



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

Facultad de Ingeniería Mecánica

Departamento de Energía

Trabajo de Diploma

Título: Metodología para el análisis de ciclo de vida en proceso de obtención de energía eléctrica a partir de residuos sólidos urbanos.

Autor: Oscar Alejandro Álvarez Cárdenas.

Tutores: Dr. C. Ronaldo Santos Herrero.

Ing. Manuel Rubio Rodríguez.

Consultante: Dr. C. Ana Margarita Contreras Moya.

Dr. C. Elena Rosa Domínguez.

Ms. C. Teresa Cárdenas Ferrer.

"Año 53 de la Revolución"

2011

Pensamiento



“Utilice toda la ciencia para un desarrollo sostenido sin contaminación. Páguese la deuda ecológica y no la deuda externa.”

Fidel Castro Rúz

Agradecimientos

A Dios por darme el conocimiento.

A mis Profesores, por el tiempo que dedicaron a prepararme como profesional.

A mis consultantes, que desde un inicio formó parte del equipo de trabajo, sin escatimar esfuerzo alguno;

A mis padres, hermano, sobrino y cuñada por su apoyo incondicional.

A mis tíos Mercy, Jorge y Lucy y mis primos Jorgito y Jognie que siempre han estado junto a mí.

A mis abuelas que me cuidaron siempre.

A mi novia por su paciencia y dedicación en la realización de este trabajo.

A mi suegra por su preocupación y sus cuidados.

A mis amigos Darian, Freddy, Yasel que han estado a mi lado y me han dado oportunos consejos sin los cuales no hubiese podido seguir adelante.

A las familias Avilés Contreras, Santos, Yoel y Delkis les agradezco su apoyo y amistad.

A mis tutores que han seguido de cerca este trabajo y han influido en mi formación medio ambiental;

A la Revolución por permitirme cumplir mi sueño.

A todos,

¡MUCHAS GRACIAS!

Resumen

La metodología para el análisis de ciclo de vida es una herramienta que permite evaluar los impactos ambientales de productos así como de tecnologías, donde es importante considerar todas las etapas del proceso.

En este trabajo, a partir de la revisión bibliográfica, se hace una propuesta de metodología para aplicar el análisis de ciclo de vida (ACV) en procesos de obtención de energía eléctrica. Posteriormente se aplica la metodología propuesta a un caso de estudio real: la producción de energía eléctrica a partir del biogás producido en una planta que procesa los residuos sólidos orgánicos de Santa Clara.

Para la evaluación de los impactos ambientales se utilizó el software profesional SimaPro 7.2 creado por Pré Consultant, mediante el Ecoindicador 99, obteniéndose el perfil ambiental por categorías de impacto y de daño del sistema para la Planta de biogás.

Los resultados muestran que los puntos críticos del proceso están dados por el uso de combustibles en los procesos de transportación, lo cual ocasiona daños considerables a los recursos y al ecosistema, mientras se obtienen impactos beneficiosos para la mayoría de las categorías de impacto por concepto de utilización de los residuos del proceso para sustituir fertilizantes químicos. El análisis económico demuestra la factibilidad del proceso.

Finalmente se realizó una comparación entre la producción de 1 kWh utilizando el biogás y diesel en un generador de corriente eléctrica y se mostró que el perfil ambiental del uso del biogás es superior al del diesel.

Abstract

Life cycle analysis is a tool for assessing the environmental impacts of products and technologies, from cradle to grave, where all stages must be considered. From the literature review is a proposed methodology for implementing life cycle analysis (LCA) in the process of obtaining power. Then the proposed methodology is applied to a study case: production of electricity from biogas produced in a plant that processes solid organic wastes in Santa Clara. For the evaluation of environmental impacts SimaPro 7.2 is used. Using the Eco-indicator 99, the environmental profile in terms of impact categories is obtained for the electricity generation at the biogas plant. SimaPro 7.2 is professional software created by PréConsultants.

Results show that critical stages are the use of fuels in transportation processes, causing considerable damage to resources and the ecosystem, while it is obtained beneficial impact in terms of most of impact categories by way of using digestion waste to replace chemical fertilizers. The economic analysis shows the feasibility of the process.

Finally a comparison was made between the production of 1 kWh using biogas and diesel in a power generation set showing that the environmental profile of the use of landfill gas for power is better than that from diesel power generation.

Índice

Resumen.....	
Abstract	
Indice.....	
Introducción	3
1. Capítulo I: Revisión Bibliográfica	7
1.1. Origen de la metodología del ACV.....	7
1.2. Evolución del ACV	9
1.3. Métodos alternativos	12
1.4. Gestión de residuos sólidos urbanos en el mundo.....	21
1.5. Gestión de los residuos sólidos urbanos en Cuba.	25
1.5.1. Almacenamiento, Recogida y Transportación:	27
1.5.2. Gestión de residuos sólidos urbanos en Santa Clara.	28
1.5.3. Etapas en la gestión de residuos sólidos urbanos en Cuba.	29
1.6. Clasificación de los residuos sólidos urbanos	30
1.6.1. Características de los residuos sólidos urbanos.	31
1.6.2. Composición	31
1.7. Tratamientos de los residuos sólidos urbanos.	32
1.7.1. Tratamiento Biológico:	33
1.7.2. Tratamiento por termo conversión:	34
1.7.3. Disposición final:	35
1.8. Marco Legislativo vigente en Cuba	36
2. Capítulo II.- Metodología del ACV en los procesos de obtención de energía eléctrica a partir de los residuos sólidos urbanos	40
2.1. Definición del objetivo y alcance del ACV	40
2.1.1. Objetivos.	41
2.1.2. Alcance del estudio.....	41
2.1.3. Función y descripción del sistema en estudio.....	41
2.1.4. Selección de la Unidad Funcional.....	42
2.1.5. Establecimiento de los límites del sistema.....	42
2.1.6. Asignación de cargas ambientales.	43
2.1.7. Tipos de Impactos a evaluar, metodología e interpretación.....	44
2.1.8. Suposiciones y limitaciones.	44
2.1.9. Requisitos de calidad de los datos.....	44
2.2. Análisis del Inventario de Ciclo de vida.....	45
2.2.1. Inventario en la Distribución y Consumo.....	46
2.2.2. Establecer el diagrama de flujo del proceso.	46
2.2.3. Recolección de los datos	47
2.2.4. Procesamiento de datos:	47
2.2.5. Análisis de Incertidumbre.....	47
2.3. Evaluación del impacto de ACV	49
2.3.1. Clasificación.....	50
2.3.2. Caracterización.....	50
2.3.3. Características clave de la EICV.....	51
2.3.4. Elementos de la EICV.....	51

Índice

2.3.5. Elementos opcionales	52
2.4. Interpretación del estudio	55
2.4.1. Objetivos de la interpretación del ciclo de vida	55
2.4.2. Las características claves de la interpretación del ciclo de vida	55
2.4.3. Determinación de las cuestiones significativas	56
2.4.4. Análisis de sensibilidad	57
3. Capítulo III. Aplicación de la Metodología para el proceso de obtención de 1kWh a partir del biogás producido por la fracción orgánica de los RSU. ...	58
3.1. Descripción Técnica de la Planta	58
3.3 Análisis de Inventario:	61
3.6 Análisis Económico	69
3.6.1 Costo estimado de la Inversión	69
3.6.2 Análisis de la Rentabilidad	69
3.6.3 Análisis de la Inversión	70
Conclusiones Generales.	72
Recomendaciones	73
Bibliografía	74
Anexos	Error! Bookmark not defined.

Introducción

Con el desarrollo social, los avances tecnológicos e incremento de la densidad demográfica y la creación de grandes ciudades, aumentó la generación de desperdicios, cuyo manejo representa un problema básicamente urbano y se siguen eliminando por el sistema del vertido. En los años cincuenta y sesenta del siglo pasado se comprobaron las graves repercusiones para la salud y los impactos negativos sobre el medio ambiente que este sistema de eliminación de residuos tiene.

