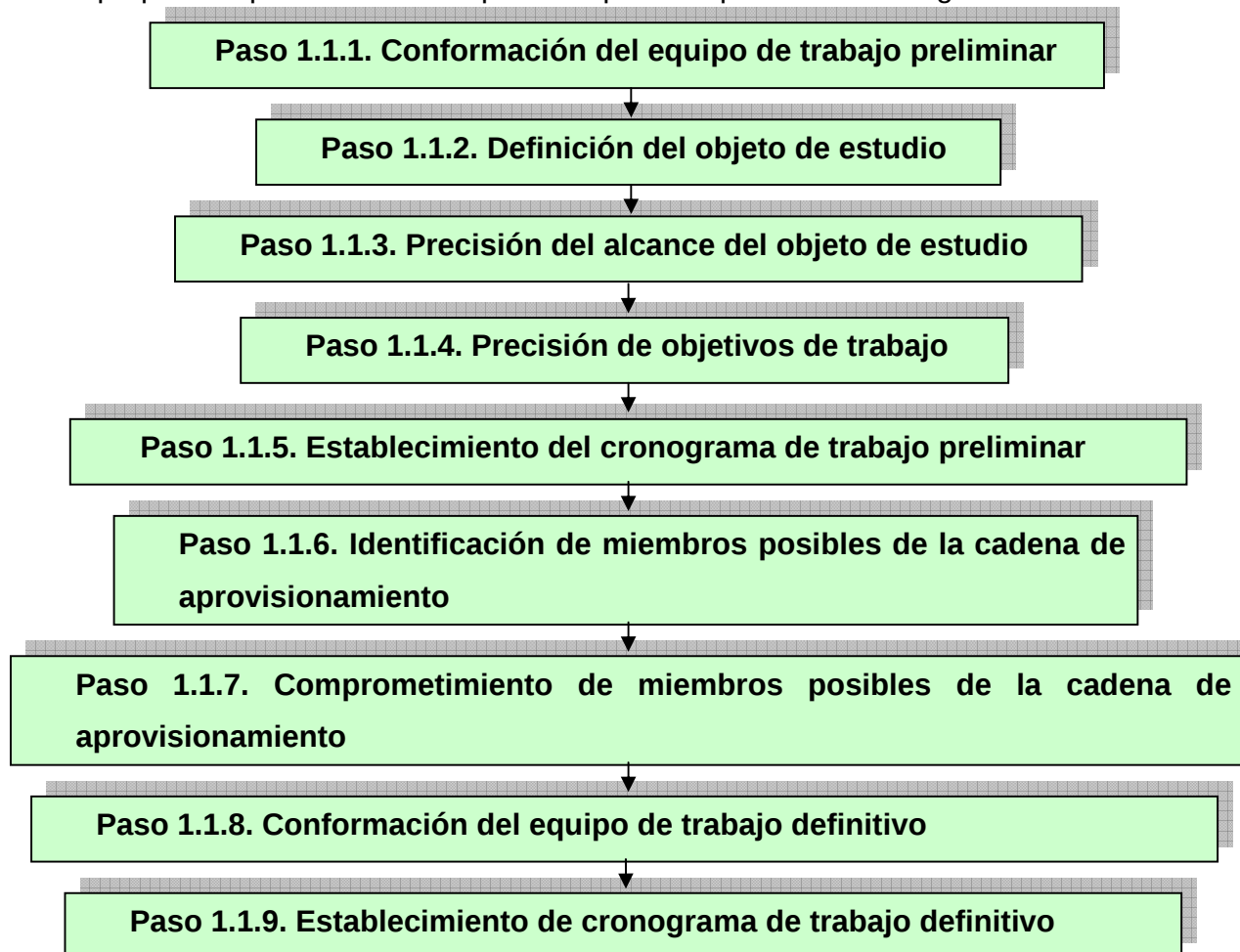


Figura 2.2: Procedimiento específico para la especificación del problema.

A continuación se describen cada uno de los pasos de este procedimiento específico.

Paso 1.1.1. Conformación del equipo de trabajo preliminar

Es de gran importancia conformar el equipo de trabajo que se encargará de ejecutar la aplicación del procedimiento general. Para ello se seleccionan, como miembros, a especialistas con conocimientos generales sobre biogás, tecnologías utilizadas para su producción, potenciales de residuos, técnicas de toma de decisiones y trabajo en grupo, aunque vale aclarar que de ser necesario se debe dar capacitación y se establece el plan de trabajo del equipo.

Paso 1.1.2. Definición del objeto de estudio

Es necesario definir el objeto de estudio para así estar bien encaminado hacia el logro del objetivo propuesto. En este caso se trata de diseñar la red logística definiendo el área geográfica que se estudiará y aplicará el procedimiento propuesto, para ello se debe caracterizar dicha área, mencionando las características generales y las principales actividades económicas que se desarrollan en estas.

Paso 1.1.3. Precisión del alcance del objeto de estudio

El alcance del objeto de estudio debe definirse en función de condiciones predefinidas por la autora en la investigación, hasta lograr el objetivo trazado en esta, es necesario en este paso definir además dentro del área geográfica que se estudia los sectores específicos que se analizarán.

Paso 1.1.4. Precisión de objetivos de trabajo

En este paso se debe establecer el objetivo del estudio tomando como base el planteado en la investigación definido por la autora para localizar plantas de biogás e identificar los eslabones que componen la cadena de aprovisionamiento para la conformación de la red logística.

Los miembros tienen que ser capaces de llevar a cabo las tareas siguientes:

- Crear y administrar el maniobrar de los grupos de trabajo específicos que se conformen en etapas del procedimiento.
- Recopilar la información necesaria para desarrollar cada una de las etapas del procedimiento.
- Realizar los análisis incluidos en cada etapa.

Paso 1.1.5. Establecimiento de cronograma de trabajo preliminar

En este paso se debe establecer el cronograma de actividades a realizar para ello se debe resumir en forma de tabla qué hacer, quiénes y los responsables de cada actividad con la fecha.

Paso 1.1.6. Identificación de miembros posibles de la cadena de aprovisionamiento

Dada la necesidad que existe de buscar fuentes de energía renovable, en este paso se deben identificar y describir todas aquellas empresas y entidades de la provincia que emiten residuos biodegradables pues estos serían los posibles miembros de la cadena de aprovisionamiento. Para esto, se debe realizar entrevistas a directivos del CITMA y el gobierno del área geográfica seleccionada para conocer las principales fuentes contaminantes que existen hoy en esta, así como los diferentes recursos biodegradables que pudieran convertirse en fuentes renovables de energía.

Paso 1.1.7. Comprometimiento de miembros posibles de la cadena de aprovisionamiento

Este paso es muy necesario para el logro del éxito en el estudio, para ello se debe dar a conocer el trabajo y su utilidad a los miembros posibles de la cadena de aprovisionamiento, realizando visitas y actividades de capacitación en los diferentes sectores del área que se estudie y así lograr comprometerlos con la actividad que se realiza, para esto juega un papel importante los organismos políticos y gubernamentales del área geográfica seleccionada.

Paso 1.1.8. Conformación del equipo de trabajo definitivo

En esta etapa se debe conformar el equipo de trabajo definitivo necesario para el desarrollo del estudio, que se encargará de ejecutar la aplicación del procedimiento general; es necesario enriquecer el equipo de trabajo preliminar con miembros posibles de la cadena de aprovisionamiento ya comprometidos con la investigación y su importancia.

Paso 1.1.9. Establecimiento de cronograma de trabajo definitivo

El cronograma de trabajo definitivo se conforma ajustando el preliminar con la incorporación de las ideas y tareas de los miembros posibles de la cadena de aprovisionamiento, también se propone que se resuma en forma de tabla

especificando las tareas de cada cual y la fecha, el responsable, los recursos necesarios, etc.

2.2.2 Fase II: Selección de las fuentes de suministro de potenciales

Esta fase no es más que una caracterización del área geográfica objeto de estudio para precisar los mejores potenciales de residuos orgánicos y su ubicación geográfica. Se desarrollan 2 etapas con sus pasos correspondientes.

Etapa 2.1: Caracterización de las fuentes de suministro

Partiendo de los miembros posibles de la cadena de aprovisionamiento planteados en el paso 1.6 se debe realizar su caracterización, determinando el tipo de residuo que se trata, las vías de acceso, las cantidades disponibles y su ubicación geográfica, aspectos que se desarrollan en el procedimiento específico representado en la figura 2.3.

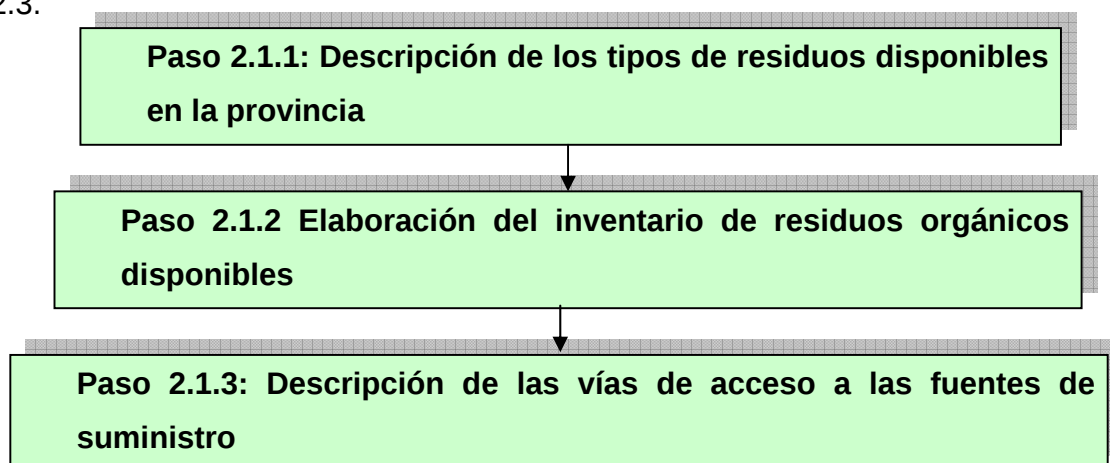


Figura 2.3: Procedimiento específico para la caracterización de las fuentes de suministro.

A continuación se describen cada uno de los pasos de este procedimiento específico.

Paso 2.1.1: Descripción de los tipos de residuos disponibles en la provincia

Para determinar las cantidades disponibles de cada residuo se debe realizar la descripción de los recursos en existencia en la provincia por cada municipio como son los industriales, agrícolas, pecuarios y los residuos sólidos urbanos (RSU).

Residuos pecuarios: Están representados por las deyecciones de los animales, desechos de establos (estiércol, orina, paja de camas), camas de gallinas ponedoras. La conveniencia de la utilización energética de los recursos pecuarios, se ve

restringida a aquellos casos en los cuales los animales se crían en zonas limitadas (cría intensiva) debido a las dificultades de recolección que se presentan en extensiones grandes; es por eso que la autora considera en esta investigación, solo tener en cuenta los animales que se encuentran estabulados las 24 horas, refiriéndose específicamente a los cebaderos porcinos existentes.

Las deyecciones animales son la mejor materia prima para la producción de biogás a través de la fermentación anaeróbica. Aunque estos residuos representan también un fertilizante natural del suelo, la utilización energética de estos no afecta el equilibrio ecológico, dado que el efluente que se obtiene como producto de la digestión conserva los nutrientes inalterados, permitiendo su reintegro al suelo y eliminando, en cambio, los elementos potencialmente contaminantes.

Residuos agrícolas: La agricultura genera cantidades considerables de desechos (rastros) se estima que, en cuanto a desechos de campo, el porcentaje es más del 60%, y en desechos de proceso, entre 20% y 40%, (López González 2006) Aunque es necesario reciclar un porcentaje de la biomasa para proteger el suelo de la erosión y mantener el nivel de nutrientes orgánicos, una cantidad importante puede ser recolectada para la producción de energía, pero se debe estudiar la cantidad real necesaria para el suelo de cada uno de los residuos de cosechas, es por eso que para la realización de esta investigación solo se han tomado en consideración aquellos residuos cuyo procesamiento es en la industria y se denominan agroindustriales como por ejemplo: el café, la caña de azúcar y el tabaco.

Residuos industriales: Proviene de las industrias existentes en la provincia cuyo tratamiento como desechos representan un costo considerable para la propia industria. Además se encuentran los efluentes líquidos de la industria azucarera como aguas residuales y la vinaza, industrias lácteas (suero), desperdicios de matadero (sangre, vísceras, intestinos), desperdicios de la industria de la pesca, etc. Estos residuos son sólidos y líquidos con un alto contenido de azúcares y carbohidratos, los cuales pueden ser utilizados para producir biogás mediante su digestión.

Residuos sólidos urbanos: Están dados por el conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico que no tienen utilidad práctica para la actividad que los

produce, siendo procedente de las actividades domésticas, comerciales, industriales y de todo tipo que se produzcan en una comunidad, con la sola excepción de las excretas humanas.

Paso 2.1.2 Elaboración del inventario de residuos orgánicos disponibles

En este paso se debe realizar un trabajo de campo para la recogida de información; pudiera emplearse la entrevista como una opción para recogida de información y se intenta provocar reflexiones en el transcurso del diálogo que lo coloquen en un plano de conciencia sobre lo que se les inquieren, para profundizar en el tema y pueda aportar el máximo de conocimientos. Dentro de esta la no estructurada, en caso especial de ésta la localizada, si el entrevistador dispone de una lista de cuestiones relativas al problema a investigar en torno a las cuales se localiza la entrevista, sin una estructura formalizada. El entrevistador debe ser hábil para saber escuchar y ayudar a expresarse y esclarecer, pero sin sugerir.

Lo más importante en este paso es realizar los cálculos, referidos a la cantidad de residuo que se obtiene realmente en cada una de las empresas o entidades que se estudian. Se debe tener en cuenta que cada tipo de residuo es diferente, pero para cada uno de ellos se calcula la cantidad de kilogramos de materia orgánica (MOrg) en una tonelada de masa fresca (MF) y luego se deben calcular las toneladas de MF de cada residuo, que se hace de forma diferente para cada uno de ellos, para esto se puede tomar como base, los porcentajes de residuos obtenidos en diferentes investigaciones previas realizadas por Knabel (2006), López Gonzáles (2006), Oria Gómez (2007), Contreras Velásquez (20089, entre otros.

Todos estos residuos se tendrán en cuenta para su utilización como suministros de una planta de biogás con fines energéticos, por lo que en el marco de esta investigación se les debe llamar por ese mismo nombre.

Paso 2.1.3: Descripción de las vías de acceso a las fuentes de suministro

En este paso se deben describir las vías de acceso a los diferentes residuos disponibles, o sea cómo llegar hasta cada uno de ellos, se deben describir las carreteras o caminos, señalando el municipio en el que se encuentran ubicados, pues es de gran importancia para la utilización de los mismos como fuente de energía renovable.

Etapla 2.2: Evaluación y representación geográfica de las fuentes de suministro

A partir de la información obtenida en la etapa anterior, en esta etapa se permite tomar una mejor decisión a través de la evaluación de las fuentes de suministro a utilizar en la producción de biogás con fines energéticos. Para llevarlo a cabo se desarrolla el procedimiento específico representado en la figura 2.4:

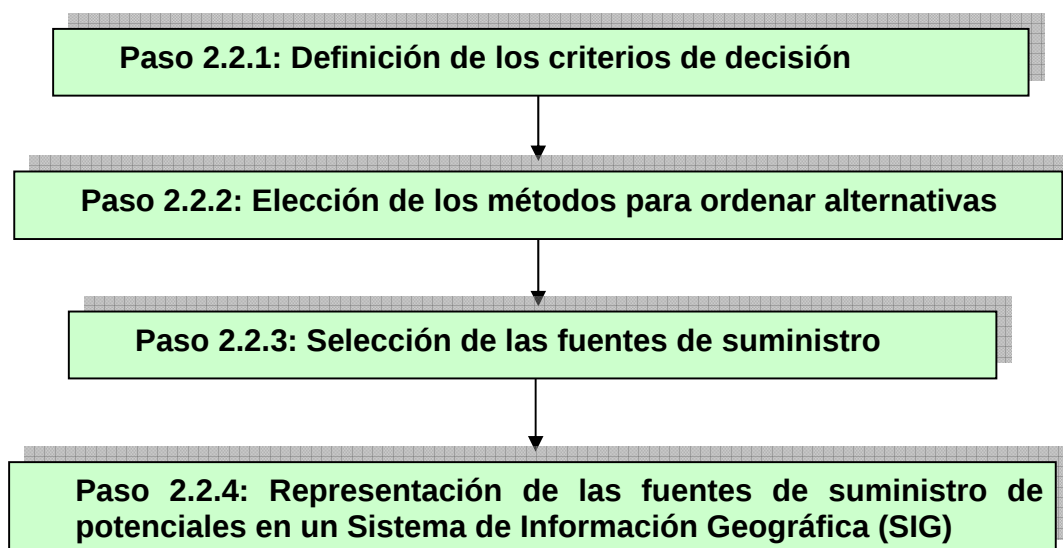


Figura 2.4 Procedimiento específico para evaluar y representar geográficamente de las fuentes de suministro.

A continuación se describen cada uno de los pasos de este procedimiento específico.

Paso 2.2.1: Definición de los criterios de decisión

Como se mencionó en el capítulo anterior los criterios que se analizan son los establecidos por Cespón Castro y Amador Orellana (2003) que sugieren el análisis de una gran cantidad de cualidades o características de estos, entre las cuales se destacan: precios, entregas a tiempo, calidad de los suministros, ayuda en emergencias, comunicaciones, ideas de reducción de costos, fiabilidad del proveedor, servicio, garantía que ofrecen, variedad de insumos que puede suministrar, volumen de insumo de cada tipo capaz de suministrar, entre otros para así asegurar la selección del mejor integralmente mediante el proceso de toma de decisiones.

Para la definición de los criterios de decisión, la autora propone usar un método de trabajo con expertos.

Se entenderá por experto, tanto al individuo en sí como a un grupo de personas u organizaciones capaces de ofrecer valoraciones conclusivas del problema que se analiza, o sea las mejores fuentes de suministro y hacer recomendaciones respecto a sus momentos fundamentales con un máximo de competencia.

Paso 2.2.2: Elección de los métodos para ordenar alternativas

La selección del mejor suministrador de potencial es de gran importancia para el proceso de aprovisionamiento pues es un factor muy importante a considerar en la localización de una planta de biogás.

Existen varios métodos que en la literatura se recomiendan para proceder a la elección de la mejor alternativa (suministrador de potencial), los que casi en su totalidad, dan mucha importancia a la participación de aquellas personas conocedoras de la actividad de compras y de los proveedores existentes.

Los métodos multicriterios son referenciados en muchos casos como métodos que contribuyen al proceso de toma de decisiones, se caracterizan por la selección de alternativas en presencia de criterios múltiples.

Para la realización de esta investigación la autora propone utilizar una técnica multicriterio para seleccionar los mejores potenciales integralmente, dentro de un grupo teniendo en cuenta varios criterios encontrados en la bibliografía.

Paso 2.2.3: Selección de las fuentes de suministro

Por lo planteado anteriormente, la autora para la realización de esta investigación asume aplicar el Método de los factores ponderados, para seleccionar las mejores alternativas o sea las fuentes de suministro de potenciales de residuos orgánicos; el mismo consta, de los pasos siguientes:

1-Definir alternativas y criterios: Las alternativas serían las fuentes de suministro de potenciales obtenidos en el inventario del paso **2.1.2** de la etapa anterior y los criterios serían los obtenidos en el paso **2.2.1**

2- Homogenizar los criterios de decisión: Se deben llevar todos a máximo o a mínimo en dependencia del problema que se trate.

3- Normalizar los criterios de decisión: Puede ser por varios métodos aunque se recomienda el propuesto en la expresión 2.2 por su sencillez y por mantener la proporcionalidad de los datos.

$$a) V = \frac{A_i}{\max A_i} \quad (2.1)$$

$$b) V = \frac{A_i}{\sum A_i} \quad (2.2)$$

$$c) V = \frac{A_i - \min A_i}{\max A_i - \min A_i} \quad (2.3)$$

$$d) V = \frac{A_{ij}}{\sum A_i^2} \quad (2.4)$$

4-Calcular el peso de los criterios: Existen varios métodos para establecer la importancia relativa o pesos de los criterios, estos pueden ser objetivos y subjetivos.

Entre los métodos de cálculo subjetivos se encuentran el Triángulo de Füller, Ordenación Simple, Asignación probabilística de Rietveld, AHP de Saaty, Tasación Simple, Comparaciones sucesivas y Asignación directa por ratios; estos métodos permiten tener en cuenta las preferencias del decisor de un criterio respecto a otro.