Las nuevas tendencias de la comunidad científica residen en la búsqueda de soluciones que permitan reducir el impacto ambiental en todas las actividades desarrolladas por el hombre, con el objetivo de lograr una mejor eficiencia en el uso de los recursos naturales, energéticos. Ello requiere de la introducción de una serie de medidas tanto tecnológicas como de gestión para reducir los consumos de productos y servicios y por ende las cargas contaminantes de las actividades que tienen lugar en diferentes procesos, en lo cual se considera el ciclo de vida de un producto desde la extracción de los recursos primarios hasta los residuos finales que tienen lugar en los diferentes procesamiento.

El personal involucrado en la solución a problemáticas que afectan al medio ambiente debe contar con las herramientas adecuadas para minimizar el impacto ambiental.

La metodología de análisis de Ciclo de vida (ACV) integra todos los impactos ambientales y además los relaciona con problemas ambientales específicos, permitiendo detectar situaciones en las que un determinado sistema parece “más limpio” que otro, simplemente porque transfiere las cargas ambientales a otros procesos o región geográfica, sin un mejoramiento real desde el punto de vista global, además permite establecer prioridades para definir las estrategias preventivas de mejoramiento del desempeño ambiental [1].

La basura es un componente emblemático de las preocupaciones ambientales más cotidianas de personas y familias, sus cantidades son reflejo de la abundancia económica, de la cultura y del número de personas que integran a un grupo social o que viven en un espacio determinado.

Introducción

Los residuos sólidos abandonados sufren procesos de degradación que se extienden durante décadas y pueden ocasionar la contaminación del agua, suelo y aire.[2] En vertederos de residuos urbanos, gran parte de estos impactos son resultado de la presencia de la materia orgánica que va siendo degradada por microorganismos a lo largo del tiempo. Como consecuencia de estos fenómenos, el agua infiltrada en la masa de residuos arrastra componentes orgánicos no estabilizados y otras sustancias que se disuelven, generándose además gas y calor. La emisión a la atmósfera de este gas, formado principalmente por metano y dióxido de carbono, puede contribuir al efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono (por la presencia de hidrocarburos orgánicos volátiles clorados y fluorados) y generar molestias locales por malos olores. Además, algunos compuestos orgánicos volátiles presentes en cantidades de traza son altamente tóxicos. Por otra parte las sustancias arrastradas por el lixiviado, orgánicas o no (como metales pesados o sales), según dónde llegue su influencia, pueden contaminar los terrenos circundantes al vertido y las aguas superficiales y subterráneas [3]. Por otro lado, el calor puede provocar incendios por combustión espontánea del residuo.

Para tratar de mitigar estos efectos, y otros que afectan directamente a la salud humana, como la proliferación de vectores sanitarios (insectos, roedores), en torno a los depósitos de basuras, a mediados del siglo pasado comenzaron a establecerse medidas de protección y control al respecto [4]. Estas medidas han ido extendiéndose junto con la conciencia ambiental en las sociedades más desarrolladas, hasta plasmarse recientemente en una extensa normativa sobre gestión de los residuos.

En las nuevas políticas de gestión de residuos desarrolladas en los países más industrializados, se da prioridad a cualquier tipo de aprovechamiento relegando el vertido a la última posición entre las alternativas de gestión. Todo lo contrario ocurre en los países más pobres, donde la disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU) en vertederos o rellenos sanitarios es la práctica más común de tratamiento.

La generación de los residuos sólidos urbanos y su manejo adecuado es un desafío para cualquier sociedad y su influencia negativa sobre su entorno crea la necesidad de su tratamiento con métodos ambiental y socialmente adecuados.

Introducción

Para la elaboración de un programa de gestión de residuos, es importante tener en cuenta los métodos de tratamiento que podrían aplicarse, pero se hace necesario estudiar desde el punto de vista ambiental su factibilidad, para ello es necesario el uso de herramientas que permitan medir los impactos y tomar las medidas pertinentes para la mitigación de los mismos.

A nivel internacional se sigue la tendencia de utilizar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para determinar qué modelo de gestión es el más adecuado para cada localidad, dado que esta herramienta integra todos los impactos ambientales ocurridos a lo largo del ciclo de vida del producto y lo relaciona con problemas ambientales específicos, permitiendo detectar las dificultades existentes en determinado proceso.

Por todo lo anteriormente planteado la confección de la metodología que involucre todo el sistema de gestión de los residuos sólidos resultará de gran utilidad para el desarrollo de investigaciones futuras aunque es necesario combinarla con otros métodos como el análisis de Ciclo de Vida Exegético que permitirá lograr un análisis más objetivo [1].

Problema Científico

Los estudios de ciclo de vida en Cuba son incipientes. En particular no son suficientes los estudios de análisis de ciclo de vida de los procesos para la obtención de energía eléctrica a partir de las potencialidades energéticas de los residuos sólidos urbanos.

Hipótesis

Con el establecimiento de una metodología de Análisis de Ciclo de Vida para evaluar el proceso de generación de energía eléctrica se pueden analizar las potencialidades de obtención de energía eléctrica a partir de los residuos sólidos urbanos.

Objetivo general

Establecer la metodología de Análisis de Ciclo de Vida para evaluar el proceso de generación de energía eléctrica a partir de los residuos sólidos urbanos.

Objetivos específicos

1. Establecer mediante estudio bibliográfico el campo de aplicación, ventajas y desventajas de la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV), así como el estado actual de desarrollo de bases de datos y software relacionados.
2. Establecer mediante estudio bibliográfico la situación actual del tratamiento de RSU y su utilización con fines energéticos en el mundo y en particular en Cuba, con el propósito de establecer la ruta de transformación energética a estudiar.
3. Describir metodológicamente y de forma detallada la metodología del Análisis de Ciclo de Vida, las normas relacionadas y la utilización del software auxiliar SimaPro, de forma tal que se pueda utilizar esta información como referente en la realización de trabajos futuros.
4. Modelar la ruta de transformación escogida previamente para la obtención de energía eléctrica a partir de la materia orgánica obtenida del manejo y clasificación de los RSU en las condiciones de Santa Clara, mediante recolección de información directamente en la entidad responsable o modelación teórica pura, con el propósito de obtener el inventario del ciclo de vida del proceso en cuestión.
5. Calcular con el uso del software SimaPro, los indicadores del ciclo de vida más representativos para el proceso descrito y compararlos con la obtención de energía eléctrica a partir de un grupo electrógeno de diesel.
6. Realizar un análisis económico de la alternativa propuesta.

1. Capítulo I: Revisión Bibliográfica

El análisis del ciclo de vida, ACV (LCA en inglés), estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto. Se pueden enumerar las ventajas y desventajas ambientales, así como las similitudes y diferencias en los patrones de vida y de consumo entre los diversos países del mundo, pero ello no basta para encontrar soluciones adecuadas al problema de la contaminación ambiental que generan las diversas fases de la producción y la comercialización, en el capítulo se abordan algunas herramientas ambientales y su aplicación.

1.1. Origen de la metodología del ACV.

Los primeros trabajos se enfocaban básicamente en la demanda de energía en los sistemas productivos y fueron llevados a cabo por compañías privadas que no presentaron los resultados al público. Esta clase de estudios relacionados con la energía recibió mayor atención a partir de la crisis energética en los años 70. El término utilizado en el momento fue “Análisis de Perfil Ambiental y de Recursos” (REPA), [5].

En Europa, los primeros estudios de comparación ecológica de productos, que en ese entonces eran llamados ecos balances, fueron realizados en 1974 en Suiza. Luego, en 1984 la agencia Suiza de Protección al Medio Ambiente publicó un boletín de eco balance para materiales de empaque. Este estudio también presentaba una propuesta de una metodología que evaluaba las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de empaque. [5]

Los ecos balances dan una estructura para el cálculo de los datos dentro de la metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV). En cada fase del ciclo de vida hay una balanza que pesa el “input” y “output” de materiales, energía, y emisiones. No todos los componentes tienen la misma unidad o contribución. Pero a través de los ecos balances se elabora una estructura para inventariar, calcular y comparar datos. Uno de los países donde se desarrollaron más casos de ACV fue Alemania. La fuerza generadora de esto, fue el problema de los desechos sólidos que ha venido ubicándose como uno de los centros de atención de la opinión pública desde el principio de los años 80 [6], [7].