Entre los métodos objetivos se encuentran el Método de Diakoulaki y el de la Entropía que solo tiene en cuenta los valores de $V_{i,j}$, obviando las preferencias que el decisor tiene de un criterio respecto a otro.

Por las características de cada método antes mencionadas es que se debe realizar la combinación de ambos pesos y para ello se utiliza la expresión 2.5 planteada por Marrero Delgado, 2001.

$$w_j = \frac{w_j^S * w_j^O}{\sum_j w_j^S * w_j^O} \quad \forall j \quad (2.5)$$

Donde:

w_j^S : Componente subjetiva (peso subjetivo)

w_j^O : Componente objetiva (peso objetivo)

5-Determinar las mejores alternativas: Puede ser por varios métodos, en este caso se aplica el de la suma ponderada o utilidad aditiva.

$$S_j = \sum_j w_j * N_{ij} \quad (2.6)$$

Se van sumando por filas y luego se escogen los valores mayores o menores de S_j que serían en este caso los potenciales principales de residuos orgánicos disponibles en la provincia.

Paso 2.2.4: Representación de las fuentes de suministro de potenciales en un Sistema de Información Geográfica (SIG)

La mayor utilidad de un SIG está íntimamente relacionada con la capacidad que posee éste de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis (Carmona A y Monsalve, 2009).

En este paso se representan en un Sistema de Información Geográfico (SIG) las alternativas seleccionadas en el paso anterior, que serían las fuentes de suministro de potenciales de residuos orgánicos para producir biogás con fines energéticos.

Para hacer la representación geográfica de los principales potenciales de residuos orgánicos se utilizó como herramienta el MapInfo, perteneciente al grupo de Sistemas de Información Geográficos.

2.2.3 Fase III: Análisis del uso de los diferentes suministros en la producción de biogás

En esta fase se realiza un análisis de los diferentes tipos de suministros seleccionados en la fase anterior, para ello se desarrollan dos etapas.

Etapas 3.1: Estimación de la cantidad de biogás que se puede obtener con cada uno de los suministros disponibles

En esta etapa se hace un estimado del biogás que se puede obtener con cada uno de los suministros existentes en la provincia. Partiendo de la disponibilidad total de cada uno de los tipos de residuo obtenido en el inventario realizado en la fase anterior.

Se debe tener en cuenta que cada tipo de residuo es diferente, pero para cada uno de ellos se calcula la cantidad de kilogramos de materia orgánica (MOrg) en una tonelada de masa fresca (MF), tomando como base los porcentajes de sólidos totales (ST) y sólidos volátiles (SV) referenciados por varios autores como López González (2006), Contreras Velásquez (2008) y Barrera Cardoso (2008). Luego este valor se multiplica por el índice de demanda química de oxígeno (DQO) en base a MOrg y

posteriormente por el índice de m^3 de metano (CH_4) por kg de DQO y así se obtiene la cantidad de m^3 de CH_4 por una tonelada de MF. Luego, al multiplicar este valor por las toneladas de MF de cada residuo se obtiene la cantidad de m^3 de CH_4 al año que se pueden obtener por este residuo y se estima que un m^3 de CH_4 equivale a dos m^3 de biogás (Índices Internacionales, 2006).

Etapla 3.2: Importancia de cada suministro en la producción de biogás

En esta etapa se hace un orden de los residuos de acuerdo a su grado de importancia para su utilización en la producción de biogás, a través del procedimiento específico que se representa en la figura 2.5:

A continuación se describen cada uno de los pasos de este procedimiento específico.

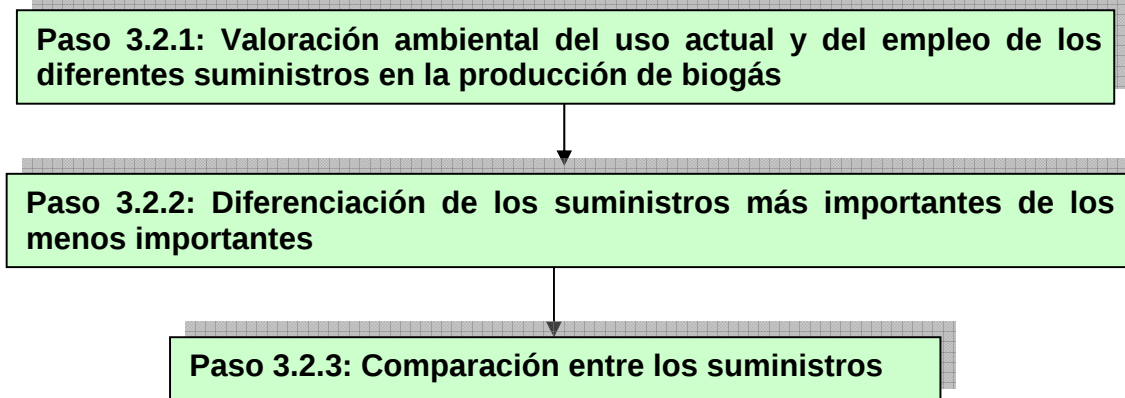


Figura 2.5 Procedimiento específico para determinar la importancia de cada suministro en la producción de biogás.

Paso 3.2.1: Valoración ambiental del uso actual y del empleo de los diferentes suministros en la producción de biogás

Este paso se basa en la información obtenida en consultas realizadas a especialistas relacionados directamente con los residuos en las empresas y entidades, investigadores que han trabajado en el tema y experiencias internacionales y nacionales sobre el uso de los residuos y su utilización en la producción de biogás como fuente de energía y otros beneficios.

Según Palmero Bravo (2006), existen conceptos importantes relacionados con la gestión ambiental de residuos que se deben tener en cuenta en esta investigación, tales como:

Aspecto ambiental: Elemento de las actividades, producto o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente.

Impacto ambiental: La alteración del medio ambiente provocada directa e indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada.

La mayor parte de los métodos obtenidos de la literatura consultada hacen referencia a impactos ambientales específicos. En este caso se realiza una lista simple de los efectos positivos y negativos a partir de la información recopilada y de acuerdo a la información adquirida se obtiene una valoración final.

Paso 3.2.2: Diferenciación de los suministros más importantes de los menos importantes

En este paso se propone realizar un diagrama de Pareto, utilizando su principio base que un 20 % de las fuentes causan el 80 % de cualquier problema, en este caso, se realiza con la cantidad de biogás que se puede obtener con cada suministro determinado en la etapa anterior.

Paso 3.2.3: Comparación entre los suministros

Luego de haber reducido la lista de los suministros a considerar en la producción de biogás y de tener claramente el efecto ambiental de la utilización de ellos se procede a realizar una comparación entre estos y así establecer un orden de prioridad en su utilización para el fin propuesto.

Utilizando un método de trabajo en grupo para la determinación de la importancia relativa, de los factores y criterios, se propone en este paso emplear el método de las Jerarquías Analíticas (AHP) (Saaty, 1980), útil por su capacidad para medir el grado de consistencia presente en los juicios subjetivos de los expertos, y además permite ordenar las mejores alternativas integralmente dentro de un grupo, considerando cualquier cantidad de cualidades de las mismas, a partir de la opinión de los expertos seleccionados. Su procedimiento consta de los pasos siguientes:

1- Construcción de una jerarquía de decisión.

Consiste en separar el problema de decisión en una jerarquía de sus elementos. Tomando en consideración lo anterior, se deciden dos niveles: el nivel 1, perteneciente a los criterios y el nivel 2, perteneciente a los factores.

2- Determinación de la importancia relativa de los atributos y subatributos.

El método AHP, implementado en el software Expert Choice (Saaty, 1995), se ajusta muy bien al tipo de problema a resolver, ya que las ponderaciones de los atributos se valoran en forma independiente de las alternativas a considerar. La determinación de la importancia relativa de los atributos y subatributos, se realiza según la escala siguiente:

- 1: el criterio i es igual de importante que el criterio j.
- 3: el criterio i tiene una débil predominancia con respecto al criterio j.
- 5: el criterio i predomina sobre el criterio j.
- 7: el criterio i tiene una fuerte predominancia sobre el criterio j.
- 9: el criterio i es absolutamente predominante sobre el criterio j

Quedando los valores 2, 4, 6 y 8 para situaciones de compromiso.

Para la determinación de la importancia relativa de los atributos (criterios) y subatributos (factores), se utiliza el método de grupos nominales, para lo cual, se escogen expertos que comparan por parejas de criterios o de factores cuánto es más importante uno que otro, según la escala antes mencionada. Primeramente, el procedimiento se aplica a los 6 grupos de criterios y luego a los factores contenidos dentro de cada grupo. En este procedimiento se aplica el método del coeficiente “W” de Kendall (Siegel, 1972) para probar si existe o no, concordancia entre las opiniones emitidas por los diferentes expertos sobre la importancia entre criterios y entre factores de un criterio.

3- Determinación de la razón de inconsistencia.

Como se afirmó anteriormente, una de las ventajas del método AHP consiste en su capacidad para medir el grado de consistencia presente en los juicios subjetivos de los expertos. Este se mide a través de la determinación de la razón de inconsistencia (RI) de los juicios. Si RI no es mayor que 0.1 (Consistencia igual o superior al 90%), Saaty (1980) sugiere que la consistencia, por lo general, es aceptable.

Finalmente se elabora a matriz de jerarquía de Saaty para luego poder seleccionar el mejor suministro: Debe considerarse que unos suministros son mejores que otros en algunos criterios y peores que en otros, pero además que existen preferencias de unas cualidades respecto a otras, todo lo cual hace necesario este paso de trabajo.

2.2.4 Fase IV: Localización de plantas y determinación de eslabones de la cadena de aprovisionamiento

Ya en esta última fase, después de haber seleccionado los mejores suministros de potenciales y el uso de los mismos en la producción de biogás con fines energéticos es donde se define la posible localización de una planta de biogás y los eslabones de la cadena de aprovisionamiento de residuos orgánicos.

En la bibliografía consultada no se encontró ningún procedimiento que se refiera específicamente a la selección de localización para plantas de biogás y se debe tener en cuenta que ellas tienen una particularidad y es que la materia prima para su funcionamiento son residuos biodegradables, que poseen restricciones para ser transportados y en alguna medida contaminan el medio ambiente.

Etapla 4.1: Definición de alternativas de localización

Se establecen un conjunto de “localizaciones candidatas” para un análisis más profundo, determinadas en este caso por los lugares cercanos a las mejores fuentes de suministro potenciales.

Etapla 4.2: Evaluación de alternativas

En esta fase se recoge toda la información acerca de cada alternativa de localización, para medirla en función de cada uno de los factores considerados. Esta evaluación puede consistir en una medida cuantitativa, si es un factor tangible o en la emisión de un juicio, si el factor es cualitativo.

Factores de localización

Según la bibliografía consultada, al estudiar la amplia variedad de criterios acerca de los factores de localización se puede plantear que existen factores específicos de localización para las diferentes instalaciones ya sean manufactura, servicios y otros. Como se mencionó en el capítulo anterior la autora propone utilizar las clasificaciones emitidas por Buffa (1981), Heizer y Render (2000) y Krajewski y Ritzman (2000) quienes los clasifican en factores críticos, objetivos y subjetivos, tangibles e intangibles, dominantes y secundarios.

La utilización de factores en la toma de decisiones de localización de instalaciones, está estrechamente relacionado con las etapas de este proceso, visto desde diferentes planos de análisis, a través de los cuales se va acotando la selección del

lugar en que se localizarán estas, conjugando en este análisis, casi siempre métodos específicos de localización, por lo que resulta un aspecto de singular importancia para esta investigación.

Etapas 4.3: Selección de la localización

En general, no habrá una alternativa que sea mejor que las demás en todos los aspectos; el objetivo del estudio no debe ser buscar una localización óptima, sino una o varias localizaciones “aceptables”. En última instancia, otros factores más subjetivos, como pueden ser las propias preferencias de la dirección, determinarán la localización definitiva.

En esta investigación se propone utilizar el método de los factores ponderados para determinar las mejores localizaciones, para la aplicación de este método primeramente se le debe fijar una escala para el nivel mínimo de aceptación y fijar el mínimo para cada factor, luego se evalúa la alternativa de localización por cada factor, utilizando la misma escala que el nivel de aceptación y se define para cada alternativa en cada factor si es aceptada o no y la que tenga la mayor cantidad de aceptaciones es la mejor alternativa de localización, todos estos niveles de aceptación serán establecidos por los expertos.

No se debe olvidar el orden de prioridad dado en la fase anterior a cada suministro, que combinado con los factores de localización permitirá comprender claramente el orden de prioridad de las posibles localizaciones de plantas productoras de energía.

Etapas 4.4: Determinación los eslabones de la cadena de aprovisionamiento de residuos orgánicos para una planta de biogás

En el entorno actual, se ha demostrado que la simple presión no es eficaz para lograr los objetivos y aquellas empresas que disponen de los recursos necesarios para estructurar una función de aprovisionamientos capaz de plantearse una actuación más profesional, más allá de la simple presión para reducir precios ejercida a través del ejercicio del poder de la negociación, deben actuar de forma activa en la relación con sus proveedores. Lo cierto es que, a partir de la situación de crisis del enfoque tradicional de gestión de aprovisionamientos, poco a poco comienzan a aparecer síntomas de cambios más profundos que cuestionan dicho enfoque.

Es indudable que la concepción del sistema logístico como cadena integrada de suministros, hace necesario que proveedores y clientes comiencen a reconocer las oportunidades de obtener ventajas mutuas que pueden derivarse de compartir información acerca de las necesidades de materiales de una manera continua y leal. Los beneficios de esta relación más estrecha son un mayor valor añadido al producto, plazos de entrega más cortos y fiables, menos cambios de última hora en las programaciones, menos *stocks*, menos productos de mala calidad y una mayor adecuación del servicio y el producto a las necesidades específicas de cada cliente.

En esta etapa del procedimiento es donde se identifican los eslabones de la cadena de aprovisionamiento, para la planta productora de energía que se localiza en la etapa anterior. En este caso se describe como sería el suministro de materias primas especificando el proveedor principal, el transporte de ellas con sus requerimientos, pues en el caso objeto de estudio se trata de residuos biodegradables y finalmente se debe especificar como se realizaría el de los mismos hasta que comience el proceso de producción para la obtención de biogás.

Etapas 4.5 Precisión de la red logística correspondiente a la localización seleccionada

Como se mencionó en el capítulo anterior un sistema logístico es el conjunto de elementos físicos e informativos, necesarios para la realización de cierto flujo material, a lo largo de múltiples filas de proveedores y clientes (Cespón Castro y Amador Orellana, 2003). Y uno de los elementos que lo integran es la red logística, a través de la cual, se realiza todo el flujo material del sistema. La configuración de la red debe incluir los mercados asociados, la determinación de las facilidades y el equipamiento tecnológico con que cuentan, dicha red, puede ser definida como el conjunto de nodos que representan todas las facilidades logísticas que intervienen en el sistema y estos están unidos entre sí por los eslabones.

En esta etapa concluye el procedimiento general propuesto y finalmente se debe representar gráficamente el flujo de material y de información de la cadena de aprovisionamiento de residuos orgánicos de una planta de producción de biogás con fines energéticos, para ello es necesario establecer los proveedores y los clientes de la cadena logística que se analiza.

2.3 Conclusiones parciales

- 1) La estructuración del procedimiento general con sus procedimientos específicos para caracterizar los residuos orgánicos, evaluarlos y representar geográficamente las disponibilidades de ellos y para determinar la importancia de cada suministro en la producción de biogás concatenados entre sí y con consistencia lógica y flexibilidad, permiten llevar a cabo un proceso complejo de forma relativamente sencilla y destacan su carácter práctico.
- 2) La comparación entre suministros, se realizó mediante el método AHP de Saaty resultando de suma utilidad al hacer más «objetivas» las opiniones de diferentes expertos en cuanto al nivel de importancia relativa entre los criterios y factores que lo conforman.
- 3) El diseño del procedimiento general para localizar una planta de biogás e identificar los eslabones que componen la cadena de aprovisionamiento y su localización para la conformación de la red logística para la producción de biogás con fines energéticos; permite dar respuesta al problema científico planteado en esta investigación.
- 4) El procedimiento general diseñado permite definir la red logística de aprovisionamiento de residuos biodegradables para la producción de biogás.

CAPÍTULO 3



Capítulo 3: Aplicación del procedimiento propuesto para la localización y conformación de la red logística de la producción de biogás en la provincia de Sancti Spíritus

En esta investigación para demostrar la hipótesis general, se aplica el procedimiento en objeto de estudio y la provincia Sancti Spíritus, de manera que permita corroborar la validez de las soluciones propuestas al problema científico planteado, y resulta el objetivo de este capítulo aplicar el procedimiento general propuesto y los procedimientos de apoyo, para localizar plantas e identificar los eslabones que componen la cadena de aprovisionamiento de residuos orgánicos para conformar la red logística de la producción de biogás en la provincia, a partir de la elaboración de un inventario de los principales residuos biodegradables existentes.

3.1. Aplicación del procedimiento general propuesto

3.1.1 Fase I: Inicio o preparación

En la preparación para el desarrollo del procedimiento, se deben realizar las etapas siguientes:

Etapas 1.1: Especificación del problema

El problema que se trata en esta investigación está dado porque no se han identificado las posibles localizaciones de plantas ni los eslabones que componen la cadena de aprovisionamiento de residuos para conformar la red logística de la producción de biogás en la provincia Sancti Spíritus. Es por esto que en esta etapa se desarrolló un procedimiento específico donde se logró conformar el equipo de trabajo. Primeramente se seleccionaron como miembros del equipo, a especialistas con conocimientos generales sobre el tema que se estudia, está integrado por 5 personas y son miembros del grupo de Biomasa del Centro de Estudio de Energía y Procesos Industriales (CEEPI) de la Universidad de Sancti Spíritus, en el que están representados el CITMA y el gobierno, cuya selección no fue al azar, sino que se realizó teniendo en cuenta elementos como la experiencia en los estudios energéticos y procesos industriales, el nivel profesional, el cargo actual y la disposición de participar en el estudio.

Luego se definió el objeto de estudio del procedimiento que se desarrolla que no es más que diseñar la red logística de aprovisionamiento de residuos biodegradables, en

el área geográfica que se estudia que es en este caso la provincia Sancti Spíritus. Esta provincia surgida en Cuba con la división político-administrativa de 1976, con una superficie de 6 731.9 km² ocupa el séptimo lugar en extensión territorial entre las provincias cubanas, situada en la región central del país. La población residente en la provincia es de 464 221 habitantes (para una densidad de 69.0 habitantes/km²), la mayor parte de la cual es urbana (324 305 habitantes, para un 69.86% del total) (Domínguez et al, 2008).

Posteriormente se definió el alcance del objeto de estudio que está referido en esta investigación a la localización de plantas de biogás y a la conformación de la red logística de aprovisionamiento de residuos para la producción de biogás, en la provincia Sancti Spíritus. Los residuos que se analizaron fueron los industriales y agroindustriales, los sólidos urbanos, los pecuarios entre otros existentes en la provincia Sancti Spíritus. Lugo se precisó el objetivo de trabajo y se estableció el cronograma de actividades a realizar, que no son más que las que se realizaron a lo largo del desarrollo de la aplicación del procedimiento.

Posteriormente se identificaron los miembros posibles de la cadena de aprovisionamiento de residuos para la producción de biogás tarea que se logró mediante el trabajo de campo y en grupo y las entrevistas realizadas a los miembros del equipo de trabajo antes mencionado.

Según datos obtenidos en la Unidad de Medio Ambiente del CITMA (2008), en la provincia Sancti Spíritus, existen alrededor de 137 empresas y entidades que emiten residuos biodegradables que contaminan el medio ambiente, muchas de ellas cuentan con sistemas de tratamiento, algunos no en muy buen estado, por lo que sería recomendable utilizar estos potenciales para producir biogás con fines energéticos. También se realizaron entrevistas a directivos y miembros del CEEPI y se determinó que las empresas y entidades más representativas en la producción de residuos biodegradables son: la Empresa Azucarera Melanio Hernández, la Uruguay y la Arrocería Sur del Jíbaro, las unidades porcinas, el Combinado lácteo Río Zaza, la Empacadora, la Fábrica de Conservas de Vegetales, las unidades procesadoras de tabaco y los residuos sólidos urbanos, por lo que se deben analizar en esta investigación.