Por tal motivo, en esta época, las estrategias del manejo de los desechos estaban dirigidas hacia una reducción de recursos que presionaba la producción de bienes

desechables como pañales, paquetes y toallas de papel. Los fabricantes sin embargo, alegaban que no solo había que contabilizar la cantidad de desecho final, sino que también era importante tener en cuenta que la carga ambiental podría ser disminuida a través del control de los pasos intermedios de la producción durante el ciclo de vida de los productos. Los primeros casos de ACV desarrollados en Alemania, datan de 1984/85, y fueron establecidos para envases de bebidas y papel higiénico. [8]. La figura muestra la participación de algunos países en el estudio del Ciclo de Vida en sus inicios.

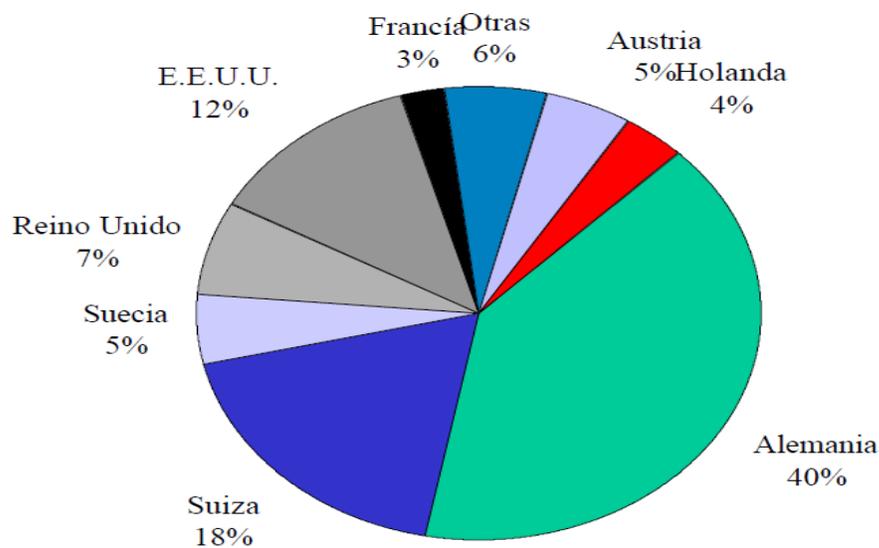


Figura 1: Aplicación del Analisis de Ciclo de vida en la determinacion de los impactos ambientales en varios países del mundo. elaboracion propia.

En la segunda mitad de los años 80, el ACV se había convertido en una herramienta competitiva muy usada en las áreas de producción y mercado. Como resultado se llevaron a cabo varios estudios de ACV sobre las mismas áreas pero generaron resultados contradictorios. Este evento puso en tela de juicio la confiabilidad de la aproximación del ACV, generando una discusión intensiva sobre la metodología.

El primer taller de metodología de ACV fue iniciado por la Sociedad de Química y Toxicología Ambiental (SETAC) en Vermont (1990), seguido por un taller de esta misma organización en Leiden Holanda (1991). El ACV se consolidó en un tema de investigación en el Centrum Van Milieukunde y en las universidades. La universidad de

Leiden se convirtió en una de las instituciones líderes en la metodología de ACV. Dentro de las actividades que realizó el SETAC, se puede destacar la creación de un círculo de apoyo de miembros industriales llamado SPOLD. En general, el desarrollo de la metodología ocurrió de manera paralela en diferentes países. [5]

A continuación se citan algunos de los documentos más importantes que proveen una contribución significativa para las discusiones metodológicas :

- **Países Nórdicos** Product Life Cycle Assessment – Principles and Methodology [NORD 1992]
- **E.E.U.U.** Guidelines to ACV [EPA]
- **Canada** from Framenwork to Standard [HUSSEINI 1992]
- **Alemania** Ökobilanzen zu Verpackungsmaterialen Ein Methodenbericht [ILV IFEU GVM 1992]
- **Holanda** Environmental Life Cycle Assessment of Products Guide and Backgrounds [CML 1992]
- **Beginning LCA**; A Guide to Environmental Life Cycle Assessment [NOH 1995]

Esto fue un incentivo importante para la Organización Internacional de Estandarización (ISO), la cual se responsabilizó, a partir de ese momento, de la generación de un consenso internacional basado en el entendimiento científico.

Luego de varios años de trabajo continuo, en mayo de 1997, el grupo 5 del comité técnico ISO/TC 207 pasó la norma ISO 14040: Análisis del Ciclo de Vida, Principios y Aplicaciones, la cual fue aprobada por 60 países. El ACV es ahora la herramienta de análisis ambiental más utilizada que posee un estándar internacional. [8].

1.2. Evolución del ACV

El desarrollo del ACV se originó casi simultáneamente en Estados Unidos y Europa. El primer ACV fue realizado en 1969 por el Midwest Research Institute (MRI) para la Coca-Cola, donde la premisa fundamental fue disminuir el consumo de recursos y, por lo tanto, disminuir la cantidad de emisiones al ambiente. La evolución histórica del ACV se muestra a continuación:

- 1969 Harry E. Teasley, de Coca Cola, visualizó un estudio que pudiera cuantificar la energía, materiales y consecuencias ambientales a lo largo del

ciclo de vida completo del empaque, desde la extracción de la materia prima hasta el procesamiento final de los residuos del empaque.[5]

- 1970 El Midwest Research Institute (MRI) desarrolló un estudio –ancestro de los Análisis del Ciclo de Vida, al que se llamó “Resources and Environmental Profile Análisis (REPA)”, donde se analizaron diferentes envases, para Coca Cola Company [5].
- 1971 El segundo REPA realizado por MRI fue para Mobil Chemicals Company, se analizaron las charolas de espuma de polietileno y las charolas de pulpa de papel[5].
- 1972-1976 Se publican largas porciones de las bases de datos y se describe la metodología de los REPA [5].
- 1972 En el Reino Unido, Ian Boustead calcula la energía total utilizada en la producción de contenedores de botellas de leche[5]
- 1974 La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos publica el reporte “Resource and Environmental Profile Analysis of Nine Beverage Container Alternatives”, que marca la entrada de los REPA dentro del dominio público[5].
- 1975 El sector público pierde interés en los REPA pero se realizan muchos estudios confidenciales para compañías particulares [9]
- 1979 En Reino Unido, Ian Boustead publica el “Handbook of Industrial Energy Análisis” [9].
- 1980 Se publica un reporte por el Solar Energy Research Institute en los Estados Unidos[9]
- 1984 El Laboratorio Federal Suizo para el Ensayo y la Investigación de Materiales (EMPA), publicó un estudio de materiales de envase y embalaje que introducía un método para agregar los distintos impactos ambientales en un solo índice, el llamado “método de los volúmenes críticos”[9].
- 1988 En la crisis de los residuos sólidos en Estados Unidos y la actividad ambiental en Europa, desencadenaron una explosión de actividad en REPA. Al principio, los residuos sólidos eran la clave, especialmente el cómo reciclar, la

sustitución de materiales y el residuo de productos para reducir la dependencia de los vertederos [5].

- 1990 Primer taller de la Sociedad de Toxicología Ambiental y Química (SETAC), para abrir el debate sobre REPA, uno de los resultados fue la adopción del término “Life Cycle Assessment” (LCA), en español Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (SETAC, 1990)
- 1991 EPA inicia actividades en ACV con el interés primario de asistir en el desarrollo de guías y bases de datos para uso del sector público y privado [5].
- 1992 En 1992 Franklin Associates publicó un artículo donde se presentaba completa por primera vez la metodología de ACV[5]. Se crea SPOLD (de Society for the Promotion Of LCA Development), una asociación de 20 grandes compañías en Europa, con el objetivo de promover el desarrollo y la aplicación del ACV.
- 1993 La EPA publica un documento guía para el inventario [9]. SETAC publica el “Code of Practice” [9] y “LCA Sourcebook ”[9] y fomenta numerosos talleres y reuniones que tienen como objetivo alcanzar el consenso en los aspectos metodológicos del Análisis del Ciclo de Vida [9].
- 1997 Se publica la serie de normas ISO 14040 referente a ACV.
- 2000 Se conducen estudios de ACV en todo el mundo, muchos de éstos trabajos son a gran escala y se enfocan en los combustibles fósiles, la energía nuclear y las energías renovables para producir electricidad (ABB, 2002)
- 2002 Se lleva a cabo la Reunión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo en Johannesburgo y se reconoce al ACV como una herramienta de apoyo para fomentar el cambio en los patrones de consumo y producción (UNEP, 2004)
- 2002-2006 Se realizan ACV en todo el mundo. Se forman asociaciones de ACV por regiones y desarrollan investigación, aplicación, consultorías y reuniones. Se desarrollan modelos computacionales especializados y genéricos. Se forman grupos de trabajo por áreas que buscan el desarrollo metodológico.

1.3. Métodos alternativos

En el epígrafe se argumenta sobre algunas herramientas alternativas para la gestión ambiental, donde se realizan las comparaciones con el Análisis de Ciclo de vida, herramienta seleccionada para este estudio.

El Ecodiseño es una herramienta para el desarrollo de productos, útil para prevenir los impactos ambientales y así realizar mejoras en el ciclo de vida desde el proceso de diseño.

Ecodiseño: conduce hacia una producción sostenible y un consumo más racional de recursos. El concepto de ecodiseño está contemplado en la agenda de negocios de muchos países industrializados, y es una preocupación creciente en aquellos en desarrollo.

Reunir información es parte importante de la metodología para obtener una perspectiva del contexto ambiental y económico. El análisis y la información reunida permiten respaldar las decisiones y posibilitan el control de ingresos y egresos.

Otro aspecto innovador del ecodiseño es su enfoque sobre todo el ciclo de vida del producto, que es parte integral de su aplicación.

Pero el aprovechamiento de esta oportunidad implicará la reformulación de los productos a partir del diseño mismo y la actuación a lo largo de todo su ciclo de vida: desde la obtención de las materias primas –que en muchos casos son recursos naturales -, hasta su reintegro al ciclo mismo, al final de su vida útil. Integrando estas oportunidades como parte de un mismo esquema es posible obtener múltiples beneficios: minimizar los costos de producción y el consumo de materiales y recursos, optimizar la calidad de los productos, mejorar la vida útil de los productos, seleccionar los recursos más sostenibles o con menor contenido energético, buscar la utilización de tecnologías más limpias y minimizar los costos de manejo de residuos y desechos.

En términos generales, el término ecodiseño significa que ‘el ambiente’ ayuda a definir la dirección de las decisiones que se toman en el diseño. En otras palabras, el ambiente se transforma en el copiloto en el desarrollo de un producto. En este proceso se le asigna al ambiente el mismo ‘status’ que a los valores industriales más tradicionales: ganancias, funcionalidad, estética, ergonomía, imagen y, sobre todo,

calidad. En algunos casos, el ambiente puede incluso resaltar los valores tradicionales del ámbito comercial.

El Ecodiseño es una metodología ampliamente probada y los resultados de proyectos llevados a cabo tanto en Europa como en América Central prometen una reducción de un 30% a un 50% del deterioro del ambiente que a menudo es factible a corto plazo. La experiencia ha demostrado que comenzar el proceso es relativamente sencillo. El enfoque “paso a paso” nos guía a través del proceso y la metodología está planeada de manera muy práctica. A través de su aplicación en empresas centroamericanas se ha comprobado que este método es capaz de generar excelentes resultados aún desde la primera vez que se aplica.[10]

Tecnología limpia

Tecnología limpia es un concepto novedoso que basado en la sostenibilidad, pretende desarrollar nuevos instrumentos para mejorar la relación, impactante por naturaleza, entre el ser humano y la naturaleza. Además, pretende brindar, generalmente en industrias económicas, soluciones técnicas que sean más aptas para la protección de los recursos agotables. Esto se debe no solo a que representan recursos que no pueden ser sustituidos, sino a que conlleva a un ahorro de los mismos y un aprovechamiento real y una garantía de sobrevivencia en el largo plazo.[11]

Se puede decir que las tecnologías limpias nacen como una respuesta del ser humano para ponerse en armonía con el medio natural y de esta forma proteger sus intereses, de la índole que sea. Esta modalidad se ha impulsado a través del nuevo modelo de desarrollo que de forma gradual se ha ido incorporando en los diferentes ámbitos de la producción de los países. Este nuevo modelo de desarrollo se le ha nombrado como “desarrollo sostenible”. [12]

Al tratar de encontrar la mejor definición para la terminología de tecnología limpia podemos hacer referencia a la presentada en el programa de las Naciones Unidas para el medio circundante natural y artificial, que dice que esta es “la aplicación continua de una estrategia amigable con el medio natural que sea preventiva integrada y aplicada a procesos, productos, y servicios para mejorar la ecoeficiencia y reducir los riesgos para los humanos y el medio natural. [12]

El mercado, es un sistema basado en la competitividad y actualmente, empresas en diversas industrias, están utilizando conceptos como producción limpia, tecnologías limpias y sostenibilidad como estrategia promocional para introducir sus productos dentro de la corriente de la competencia. [13]

"Producción limpia" un concepto relacionado a las tecnologías limpias, significa una minimización en la generación de desechos y en la contaminación por concepto de los mismos atacando la fuente original, o sea, que no se resuelven los problemas después de presentarse sino que se evitan mediante alternativas limpias. [13].

De este modo, la solución deja de tratarse de, por ejemplo, crearse plantas de tratamiento, reciclaje o reutilización por sí solos, sino de la utilización de recursos biodegradables o la instauración de políticas para la eliminación de procesos innecesarios que puedan desencadenar contaminación, y por ende, un gasto por concepto del manejo de esta. [13].

Entre las medidas que se toman en la utilización de "tecnologías limpias" y la "producción limpia"[14] están:

1. Selección acertada y tratamiento previo de materiales y combustibles: En la actualidad se está presenciando una crisis en los combustibles, por lo que utilizar máquinas e instrumentos que aprovechen al máximo los combustibles y que a la vez mitiguen la dispersión de contaminantes en la naturaleza, se vuelve una necesidad en todos los sectores de la actividad humana. [15]
2. Sustitución de insumos: Este punto significa, que si una empresa por ejemplo, utiliza insumos que representan un impacto, los sustituya por otros que contribuyan a la mitigación y minimización de ese impacto. [15]
3. Aplicación de las 3 R a los productos: Limpio significa crear productos basados en los conceptos reducir, reutilizar y reciclar. Un producto limpio, es el que se ha manufacturado reduciendo el consumo innecesario, reutilizando recursos y utilizando recursos reciclables.[15]
4. Cambiar hábitos de producción no sostenibles: Hábitos como el consumismo desmedido y el desinterés en la protección de los recursos, son comportamientos que se ven imposibilitados mediante políticas limpias dentro de una empresa. [15]

En resumen, es imprescindible, desarrollar estrategias que prevengan que procesos, productos y servicios pongan en riesgo a las personas y al medio natural que nos rodea y a la vez se aumente la eficiencia y eficacia para las empresas y la industria en general. [15]

Los problemas que vienen a solucionar las acciones "limpias" son:

1. Contaminación atmosférica, del agua y sonora: la acumulación en el medio de gases, metales pesados y sustancias tóxicas en el aire, mares, ríos, lagos, etc.; han desencadenado fenómenos como el efecto invernadero, la lluvia ácida, que no solo atentan contra la naturaleza sino con la sobrevivencia de la vida en general.[13]
2. Agotamiento de los recursos no renovables y sobre producción de recursos renovables.
3. Las tecnologías limpias, solucionan este problema con alternativas sostenibles de aprovechamiento y minimización de impactos.[13]

Ecología industrial

La ecología industrial es una práctica innovadora de gestión ambiental considerando el sistema industrial como un ecosistema. Trata de dar respuesta a las necesidades de particulares y empresas que, bajo la presión de leyes y reglamentos nacionales, directivas europeas, acuerdos internacionales o por competencia, integran el medio ambiente en su estrategia. Más ampliamente, el objetivo es alcanzar la sostenibilidad: se trataría de ir más allá de las políticas ambientales y de responder a desafíos más globales e integrados, como el agotamiento de recursos naturales (pico petrolero, la contaminación o el cambio climático).