Igualmente como parte de esta etapa se logró un comprometimiento de los miembros posibles de la cadena de aprovisionamiento y para esto se realizaron visitas a cada una de las entidades y empresas antes mencionadas y se realizaron entrevistas para determinar los datos necesarios para el estudio. Siempre se hizo énfasis en la necesidad de la cooperación de cada una de ellas en el logro del objetivo propuesto y en la necesidad mundial que existe de utilizar las fuentes de energía renovable y la provincia espiritana no está exenta de esta situación, muchos de ellos se mostraron interesados con el estudio pero no deja de jugar un papel importante en este aspecto, los organismos políticos y gubernamentales del área geográfica seleccionada.

Después de estar comprometidos los especialistas de las empresas y entidades que son posibles miembros de la cadena de aprovisionamiento de residuos para la producción de biogás se agregaron al equipo de trabajo para la aplicación del procedimiento y finalmente se estableció el cronograma de trabajo definitivo teniendo en cuenta las ideas y tareas de los representantes de las empresas y entidades denominadas miembros posibles de la cadena de aprovisionamiento.

3.1.2 Fase II: Selección de las fuentes de suministro de potenciales

En esta fase se analizaron las empresas y entidades identificadas en la etapa anterior como miembros posibles de la cadena de aprovisionamiento para determinar la disponibilidad real de ellos, para luego poder seleccionar los mejores.

Etapas 2.1: Caracterización de las fuentes de suministro de potenciales

A partir de los posibles miembros de la cadena de aprovisionamiento de residuos orgánicos a una planta de biogás en la provincia Sancti Spíritus, identificados en la etapa anterior, se desarrolló un procedimiento específico para caracterizar y cuantificar cada uno de los residuos existentes en la provincia Sancti Spíritus.

Paso 2.1.1: Descripción de los tipos de residuos disponibles en la provincia

Los principales tipos de residuos que se encuentran en la provincia objeto de estudio son los siguientes:

Residuos pecuarios (porcinos)

En la provincia Sancti Spíritus existe un gran potencial biodegradable proveniente de los residuos pecuarios ya sean porcinos o vacunos, ambos ricos en metano. Para la

realización de esta investigación solo se tomaron en cuenta los porcinos debido a que son animales que permanecen estabulados durante toda su vida, lo cual permite una mejor recolección de las excretas y además existen concentraciones considerables de animales en determinados lugares de la provincia.

Se analizaron todas las unidades porcinas de la provincia, ya sean integrales, unidades de cría, o de ceba y los convenios porcinos de ceba y de reproductoras, aunque los convenios no son muy factibles a utilizar pues el tiempo de duración es corto -5 meses- y aunque muchas veces los convenistas deciden hacer una renovación del convenio, estas condiciones no son fiables, pero no obstante a esta situación del mismo modo se deben analizar. Todas las entidades antes mencionadas pertenecen a la empresa Porcina Sancti Spíritus, pero igualmente se analizan otras unidades pertenecientes al MINAZ y otros organismos que no están conveniadas con la empresa porcina de la provincia y en algunos casos poseen gran cantidad de residuales que se deben tener en cuenta. Estos residuos son sólidos mezclados con agua, que en la actualidad causan un problema para el medio ambiente pues en la mayoría de los casos los sistemas de tratamiento no funcionan adecuadamente y además causan malos olores en los alrededores de las instalaciones y contaminan las aguas.

Residuos industriales

En esta investigación se estudian los residuales de las industrias fundamentales de la provincia: el Combinado Lácteo “Río Zaza”, la Empacadora “Roberto Quesada” y la Empresa “Conservas de Vegetales” que producen residuos biodegradables que se unen en un sistema de 3 lagunas de oxidación. Los residuos fundamentales que se obtienen en cada una de estas industrias son los líquidos, solo en el caso de conservas, se producen residuos sólidos biodegradables como los semillas y cáscara de tomate, guayaba, mango, frutabonba, pero en la actualidad son empleados como alimentación animal, por lo que no son considerados en esta investigación, aunque se recomienda realizar estudios de laboratorio con ellos para estimar las concentraciones de materia orgánica y de metano que poseen, pues equivale a más de mil toneladas anuales.

Procesamiento del café

En el caso del café el residuo que se origina, es la cáscara seca y la pulpa (Chase 1996), estos son procesados en los dos territorios de la provincia con estos cultivos, Trinidad y Fomento. Ambos residuos son recogidos en las despulpadoras, que suman 4 en la actualidad, tres en Trinidad y una en Fomento. Actualmente se usan en la elaboración de compost y humus de lombriz (Ríos Orellana, 2010).

La cáscara del café es prácticamente pura lignocelulosa (Pujol, 2004) y no tiene ningún valor como fertilizante. Se quema habitualmente en hornos toscos para secar el café en pergamino. Por este motivo, en esta investigación este residuo no se tiene en cuenta pero se recomienda llevarlo a un estudio de laboratorio para comprobar lo planteado anteriormente.

Residuos agroindustriales de las producciones de azúcar, tabaco y arroz

Los residuos agroindustriales en la provincia Sancti Spíritus son los más numerosos y en este caso son los que provienen de la producción de azúcar, arroz y tabaco.

Residuos azucareros

En la provincia existen 2 empresas Azucareras, “Melanio Hernández” donde se produce azúcar y alcohol y “Uruguay” donde se produce azúcar solamente. De estas producciones se producen 4 tipos residuos (sólidos y líquidos): Residuos Agrícolas Cañeros (RAC) que es agrícola y los industriales son las aguas residuales, la cachaza y el bagazo¹ y la vinaza en el caso de la fabricación de alcohol (solo en Melanio).

Residuos Agrícolas Cañeros, RAC (Sólidos).

En estos residuos se incluye el cogollo y las hojas verdes y secas. En función de la variedad de caña seleccionada y el rendimiento agrícola, la masa de los mismos equivale de 20 a 26 por ciento de la masa molida. De ellos, cerca de la mitad se extrae del campo con la caña cosechada, al no poder ser separada por la cosechadora. Cerca de 50 a 60 por ciento de la masa extraída, es separado en los centros de acopio y estaciones de limpieza (Velarde Sosa, 2004).

Según este mismo autor, en el campo debe quedar aproximadamente el **11,5%** del RAC, pero este número es variable, pues depende de algunos factores como por ejemplo, el tipo de combinada que se ha usado para el corte de la caña. Este residuo

¹ Se usa como combustible, por lo que no se analiza en esta investigación

no es recomendable usarlo en la producción de biogás pues el mismo debe quedar en el campo como fertilizante y para evitar que prosperen las malas hierbas. El **6,325%** del RAC se extrae de los centros limpieza, este valor es muy variable depende de la eficiencia de cada centro. Actualmente después de la limpieza, lo que queda verde es para alimento animal; el resto se quema en el campo emitiendo gases a la atmósfera, lo que resulta muy perjudicial.

La utilización de este residuo en la producción de biogás tiene efectos positivos pues se dejan de emitir gases a la atmósfera, se obtiene energía y un biofertilizante orgánico de calidad, pero también tiene efectos negativos pues requiere un pretratamiento previo para disminuir tamaño y elevar biodegradabilidad, lo que eleva los costos de producción de energía y se le extraen nutrientes al suelo, es por esto último que en esta investigación se decide rechazarlos.

Cachaza (Sólidos)

La cachaza o torta de los filtros al vacío es un residuo rico en nitrógeno, fósforo y calcio, que resulta del proceso de clarificación del guarapo. Incluye en su contenido materias terrosas y una cantidad importante de materia orgánica. La cachaza representa de 2,8 a 4,5% de la masa de caña molida (Velarde Sosa, 2004). Este residuo en la actualidad es usado en la fabricación de compost, obteniendo un abono orgánico pero se emiten gases volátiles a la atmósfera.

Aguas residuales (Líquidos)

Las fábricas de azúcar producen gran cantidad de aguas residuales que contaminan el medio ambiente. La concentración de la demanda química de oxígeno de las mismas es sumamente inferior a la de las vinazas alcoholeras, por lo que cabe la posibilidad de que puedan ser tratados junto con la vinaza y empleados para diluir las mismas y de este modo reducir los consumos de agua del proceso de producción de biogás (López González, 2007).

En la actualidad este residuo es tratado en las lagunas de oxidación correspondientes a cada fábrica de azúcar y luego se utiliza en el fertirriego.

Vinazas (Líquidos)

La vinaza es la que presenta el mayor problema con la disposición final de sus efluentes, por el gran volumen y la alta carga orgánica que poseen, su tratamiento

mediante la fermentación anaerobia permite disminuir la carga orgánica y obtener además una considerable cantidad de biogás que puede ser utilizado como combustible.

Residuos del procesamiento del arroz

En la provincia Sancti Spíritus los residuos provenientes del cultivo del arroz se obtienen en la industria y en el campo. Son 3 fundamentalmente, la paja que es un residuo agrícola y los industriales que son la cascarilla y el residuo de secadero que está formado por algunas impurezas, restos de ramas y tallo, paja y punta de arroz, todos son sólidos.

Paja

La paja es un residuo que queda en el campo; no se encontró en la bibliografía consultada estudios que revelen la cantidad necesaria de este residuo en el suelo pues este tema aun está por estudiar, vale aclarar que actualmente este residuo es quemado en el campo, por lo que sería recomendable utilizarlos como fuente de energía renovable.

Residuo de secadero

Este residuo está compuesto por algunas impurezas, restos de ramas y tallos, paja y punta de arroz. En el municipio la Sierpe existen 5 secaderos activos. Actualmente este residuo es quemado en los alrededores de la instalación lo que constituye una gran carga contaminante para el medio ambiente, por lo que debe ser analizado.

Cáscara

Este residuo se obtiene en los molinos que en la provincia existen 4, 2 en el municipio Sancti Spíritus y 2 en La Sierpe. Actualmente una parte de estos es utilizada como alimento animal y la mayor parte es quemada en los alrededores de la instalación, por lo que se impone tenerlos en cuenta como fuente de energía renovable.

Procesamiento del tabaco

En la provincia, el residuo del tabaco se obtiene después de ser procesado, en la industria, en el campo queda el palo como nutriente para el suelo, pero solo del tabaco tapado y este número no es significativo pues se cosecha muy poco de esta forma y solamente en el municipio Cabaiguán, el resto del tabaco pasa a las

escogidas que es donde se separa el palo de las hojas y se agrupan las mismas de acuerdo al tipo de tabaco que se desee, en este caso el residuo que se obtiene es el palo, en la actualidad son recogidos por los campesinos para incorporarlo al suelo como componente orgánico y en la mayoría de los casos son recogidos por la Empresa Comunes y tratados como RSU. Luego el tabaco pasa a las fábricas de Despalillo donde se le separan las venas a las hojas de acuerdo al tipo de tabaco que se desee, el residuo que se obtiene es la vena que representa entre el 12 y el 18% del peso de la hoja según Marí 2006 (Referenciado por Knaebel 2006). Como en el caso de las escogidas los residuos del despalillo son recogidos por los campesinos o por los trabajadores de la agricultura urbana para incorporarlo al suelo como nutriente.

Finalmente es transportado a las Fábricas de Torcido, donde se realiza el torcido utilizando la hoja de capa como envoltura en dependencia del tabaco que se fabrique. El residuo producido es la vena central de la hoja de capa y la barredura que son restos de vena y hojas que caen al piso.

Residuos Sólidos Urbanos

Los RSU en la provincia Sancti Spíritus aumentan con el crecimiento de la población y el desarrollo económico, estos residuos constituyen una fuente renovable de energía por lo que se impone estudiarlos. Están compuestos por un conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico que no tiene utilidad práctica para la actividad que lo produce. Actualmente en la provincia son ubicados e incinerados en los vertederos provocando una gran afectación al medio ambiente, por lo que se impone utilizar su fracción orgánica en la producción de energía y así evitar daños al medio ambiente.

Paso 2.1.2 Elaboración del inventario de residuos orgánicos disponibles

En este paso se calcula el potencial existente en la provincia de cada uno de los suministros existentes en el año.

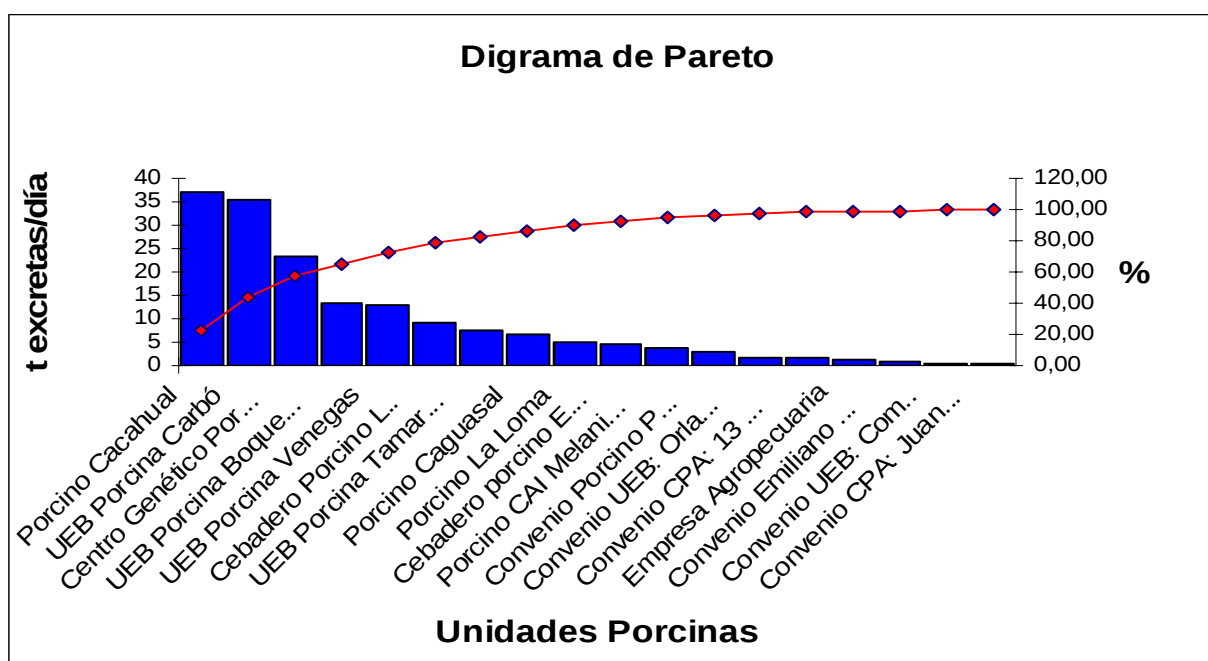
Residuos Pecuarios (porcinos)

Primeramente se debe elaborar el inventario del movimiento de rebaño de cada una de las unidades porcinas, luego se calcularon las cabezas de animales equivalentes a 50 kg, pues según Fernández Sánchez (1999), la cantidad de excretas por día de

un animal con este peso es 3kg, valor este que puede variar en dependencia de algunos factores como por ejemplo la alimentación, pero se tomó este como el valor promedio de kilogramos de excreta por día por animal y al multiplicarlo por las cabezas de animales de cada unidad se obtiene el equivalente a los kilogramos de excretas por día por unidad porcina y luego se multiplica por los 365 días del año y se divide entre 1000 (1t=1000kg) y se obtienen las toneladas de excretas por año por unidad.

Después de obtener en una tabla los datos antes mencionados se utiliza la técnica monocriterio, estableciendo como criterio a evaluar la cantidad de residuo generada en cada unidad por día, de acuerdo al objeto de investigación, en este caso se decidió eliminar del listado a todas aquellas unidades cuyo volumen de residuo no excede las 0.6 t de excretas por día, pues este valor representa solo el 0.29% del volumen total que se genera cada día. Para la selección final se utiliza el diagrama de Pareto que es una herramienta muy utilizada para diferenciar los más importantes de los menos importantes, utilizando su principio base, que un 20% de las fuentes causan el 80% de cualquier problema (Ver Gráfico 3.1).

Gráfico 3.1: Diagrama de Pareto



Fuente: Procesado en Microsoft Office Excel, 2003.

Como se muestra en el gráfico, 6 entidades producen el 79.57% del potencial que se origina diariamente en la provincia proveniente de las entidades porcinas (que integran 175 en la provincia). Estas entidades son la UEB Cacahual (Integral y cebadero), la UEB Carbó, el Centro Genético Porcino, la UEB Boquerones, la UEB Venegas, el cebadero Los Molinos y la UEB Tamarindo.

Residuos Industriales

Los residuos industriales en la provincia están compuestos por los del procesamiento del café y los residuales líquidos del Combinado Lácteo “Río Zaza”, la Empacadora “Roberto Quesada” y Empresa “Conservas de Vegetales”. Cada uno se analiza por separado y se estima un potencial de 223003, 39228.99 y 41293.67 t/año respectivamente, todos ellos se unen en un sistema de tres lagunas de oxidación y ascienden a más de 300 mil t/año.

Procesamiento del café

De cada tonelada de café procesada, el 20 % es residuo en forma de cáscara y el 30% corresponde a la pulpa (Del Sol Fernández, 2004). Para la campaña 2009-2010 se estiman unas 566.75 t/año de café para unas 170.02 toneladas de pulpa residuo que debe incrementar en los próximos años, al aumentar el rendimiento de esta producción en la provincia.

Residuos agroindustriales de las producciones de caña, tabaco y arroz

Residuos azucareros

En la provincia Sancti Spíritus, la Empresa Azucarera Melanio Hernández se encuentra ubicada en Tuinicú, municipio Taguasco. Su capacidad potencial de molienda es de 4 600 t/día (400 000 @/d) y opera un promedio de 120 días/año y su destilería actual tiene una capacidad de producción de 800 hl/día de alcohol Técnico “A y B” y opera un promedio de 180 a 200 días/año.

La Empresa Azucarera “Uruguay” está ubicada en el municipio Jatibonico y su capacidad potencial de molienda es de 9200 t/día y opera un promedio de 76 días/año.

Cachaza (Sólidos)

La cachaza o torta de los filtros al vacío es un residuo rico en nitrógeno, fósforo y calcio, que resulta del proceso de clarificación del guarapo. Incluye en su contenido materias ferrosas y una cantidad importante de materia orgánica. La cachaza

representa del 2.8 a 4.5% de la masa de caña molida, por lo que se puede afirmar que en la Empresa Azucarera Melanio la cachaza asciende a **12 088.8** toneladas al año y en la Uruguay a **2 552.8** toneladas al año.

Aguas residuales (Líquidos)

Según datos obtenidos en el CITMA el índice de consumo establecido para los centrales azucareros es de 0.5 a 0.8 m³/ton caña molida y la DQO de las aguas residuales están entre 5000 a 8000 mg/l, por lo que se puede afirmar que en la Empresa Azucarera Melanio este residuo alcanza unos **165 600 m³** y unas **1 076.4** toneladas de DQO cada año y en la Uruguay este valor asciende a **349 600 m³** y unas **2 272.4** toneladas de DQO al año.

Según Obaya Abreu (2004), el agua residual que se produce en una fábrica de azúcar posee una concentración de la demanda química de oxígeno sumamente inferior a las de las vinazas alcohólicas y la cachaza, por lo que se recomienda emplearlas como aguas de dilución del proceso de producción de biogás.

Vinazas (Líquidos)

Empresa Azucarera: Melanio Hernández

Según la bibliografía consultada el índice de vinazas establecido por Velarde Sosa (2004), es de 1.41 m³ de vinazas/hl de alcohol. Para este año se prevé en la empresa una producción de 600 Hl/d de alcohol y se deberán trabajar 190 días en el año, para un total de 114000 hl de alcohol al año y se producirían aproximadamente **160 740 m³** vinazas al año.

Residuos del procesamiento del arroz

Paja

Este residuo es agrícola y para obtener las toneladas de residuo que se pueden obtener de este, se deben multiplicar las hectáreas cosechadas por 4,86 t paja/ha (Contreras Velásquez, 2008) y en la última campaña se cosecharon 273 ha para un total de **1326.78 t de paja/año**.

Residuo de secadero

Según Alfonso Rubí, (2010) entre el 12 y el 15% de las toneladas de arroz cosechado es el residuo del secadero y en esta campaña se cosecharon 69997,4 t arroz para unas **9 099,66 t de residuo** aproximadamente.

Cáscara

Según datos obtenidos a partir de entrevista con Ramos Acebedo (2010), el índice de cascarilla en estos momentos es del 22.1% del arroz molinado que en esta campaña es de unas 48499.8 t arroz para unas **10718.46 t cáscara/año**.

Procesamiento del tabaco

Residuo de las escogidas

El peso de un tallo de tabaco está entre 50-60% del peso total de la planta (Knabel, 2006), pero este año se realizó en cada escogida, por parte de la empresa tabacalera, la *prueba de palo* a cada productor y se obtuvo que el peso del palo es como promedio el 43% del peso de la planta (Documentos archivados en la empresa, 2010) y en este caso se obtuvo que en las escogidas de la provincia los residuos ascienden a un valor de **898 903.26 t/año**.