La ecología industrial consigue que el consumo de materias primas y energías se reduzca a unos valores tales que la biosfera pueda reemplazarlos, y que las emisiones de residuos se reduzcan hasta unos valores tales que la biosfera pueda asimilarlos. Entiende al sistema industrial como un ecosistema, en el que se intercambian flujos de materia, energía e información con el mismo y con su entorno. Su objetivo es estudiar estos flujos y reestructurar el sistema industrial para que se mantenga en equilibrio con la biosfera por sí mismo. [16]

Se dice que una empresa consigue ecoeficiencia cuando oferta productos y servicios a un precio competitivo, y estos satisfacen necesidades humanas e incrementan su calidad de vida, mientras a lo largo de su ciclo vital reducen progresivamente el impacto medioambiental y la intensidad del uso de recursos, hasta el nivel de la capacidad de carga del planeta. [16]

Según el informe Brundtland de la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas en 1987 se define como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”.

El Observatorio de la sostenibilidad en España (OSE) ha publicado un informe titulado "Ecoeficiencia y evolución de la industria" en el que se manifiesta un aumento de políticas limpias industriales, exigidas por los propios consumidores, más que por la legislación vigente.

Cada vez son más las empresas adheridas al EMAS (Eco-Management and Audit Scheme o Reglamento Comunitario de Ecogestión y Ecoauditoría), una normativa voluntaria de la Unión Europea que reconoce a aquellas empresas y organizaciones con un compromiso material con el medio ambiente.

Entre las herramientas para mejorar la ecoeficiencia de las industrias se distinguen las siguientes:

1. Reducción de la intensidad de uso de las materias primas.
2. Reducción de la intensidad de uso de la energía.
3. Reducción del daño a la salud humana y el medio ambiente.
4. Fomento de la reutilización y reciclaje de los materiales.
5. Proporcionar calidad de vida.
6. Aumentar la intensidad de servicios de sus productos y servicios. Fomentar la Economía de Servicios.

Incineradora: Aplicando la ecología industrial se suspenderían las prácticas de incineración de residuos y vertederos.

El objetivo de las tecnologías o los modos de producción convencionales suelen ser optimizaciones para una instalación concreta, sin tomar en cuenta el impacto global. La ecología industrial busca sin embargo una optimización a escala de grupos de

empresas, de filiales, de regiones e incluso del sistema industrial en su conjunto. Para lograrlo, apoya la transición del sistema industrial actual hacia un sistema viable, durable, inspirado en el funcionamiento casi cíclico de los ecosistemas naturales. En la práctica, la ecología industrial tiene como ejes principales:

- Valorizar los desechos de una rama como insumos de otra, con el objetivo de potenciar el reciclaje cerrando los ciclos y limitando de esta manera los residuos últimos.
- Crear ciclos de vida para las materias y minimizar las emisiones disipativas que dispersen contaminantes en el medio ambiente
- Desmaterializar los productos y las actividades económicas (Economía baja en carbono)
- Descarbonatar la energía

Lo que diferencia a la ecología industrial de los enfoques clásicos de gestión del medio ambiente (como el reciclaje, la descontaminación, la eficiencia energética o el uso de energías renovables) es su capacidad de combinar los estudios de cada sector mediante procesos integradores.

Gestión de la Calidad

La estrategia de la gestión ambiental en la industria es un elemento esencial de la competitividad a mediano y largo plazo, aunque pueda originar costos adicionales en el corto plazo. En efecto, los costos ambientales generados por las actividades productivas pueden ser considerados como un sumando más de lo que se conoce como el costo de la "no calidad".

Esta estrategia trata de:

- Identificar los costos medio-ambientales indeseados, generados por el ciclo producción-consumo que perturba al ciclo ecológico natural,
- Cuantificar los costos en la medida de lo posible,
- Asignar responsabilidades,
- Interrumpir el proceso de transferencia de dichos costos,

El resultado de la gestión ambiental es una disminución en los costos medioambientales.

El esfuerzo de minimizar los costos medioambientales desencadena en la industria modificaciones profundas, que no sólo afectan a la forma de producir, sino que repercuten en la selección de los objetivos sociales, en los procesos de investigación y el desarrollo de nuevos productos, en la estrategia comercial, en los esquemas organizativos y en los sistemas de gestión y control.

El resultado final es el aumento de la competitividad como consecuencia de la integración de la función ambiental a la Gestión de Calidad Total de las empresas.

La Industria y el Medio Ambiente

Se están produciendo cambios sustanciales en las relaciones entre los conceptos Desarrollo Industrial y Protección del Entorno Natural considerados antagónicos tiempos atrás. Estos cambios significan pasar de la preocupación por la lucha contra la contaminación, a darle cada vez más importancia a su integración con el factor económico.

Actualmente se tiende a la modificación y desarrollo de nuevos procesos industriales que reducen drásticamente la contaminación y también la recuperación de subproductos, agua y energía. Hoy, la armonización entre la competitividad y la protección ambiental es una condición necesaria para la expansión industrial.

Auditoría ambiental

En estos casos la auditoría ambiental es una herramienta de planificación y gestión que le da una respuesta a las exigencias que requiere cualquier tipo de tratamiento del medio ambiente urbano. La misma sirve para hacer un análisis seguido de la interpretación de la situación y el funcionamiento de entidades tales como una empresa o un municipio, analizando la interacción de todos los aspectos requeridos para identificar aquellos puntos tanto débiles como fuertes en los que se debe incidir para poder conseguir un modelo respetable para con el medio ambiente. Básicamente, la auditoría ambiental es una herramienta de protección preventiva y proactiva del medio ambiente y supone un instrumento para poder incrementar la eficiencia y al mismo tiempo la reducción de los costos.

Estudio Impacto Ambiental

La actitud del hombre hacia el medio ambiente se ha transformado gradualmente desde la exploración, hasta la explotación de los recursos del planeta.

La práctica de explotación se generalizó a partir del Siglo XVII, dando origen a un proceso de deterioro cada vez más importante del medio natural y del ambiente hasta que, hace pocos años, en varias regiones se empezó a evidenciar el agotamiento de los suelos, los cursos de agua contaminados, algunas especies animales y vegetales a punto de extinguirse, la destrucción de bosques, las ciudades poco habitables, etc.

Por otra parte, la tecnología moderna ha aumentado la cantidad de productos de desecho, que se convierten en contaminantes. Incluso, algunas de esas sustancias que ayudan al desarrollo agrícola, industrial y al cuidado de la salud tienen efectos secundarios adversos que se han reconocido mucho después de haberlas puesto en uso, etc. (ejemplo Freones).

En síntesis, los componentes de este crecimiento poblacional y la globalización de la actividad humana que tienen un mayor impacto en el medio ambiente son:

- Las excretas, propias de su naturaleza de ser vivo,
- La agricultura,
- La energía,
- La industria. En este caso la contaminación es un fenómeno global que afecta al ambiente industrial interno y a los medios receptores externos (agua, aire, suelo).

El reconocimiento de que la humanidad debe aprender a servirse del ambiente sin destruirlo provocó que en junio de 1972, las Naciones Unidas convocaran a una Conferencia Internacional sobre el Medio Ambiente en Estocolmo, Suecia.

En esta reunión aparecieron dos posiciones antagónicas:

- a) La detención de la contaminación, para mejorar la calidad de vida.
- b) El desarrollo a costa de la contaminación. A partir de ese momento se inició una evolución en la forma de enfocarlos asuntos ambientales. En la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, "La Cumbre de la Tierra" (Brasil, 1992), se señaló al mundo y a sus dirigentes, la importancia y urgencia de adoptar medidas para proteger el medio ambiente y encontrar la manera de que la interacción personas-medio ambiente asegure el desarrollo sostenible de la sociedad humana.

Una comparación entre las diferentes herramientas de gestión ambiental se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Comparación entre algunas herramientas de gestión ambiental.