Residuo de los despalillos

Los cálculos se realizaron para un 14% del peso y se obtuvo que en la provincia los residuos de estas fábricas ascienden a unas **14 075.06 t/año**.

Residuo del torcido

El índice de barredura es de 0,3 kg/1000 tabaco producidos, obtenido por muestreo realizado en la Fábrica de Torcido de Cabaiguán. El cálculo se realizó para un peso promedio de la hoja de 6 gramos y el 30% del peso en vena. Se utilizaron 200 hojas por manojo y un promedio de 4,5 manojos por 1000 tabacos producidos y se trabaja durante los 12 meses. El resultado obtenido fue de **36,99 t/año**.

Residuos Sólidos Urbanos

Según datos obtenidos en la Empresa Provincial de Comunes, el volumen de residuos anuales en la provincia ascienden a un total de 30 587.10 m³, que si se multiplica por el índice de materia orgánica referido por López Torres (2004), es de un 74%, se obtendrían **22695.63 m³** anuales de materia orgánica biodegradable, que se puede usar en la producción de biogás con fines energéticos.

Paso 2.1.3: Descripción de las vías de acceso a las fuentes de suministro

En la provincia Sancti Spíritus las diferentes fuentes de suministro son de fácil acceso, en todos los casos se puede llegar por carretera y algunos de ellos por ferrocarril, como es el caso de las empresas azucareras y las fábricas que procesan

el tabaco. En el **anexo 6** se representan las fuentes de suministro y el municipio en que se encuentra cada una de estas.

Etapas 2.2: Evaluación y representación geográfica de las fuentes de suministro

A partir de la información obtenida en la etapa anterior, en esta etapa se permite tomar una mejor decisión a través de la evaluación de las fuentes de suministro a utilizar en la producción de biogás con fines energéticos. Para llevarlo a cabo se desarrolla el procedimiento específico siguiente:

Paso 2.2.1: Definición de los criterios de decisión

En varias ocasiones las técnicas matemáticas y estadísticas no permiten revelar la evolución de determinadas situaciones que pueden ser multivariadas en sus manifestaciones. De ahí la importancia de buscar métodos que a partir de la experiencia y conocimientos de un grupo de personas considerados “expertos” en la temática que se está abordando, puedan exponer sus criterios subjetivos sobre la cuestión consultada.

Al aplicar la técnica de trabajo con expertos para la definición de los criterios de decisión resultó que los criterios fundamentales a tener en cuenta son: la calidad referida a la cantidad de materia orgánica que posee cada residuo, el volumen de residuo y la duración del mismo en meses del año.

Paso 2.2.2: Elección de los métodos para ordenar alternativas

Es de gran importancia conocer donde se encuentra el mejor suministrador de potencial para construir en ese lugar una planta de biogás y así reducir los costos de transportación de la materia prima pues los del producto no se tienen en cuenta pues se trata de producir energía eléctrica para ser suministrada al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) que puede ser en “cualquier lugar”.

Como se mencionó en el capítulo anterior para aplicar la técnica multicriterio siguiendo los pasos existentes para ello, en la selección de los mejores potenciales integralmente dentro de un grupo, se obtuvo:

1-Definir alternativas y criterios: Las alternativas serían las fuentes de suministro analizadas en la etapa anterior y los criterios de decisión los obtenidos el paso **2.2.1** que son: la calidad, el volumen de residuo y la duración del mismo en meses del año.

2- Homogenizar los criterios de decisión: Se deben llevar, en este caso, todos a máximo pues los criterios antes mencionados deben ser maximizados para la obtención de buenos resultados en la producción de biogás.

3- Normalizar los criterios de decisión: Puede ser por varios métodos como se mencionó en el capítulo anterior, la autora propone utilizar en este caso:

$$V = \frac{A_i}{\sum A_i} \text{ y se coloca cada valor en la matriz.}$$

4- Calcular el peso de los criterios:

Método de la entropía (Objetivo)

$$E_j = \left(\frac{-1}{\log m} \right) \sum A_i \log A_i$$

$$D_j = 1 - E_j \quad W_j = \frac{D_j}{\sum D_j}$$

Y se obtiene: Y se obtiene: $W_{Calidad} = 0,14$ $W_{Duración} = 0,05$ $W_{Volumen} = 0,80$

Método de Ordenación Simple (Subjetivo)

Para la aplicación de este método los expertos ordenan los criterios en orden ascendente dándole valores a cada uno de ellos, en este caso se obtuvo:

$$W_{Calidad} = 0,5 \quad W_{Duración} = 0,33 \quad W_{Volumen} = 0,17$$

Al combinar ambos pesos se obtiene:

$$W_{Calidad} = 0,32 \quad W_{Duración} = 0,08 \quad W_{Volumen} = 0,59$$

5- Determinar las mejores alternativas: Puede ser por varios métodos, en este caso la autora aplica el de ponderación.

$$S_j = \sum_j W_j * N_{ij}$$

Luego se ordenan los S_j de forma descendente y así quedan ordenadas las mejores fuentes de suministro de residuos orgánicos para ser usados en la producción de biogás con fines energéticos, teniendo en cuenta los criterios antes mencionados.

Paso 2.2.3: Selección de las fuentes de suministro

Teniendo en cuenta la matriz de decisión se determinan las alternativas más satisfactorias de acuerdo con la puntuación recibida, que son en este caso la Destilería "Paraíso", la Empresa Azucarera "Uruguay" (Cachaza y Agua Residual), Empresa de Productos Lácteos, la Empresa de Conservas, la Empacadora, los molinos de arroz de Las Nuevas y Tamarindo, el Secadero y la paja residual de la cosecha de la Empresa Arrocería "Sur de Jíbaro" y las escogidas, despallillos y las fábricas de Torcido de Fomento y Cabaiguán.

Paso 2.2.4: Representación de las principales fuentes de suministro de potenciales en un Sistema de Información Geográfica (SIG)

En esta etapa se procede a representar en un SIG, mediante el software MapInfo las principales fuentes de suministros de residuos orgánicos obtenidos en la etapa anterior para ello es necesario introducir datos como las coordenadas X y Y (**ver anexo 7**).

3.1.3 Fase III: Análisis del uso de los diferentes suministros en la producción de biogás

Para la obtención de buenos resultados en la producción de energía en esta fase del procedimiento que se desarrolla es donde se analiza cada tipo de suministro por separado teniendo en cuenta aspectos medioambientales y la cantidad de energía que se puede obtener con cada uno de estos por separado en la provincia objeto de estudio.

Etapas 3.1: Estimación de la cantidad de biogás que se puede obtener con cada uno de los suministros disponibles

Como se mencionó en el capítulo anterior para realizar la estimación de las cantidades de biogás que se pueden obtener con cada uno de los suministros, se han tomado los índices existentes en la bibliografía referidos específicamente a Sólidos Volátiles (SV), Sólidos Totales (ST) e índice de metano que se puede obtener con cada uno de ellos. Los balances de masa seca (MS) y materia orgánica (MOrg) de cada uno de los suministros que se estudian se representan en el **anexo 8**

Pecuarios

Porcino

En las unidades más significativas en la producción de residuos porcinos se procede a calcular el equivalente en m^3 de biogás que se puede obtener cada día, con los residuales producidos en estas. Para ello se tomó como base que según Velarde Sosa (2004), la materia seca es del 18% y la Materia orgánica es del 82% ambos valores son sin agua ni orina en el caso que se estudia las excretas se unen con la orina y agua por lo que se debe estudiar este residuo en el laboratorio para determinar los valores reales en el objeto de estudio.

$$147,6\text{kgMOrg}/1\text{tonMF} \times 1\text{DQO}/\text{MOrg} \times 0,32\text{m}^3\text{CH}_4/\text{kgDQO} \\ = 47,23\text{m}^3\text{CH}_4/1\text{ton MF} \times 2 = \mathbf{94.46\text{m}^3\text{ Biogás}/1\text{ton MF}}$$

Y al multiplicar este valor por las t de Masa Fresca o sea excretas/año, se obtiene finalmente el equivalente en m^3 de biogás al año que se puede producir en cada una de las unidades porcinas seleccionadas, lo que se representa en **el anexo 9**.

Luego del análisis realizado se puede concluir que en la provincia Sancti Spíritus se pueden obtener más de 4 millones de m^3 de biogás al año a partir de los residuales porcinos.

Industrial

Para el análisis de este residuo se tomaron como base índices encontrados en la bibliografía consultada, primeramente se calculó la cantidad de biogás que se puede obtener con cada uno ellos por separado y luego se realiza un balance pues los tres se encuentran juntos en la misma laguna.

Residuos de lácteo

Según Contreras Velásquez (2001), en esta industria la DQO alcanza un valor de 282.57 t/año. El volumen de 223 003 t/año multiplicado por el índice referenciado internacionalmente de $0.32\text{m}^3\text{CH}_4/\text{kg DQO}$, se estiman **179 258.94 m^3 biogás/año**.

Residuos de cárnicos

El índice referenciado de 1.2 DQO/MOrg multiplicado por $0.32\text{m}^3\text{CH}_4/\text{kg DQO}$ (Índices Internacionales, 2006) y teniendo en cuenta los kg MOrg/t MF y el volumen de 32 228.99 t de residuo al año, se estiman unos **676 069.28 m^3 biogás/año**.

Residuos Conservas

Al igual que en el caso anterior, al multiplicar el índice referenciado internacionalmente de 1.2 DQO/MOrg por 0.32 m³CH₄/kg DQO (Índices Internacionales, 2006) y teniendo en cuenta los kg MOrg/t MF y el volumen de 41293.67 t de residuo al año, se estiman unos **396 102.10 m³ biogás/año**.

A modo de resumen se puede concluir que estos residuos se encuentran unidos en un sistema de lagunas de oxidación donde se pudieran obtener más de **1 millón de m³ biogás/año**, pero vale señalar que este valor puede variar en dependencia de la unión de los micronutrientes que aporta cada residuo, por la unión de las bacterias y la codigestión en general, causando que el rendimiento de biogás sea mayor o menor.

Procesamiento del café

La pulpa posee un 85% de humedad y contiene aproximadamente el 0.8% de su peso seco en cafeína. Según estudios, la extracción de cafeína no es rentable pues se degrada muy rápidamente si se permite una fermentación aerobia (Knabel, 2006).

$$144,5\text{kg MOrg}/1\text{ton MF} \times 380\text{l/kg MOrg} = \mathbf{54,9\text{ m}^3\text{CH}_4/1\text{ton MF}}$$

$$54,9\text{ m}^3\text{CH}_4/1\text{ton MF} \times 340,05\text{ t/año 2009} = \mathbf{18668,69\text{ m}^3\text{CH}_4/\text{año}}$$

$$18668.69\text{ m}^3\text{CH}_4/\text{año 2008} \times 2 = \mathbf{37337,38\text{ m}^3\text{ biogás/año}}$$

Residuos Agroindustriales (Procesamiento de la caña de azúcar, café, tabaco y arroz)

Residuos azucareros

Cachaza

Empresa azucarera: Melanio Hernández

$$\mathbf{200\text{kg MOrg}/1\text{ton MF} \times 1,2\text{DQO}/\text{MOrg} \times 0,32\text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kg DQO} = \mathbf{76,8\text{ m}^3\text{CH}_4/1\text{ton MF}}$$

$$76,8\text{ m}^3\text{CH}_4/1\text{ton MF} \times 12\,088,8\text{ t/año} = \mathbf{928\,419,84\text{ m}^3\text{CH}_4/\text{año}}$$

$$928.419,84\text{ m}^3\text{CH}_4/\text{año} \times 2 = \mathbf{1\,856\,839,68\text{ m}^3\text{ biogás/año}}$$

Empresa azucarera: "Uruguay"

$$\mathbf{200\text{kg MOrg}/1\text{ton MF} \times 1,2\text{DQO}/\text{MOrg} \times 0,32\text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kg DQO} = \mathbf{76,8\text{ m}^3\text{CH}_4/1\text{ton MF}}$$

$$76,8\text{ m}^3\text{CH}_4/1\text{ton MF} \times 25.520,8\text{ t/año} = \mathbf{1\,959\,997,44\text{ m}^3\text{CH}_4/\text{año}}$$

$$1.959.997,44\text{ m}^3\text{CH}_4/\text{año} \times 2 = \mathbf{3\,919\,994,88\text{ m}^3\text{ biogás/año}}$$

Empresa Azucarera: "Melanio Hernández" (Vinazas y Agua Residual)

Ambos residuos se trabajan conjuntamente pues como se explicó anteriormente las vinazas serán diluidas con las aguas residuales, para la producción de biogás.

$$160740 \text{ m}^3 \text{ vinazas/año} \times 20 \text{ m}^3 \text{ biogás/m}^3 \text{ vinazas} = \mathbf{3\ 214\ 800 \text{ m}^3 \text{ biogás/año}}$$

Residuos del procesamiento del arroz

Todos estos residuos fueron estudiados por Contreras Velásquez (2008), en Alemania donde se realizaron pruebas abach y se demostró que cada uno de ellos posee un alto contenido de materia orgánica, como se muestra en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Análisis de los residuos del procesamiento del arroz en la producción de biogás

ANÁLISIS	SUSTRATO		
	Paja	Residuo de Secadero	Cáscara
Sólidos totales (%)	87,81	89,30	89,23
Sólidos volátiles (%ST)	79,55	77,54	77,78
Lignina (%TS)	8,58	10,39	18,89

Fuente: Informe parcial de investigación, Contreras Velásquez (2009).

Para el cálculo de este potencial se usarán los datos obtenidos por esta autora, pues se realizaron en el laboratorio del Instituto Agrario de Bornim-Potsdam, Alemania y el índice de metano de los residuos del procesamiento del arroz, según esta autora, equivale a $16,67 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / 1\text{tonMF}$ por lo que:

Paja

$$16,67 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / 1\text{ton MF} \times 1326.68 \text{ t de residuo/año} = \mathbf{22117,42 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{año}}$$

$$22117,42 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{año} \times 2 = \mathbf{44234.85 \text{ m}^3 \text{ biogás/año}}$$

Residuo de secadero

$$16,67 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / 1\text{ton MF} \times 9\ 099.66 \text{ t de residuo/año} = \mathbf{151\ 691.37 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{año}}$$

$$151691.37 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{año} \times 2 = \mathbf{303\ 382.7 \text{ m}^3 \text{ biogás/año}}$$

Cáscara

$$16,67 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / 1\text{ton MF} \times 10718.46 \text{ t cáscara/año} = \mathbf{178676.66 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{año}}$$

$$178676.66 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{año} \times 2 = \mathbf{357\ 353.32 \text{ m}^3 \text{ biogás/año}}$$

Procesamiento del tabaco

$$524,4 \text{ kgMOrg/tonMF} \times 1,2 \text{ DQO/MOrg} \times 0,32 \text{ m}^3 \text{ H}_4 / \text{kgDQO} = \mathbf{201,36 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{ton MF}}$$

Al multiplicar este índice por las toneladas de MF, se obtiene el estimado promedio de los m^3 de Biogás que se pueden obtener al año, con estos residuos.

Residuo de las escogidas

El residuo las escogidas (palo) de la provincia equivale a **898 903 m^3 de biogás al año**, pero el valor de cada escogida se trabajó por separado pues cada una de ellas se encuentra distante de las demás.

Residuo de los despalillos

Este tipo de residuo puede dar **14075 m^3 de biogás al año**, bajo las mismas enfocadas anteriormente.

Residuo del torcido

En estas fábricas el residuo equivale aproximadamente a **14 894.7 m^3 de Biogás al año**, pero también el valor de cada una de ellas se contabilizó por separado pues cada una de ellas se encuentra distante de las demás.

En el **anexo 10** se representan las cantidades de biogás que se pueden obtener en cada una de las fuentes de suministros, con este residuo.

Residuos Sólidos Urbanos

En la provincia Sancti Spíritus se obtienen anualmente 2611.78 t de materia orgánica biodegradable, proveniente de los RSU que al multiplicarlo por el índice internacional de 1,2 DQO/MOrg por 0,32 $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg DQO}$ se podrían obtener unos 2005844.19 m^3 de biogás anuales, aunque vale aclarar que este residuo se encuentra disperso en la provincia.

En el **anexo 11** se muestra el resumen de las disponibilidades de residuos existentes en cada una de las fuentes de suministro y la cantidad de biogás que se puede obtener con cada uno de estos.

Etapas 3.2: Importancia de cada suministro en la producción de biogás

En el marco de esta investigación se hace necesario determinar los suministros más importantes a tener en cuenta en la producción de biogás, para ello se realiza el procedimiento específico siguiente:

Paso 3.2.1: Valoración ambiental del uso actual y del empleo de los diferentes suministros en la producción de biogás

Residuos porcinos

En los casos analizados estas unidades tienen su sistema de tratamiento de residuales logrando disminuir la carga orgánica antes de verterlo al medio, pero produce malos olores en los alrededores de la instalación y contaminan las aguas, tanto superficiales como subterráneas, por nutrientes y por organismos patógenos. Sin embargo al emplear estos residuos de fácil recolección pues se encuentran concentrados en la producción de biogás, se evita la contaminación de las aguas, se reduce la producción de olores, se produce un biofertilizante orgánico y se obtiene gran cantidad de energía dejándose de emitir a medio unos **2393786.29 m³ CH₄** cada año.

Residuos industriales

Estos residuales son tratados en una laguna de oxidación, que logra reducir la carga orgánica antes de ser entregado al medio pero al igual que en el caso anterior, se contaminan las aguas superficiales y subterráneas. Si se utilizan en la producción de biogás se evitan los efectos antes mencionados, se obtiene energía y se dejan de emitir unos **626714.51 m³ CH₄/año** al medio.

Residuos azucareros

Los residuos azucareros son los más numerosos en la provincia objeto de estudio, en el caso de la cachaza en la actualidad es usado en la fabricación de compost, obteniendo un abono orgánico y emitiendo de gases volátiles a la atmósfera y en ocasiones se bota, originando la proliferación de insectos y roedores tan perjudiciales para la salud, la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas (producto de su escurrimiento) y la emanación de malos olores. Al utilizar este residuo de fácil recolección en la producción de biogás se produce un biofertilizante orgánico, se obtiene gran cantidad de energía y se dejan de emitir al medio **2 888 417.28 m³ CH₄/año**.

Otro de los residuos de esta industria son *las vinazas* en la actualidad se vierten en una laguna de homogenización y luego se mezcla en la laguna de oxidación en forma de S con el agua residual de la producción de azúcar para utilizarse en el fertirriego. El estado del sistema es malo pues las lagunas de oxidación que no son suficientes para reducir al máximo la carga contaminante que originan, por el volumen que se genera constantemente de ellas y las áreas cañeras no son

suficientes por lo que ocurre escurrimiento y desborde de las lagunas en periodo de lluvia, toda esta situación origina malos olores y se contaminan las aguas, tanto superficiales como subterráneas, por nutrientes y por organismos patógenos. Sin embargo, la fermentación anaerobia de ellas en fermentadores de flujo ascendente permite disminuir en un 70-80% la carga orgánica y obtener además una considerable cantidad de biogás que puede ser utilizado como combustible, un lodo con muy buenas características como fertilizante y agua residual que contiene de un 20 a un 30% de materia orgánica original, que puede ser utilizado como agua para el fertirriego y se dejan de emitir al medio **1 607 400 m³ CH₄/año**.

Residuos del procesamiento del tabaco

Los residuos del tabaco en la actualidad son incorporados como materia orgánica al suelo y se usan en los organopónicos como insecticida biológico, en la erradicación de plagas, pero esto trae consigo efectos negativos pues cuando se aplica en grandes cantidades o de forma continua se pueden esperar efectos tóxicos sobre la planta por la alta concentración de nicotina, y puede causar la degradación rápida del residuo en el suelo puede causar un aumento de la temperatura del suelo, elevado contenido de materia orgánica, en muchos casos por problemas de transporte estos residuos no son recogidos en tiempo y las unidades tabacaleras los entregan a la Empresa Comunes y allí son tratados como RSU. Sin embargo al ser utilizados en la producción de biogás se dejan de emitir gases a la atmósfera, estimados en unos **463 890 m³ CH₄/año**, se evita la degradación del residuo en el suelo y sus efectos, se obtiene energía y un fertilizante orgánico de buena calidad, pero también tiene efectos negativos al no ser de fácil degradación, se haría más costosa la tecnología y se deja de contar con un insecticida biológico de fácil obtención.