Herramienta	Objetivo	Objeto	Puntos fuertes	Puntos débiles
Análisis Ciclo de vida	Relacionar los efectos ambientales generados a lo largo del ciclo de vida de una actividad humana	Actividades humanas	Fuerza la consideración de todo el ciclo de vida	Carece de detalles espacial y temporal
Ecodiseño	Diseñar productos pensando en el medio ambiente	Producto de mercado	Facilita la consideración de factores ambientales en la fase de diseño	El foco en el diseño puede limitar la aplicación general
Tecnología limpia	Tecnología de proceso más eficiente y más limpias	Procesos industriales	Anima a la focalización sobre la eficiencia de los procesos y la minimización de residuos en origen	El foco sobre la tecnología podría detener la búsqueda de soluciones
Ecología industrial	Comprender las sinergias entre actividades industriales, es decir, el metabolismo industrial	Procesos y actividades industriales	Favorece el establecimiento de enlaces simbióticos entre procesos industriales	Es muy difícil aplicar ya que el poder hacerlo depende de muchos y diferentes factores
Gestión de la calidad ambiental total	Reaplicar los principios de la gestión de la calidad total a la gestión ambiental, optimizando el uso de recursos técnicos y humanos en la actuación ambiental	Operaciones industriales y servicio	Moviliza los recursos humanos y financieros disponibles hacia la mejora continua	Requiere un cambio de actitud de muchas gentes y el mantenimiento del ímpetu inicial.
Auditoría ambiental (AA)	Empresa o instalación	Adaptación a una norma ambiental	Propuestas de mejoras	Análisis Situacional

Estudio de impacto ambiental (EIA).	Proyecto	Decisión sobre un proyecto.	-Evaluación y medidas correctoras de impacto ambiental y social.	Se puede focalizar el estudio solamente en lo concerniente al proyecto.
--	----------	-----------------------------	--	---

Fuente Elaboración propia.

El Análisis del Ciclo de Vida, (ACV), está considerado como la mejor herramienta de manejo que pueda ser usada para obtener un justo entendimiento y una cuantificación objetiva de todos los impactos ambientales relacionados con distintos escenarios de manejo de residuos, ya que tiene en cuenta, desde la fuente de extracción, hasta el último tratamiento que ese bien o servicio ha sufrido.

1.4. Gestión de residuos sólidos urbanos en el mundo

En el mundo existe un problema causado por la creciente cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU), que en general se depositan en tiraderos municipales o rellenos sanitarios, desaprovechando su potencial económico. [17-20], El análisis de este problema, indica que en los países desarrollados existe conciencia sobre el manejo de los residuos sólidos, que incluso representan una alternativa explotable comercialmente que, resuelve el problema ambiental y la pérdida de recursos naturales. Mientras que [21-24], plantean que en países en vía de desarrollo como Cuba, está comenzando a existir conciencia, acerca del aprovechamiento de los desechos sólidos, lo que causa una disminución de la contaminación ambiental y el aprovechamiento de su uso potencial. Además el estado está impulsando políticas para mejorar la situación.

Por lo tanto es evidente que esta problemática de los residuos reviste igual importancia tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, lo que hace necesaria la búsqueda de solución para los mismos.

Se reporta mundialmente un crecimiento en la generación de RSU, a mayor disponibilidad de recursos económicos, las naciones aumentan sus esfuerzos para mejorar la gestión de sus RSU, como necesidad comunitaria, en particular por la presión social. Existe investigación sobre la generación de energía a partir de RSU mediante incineración, el James Center of Dickinson Collage y la Fundación ICA de México, señalan que esta alternativa causa deterioro ambiental y reducción de la calidad de vida de quien trabaja o vive cerca de incineradores. En contraste, las

Organizaciones No Gubernamentales (ONG's), (Acuerdos surgidos de la Cumbre mundial sobre desarrollo sostenible. 2004. México, D.F. [24], [25, 26], [27], de países en vías desarrollo, se oponen a la transferencia tecnológica de la incineración al considerarla una manera de gestionar RSU con impacto ambiental negativo.

En la tabla 1.1 se muestra que en Europa el 95% de las unidades para gestionar RSU, son rellenos sanitarios, el 5% restante se incinera. Para los residuos sólidos peligrosos, la relación relleno sanitario/incinerador es de 2/1, esto se debe a que la incineración es una solución controvertida debido a las emisiones de sustancias tóxicas a la atmósfera y la producción de cenizas y otros residuos, que generan impactos potenciales en el medio ambiente y la salud que la hacen poco recomendable.

Tabla 1.1 Opciones de tratamiento de los Residuos Sólidos en Europa.

Opción para gestión de residuos sólidos urbanos	Tipo de residuos	
	Número de unidades para sólidos urbanos	Número de unidades para sólidos peligrosos
Relleno sanitario	26,169	325
Incinerador	1,258	152

Fuente: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. 2001

Muchos países en vías de desarrollo realizan una gestión inadecuada de los RSU, por el elevado costo de inversión que necesita el sistema de gestión y tratamiento de los mismos, a esto se le adiciona la poca cultura sobre la temática, lo que obliga a implementar estrictas normas de protección ambiental.

Factores nacionales y regionales contribuyen a determinar la composición de los RSU. La tabla 1.2 muestra la composición de RSU en el 2001 en algunas regiones del mundo. En los EE.UU. el mayor porcentaje de los RSU fueron: 41% de papel/cartón; 29% orgánico, el 30% restante, más de la mitad compuesto por metal y plásticos, con un 17%, los sanitarios (u otros) el 7% y vidrio el 6%, de ahí que un alto porcentaje se incinere.

En Europa el mayor porcentaje de los RSU: fue 37% orgánicos; 28% papel/cartón; 17% vidrio y 9% plásticos. Esto es opuesto a lo que ocurre en EE.UU. y Argentina, donde

existen más residuos plásticos que vidrio, y los sanitarios y metal, con 6% y 3% respectivamente, lo cual influye en el empleo de un elevado porcentaje de incineración. En Buenos Aires, capital de la Argentina los RSU se dividen en: 40% orgánicos; 24% papel/cartón; del 36% restante más de tres cuartas partes corresponden a la suma de plásticos y sanitarios, con 14% de cada uno, en el menor porcentaje están vidrio con 5% y metal 3%, lo cual explica el alto porcentaje de empleo del tiradero a cielo abierto.

Tabla 1.2. Composición de los residuos sólidos en algunas regiones del mundo.

Residuo	Estados Unidos de América	Europa	Buenos Aires, Argentina
Orgánico	29%	37%	40%
Papel/Cartón	41	28	24
Metal	8	3	3
Vidrio	6	17	5
Otros	7	6	14
Plásticos	9	9	14

Fuente: *United States Environmental Protection Agency, European Environmental Agency, Coordinación ecológica del área metropolitana Sociedad del estado, Gobierno de la ciudad de Buenos Aires*

Desde 1990, con el avance tecnológico, se implementaron mejoras en la industria, por la presión de organizaciones locales e internacionales de protección ambiental, que exigieron la regulación obligatoria de desechos industriales al ambiente. A finales de esta década, el gobierno norteamericano estimuló estos cambios, mediante incentivos fiscales, para el registro y control de desechos.