Residuos del procesamiento del arroz

Una parte de estos residuos es utilizada como alimento animal lo que no tiene efecto negativo sobre el medio ambiente pero la mayor cantidad es quemada causando la emisión de gases a la atmósfera y se dejan de incorporar nutrientes al suelo. Sin embargo, si se utilizaran como materia prima en la obtención de biogás se eliminarían los aspectos negativos antes mencionados, obteniendo gran cantidad de energía y

bioabonos dejando de emitir unos **352485 m³ CH₄** al medio cada año. También este residuo requiere de una tecnología más costosa pues no es de fácil degradación.

Residuos del procesamiento del café

El residuo proveniente de las despulpadoras de café en la actualidad es tratado en sistemas de tratamiento que reducen la carga contaminante antes de verterlo al medio, pero de alguna manera contaminan las aguas, tanto superficiales como subterráneas, por nutrientes y por organismos patógenos.

Al emplear estos residuos en la producción de biogás se evita la contaminación de las aguas, se produce un biofertilizante orgánico y se obtiene energía dejando de emitir unos **9334 m³ CH₄** al medio cada año.

Residuos Sólidos Urbanos

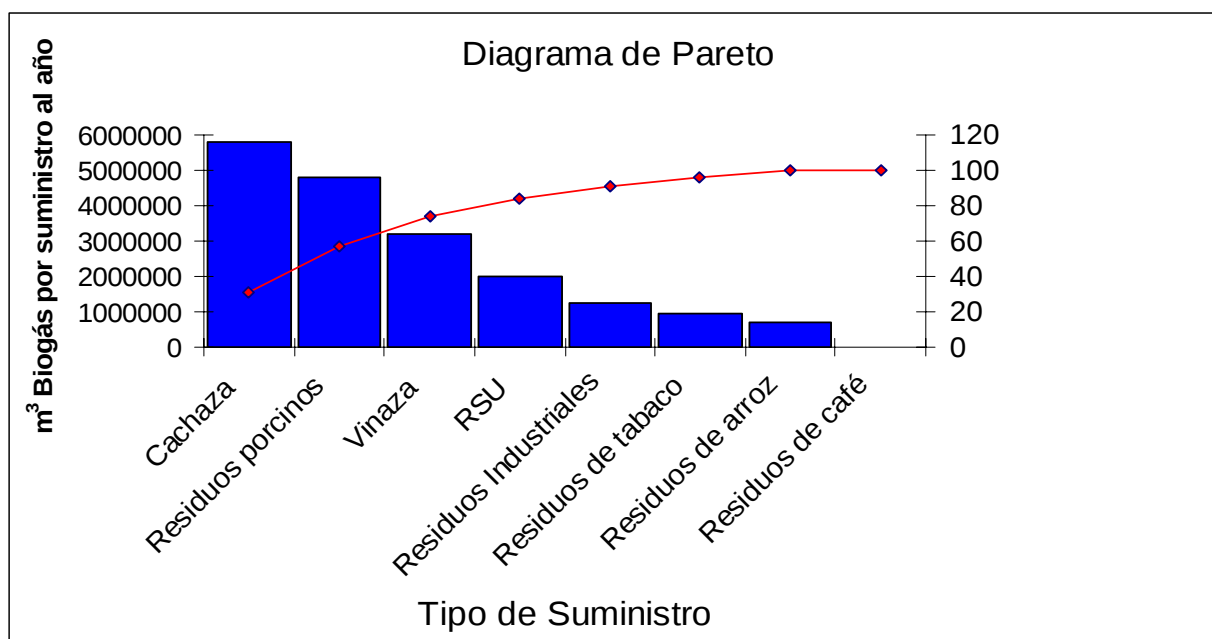
Estos residuos son muy numerosos en toda la provincia y sus volúmenes crecen constantemente, el destino que poseen los RS y el método inadecuado que existe en la actualidad para su tratamiento en el vertedero, no cumple los requisitos higiénicos sanitarios, ni las normas legisladas de recolección, almacenamiento, transportación, ni disposición final con los RSU, actualmente se depositan en el vertedero que atendiendo a su composición química y física representan un peligro potencial para el ecosistema debido a las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera y al suelo, provocando la proliferación de vectores y gran contaminación de las aguas.

Al aprovechar la fracción orgánica de este residuo, en la producción de biogás se eliminan los aspectos negativos antes mencionados, se obtiene un subproducto fertilizante de calidad excelente, que se puede utilizar como fertirriego y compost, para uso del sector agrícola, además se dejarían de emitir al medio **1 002 922 m³ CH₄ por año**.

Paso 3.2.2: Diferenciación de los suministros más importantes de los menos importantes

Para la realización de este paso se aplica el Diagrama de Pareto, utilizando su principio base, que el 20% de las fuentes causan el 80% de cualquier problema, el cual se representa en la Figura 3.2. El criterio fundamental que se debe tener en cuenta es la cantidad de biogás que se puede obtener en m³/año, con cada uno de los suministros.

Figura 3.2. Diagrama de Pareto para comparar los suministros



Fuente: Procesado en Microsoft Office Excel, 2003.

Después del análisis se puede concluir que el 80% de biogás que se puede obtener en la provincia es a partir del 20% de los suministros que serían en este caso: la cachaza, las excretas porcinas, la vinaza y los RSU.

Paso 3.2.3: Comparación entre los suministros

En este paso se comparan los suministros seleccionados como los más importantes para así establecer un orden de prioridad en su utilización para el fin propuesto, teniendo en cuenta criterios que según los expertos consultados.

Al aplicar el método de las Jerarquías Analíticas (AHP) (Saaty, 1980), propuesto en el capítulo anterior se obtienen los resultados siguientes:

1-Construcción de una jerarquía de decisión.

El nivel 1, perteneciente a los criterios se determinaron a través del trabajo con expertos y resultó que la cantidad de metano que se dejaría de emitir al ser usados en la producción de energía, la concentración y facilidad que puedan presentar en cuanto a su recolección y transportación, la tecnología, los m³ de biogás producido por t de residuo tratado y la facilidad de degradación son los criterios más importantes a considerar por los expertos para la comparación entre cada uno de los criterios y el nivel 2, perteneciente a los factores, está referido en este caso a los 4

suministros considerados como los más importantes, obtenidos en el paso anterior que serían: la cachaza, las excretas porcinas, la vinaza y los RSU.

2-Determinación de la importancia relativa de los atributos y subatributos.

La determinación de la importancia relativa de cada suministro en la producción de biogás, utilizando el método de trabajo en grupo para la determinación de la importancia relativa, de los factores y criterios, se realizó por la escala establecida por Saaty, (1980), y los expertos comparan por parejas de criterios cuánto es más importante uno que otro, teniendo en cuenta cada factor según la escala antes mencionada.

3- Determinación de la razón de inconsistencia.

Para que la consistencia sea superior al 90%, la razón de inconsistencia (RI) de los juicios de los expertos no debe ser igual o mayor que 0.1 según lo establecido por Saaty (1980), entonces la consistencia es aceptable.

Los resultados obtenidos se muestran en la matriz de Saaty, representada en el **anexo 12**.

Para seleccionar el mejor suministro, se tiene en cuenta la columna de la suma total, donde se puede concluir que el orden de prioridad de los diferentes suministros comienza por la vinaza, luego la cachaza, seguido de las excretas porcinas y finalmente los RSU.

3.1.4 Fase IV: Localización de plantas y determinación de eslabones de la cadena de aprovisionamiento

Para la localización final de una planta de biogás se desarrollan las etapas siguientes:

Etapas 4.1: Definición de alternativas de localización

En esta etapa se deben analizar las “localizaciones candidatas” que están dadas por los lugares cercanos a las mejores fuentes de suministro potenciales seleccionada en la fase anterior, que serían en este caso cerca de Destilería “Paraíso” y el de la Empresa Azucarera Melanio Hernández y la Uruguay, la Empresa de Productos Lácteos, la Empresa de Conservas, la Empacadora, los molinos de arroz de Las Nuevas y Tamarindo, el Secadero y la paja residual de la cosecha del CAI Arroceros

"Sur de Jíbaro" y las escogidas, despalillos y fábricas de Torcido de Fomento y Cabaiguán.

Etapla 4.2: Evaluación de alternativas (análisis detallado)

Para evaluar cada una de las alternativas antes mencionadas se deben tener en cuenta los factores de localización, a través de los cuales se va acotando la selección del lugar en que se localizarán las plantas productoras de energía.

En el caso que se analiza los factores críticos como la disponibilidad de mercado no existe ninguna de las posibles localizaciones en las que este factor pueda eliminarlas de la lista inicial, este factor es muy importante en la decisión de la localización final aunque en esta investigación lo dominan la cantidad de residuo y el volumen de gas que se puede obtener con cada uno de estas, pues teniendo en cuenta que se trata de producción de energía a partir del biogás, por tratarse de una fuente renovable de energía que genera además bioabonos capaces de sustituir agroquímicos causantes del deterioro de los suelos, tiene un mercado seguro para todos sus productos, independientemente del lugar que se seleccione. La energía eléctrica que se produzca en la futura planta debe ser alimentada al Sistema Electro energético Nacional (SEN) y esta operación se realiza a través de una subestación eléctrica y mientras más cerca esté la planta de la subestación y de los altos consumidores, menores serían la pérdidas por transmisión por la relación que existe entre Generación-Consumo, en este sentido vale aclarar que muy cerca de la Empresa Azucarera Melanio Hernández ubicado en el municipio Taguasco, existe una subestación eléctrica donde sería muy conveniente suministrar energía para el SEN y el más alto consumidor de la provincia está también en este municipio, que es la Fabrica de Cemento Siguaney.

Considerando los factores dominantes como la cantidad de residuos disponibles y el volumen de gas que se podría generar con cada uno de estos y se eliminan de la lista inicial al vertedero de La Sierpe, Fomento y Jatibonico, pues con respecto al total no son valores significativos.

En cuanto a los factores tangibles como los costos dados por una tecnología determinada, se puede plantear que los suministros que se evalúan, de manera general, son de fácil degradación. Según la propuesta de Barrera Cardoso (2007),

para los residuos analizados excepto los RSU, se puede usar la misma tecnología, la de Flujo Ascendente con Manto de Lodo (UASB), por lo que en el caso objeto de estudio solo traería diferencias en el precio de esta digestión anaerobia de los RSU.

Los factores Intangibles que incluyen las actitudes de la comunidad hacia la industria, la calidad y actitud de los empleados, así como otras variables, tales como: el clima, son aspectos no muy fáciles de cuantificar en las posibles localizaciones que se analizan solo se puede plantear que las posibles ubicaciones, se encuentran alejadas de las ciudades, solo existen en los alrededores de algunas de ellas pequeños asentamientos poblacionales, pero vale aclarar que en todos los casos hay fuentes de abasto de agua y de energía, para ser empleadas en la producción de biogás.

Los factores secundarios, como por ejemplo en este caso el orden de prioridad dado a cada suministro en la fase anterior también es importante, en la decisión final de la localización.

En resumen la localización del residual y el volumen de gas que se puede obtener con cada uno de ellos, como aspectos determinantes en la ubicación de la planta de biogás, la localización de los posibles consumidores energéticos y de las fuentes de abasto de agua y energía y el orden de prioridad de cada suministro dado anteriormente, son los factores más importantes considerados en esta investigación.

Etapas 4.3: Selección de la localización

El aplicar la técnica multicriterio y el método de preferencia jerárquica, para finalmente obtener un orden descendente o por prioridad de las 15 alternativas de localización se analizaron los criterios establecidos por los expertos, como las t/año de residuo existentes en cada lugar y los m³ de biogás que se pueden obtener con cada uno de ellos, la cercanía a los altos consumidores de la provincia, y el orden de prioridad dado a cada factor en la etapa anterior. El resultado obtenido muestra una igualdad de aceptación de las localizaciones en las cercanías de las unidades porcinas Cacahual y Carbo y la Empresa Azucarera Melanio Hernández (vinaza y cachaza, independientes) y Uruguay (cachaza).

Etapas 4.4: Determinar los eslabones de la cadena de aprovisionamiento de residuos orgánicos para una planta de biogás

En esta investigación se determinan los eslabones de la cadena de aprovisionamiento de una planta productora de biogás en las cercanías de la Empresa Azucarera Melanio Hernández, pues en las unidades porcinas Cacahual y Carbó ya se han realizado estudios de micro localización para la instalación de estas plantas, en el caso de las fábricas de azúcar la producción de energía a partir de la cachaza es un tema que está por estudiar, pues la misma solo se genera en tiempo de zafra y en estos momentos se están realizando experimentos en el laboratorio con este sustrato.

Los eslabones de la cadena de aprovisionamiento serían los siguientes:

- Compras de materias primas: Serían los residuos de la destilería y el agua residual de la producción de azúcar.
- Transporte: sería por tubería pues son residuos líquidos. Cada uno de ellos se transportan de manera independiente, pues es un requerimiento del proceso.
- Almacenamiento: llega la vinaza a los depósitos de recepción donde culmina el proceso de enfriamiento y las aguas residuales de la producción de azúcar son alimentadas directamente a la mezcla de vinaza con hidróxido de calcio para posteriormente realizar el suministro de los biodigestores.

Etapas 4.5 Precisión de la red logística correspondiente a la localización seleccionada

La red logística simplificada de aprovisionamiento de residuos para la producción de energía correspondiente a la localización seleccionada anteriormente, en las cercanías de la Empresa Azucarera Melanio Hernández, quedaría de la forma que se representa en el **anexo 13**.

El sistema logístico propuesto permite procesar volúmenes de residuos biodegradables generados, transportarlos y convertirlos en energía para ser entregada al SEN.

3.2 Conclusiones parciales

- 1) El procedimiento específico aplicado para la especificación del problema permite dar respuesta a la problemática planteada y conformando el equipo de trabajo, precisando el objeto de estudio y su alcance, los objetivos de trabajo, los miembros de la cadena de aprovisionamiento y el establecimiento del cronograma de trabajo.

- 2) El procedimiento específico aplicado para la evaluación y representación geográfica de las fuentes de suministro, permite identificar las alternativas satisfactorias de acuerdo a los criterios definidos por los expertos; calidad, volumen de residuo y la duración del mismo en meses del año resultando la Destilería "Paraíso" y el CAI "Uruguay" las mejores fuentes.
- 3) El procedimiento específico aplicado para determinar la importancia de cada suministro en la producción de biogás, facilitó la determinación de los suministros más importantes; resultando la cachaza, las excretas porcinas, la vinaza y los RSU y al aplicar el método AHP se puede concluir que el orden de prioridad de los diferentes suministros comienza por la vinaza, luego la cachaza, seguido de las excretas porcinas y finalmente los RSU.
- 4) Para evaluar las alternativas de localización se tuvo en cuenta a los factores de localización y el resultado obtenido muestra una igualdad de aceptación de las localizaciones en las cercanías de las unidades porcinas Cacahual y Carbó y la Empresa Azucarera Melanio Hernández (vinaza y cachaza, independientes) y la Uruguay (cachaza), pero en esta investigación se propone el caso cercano a Melanio Hernández.
- 5) Los eslabones de la cadena de aprovisionamiento de una planta productora de energía en las cercanías de la Empresa Azucarera Melanio Hernández, a través de la red logística propuesta permite procesar volúmenes de residuos biodegradables generados, transportarlos y convertirlos en energía para ser vendida al SEN.

CONCLUSIONES

A decorative graphic consisting of two horizontal lines, one green and one yellow, and a vertical green line that intersects them on the right side.

Conclusiones Generales

- 1) Existen varias herramientas metodológicas, en la bibliografía disponible para la selección de proveedores y la localización de instalaciones pero ninguna de ellas es específica para la plantas productoras de energía partiendo de residuos orgánicos por lo que se propone utilizar la establecida por Platea, (2006) y por Domínguez Machuca *et al.*, (1995), respectivamente con las adaptaciones necesarias.
- 2) En la provincia Sancti Spíritus existe un potencial de residuos biodegradables que se puede usar en la producción de energía pero se carece de herramientas metodológicas que permitan definir la red logística de la cadena de aprovisionamiento de estos para una futura planta de producción de energía.
- 3) El procedimiento específico aplicado para la especificación del problema permite dar respuesta a la problemática planteada y conformando el equipo de trabajo, precisando el objeto de estudio y su alcance, los objetivos de trabajo, los miembros de la cadena de aprovisionamiento y el establecimiento del cronograma de trabajo.
- 4) El procedimiento específico aplicado para la evaluación y representación geográfica de las fuentes de suministro, permitió identificar las alternativas más satisfactorias de acuerdo a los criterios definidos por los expertos; calidad, volumen de residuo y la duración del mismo en meses del año resultando la Destilería "Paraíso" y la Empresa Azucarera "Uruguay" las mejores fuentes.
- 5) El procedimiento específico aplicado para determinar la importancia de cada suministro en la producción de biogás, facilitó determinar los suministros más importantes resultando la cachaza, las excretas porcinas, la vinaza y los RSU y al aplicar el método AHP se puede concluir que el orden de prioridad de los diferentes suministros comienza por la vinaza, luego la cachaza, seguido de las excretas porcinas y finalmente los RSU.
- 6) El procedimiento general diseñado y aplicado permite definir la red logística de aprovisionamiento de residuos biodegradables para la producción de biogás con fines energéticos permitiendo procesar volúmenes de residuos biodegradables generados, transportarlos y convertirlos en energía para ser vendida al SEN en las cercanías de la Empresa Azucarera Melanio Hernández.

RECOMENDACIONES



Recomendaciones

- 1) Realizar estudios de laboratorio con todos los residuos analizados para determinar la cantidad real de sólidos totales, sólidos volátiles, materia orgánica y cantidad de metano que posee cada uno de ellos y la codigestión.
- 2) Realizar una investigación sobre el sistema de manejo de materiales a lo largo de todo el proceso de aprovisionamiento de residuos.
- 3) Continuar el perfeccionamiento del procedimiento general y los procedimientos de apoyo, para definir la red logística de la producción de biogás en varias plantas productoras de energía en la provincia Sancti Spíritus.
- 4) Extender la divulgación de los resultados de esta investigación a través de eventos científicos mediante la presentación de artículos científicos, como una vía de contribuir a la generalización de los resultados obtenidos y convertirla en un material de consulta para otras investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA



ANEXOS



Bibliografía

- 1) Abreu Ledón, R. (2004). Modelo y procedimiento para la toma de decisiones de inversión sobre el equipamiento productivo en empresas manufactureras cubanas. Tesis presentada en opción del Grado de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, Cuba
- 2) Alfonso Rubí, (2010). Documentos archivados en la empresa arrocera.
- 3) Anguix Alfaro, A. (2007). Introducción a los SIG. Consultado en diciembre de 2007 en <http://www.gvsig.gva.es/fileadmin/conselleria/images/Documentacion/ponencias/>
- 4) Asencio García, J. & Kalifa, K. (1994). Metodología para la toma de decisiones en un entorno competitivo en los modelos de producción - transporte. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara. *Informe de investigación terminada*.
- 5) Avaria Alvarado, M. (2006). "Compras y servicios de terceros". Publicado en <http://www.educacioncontinuausach.cl>
- 6) Ballou, H.R (1991). La logística empresarial, Control y Planificación. Ediciones Díaz Santos. Madrid.
- 7) Ballou, R. H. (2004). Logística: Administración de la cadena de suministro. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México
- 8) Barba-Romero, S. & Pomerol, J. C. (1997). Decisiones multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica, Colección de Economía. Universidad de Alcalá de Henares. España.
- 9) Barrera Cardoso (2007). "Propuestas tecnológicas para producir biogás con fines energéticos". Un estudio de caso en la granja Remberto Abad Alemán. Tesis presentada en opción al grado científico de Master en Ciencias. Universidad de Cienfuegos.
- 10) Bayos, M.A. y Benítez, M. A. (1994). Diccionario de Técnicas Económicas. Editorial Félix Varela.
- 11) Bendaña, R; del Caño, A. y de la Cruz, M. (2006). "Contractor selection for small building works in Hong Kong". Publicado en <http://www.aepro.com>.

- 12) Bermúdez, R. C. (1995): Aprovechamiento biotecnológico de residuos por Fermentación anaerobia en la obtención de biogás y otros metabolitos. Curso de postgrado. ESPOCH. Riomamba. Ecuador.
- 13) Bertolini, M. ; Bevilacqua, M. ; Braglia, M. y Frosolini. M. (2004). "An analytical method for maintenance outsourcing service selection".
- 14) Bosque Sendra, J. et al. (2006). Un nuevo modelo para localizar instalaciones no deseables: ventajas derivadas de la integración de modelos de localización-asignación y SIG. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas. Pp 1399-1413.
- 15) Braglia, M., Fantoni, G. y Frosolini, M. (2007) "The house of reliability". International Journal of Quality & Reliability Management. Vol. 24, No. 4, 2007. pp. 420-440.
- 16) Brinkman, J. (1999). Anaerobic digestion of mixed waste slurries from kitchens, slaughterhouses and meat processing industries. Proceedings of the II International symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste. Barcelona, Junio de 1999, pp. 190-191.
- 17) Buffa Elwood, S. (1981). Administración de Operaciones. La administración de sistemas productivos. Universidad de California, Los Ángeles (1ª Ed.), Editorial Limusa, D. F. México.
- 18) Campos Pozuelo, A. (2001). "Optimización De La Digestión Anaerobia De Purines De Cerdo Mediante Codigestión Con Residuos Orgánicos De La Industria Agroalimentaria". Tesis para optar al grado de Doctor Ingeniero Agrónomo por la Universitat de Lleida.
- 19) Carballal, J.M. (1998). Proyecto PNUD\FAO CUBA 91-011. Estudio Económico: Cuba. 21.
- 20) Cespón Castro, R, Orellana A M (2003). Administración de la Cadena de Suministros. Manual para estudiantes de la especialidad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnología Centroamericana UNITEC.
- 21) Chase, R. B.; Aquilano, N. J. & Jacobs, F.R. (2000). Administración de Producción y Operaciones. Manufactura y Servicios (8ª Ed.). Editorial Mc Graw Hill Interamericana, S.A., Santa Fe de Bogotá, Colombia

- 22)Colectivo Ecologista Guelaya de Melilla (2009). RESIDUOS: la oportunidad desaprovechada consultado Mayo 2009 en <http://www.guelaya.org/politica/residuos/residuos.htm>
- 23)Contreras Velásquez (2001). Evaluación de los residuales líquidos Pasteurizadora, Sancti Spíritus.
- 24)Contreras Velásquez (2006). "Producción de biogás con fines energéticos de lo histórico a lo Estratégico" Publicado en Revista Futuros No. 16, Vol. IV Consultado abril 2009 en <http://www.revistafuturos.info>
- 25)Cruz Martínez (2007). "Cómo lograr el éxito en el despliegue de un proyecto de Outsourcing TI". Publicado en <http://www.baquia.com/noticias.php?id=11886>
- 26)CSCMP (2006). *Supply Chain and Logistics Terms and Glossary. Council of Supply Chain Management Professional.* En <http://www.cscmp.org/Downloads/Resources /glossary03.pdf>.
- 27)DESELAC, 2009. "CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DEL ARCHIPIÉLAGO CUBANO Y DIAGNÓSTICO DE LA DESERTIFICACIÓN Y LA SEQUÍA" Consultado Abril 2009, en <http://www.medioambiente.cu/deselac/pancap13.htm>
- 28)Diéguez Mantellán (2008). "Contribución a la planificación de servicios complementarios extrahoteleros en destinos turísticos. Aplicación Varadero". Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad deMatamzas.
- 29)Dinsdale, R.M., Premier, G.C., Hawkes, F.R., Hawkes, D.L.(2000). Twostage anaerobic codigestion of waste activated sludge and fruit/vegetable waste using inclined tubular digesters. Bioresource technology. Vol. 72. pp. 159-168.
- 30)Domínguez Machuca, J. A. et al. (1995). Dirección de operaciones: aspectos tácticos y operativos. Editorial Ariel, S.A., Barcelona, España
- 31)Domínguez et al. (2008). Situación ambiental provincia Sancti Spíritus. Editorial Feijóo, Universidad Central de Las Villas, Villa Clara, Cuba. ISBN: 978 959 250 3908.

- 32)Edelmann, W., Engeli, H., Graddenecker, M. (1999). Codigestion of organic solid wastes and wastewater. Proceedings of the II International symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste. Barcelona, Junio de 1999.
- 33)EMC, (2009). Enciclopedia: "El Mundo de la ciencia" (Editorial Salvat). Tomo 9. Consultado en mayo de 2009 en <http://html.rincondelvago.com/energia-hidraulica.html>
- 34)Espineira, P (2003). R.. BIOGÁS FAMILIAR: MAS DE 11 AÑOS DE EXPERIENCIA y RESULTADOS. XV FORUM PROVINCIAL DE CIENCIA Y TÉCNICA. Sancti Spíritus. Cuba.
- 35)Felipe Valdés, P. (2001). Logística del aprovisionamiento; Técnicas cuantitativas para su gestión.
- 36)Fernández Sánchez, E (1999). "Metodología de bajo costo para disminuir la concentración de $H_2S_{(g)}$ en el biogás". Tesis de presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad de la Habana.
- 37)Fernández Sánchez, E (2008). "Cuba prepara planta para producir biogás de vertedero basura". Consultado en Mayo 2009 en: <http://www.radiolaprimerisima.com/noticias/alba/30334>
- 38)Fernández Sánchez, E. (1993). Dirección de la Producción I. Fundamentos Estratégicos. Editorial Civitas, S.A., España
- 39)Fernández, R. (2006). Outsourcing, Estrategia empresarial del presente y futuro. Consultado en Noviembre de 2008 en <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/outscng.htm>
- 40)Forslund, H. (2006). "Supplier Selection. A Study of the Supplier Selection Process within the Sporting Goods Manufacturing Industry" Tesis presentada en opción al grado académico de Máster en Administración Logística. Universidad de Vaxjo. Suecia.
- 41)Gaither, N. & Frazier, G. (2000). Administración de producción y operaciones. Editores Internacional Thomsom, México

- 42)García Machado, J. y Padilla Garrido, N. (2001). "La selección de proveedores internacionales". Publicado en <http://www.revistasice.com/estudios/Documen/bice/2691/BICE26910301.PDF>
- 43)Gomes, L. F. A. M. & Duarte, A. (1991). Una evaluación de proyectos con múltiples criterios. Produção. Vol. 2, no. 1, octubre de 1991. pp 5-19.
- 44)Greenpeace (2009). Organización ambientalista conocida por sus actividades. Incluye información sobre proyectos, problemáticas actuales y medio ambiente. "Energías renovables". Consultado abril 2009 <http://www.greenpeace.org/mexico/campaigns/energ-a-y-cambio-climatico/energ-as-renovables>
- 45)Grupo Urbaser Kiasa (KDM) (2009). ¿Qué tipos de residuos existen? Consultado mayo 2009 en <http://www.kdm.cl/index.php/tiposderesiduos/31-tiposderesiduos/17-quetiposderesiduosexisten.html>
- 46)Grupo Urbaser Kiasa (KDM) (2009). ¿Qué tipos de residuos existen? Consultado en mayo de 2009 en <http://www.kdm.cl/index.php/tiposderesiduos/31-tiposderesiduos/17-quetiposderesiduosexisten.html>
- 47)Heizer, J. y Render, B. (2005). Principles of operations management (6ª Ed.). Editorial Prentice Hall
- 48)Hermida García O., López González L. (2006) Diseño y evaluación de un biodigestor para obtener gas metano y biofertilizante a partir de la fermentación de cachaza y residuos agropecuarios. X Taller Nacional con participación extranjera: "Actualización y perspectiva para la producción de biogás en cuba". Sancti Spíritus.
- 49)Hernández Maden, R. (1997). Buscando un mejoramiento continuo. Logística Aplicada. Sociedad Cubana de Logística: no. 2 año 1997. La Habana. pp 25-32.
- 50)Hernández Torres, M. (1998). Procedimiento de diagnóstico para el control de gestión aplicado en una industria farmacéutica. Tesis presentada en opción del Grado de Doctor en Ciencias Técnicas. ISPJAE. Ciudad de La Habana, Cuba.

- 51)Hernández, C. A. Segundo Forum Nacional de Energía. Biogás, Comisión Nacional de Energía (CNE). 1990.
- 52)Hillier, J. y Lieberman, G. J. (1995). Introducción a la investigación de operaciones. 5ta Edición. Mc Graw Hill. México.
- 53)Hohlfeld Sasse (1986) Use of Digested slurry from Biogas Plants. Biogas Forum.
- 54)Hwang, K., Shin, E. y Choi, H. A mechanical pretreatment of waste activated sludge for improvement of anaerobic digestion system. Water Science and Technology. 36, 12, 111 - 116. 1997.
- 55)Hwang,C. y Yoon,K. (1980). Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications Survey; Springer Verlag.
- 56)ICIDCA-GEPLACEA-PNUD. Manual de los derivados de la caña de azúcar. 2da edición. Colección GEPLACEA. Serie Diversificación. 1990.
- 57)INDICADORES SOCIOECONÓMICOS DE CUBA (2003). Revista Panorama Económico y Social de Cuba. Sitio web: www.medioambiente.cu/download/2003/Indicadores%20socioecon%F3micos.pdf
- 58)Índices Internacionales (2006). X Taller Nacional de Biogás con participación extranjera, Sancti Spíritus.
- 59)Juran, J. M. & Gryna Fronk, M. (1993). Manual de control de la calidad. (4ª Edición). Editorial Mc Graw Hill, México
- 60)Juran, J. y Blanton, A. (2001). "Manual de Calidad de Juran". Quinta edición. Edit. Mc Graw-Hill.
- 61)Kellner, C. (1990). Slurry, the difficult advantage. Biogas Forum (40): 4-7,.
- 62)Kim HW, Han SK, Shin HS. The optimisation food waste addition as a co-substrate in anaerobic digestion of sewage sludge. Waste Manag Res. 2003 Dec; 21 (6):515-526.
- 63)Knaebel K. (2006). Evaluierung des Biogaspotenzials der kubanischen Provinz Sancti Spíritus. Trabajo de Diploma. Fachhochschule fur Technik und Wirtschaft Berlín. University of Applied Sciences. Berlín

- 64)Krajewski, L. J. & Ritzman, L. P. (2000). Administración de operaciones. Estrategia y análisis (5ª Ed.). Editorial Pearson Educación, México
- 65)Lash, R y Janker, C.G. (2005). "Supplier selection and controlling using multivariate analysis" Rev. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. Vol. 35 No. 6, pp. 409-425, disponible en <http://www.emeraldinsight.com/0960-0035.htm>
- 66)Linke, B. ; Schelle , H (2000). Solid State Anaerobic Digestión of Organic Wastes.
- 67)López González, Contreras Velásquez; Romero Romero, (2005). "Estimación de la producción de biogás con fines energéticos en la provincia Sancti Spíritus" Evento Internacional "Entorno Agrario" Centro Universitario José Martí Pérez Sancti Spíritus.
- 68)López Torres (2000). Procedimiento de pre-tratamiento para mejorar la digestión anaerobia de residuos sólidos. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas. CNIC. Ciudad de la Habana.
- 69)López Torres, (2004). Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 35, No. 1, 2004. DESARROLLO TECNOLÓGICO EN LA GESTIÓN INTEGRAL
- 70)Luis Rico (2007). "La generación del biogás y los residuos". Departamento de Ingeniería Química y Química Inorgánica de la Universidad de Cantabria (UC)
- 71)Mähnert P and Bernd Linke (2006). Biogas production from energy crops in Germany. X Taller Nacional CON PARTICIPACIÓN EXTRANJERA: "ACTUALIZACIÓN Y PERSPECTIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS EN CUBA". Sancti Spíritus.
- 72)Marchain, U (1992). Biogas Processes for Sustainable Development. Bull.FAO Agric. Services, Rome, 95. pp.165-193.
- 73)Marrero Delgado (2001). Procedimientos para la toma de decisiones logísticas con enfoque multicriterio en la cadena de corte, alza y transporte de la caña de azúcar. Aplicaciones en CAI de la provincia Villa Clara. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias técnicas. ISPJAE, Cuba
- 74)Marrero Delgado, et al. (2000). Diagnóstico y mejoramiento de la cadena logística de corte, alza y tiro de la caña de azúcar. *Informe de Investigación Terminada.*

- 75)Marrero Delgado, et al. (2000). Modelos matemáticos monocriterios para la gestión de la cadena logística de corte, alza y tiro de la caña de azúcar. *Informe de Salida del Proyecto CITMA Territorial 010906: Toma de decisiones con óptica multicriterio aplicada a la solución de problemas logísticos en la industria azucarera cubana.*
- 76)Marrero Delgado, F. et al. (2000). Aplicación de técnicas matemáticas en la formulación de piensos par cerdos. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Santa Clara. *Informe de Investigación Terminada.*
- 77)Material de estudio (2006). La Revolución energética en Cuba. – Antecedentes, líneas estratégicas de desarrollo. Marzo – abril de 2006.
- 78)Mathur, K. & Solow, D. (1996). Investigación de operaciones. El acto de la toma de decisiones. Prentice Hall Hispanoamericana S.A. Méjico. p.978.
- 79)MINAZ (2009). Datos buscados en la Delegación Provincial del MINAZ en Sancti Spíritus.
- 80)Monks Joseph, G. (1991). Administración de Operaciones. Editorial Mc Graw Hill, D. F., México
- 81)Moreno Jiménez, A. & Bosque Sendra, J. (2006). Sistemas de Información Geográfica y localización óptima de instalaciones y equipamientos. Editorial Ra – Ma. España Consultado noviembre de 2007 en <http://www.agapea.com/Sistemas-de-Informacion-Geografica-y-localizacion-optima-de-instalaciones-y-equipamientos--n34376i.htm> .
- 82)NC-ISO 9000 (2001). “Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario”. Oficina Nacional de Normalización (ONC), Ciudad de La Habana, Cuba.
- 83)Obaya Abreu, et al (1999). Biogás de residuos ICIDCA. Manual de derivados de la caña de azúcar: ABIPTI.
- 84)Obaya Abreu, et al (2004). Tratamiento combinado de las vinazas de destilería y residuales azucareros en reactores UASB. Revista Tecnología del agua. Nro 249. pp 78-85.
- 85)ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS) (1999). Hantavirus en las Américas: Guía para el diagnóstico y tratamiento, la prevención y el control.

- Washington, DC. Consultado abril 2009 en <http://www.noticias24horas.buenosdiasplaneta.org/descargas/r3/residuosorg.htm> - 6k
- 86) Oriá Gómez (2007). Estimación del potencial de biomasa y biogás en el sector cooperativo y campesino de la provincia de Sancti Spíritus. III Simposio Internacional Sociedad Turismo y Desarrollo Humano. Sancti Spíritus, Noviembre 2007.
- 87) Outsourcing Institute (2006) "Top Ten Outsourcing Survey. Executive Survey: The Outsourcing Institute's Annual Survey of Outsourcing End Users". http://www.outsourcing.com/content.asp?page=01b/articles/intelligence/oi_top_ten_survey.html
- 88) Paleneeswaran & Kumaraswamy (2000)) (Referenciados en Yiu, Lo, Thomas Ng, Ng, 2002)
- 89) Palmero Bravo (2006). "Valoración medioambiental del uso de los residuos orgánicos de la provincia Sancti Spíritus para producir biogás con fines energéticos". Tesis para optar por el título de Ingeniero Industrial. CUSS.
- 90) Parada Gutiérrez, O. (Sin fecha). "Desarrollo y aplicación de un modelo operacional para la gestión de aprovisionamiento hotelera". Publicado en <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/aprovhotel.htm>
- 91) Pérez Goróstegui, E. (1991). Economía de Empresa. Centro de Estudios Ramón Areces, S.A. España
- 92) Prévez P L, Fernández Kaba C M, Bango de V.G, Bello M A, Oliva (1999, 2000). Informe de Proyecto: Obtención de biogás a partir de los residuales de la industria del Cítrico. IICF.
- 93) Pudenci Furtado, G.A. (2005) "Critérios de selecao de fornecedores para relacionamentos de parceria. Un estudio em empresas de grande porte". Tesis presentada en el grado de Master en Administración. Universidad de Sao Pablo. Brasil.
- 94) Ramos Acebedo (2010). Documentos archivados en la empresa arrocera, Sancti Spíritus.
- 95) Ríos Orellana (2010). Documentos Archivados en la Dirección Provincial de la Agricultura, Sancti Spíritus.

- 96) Romero Romero (1997). Evaluación técnico económica de diferentes variantes para cogenerar en un central con destilería anexa Tesis para optar por el grado científico de Master en Ciencias en eficiencia energética y Diseño térmico. Universidad de Cienfuegos.
- 97) Romero Romero (2005) “Metodología para incrementar el aporte de electricidad con bagazo y alternativa de combustible para generar fuera de zafra”. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. UCLV.
- 98) Romero, C. (1993). Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones. Editorial Alianza, Madrid, España
- 99) Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill.
- 100) Saaty, T. L. (1995). Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. RWS Publications, 3^d edition. Pittsburgh.
- 101) Salvendy, G. (1982). Handbook of Industrial Engineering. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, Cuba.
- 102) Sánchez Amador (2007). “Procedimiento para la toma de decisiones en la selección de proveedores de mantenimiento en la empresa de productos lácteos “La Villareña”. Tesis para optar por el título de Ingeniero Industrial. UCLV.
- 103) Sánchez, J. R. (2005). “Introducción a la producción de biogás”. Centro Cristiano de reflexión y dialogo. Cárdenas Matanzas. Cuba.
- 104) Sarache, W. A; Hoyos Montoya, C. y Burbano J., J. (2004). “Procedimiento para la evaluación de proveedores mediante técnicas multicriterio”. Publicado en www.utp.edu.co
- 105) Saure Rodríguez (2008), “Análisis del consumo de energía eléctrica en la provincia de Sancti Spíritus”. CD ROM, VI Conferencia Internacional de Ciencias empresariales. Santa Clara 2008. ISBN: 978-959-250-417-2
- 106) Savran, V. (2005). “Una solución energético – ambiental para reducción de contaminantes agropecuarios, como contribución al manejo integrado de la cuenca Zaza”. Tesis presentada en opción al título académico de Master en

- Gestión Ambiental y Protección de los Recursos Naturales. Universidad Camilo Cienfuegos. Matanzas.
- 107) Schreiter, D. et al. (1968). Die Operations ferschung, Arbeitsweise und Anwendungen in der Praxis. VEB Verlang Die Wirtschaft, Berlín.
- 108) Schroeder, R. (1992). Administración de operaciones. (9° Edición). Editorial Mc Graw Hill. Interamericana, D. F., México
- 109) Schroeder, R., (1992). Administración de operaciones. (3° Edición). Editorial Mc Graw Hill. Interamericana, D. F., México.
- 110) Siegel, S. (1972). Diseño experimental no paramétrico. Editorial Revolucionaria, La Habana.
- 111) Sonmez, M (2006) "A Review and Critique of Supplier Selection Process and Practices" Universidad de Loughborough. Reino Unido.
- 112) Soto Vidal, Y (2006) "Procedimiento para la Toma de Decisiones en la Tercerización del Mantenimiento. Aplicación en la Empresa Gráfica de Villa Clara". Trabajo de Diploma. Universidad Central de las Villas. Villa Clara. Cuba.
- 113) Taboada Rodríguez, C. (1990). "Organización y Planificación de la Producción. (Parte I) Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, Cuba
- 114) Taha, H. A. (1998). Investigación de operaciones. Quinta Edición. Alfaomega grupo Editor, S.A de C. V.
- 115) Thomas, E. (2002). Strategy is diferent in service Business. Harvard Business Review. Vol. 56
- 116) Turrini, Enrico (2006). El camino del Sol. Editorial CUBASOLAR.
- 117) Urtasun Alonso (2004). Estrategia de localización fundacional. Análisis empírico de la industria de hoteles de Madrid.
- 118) Valdés Delgado, A. (2002). Tratamiento anaeróbico de productos residuales para la producción de biogás. Revista ATAC Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba. No 2.
- 119) Valenzuela (2006). "Selección de proveedores". Publicado en <http://www.diariopyme.cl/newtenberg/1834/article-72264.html>

- 120) Valeria Adler, E. y Oscar Adler, M. [2003]. "Outsourcing y Productividad".
Publicado en
http://www.cema.edu.ar/productividad/download/2003/Adler_Adler.pdf
- 121) Vallhonrat y Corominas Subias (1991). Localización, distribución en planta y
manutención. Editorial FOINSA. Barcelona, España
- 122) Velarde Sosa (2004). "Producción y Aplicación de compost"
- 123) Waste (2009). Magazine Naturaleza, Ciencia, Medio Ambiente "Residuos
tóxicos y peligrosos" consultado mayo 2009 en
<http://waste.ideal.es/residuostoxicos.htm>.
- 124) Weiland, P. (2003). One and two step anaerobic digestion of solid
agroindustrial residues. Water Science and Technology.
- 125) Yiu, C.; Lo, S.; Ng, T. y Ng, M. (2002). "Contractor selection for small
building works in Hong Hong". Publicado en <http://www.emeraldinsight.com>