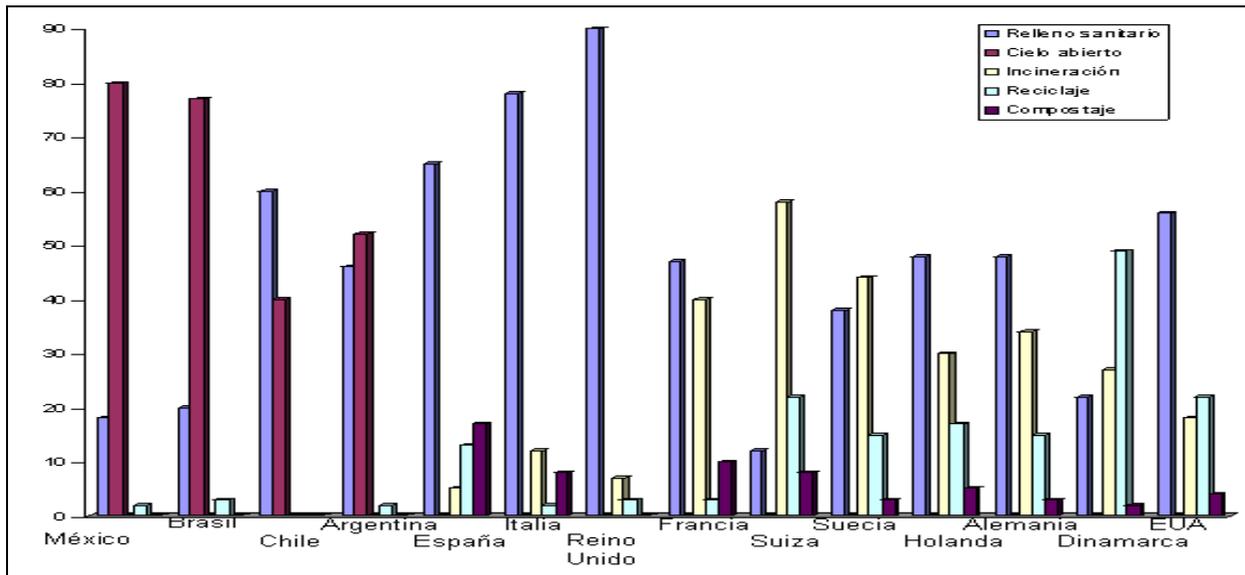
A principios del siglo XXI, el gobierno apoya la concientización de la sociedad para el eficiente manejo de los RSU, en equilibrio con el ambiente. Lo anterior muestra que el gasto público del gobierno no aumentó, porque al estimular programas educativos ambientales, además se concientiza a la población para que las medidas oficiales de conservación, se conviertan en un estilo de vida en sus comunidades.

Desde 1976, los países afiliados a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) adoptaron otras opciones para la gestión de los RSU, presentadas en la figura 2, que muestra la tendencia de los países en vías de desarrollo como: México, Brasil, Chile y Argentina, en donde los gobiernos gestionan los RSU por relleno sanitario entre un: 18%-60% y tiradero a cielo abierto entre un: 40%-80%, con el argumento de bajar costos operativos y de mantenimiento, pero sin considerar el impacto ambiental. Mientras que el reciclaje es una opción poco empleada; de 0%-3% y aún menos la incineración o el compostaje.

En los países desarrollados, el relleno sanitario es la primera opción para la gestión de los RSU: en el Reino Unido fue de 90%. El gobierno procesó fracciones de 2%-49% de RSU por el proceso de reciclaje, de 3%-17% por compostaje y de 5%-58% por incineración. Muchos autores de la Comunidad científica plantean que la incineración es una tecnología que está muriendo y en algunos países como Estados Unidos está prohibido este tipo de tratamiento, pero realmente la tecnología no resulta tan negativa como plantean algunos, el tratamiento por Incineración sí necesita una buena caracterización del tipo de residuo a tratar y un adecuado tratamiento de los gases, lo que encarece la inversión y con ella, la tecnología, la cual no es factible en países en vías de desarrollo.

En la figura se muestran las alternativas para gestionar los RSU, empleadas en algunas ciudades del mundo, en donde se observa que los países desarrollados no usan el relleno sanitario a cielo abierto, como los que están en vías de desarrollo. En Europa, a pesar de tener alta densidad poblacional, no se emplea el relleno sanitario. Se observa que al disminuir la densidad poblacional, aumenta la frecuencia en la construcción de rellenos sanitarios en países en desarrollo, la tecnología de incineración es aceptada en los países Europeos.

Figura 2 Gestión de los residuos sólidos urbanos en algunos países para la Organización Cooperación y el Desarrollo Económico.



Fuente: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, World Bank.

En la figura 2 se observa que en un país desarrollado, en una ciudad como Nueva York, no existen vertederos a cielo abierto; en contraste, un país en desarrollo como Argentina, existe para más de la mitad de los RSU. Un nivel intermedio en el empleo del relleno sanitario, es la ciudad de Barcelona, España, que lo utiliza en un 69%.

Los EE.UU. no usan el vertedero a cielo abierto, que sugiere una relación entre la capacidad económica, la concientización ciudadana y el manejo con aprovechamiento de los RSU.

La alta densidad poblacional y la falta de preparación de las autoridades en educación ambiental y la mínima inversión en educación para concientizar a la ciudadanía, impiden un manejo adecuado de los RSU[28]. [29]).

1.5. Gestión de los residuos sólidos urbanos en Cuba.

El medio ambiente constituye un bien fundamental de la sociedad cubana tal como lo expresa el artículo 27 de la Constitución de la República de 1976. Sin embargo y pese a que en la década de 1980 el crecimiento económico del país determinó un mejoramiento en la calidad de los servicios comunales y en el sector de los residuos sólidos, los cambios económicos financieros ocurridos a partir de 1990 produjeron un deterioro marcado de los servicios de aseo urbano, lo que ha incidido en las

condiciones ambientales y de salud de la población afectando la calidad de vida. Esta situación motivó al Gobierno cubano a realizar un estudio del sector de residuos sólidos, específicamente desechos sólidos urbanos, con el fin de precisar los principales aspectos de la situación del país, analizar las acciones políticas y recomendar estrategias.

La República de Cuba dispone de una estructura institucional para la atención de las actividades del sector de residuos sólidos: el Estado asume plenamente las responsabilidades del sector al igual que las relacionadas con la preservación de la salud y el medio ambiente. El Ministerio de Economía y Planificación (MEP) es el organismo encargado de orientar y controlar la conformación de los planes de los servicios comunales, el Ministerio de Salud Pública (MINSAP), en su carácter de órgano rector sanitario, tiene la responsabilidad legal de dictar medidas relacionadas con el control sanitario del ambiente para proteger la salud de la población y el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) elabora y controla la ejecución de los programas que permiten un mejor control ambiental. La interrelación que se produce entre las instituciones del sector está regulada por procedimientos establecidos oficialmente en disposiciones jurídicas que especifican las atribuciones y funciones de cada una.[18, 22] , [30]),

Tabla 1.3. Progresión histórica de la composición de los RSU en Cuba.

Componentes	Resultados obtenidos (%)				
	1969- 1973	1975- 1979	1980- 1983	1989- 1995	Villa Clara 2005
Materia Orgánica	50,7	47,2	37,3	48,8	67,12
Papel y Cartón	24,2	20,0	27,3	18,6	5,19
Plásticos	0,7	1,9	4,2	4,3	3,18
Metales	7,0	6,7	6,0	3,8	3,62
Vidrio	1,9	5,6	3,7	5,1	3,61
Desperdicios textiles	4,7	3,4	6,9	4,9	1,80
Madera	3,6	3,7	2,4	1,8	8,04
Goma	0,4	1,0	0,3	1,2	0,00
Huesos	0,5	0,7	0,6	1,1	0,32
Escombro	5,5	9,2	9,8	8,4	7,10
Cuero	0,8	1,6	1,5	2,0	0,02
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: Núñez., J.A.D., Guía Metodológica para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos en la Ciudad de Santa Clara. 2009.

El sistema de gestión de los RSU comprende el almacenamiento, recogida y transportación, tratamiento, la selección donde existen plantas (5 en el país) y la disposición final de los residuos sólidos.

1.5.1. Almacenamiento, Recogida y Transportación:

El almacenamiento, definido en la NC 133:2002 como la "acumulación de los residuos sólidos de una comunidad, en los lugares donde se producen los mismos o en los alrededores a estos, donde se mantienen hasta su posterior recolección" ; en las áreas urbanas (hogares, centros de trabajo, escuelas, comercios, etc.) se realiza de forma inadecuada, en la mayoría de los casos utilizándose recipientes de diferentes tipos y capacidades, lo cual debido a que en ocasiones existe una mala estrategia en la

recogida o inestabilidad en los ciclos, produce la proliferación de microvertederos, contaminando así el medio ambiente.

La recogida y transporte de los RSU está establecida de forma general en todo el país, estimándose que existe una cobertura de recolección a nivel nacional en zonas urbanas de un 90%. La frecuencia de recolección en teoría es seis veces por semana, pero en la práctica las investigaciones realizadas reflejan que en el mejor de los casos es de tres veces por semana.