ANEXOS

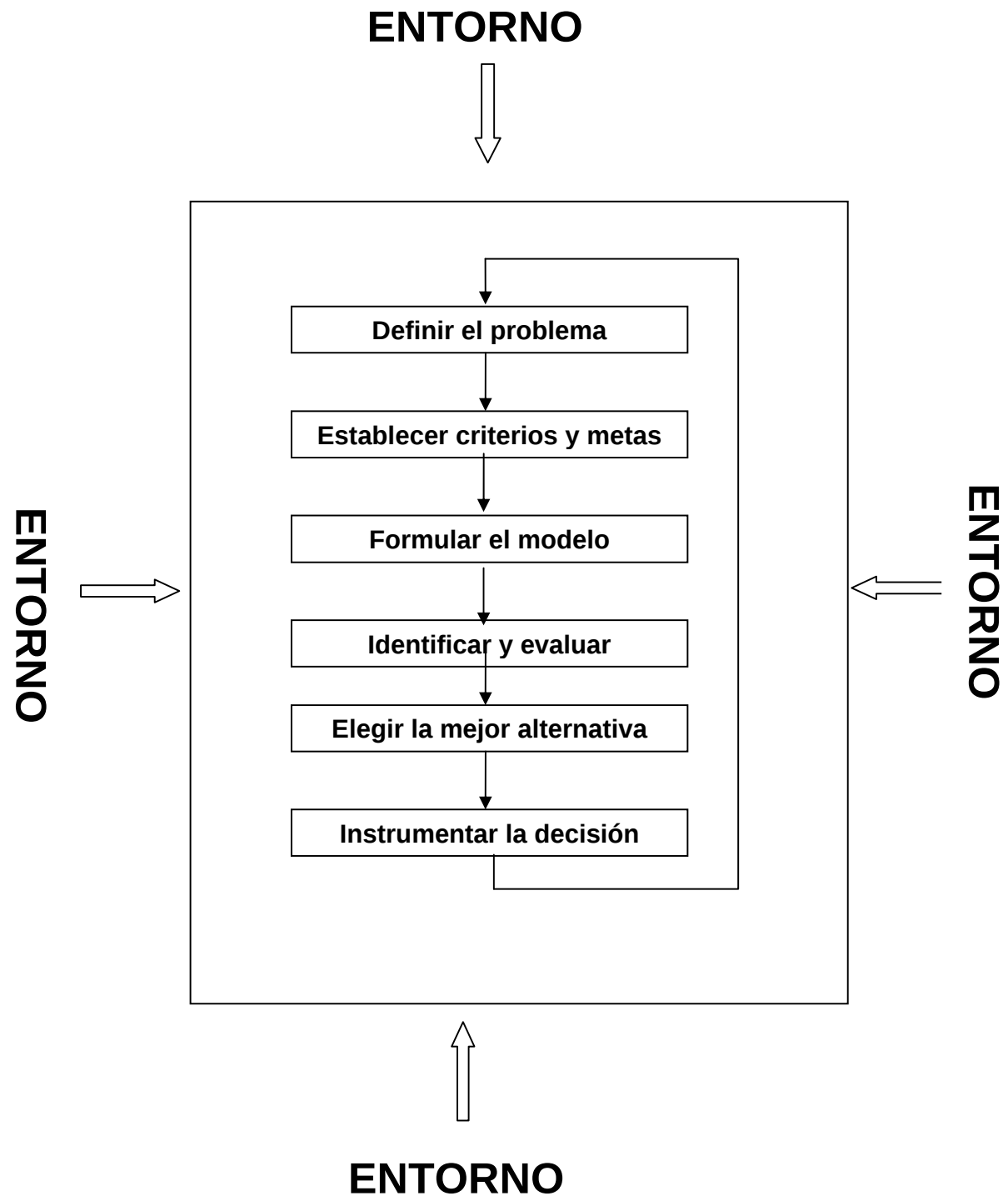


Anexo 1. Clasificación de los métodos multicriterio atendiendo al carácter múltiple de los objetivos, metas y atributos

Carácter múltiple de:	Métodos
Objetivos	Programación Multiobjetivo
	Extensiones de la Programación Multiobjetivo
	Programación Compromiso
Metas	Programación por Metas
	Extensiones de la Programación por Metas:
	Programación por Metas MINIMAX
	Programación Multimetas
Atributos	Modelos no compensatorios
	Dominación
	Satisfacción (conjuntiva y disyuntiva)
	Lexicografía
	MaxiMin
	MaxiMax
	Modelos compensatorios
	Utilidad Aditiva
	Utilidad Configural

Fuente: Marrero Delgado, 2001.

Anexo2. Proceso de toma de decisiones



Fuente: Marrero Delgado (2001)

Anexo 3. Procedimientos para la toma de decisiones de localización

Carrol y Dean (1980)¹	Fernández Sánchez (1993)	Woithe y Hernández Pérez (1986)	Bitel y Ramsey (2001)	Hopeman (1991)	Pérez Goróstegui (1991)
Análisis por áreas geográficas • Región de mercado • Subregión • Comunidad • Sitio	Selección de un emplazamiento • Decisión de ubicar dentro o fuera del país • Selección geográfica • Análisis de provincias específicas • Selección del sitio	Introduce 4 fases • Planificación territorial • Macro localización • Micro localización • Proyección del plan general	Localización de la empresa • Área general de preferencia (país, regiones, estados, condados, ciudades) • Selección del emplazamiento (parcelas de terrenos individuales)	Proceso de decisión • Consideraciones regionales • Elección de la comunidad • Elección del local	Análisis por problemas de localización
Salvendy (1982)	Domínguez Machuca <u>et al.</u> (1995)	Heizer y Render (1997, 2005)	Gaither y Frazier (2000)		Everett y Ebert (1991)
Proceso de decisión de la Localización • Análisis preliminar • Análisis de localización (área) • Selección del sitio	Etapas • Análisis preliminar • Búsqueda de alternativas • Evaluación de alternativas • Selección de la localización	Menciona solo 4 métodos de evaluación de alternativas	Selección de una ubicación Secuencia de decisiones donde se pueden incluir las de los niveles geográficos • En qué parte del mundo • Decisión de tipo regional • Decisión en nivel comunidad • Decisión de localidad		Etapas: • Estudio preliminar • Análisis detallad

Fuente: Diéguez Mantellán, 2008.

¹ Citado por Chase, Aquilano & Jacobs (2000)

Anexo 4. Clasificación de los métodos de localización

Autor	Clasificación	Métodos
Buffa (1981)	1. Modelos para la localización de una planta	• Modelo de Brown & Gibson
	2. Efectos de la inversión de capital y del volumen	• Punto de equilibrio
	3. Localización de varias plantas	• Programación lineal (Matriz de distribución, Método de transporte)
	4. Localización en el extranjero	• Simulación • Heurístico • Técnica de ramificación y acotación
Everett & Ebert (1991)	1. Modelos cuantitativos	• Modelo matemático
	2. Según problemas de localización	• Mediana simple • Programación lineal Simulación
Pérez Goróstegui (1991)	Según problemas de localización:	
	1. Instalaciones independientes	• Método de los factores ponderados
	2. Varios almacenes y fábricas independientes	• Programación lineal
	3. Centros comerciales	• Modelo de Huff
Buffa (1981)	5. Modelos para la localización de una planta	• Modelo de Brown & Gibson
	6. Efectos de la inversión de capital y del volumen	• Punto de equilibrio
	7. Localización de varias plantas	• Programación lineal (Matriz de distribución, Método de transporte)
	8. Localización en el extranjero	• Simulación • Heurístico • Técnica de ramificación y acotación
Salvendy (1982)	1. Procedimientos de ubicación	• Procedimiento general de ubicación
	2. Cuantitativos	• Centro de gravedad • Programación lineal
	3. Otros métodos	• Método de Monte Carlos • Método de programación heurística

Anexo 4 Continuación		
Autor	Clasificación	Métodos
Everett & Ebert (1991)	1. Modelos cuantitativos	• Modelo matemático
	2. Según problemas de localización	• Mediana simple • Programación lineal Simulación
Pérez Goróstegui (1991)	Según problemas de localización: 3. Instalaciones independientes	• Método de los factores ponderados
	4. Varios almacenes y fábricas independientes	• Programación lineal
	3. Centros comerciales	• Modelo de Huff
Ballou (1991, 2004)	1. Modelos para la localización de un solo elemento en la red	• Método de Weber • Método de la Cuadrícula
	2. Modelos para la localización de varios almacenes.	• Análisis de agrupación • Modelo algorítmico • Mini modelo analítico • Uso combinado de la programación entera y la programación lineal • Simulación y muestreo • Métodos heurísticos (Modelo Kuehn-Hamburger y Modelo DISPLAN)
	3. Centros de servicio y puntos de venta	• Lista compensada de factores • Modelo de gravedad (Huff) • Análisis de regresión
Vallhonrat & Corominas Subias (1991)	Según la complejidad de los modelos y las técnicas a utilizar	
	1. Problemas en espacio continuo o discreto	
	2. Problemas de localización de una o varias instalaciones	
	3. Problemas de localización con o sin interacción	

Anexo 4 Continuación		
Autor	Clasificación	Métodos
Schroeder (1992)	1. De clasificación aditivos o multiplicativos	• Modelo aditivo o multiplicativo de puntaje
	2. De simulación o transporte	• Matriz de transporte de programación lineal (Programación lineal con una estructura espacial)
	3. Ubicación de comercios competitivos.	• Modelo de Huff
Domínguez Machuca <u>et al.</u> (1995)	1. Exactos	• Factores ponderados • Centro de gravedad • Media geométrica • Gráficos de volumen, ingresos y costos • Electra I • Método del transporte, programación dinámica o programación entera
	2. Heurísticos	• Heurística de Ardalan
	3. Simulación	• Simuladores
	4. Ubicación de una sola instalación	• Preferencia jerárquica • Factores ponderados
	5. Ubicación de varias instalaciones	• Método del transporte
	6. Localización de tiendas minoristas	• Análisis de regresión estadístico • Ley de gravitación de comercio • Modelo de Huff
Chase, Aquilano y Jacobs (2000)	1. Por niveles geográficos: en apoyo al macro análisis	• Clasificación de factores • Programación lineal • Centro de gravedad
	2. Métodos para la toma de decisiones más complejas	• Método Delphi
	3. Para la ubicación de instalaciones de servicio	• Modelación por regresión • Procedimiento heurístico de Ardalan
Fernández Sánchez (1993)	1. Con valoración objetiva de los factores intangibles	
	2. Sin valoración objetiva de factores	• Modelo jerárquico de localización, factor preferencial

Anexo 4 Continuación		
Autor	Clasificación	Métodos
Gaither & Frazier (2000)	1. Por tipos de instalaciones y sus factores de ubicación dominantes	
	2. Análisis de ubicación de menudeo y otros servicios	
	3. Análisis de ubicaciones para instalaciones industriales	
	4. Integración de factores cuantitativos y cualitativos	
Krajewski & Ritzman (2000)	1. Métodos de enfoques sobre la base de factores cualitativos	• Método del puntaje ponderado
	2. Modelos de enfoques sobre la base de factores cuantitativos	• Método de carga-distancia • Análisis del punto de equilibrio • Método del transporte
	3. Otros métodos	• Simulación • Heurísticos • Optimización
MIT (2001)	1. Problemas clásicos de localización en redes.	• Problemas de media • Problemas de centro • Problemas de requisitos
	2. Colas espacialmente distribuidas con dos servidores y n servidores	• Modelo de colas “hipercubo” de 2 servidores • Modelo de colas “hipercubo” de n servidores
	3. Otras aplicaciones de estos métodos.	• El problema del camino más corto, (utilizando el algoritmo etiquetado de nodos de Dijkstra) • El problema del árbol de expansión mínima (MST) • Problema del viajante de comercio • Problema del cartero chino • Método de Crofton

Anexo 4 Continuación		
Autor	Clasificación	Métodos
Seppalla (2003)	1. Modelos Normativos	• Basados en el centro de gravedad • De programación lineal • De simulación • Heurísticas (Método ,de Kuehn y Hamburger (1963))
	2. Descriptivos	• Teoría del lugar central • De gravedad
	3. Competencia espacial	
Trespalacios (s.a)	1. Métodos fundamentados en la analogía	• Métodos fundamentados en la analogía
	2. Análisis de regresión múltiple	• Análisis de regresión múltiple
	3. Modelos generales de interacción	• Ley de gravitación del comercio al detalle • Modelo de Huff

Fuente: Diéguez Mantellán, 2008.

Anexo 5. Características fundamentales de los métodos de localización de instalaciones

Método	Condiciones/objetivos	Expresión y variables de cálculo
Modelo de factores ponderados	Se utiliza para localizar una instalación. Puede analizar tanto factores cuantitativos como cualitativos.	$S_j = \sum_{i=1}^m W_i F_{ij}$ Donde: S_j: puntuación global de cada alternativa j W_i: es el peso ponderado de cada factor i F_{ij}: es la puntuación de las alternativas j por cada uno de los factores i
Exponencial	Puede analizar tanto factores cuantitativos como cualitativos	$S_j = \prod_{i=1}^m F_{ij}^{w_i}$ $j = 1, \dots, n.$ Donde: S_j: puntuación global de cada alternativa j W_i: es el peso ponderado de cada factor i F_{ij}: es la puntuación de las alternativas j por cada uno de los factores i
Preferencia jerárquica	Evaluaciones de una alternativa respecto a un criterio si supera un nivel mínimo de puntuación exigido. Puede analizar tanto factores cuantitativos como cualitativos	No tiene establecida una expresión de cálculo. Se sustenta en aceptar (A) o rechaza (R) alternativas teniendo en cuenta las puntuaciones de los factores considerados.

Anexo 5 Continuación		
Método	Condiciones/objetivos	Expresión y variables de cálculo
Calificaciones relativas agregadas	Se llega a una calificación relativa para cada una de las alternativas. Puede analizar tanto factores cuantitativos como cualitativos	
Transporte ¹	Determina el mejor patrón de embarque desde varios puntos de suministros (fuentes) a varios puntos de demandas (destinos). • Destinos y orígenes finitos que demandan y requieren los recursos respectivamente • Recursos homogéneos (de demanda y oferta) • Costo unitario constante y conocido de asignar recursos del origen al destino	Para trabajar con este método se emplea i: posibles localizaciones de centros de producción, desde 1 hasta m j: posibles centros de consumo, desde 1 hasta n C_{ij}: costo unitario de distribución desde el centro de producción i hasta el centro de consumo j D_j: demanda del centro de consumo j E_i: número de unidades producidas que se disponen en el centro de producción i X_{ij}: número de unidades de producto que se deben enviar desde cada centro de producción i hasta cada centro de consumo j
Sistema de simulación por computadoras	Sistemas de canales múltiples, donde se requiera disminuir los costos de operación; maneja problemas muy complejos.	

13 Este método tiene sus variantes: esquina noroeste, problema de transporte balanceado (oferta = demanda), las asignaciones se realizan siempre a partir de la celda ubicada más al noroeste de la tabla; método de Vogel, Problema de transporte balanceado, las celdas con mayores valores de castigo (diferencia entre los dos costos menores en la columna o fila) son las primeras en asignarle valores.

Anexo 5 Continuación		
Método	Condiciones/objetivos	Expresión y variables de cálculo
Modelo lineal de ordenamiento (Método Húngaro)	Este método se utiliza cuando la nueva fábrica se debe instalar en un lugar que depende de las relaciones de cooperación que esta posea con otras fábricas vecinas que estén instaladas. El procedimiento de este problema se basa en la reducción de los costos de transporte en primer lugar, los costos de preparación del territorio pasan a un segundo plano o no son considerados según sea la magnitud de los primeros. Su solución plantea seleccionar aquel lugar o alternativa de localización en el cual se provoquen los menores gastos de transporte para la fábrica.	$Qt_j = I_{ij} \times S_{ij}$ Donde: Qt_j: Gastos de transporte para la alternativa j I_{ij}: Intensidad de transporte entre la fábrica y cada uno de los puntos i vecinos con los que se posee relación S_{ij}: Distancia entre cada uno de los puntos i vecinos y el punto o alternativa j de localización que se analiza
Método de Huff	Instalaciones de servicio, donde la rentabilidad de un punto de venta en particular depende de la intensidad de la competencia cercana.	$N_{ij} = P_{ij} C_i = \frac{\frac{S_i}{T_{ij}^A}}{\sum_{j=1}^n \frac{S_j}{T_{ij}^A}} C_i$ Donde: C_i: Número total de clientes potenciales de la zona i N_{ij}: Número de clientes que se encuentran en la zona i que probablemente se desplacen al lugar j. P_{ij}: Probabilidad de que un cliente de la zona i se desplace al lugar j. S_j: Tamaño de la instalación en el punto j (m2) T_{ij}: Tiempo requerido por el cliente para desplazarse de la zona i al lugar j. A: Parámetro que mide el efecto del tiempo recorrido sobre el comportamiento de compra de los clientes.

Anexo 5 Continuación		
Método	Condiciones/objetivos	Expresión y variables de cálculo
Modelo general de interacción competitiva	Este método surge para mejorar el Modelo de Huff, el cual solamente tiene en cuenta dos factores de atracción y disuasión: la superficie de ventas de las empresas detallistas y la distancia. Se recomienda cuando el detallista busca la mejor localización para abrir un punto de venta. Este modelo incorpora múltiples medidas de atracción y disuasión. Determina el comportamiento espacial de los clientes finales. Puede emplearse para empresas de servicios únicas o múltiples instalaciones. Analiza el efecto de “canibalización”.	$P_{ij} = \frac{\prod X^{bh} hij}{\sum \prod X^{bh} hij}$ Donde: P_{ij}: Probabilidad de que el cliente acuda a comprar al detallista j X_{hij}: Cualquiera de los atributos h de las alternativas detallistas j consideradas por el consumidor i bh: parámetro que representa el efecto de cada atributo h sobre las probabilidades de elección
Ley de gravitación del comercio al detalle	Delimita el comportamiento espacial de los clientes y analiza la atracción y la disuasión.	$\left(\frac{V_a}{V_b}\right) = \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^* \left(\frac{D_b}{D_a}\right)^n$ Donde: b: Proporción de venta que las ciudades a y b atraen respectivamente de la localidad intermedia X P_a y P_b: Habitantes de las poblaciones a y b D_a y D_b: Distancia Kilométrica desde las localidades a y b a la población intermedia X
Ley del punto límite	Trespalacios (s.a) propone este método como complementario para analizar y determinar la demanda correspondiente a un área comercial.	$D_a = \frac{D}{1 + \sqrt{\frac{P_b}{P_a}}}$ Donde: D: Distancia entre las ciudades a y b D_a: Distancia entre la ciudad a y el límite de las áreas comerciales de ambas ciudades P_a y P_b: Habitantes de las poblaciones a y b

Anexo 5 Continuación		
Método	Condiciones/objetivos	Expresión y variables de cálculo
Modelo de localización múltiple	Para empresas detallistas Objetivo: maximizar la cuota de mercado Minimizar el efecto de canalización	$CE = \sum_{i=1}^m Di \frac{\frac{S}{T_i^a} + \sum_{j=1}^c \frac{S_j}{T_{ij}^a}}{\frac{S}{T_i^a} + \sum_{j=1}^n \frac{S_j}{T_{ij}^a}}$ Donde: CE: Cuota de mercado esperada de todos los puntos de venta Di: Demanda potencial de clientes Sj: Superficie de venta de la tienda j Tij: Distancia entre las zonas geográfica i y la tienda j i: Zona geográfica de demanda j: Puntos de venta de la empresa y de la competencia a: sensibilidad al desplazamiento
Localización de unidades de emergencia	Tiene un tiempo de respuesta mínimo como criterio de decisión. El criterio de localización más importante es una medida de servicio como puede ser el tiempo de respuesta.	• Densidad de llamadas • Velocidad de viajes • Reglas de despacho • Número de vehículos disponibles • Cobertura geográfica (tamaño del área) • Estándares de gobierno • Número de estaciones en la región y promedio de ocupación • Configuración de las vías de transporte • Características de movilización de otras instalaciones

Anexo 5 Continuación		
Método	Condiciones/objetivos	Expresión y variables de cálculo
Análisis de regresión múltiple	Para categorías de productos diferentes p.e: Tiendas especializadas (peleterías, supermercados)	Selección de las medidas adecuadas de comportamiento o variables respuesta (ventas globales, ventas per cápita, y cuota de mercado. Variables independientes que se espera influyen en las medidas de comportamiento y para las que existe un número suficiente y periodificado de datos. Las variables potenciales que pueden estudiarse son: características sociodemográficas de los consumidores (detalladas para cada punto de venta o sus áreas comerciales); estrategia de los diferentes competidores potenciales en la zona geográfica analizada; imagen de las tiendas y otros factores específicos relacionados con el emplazamiento comercial donde se ubican los detallistas.
Gráficos de Volumen, ingresos y costos	Los ingresos pueden afectarse cuando la capacidad de atraer clientes dependa de la proximidad de los mismos. Los costos pueden variar de acuerdo al sitio elegido	Este estudio se puede hacer matemática o gráficamente siguiendo los pasos que se enumeran a continuación: 1. Determinar los costos variables y los costos fijos para cada sitio. Recuerde que los costos variables son la parte del costo total que varía en forma directamente proporcional al volumen de la producción. 2. Trazar en una sola gráfica las líneas de costo total para todos los sitios. 3. Identificar los rangos aproximados en los cuales cada una de las localizaciones provee el costo más bajo. 4. Resolver algebraicamente para hallar los puntos de equilibrio sobre los rangos pertinentes.
Heurístico de Ardalan	Hallar la localización de 2,3 o 4 instalaciones que puedan servir a los n consumidores de más bajo costo – distancia – población ponderada.	Factores de ponderación que son los que dan el criterio para la localización. La determinación de la mejor localización se realiza por un procedimiento heurístico en el que se trabaja con distancias, población o variables afines, factor de ponderación y matrices de costo ajustadas.

Anexo 5 Continuación		
Método	Condiciones/objetivos	Expresión y variables de cálculo
Electra I ²	Este método se basa en el cálculo de dos tipos de medidas, el índice de concordancia y el índice de discordancia, los cuales permiten determinar el grado en que una alternativa resulte mejor que otra	Relaciones fundamentales por las que se rige: Indiferencia (I) Preferencia estricta (P) Preferencia débil (Q) Incomparables (R) Define los conceptos de concordancia y discordancia
Fundamentados en la analogía	Para instalaciones similares. Aplicar los resultados de un análisis anterior tomando las mismas condiciones para la nueva localización	• Características sociodemográficas de los clientes • Estrategia de la competencia • Ventas correspondientes Entre otras variables
Centro de gravedad	Analiza el costo de transporte Ubicación de plantas de fabricación o almacenes de distribución respecto a unos puntos de origen (proveedores) y salida	$x^* = \frac{\sum c_i v_i x_i}{\sum c_i v_i}, y^* = \frac{\sum c_i v_i y_i}{\sum c_i v_i} \quad CTT = \sum c_i v_i d_i$ Donde: x* : Coordenada x del centro de gravedad y* : Coordenada y del centro de gravedad xi: Coordenada x del iésimo centro de demanda (localización) yi: Coordenada y del iésimo centro de demanda (localización) Wi: Costo del desplazamiento de las cargas asociado a la localización i CTT: costo total de transporte ci: costo unitario de transporte correspondiente al punto i vi: Peso de materiales trasladados desde o hacia la instalación i di: Distancia entre instalaciones

² Existen las versiones de Electra II, III, IV y IS

Anexo 5. (Continuación)		
Método	Condiciones/objetivos	Expresión y variables de cálculo
Analítico Delphi	Localiza múltiples y más complejas instalaciones	Considera factores tangibles e intangibles y diversos objetivos analizados a partir de un procedimiento específico de trabajo con expertos.
Método global de localización	Combina factores posibles de cuantificar con factores subjetivos a los que asignan valores ponderados de peso relativo. Introduce el término de factor crítico.	$ILI = FCI \cdot [a \cdot FOi + (1 - a) \cdot FSi]$ Donde: ILi : índice de la localización i FCI : índice de factores críticos para la localización i FOi : índice de factores objetivos para la localización i FSi : índice de factores subjetivos para la localización i a : peso relativo entre FOi y FSi que toma valores entre 0 y 1
Modelo de Brown & Gibson	Similar al método anterior, combina factores posibles de cuantificar con factores subjetivos a los que se asignan valores ponderados de peso relativo.	
Matriz de decisión	Comparación de los factores preponderantes de las posibles alternativas de localización	Se realiza una ponderación de factores tanto objetivos como subjetivos los que a su vez los clasifica en fundamentales u obligatorios y en deseables.
Criterio del factor preferencial	Se basa en la preferencia personal de quien debe decidir	
Criterio del factor dominante	No otorga alternativas a localización	
Localización sobre redes ³	Se deben identificar nodos y arcos	Se deben identificar los nodos y los arcos

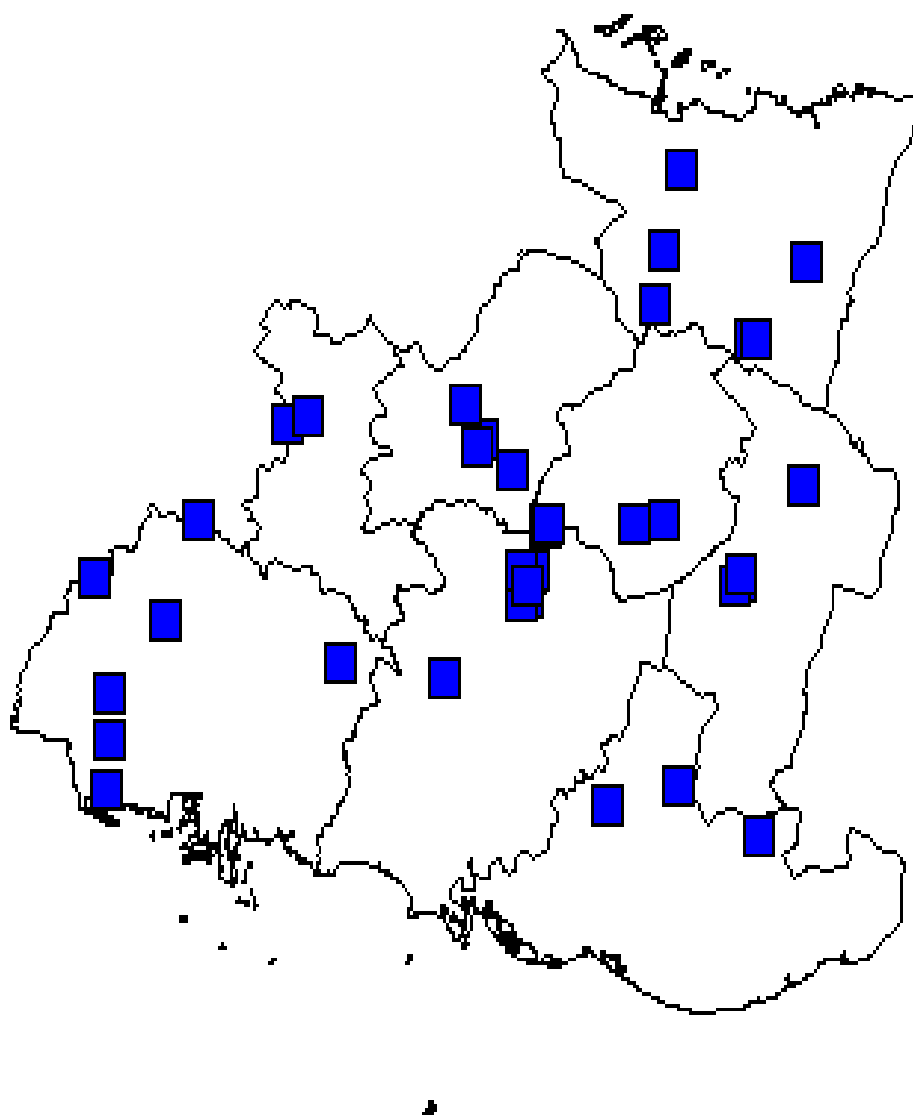
Fuente: Diéguez Mantellán, 2008.

15Autores como Buffa (1981) y Domínguez Machuca et al. (1995), plantean que este tipo de problemas es más realista pero mucho más complicado, entre los problemas clásicos de localización en redes están los problemas de media, los problemas de centro y de requisitos u objetivos; también hace referencia a las colas espacialmente distribuidas con dos servidores y con n servidores; además, menciona otras aplicaciones de estos métodos, entre las que se encuentran el problema del camino más corto (utilizando el algoritmo de etiquetado de nodos de Dijkstra, el problema del árbol de expansión mínima, problema del viajante de comercio y el problema del “cartero chino”.

Anexo 6. Fuentes de suministro de la provincia Sancti Spíritus

Fuente de Suministro	Municipio
Residuos porcinos	Sancti Spíritus, Yaguajay, Cabaiguán, La Sierpe
Residuos Industriales	Sancti Spíritus, Trinidad, Fomento
Residuo del procesamiento de la caña	Taguasco, Jatibonico
Residuos del procesamiento del tabaco	Taguasco, Cabaiguán, Sancti Spíritus, Trinidad, Yaguajay
Residuos del procesamiento del arroz	Sancti Spíritus, La Sierpe
RSU	Todos los municipios

Anexo 7. Representación geográfica de las principales fuentes de suministro de potenciales en la provincia Sancti Spíritus



Fuente: Elaborado a través del Software MapInfo, 2006.

Anexo 8. Balances de masa seca y materia orgánica de cada uno de los suministros que se estudian

Porcino

$$18\text{g MS}/100\text{g MF} \times 82\text{g MOrg}/100\text{ g MS}$$

$$= 18/100\text{g MF} \times 0,82\text{g MOrg}$$

donde: MS: Masa Seca

$$= 14,76\text{g MOrg}/100\text{g MF}$$

MF: Masa Fresca

$$= 147,6\text{g MOrg}/1000\text{g MF}$$

MOrg: Materia Orgánica

$$= 147,6\text{kg MOrg}/1\text{ton MF}$$

DQO: Demanda Química de O₂

Cárnico

Según [Álvarez A. 2004](#), este residuo tiene un 95.56% de MOrg y un 23.49% de ST de ahí que:

$$23.49\text{g MS}/100\text{g MF} \times 95.56\text{g MOrg}/100\text{ g MS}$$

$$= 23.49/100\text{g MF} \times 0,9556\text{g MOrg}$$

$$= 22.44\text{ g MOrg}/100\text{g MF}$$

$$= 22.44\text{ g MOrg}/1000\text{ g MF}$$

$$= 22.44\text{ kg MOrg}/1\text{t MF}$$

Conservas

Según [Álvarez A. 2004](#), este residuo tiene un 86% de MOrg y un 14.52% de ST de ahí que:

$$14.52\text{ g MS}/100\text{g MF} \times 86\text{ g MOrg}/100\text{ g MS}$$

$$= 14.52 /100\text{g MF} \times 0,86\text{ g MOrg}$$

$$= 12.49\text{ g MOrg}/100\text{g MF}$$

$$= 12.49\text{ g MOrg}/1000\text{ g MF}$$

$$= 12.49\text{ kg MOrg}/1\text{ton MF}$$

Café

Según [Knabel 2006](#), los Sólidos totales (%) de la pulpa de café es de un 17% y la materia orgánica es un 85%.

$$17\text{g MS}/100\text{g MF} \times 85\text{g MOrg}/100\text{ g MS}$$

$$= 17/100\text{g MF} \times 0,85\text{g MOrg}$$

$$= 144,5\text{g MOrg}/100\text{g MF}$$

$$= 144,5\text{g MOrg}/1000\text{ g MF} = 144,5\text{kg MOrg}/1\text{ton MF}$$

Anexo 8 Continuación

Cachaza

Los Sólidos totales (%MS) de la cachaza son del 25% y los volátiles (%MOrg.) de un 80% ([Velarde Sosa, 2004](#)).

$$25\text{g MS}/100\text{g MF} \times 80\text{g MOrg}/100\text{ g MS}$$

$$= 25/100\text{g MF} \times 0,80\text{g Morg}$$

$$= 20\text{g MOrg}/100\text{g MF}$$

$$= 200\text{g MOrg}/1000\text{ g MF}$$

$$= \mathbf{200\text{kg MOrg}/1\text{ton MF}}$$

Paja de arroz

$$87,81\text{g MS}/100\text{g MF} \times 79,55\text{g MOrg}/100\text{ g MS}$$

$$= 87,81/100\text{g MF} \times 0,7955\text{g MOrg}$$

$$= 69,852855\text{g MOrg} /100\text{g MF}$$

$$= 698,52855\text{g MOrg} /1000\text{ g MF}$$

$$= \mathbf{698,53\text{kg MOrg} /1\text{ton MF}}$$

Residuo de secadero de arroz

$$89,3\text{g MS} /100\text{g MF} \times 77,54\text{g MOrg}/100\text{ g MS}$$

$$= 89,3/100\text{g MF} \times 0,7754\text{g MOrg}$$

$$= 69,2432\text{g MOrg}/100\text{g MF}$$

$$= 692,2432\text{g MOrg}/1000\text{ g MF}$$

$$= \mathbf{692,24\text{ kg MOrg}/1\text{ton MF}}$$

Cascara de arroz

$$89,23\text{g MS} /100\text{g MF} \times 77,78\text{g MOrg}/100\text{ g MS}$$

$$= 89,23/100\text{g MF} \times 0,7778\text{g MOrg}$$

$$= 69,403094\text{g MOrg}/100\text{g MF}$$

$$= 694,03094\text{g MOrg}/1000\text{ g MF}$$

$$= \mathbf{694,03\text{kg MOrg}/1\text{ton MF}}$$

Procesamiento del tabaco

Según [Knabel 2006](#), al analizar este residuo se obtuvo que el 76% es MOrg y el 69% ST:

$$69\text{ g MS}/100\text{g MF} \times 76\text{ g MOrg}/100\text{ g MS}$$

Anexo 8 Continuación

$$= 69/100\text{g MF} \times 0,76 \text{ g MOrg}$$

$$= 52,44 \text{ g MOrg}/100\text{g MF}$$

$$= 524,4 \text{ g MOrg}/1000 \text{ g MF}$$

$$= 524,4 \text{ kg MOrg}/1\text{ton MF}$$

RSU

Según estudios de laboratorios realizados por Clemades Méndez 2007, este residuo tiene un 10% de ST y un 80% de SV, por lo que:

$$10 \text{ g MS}/100\text{g MF} \times 80 \text{ g MOrg}/100 \text{ g MS}$$

$$= 10/100\text{g MF} \times 0,8\text{g MOrg}$$

$$= 80 \text{ g MOrg}/100\text{g MF}$$

$$= 80 \text{ g MOrg}/1000 \text{ g MF}$$

$$= 80 \text{ kg MOrg}/1\text{t MF}$$

Anexo 9 Estimado de las cantidades de biogás por unidades porcinas

Unidad Año 2009	Cant. Exc t/año	m3 Biogás/unidad-año
Cacahual (Cebaderoll+Integral)	1 3554.79	1 280 385.09
Carbó	1 2929.61	1 221 330.65
Centro Genético Porcino	8559.58	808 538.13
Boquerones	4818.00	455 108.28
Venegas	4680.17	442 088.56
Los Molinos	3334.06	314 934.93
Tamarindo	2807.40	265 186.94
Total	50683.60	4 787 572.58

Fuente: Procesado en Microsoft Office Excel 2003.

Anexo 10. Potencial de biomasa y biogás que se puede obtener con los residuos del procesamiento del Tabaco en la provincia Sancti Spíritus

Localidad	Total del potencial t/año	Total m³ de Biogás/año
Fomento	495,90	199690,46
Cabaiguán	352,48	141938,03
Guayos	349,16	140597,78
Zaza del Medio	211,96	85353,42
Taguasco	114,05	45924,33
Arroyo Blanco	72,31	29116,28
Perea	1,87	751,50
Sancti Spíritus	142,86	57528,12
Trinidad	4,02	1620,42
Jatibonico	1,78	718,10
La Rana	16,47	6632,14
Tuinucú	5,24	2110,04
Jíquima	37,26	15003,86
Santa Lucía	134,30	54079,92
La Larga	76,34	30740,59
Siguaney	194,32	78248,78
Jarahueca	93,69	37727,09
Total Provincia	2304,02	927780,86

Fuente: Procesado en Microsoft Office Excel 2003.

Anexo 11. Disponibilidades de residuos existentes y estimados de la cantidad de biogás que se puede obtener

Suministros	Fuentes	Potencial t/año	m3 Biogás/año
Excretas porcinas	Porcino Cacahual (CebaderoII+Integral)	13554,79	1280385,09
	UEB Porcino Carbó	12929,61	1221330,65
	Centro Genético Porcino	8559,58	808538,13
	UEB Porcino Boquerones	4818,00	455108,28
	UEB Porcino Venegas	4680,17	442088,56
	UEB Porcino Los Molinos	3334,06	314934,93
	UEB Porcino Tamarindo	2807,40	265186,94
Cachaza	Uruguay	25520,80	3919994,88
	Melanio	12088,80	1856839,68
Vinaza+Agua Resid	Melanio	160740,00	3214800,00
Residuos de Secadero	Secaderos	9099,66	303382,66
Cáscara	Molinos	10718,46	357353,46
Paja	Cosecha	1326,78	44234,85
Agua Res Industrial Lácteo	Lácteo,	223003,26	179258,94
Agua Res Industrial Cárnico	Cárnico	39228,99	676069,28
Agua Res Industrial Conservas	Conservas	41293,67	396102,10
Pulpa de Café	Despulpadoras	170,02	18668,69
Palo y vena de tabaco	Escogidas, Despalillos y Fáb torcido	2304,02	927780,86
RSU	Todos los municipios	2611,78	2005844,19
Total		578789,85	18687902,17

Fuente: Procesado en Microsoft Office Excel 2003.

Anexo 12. Matriz de Saaty

Tabla 3.8: Matriz resultante de la aplicación del Método AHP

	CH₄	CR	TEC	BP	DEG	
	1,2938	0,1966	0,6858	0,5851	0,5851	Total
Cachaza	2,4854	0,1868	0,2415	1,2402	0,2851	4,4390
	1,9211	0,9501	0,3522	2,1195	0,4872	
Vinaza	0,8693	0,4398	1,6539	0,2900	1,2982	4,5512
	0,6719	2,2368	2,4118	0,4957	2,2187	
Excretas porcinas	1,5207	0,1169	0,6855	0,6781	0,6376	3,6388
	1,1754	0,5945	0,9996	1,1589	1,0897	
RSU	0,2996	0,0430	0,1621	0,1322	0,1196	0,7564
	0,2315	0,2186	0,2364	0,2259	0,2044	

Fuente: Procesado en Microsoft Office Excel 2003.

Dónde:

CH₄: Metano que se deja de emitir al medio, al utilizarlos en la producción de biogás

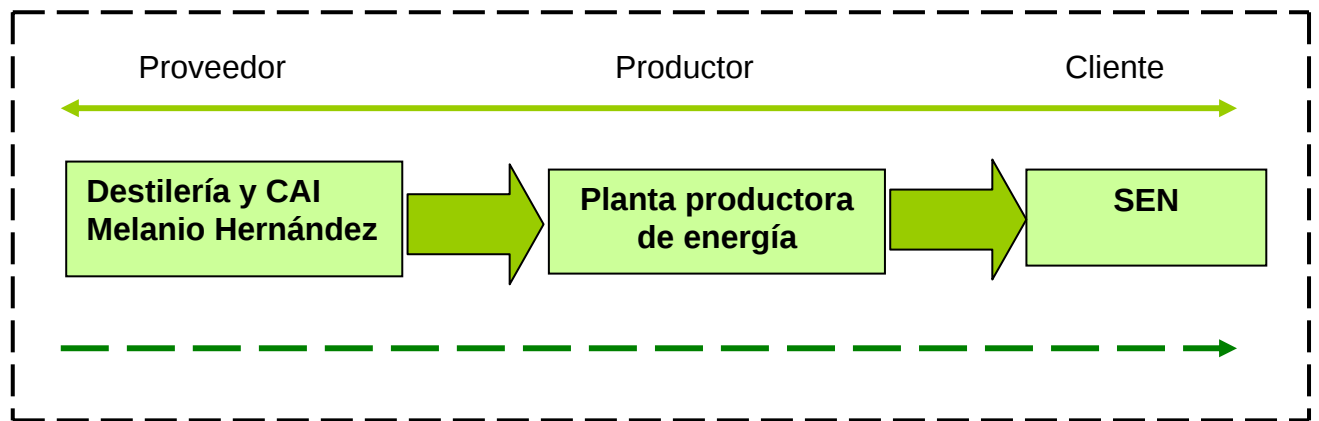
CR: Concentración y Facilidad de recolección de los suministros

TEC: Tecnología

BP: m³ de biogás producido por t residuo tratado

DEG: Degradación

Anexo 13. Red logística simplificada de la cadena de aprovisionamiento de residuos para la producción de biogás



Leyenda:

— — — — — → Flujo de material

← — — — — — → Flujo de Información