El transporte de los residuos se realiza mediante diferentes tipos y formas de vehículos que son principalmente vehículos compactadores de carga trasera, camiones abiertos y carretas de tracción mecánica y animal.

Reciclaje

La Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas (UERMP), creada en el año 1961, se dedica a la recuperación, procesamiento y comercialización de los desechos sólidos reciclables en Cuba

Acorde con los datos estadísticos, el 63,6% de toda la chatarra no ferrosa se recupera a través de esa red de 12 tiendas, así como el 33,8 % del total de los envases de cristal y el 21,1% del papel y el cartón. A pesar de los esfuerzos realizados, aún la recogida de materias primas es baja debido a problemas organizativos y de equipamiento. [31]

1.5.2. Gestión de residuos sólidos urbanos en Santa Clara.

También en la provincia de Villa Clara y específicamente en Santa Clara se han realizado varias investigaciones con el objetivo de contribuir a perfeccionar la gestión de los RSU.[32] plantearon un nuevo diseño y gestión de las rutas para la recolección de residuos sólidos urbanos en la ciudad Santa Clara, con el objetivo de ofrecer a la población un mejor servicio, mejorar el entorno, cuidar el medio ambiente y disminuir los diferentes costos ocasionados en el desarrollo de esta actividad. [33] propuso generalizar este procedimiento, el cual incluye además un conjunto de técnicas y procedimientos específicos, que facilitan la toma de decisiones e inciden en el desempeño normal de la prestación de este servicio, contribuyendo a la disminución del consumo de combustibles fósiles al lograr la reducción en la distancia a recorrer por el vehículo recolector. Así también[34], en su tesis de Maestría propone una metodología que permite minimizar el deficiente manejo de los residuos sólidos

urbanos, existente actualmente en la ciudad de Santa Clara, enfocado en buscar solución al mal manejo de los mismos, priorizando el sistema de recolección y transportación desde su origen hasta el lugar de disposición final.

1.5.3. Etapas en la gestión de residuos sólidos urbanos en Cuba.

La gestión de los residuos sólidos urbanos en Cuba ha tenido diferentes etapas y condiciones en su atención y manejo. De forma oficial se conocen los siguientes datos históricos al respecto.[35]

- A raíz de los problemas surgidos a finales de los años 80, el servicio de recogida, transporte y disposición final, principalmente, empezaron a bajar su calidad y cobertura como consecuencia de la disminución de equipos especializados para la recolección y transporte, incrementándose el número de vertederos a cielo abierto. Esta situación se mantuvo hasta finales del 2007
- En el 2008 el 97.3% de la población urbana en Cuba recibió servicios de recogida de residuos sólidos y se recogieron y transportaron en todo el país aproximadamente 24 986.3 Mm³ de residuos sólidos, lo que representa un 8% de crecimiento con respecto al año 2007.

Numerosos autores cubanos han tratado el tema de la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos proponiendo alternativas de tratamiento con el objetivo de minimizar las tasas de generación y así contribuir al mejor desempeño ambiental.

La generación de desechos sólidos por habitante se mantiene en un rango aproximado de 0,5 kg/hab/día, pero ha variado su composición por la gran disminución de materiales de embalaje y otros cambios en el estilo de vida.[21] , [36], [37].

El número de rellenos sanitarios ha disminuido mientras han crecido los vertederos a cielo abierto y proliferado los micros vertederos clandestinos. Esta situación se agrava por un crecido volumen de escombros que no se recogen debidamente; en algunos casos, los residuos considerados como peligrosos se recolectan con los domiciliarios agravándose la situación. [21],[38].

En relación al análisis sociocultural, se identificaron algunos puntos que comprenden actitudes y comportamientos individuales y de la comunidad, características de la

familia, relaciones personales, valores y aspectos culturales propios del país. En esta área se identificaron los siguientes aspectos críticos:

- Inexistencia de una estrategia educativa comunitaria que permita incidir positivamente en actitudes y comportamientos adecuados en torno a los residuos sólidos.
- Incongruencia entre los comportamientos de la población en relación al almacenamiento y disposición de los residuos sólidos y el nivel de instrucción de la misma, así como sus conocimientos acerca de la relación entre residuos sólidos y salud,
- Poca sistematicidad de los mensajes de educación ambiental relacionados con el sector que se emiten a través de la prensa, televisión y radio,
- Carencia de los recursos materiales necesarios para apoyar la capacitación de activistas y comunicadores sociales,

Insuficiente trabajo de carácter sociocultural desarrollado por algunos organismos involucrados en el sector de residuos sólidos.[21],[22],[23, 39],[37].

El aspecto legal se caracteriza por una normativa dispersa e insuficiente que incide en la aplicación de la legislación y de los mecanismos de control. Resulta imperiosa la necesidad de un análisis profundo con vistas a modificarlas, derogarlas o actualizarlas y, en caso de ser procedente, elaborar nuevas disposiciones jurídicas.

Las políticas y estrategias generales que permitirán dar solución a las dificultades actuales están encaminadas a:

- 1 Perfeccionar políticas y planes que propicien incentivos para el manejo, reutilización y reciclado de los residuos sólidos;
- 2 Fortalecer las instituciones nacionales y territoriales para la gestión y el control; Continuar elaborando y extendiendo programas de divulgación y educación ambiental.

1.6. Clasificación de los residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos se pueden clasificar de diversas formas y criterios, en dependencia de la importancia que revisten la utilidad, la peligrosidad, fuente de producción, posibilidades de tratamiento, tipo de materiales, entre otros.

A continuación se resumen las distintas terminologías que se les aplican a los RSU, según el criterio de clasificación que se tome como referencia y la interconexión que existe entre ellos, pues para una mejor comprensión de su importancia en el manejo, se hace necesario integrar los distintos criterios de clasificación.

Tabla 1.4 Criterios de clasificación de los RSU

Por su composición química	<ul style="list-style-type: none">• Orgánicos• Inorgánicos
Por su utilidad o punto de vista económico	<ul style="list-style-type: none">• Reciclables• No reciclables
Por su origen	<ul style="list-style-type: none">• Domiciliarios• Comerciales• Constructivos• Industriales• Agrícolas
Por el riesgo	<ul style="list-style-type: none">• Peligrosos• No inertes• Inertes

Fuente: Elaboración propia.

1.6.1. Características de los residuos sólidos urbanos.

Las propiedades químicas de los componentes de los RSU, constituyen un elemento de significativa importancia para el uso y manejo que se haga de ellos. A partir de las características de los RSU, se toman las decisiones pertinentes relacionadas con el sistema de tratamiento más adecuado para cada caso [40].

1.6.2. Composición

La composición de los residuos sólidos urbanos es muy variada, fundamentalmente en los factores relacionados con la actividad humana. En sentido general, la composición de los mismos puede estar determinada por:

- Las características de la población que los genera: Así por ejemplo, difieren grandemente según las particularidades poblacionales de las distintas áreas en las que se generan, como son la urbana, la rural, la turística, la industrial.

- La época del año en que se generan: En tal sentido, la influencia de las variaciones del clima en la agricultura, los cambios de actividad en períodos vacacionales, entre otros, inciden en la composición de los residuos.
- El nivel cultural y económico de la población que los genera: Lo anterior está muy relacionado con las características de los productos del primer grupo. Las características de los productos dependen de los hábitos de consumo y generación de residuos de los habitantes de las determinadas zonas [41]

Los residuales sólidos están compuestos por:

- Materiales inertes: metales, vidrios, cerámicas, arena, cenizas, escorias, escombros provenientes de reparaciones y construcciones, piedras, polvo, etc.
- Materiales fermentables: materia orgánica putrescible (pan, pescado, pajas, restos de alimentos)
- Materiales combustible: Componentes combustibles a excepción de la materia orgánica, papel, cartón, lana, tejidos, gomas, piel, plásticos, cueros, etc.

La cantidad y composición de los residuos refleja fielmente el nivel cuantitativo y cualitativo de nuestro consumo doméstico. Su variación a lo largo del tiempo también indica los cambios de hábitos en el consumo de una población, y la forma de clasificarla, recogerla y su posterior destino indicará el nivel de conciencia ambiental que tiene una determinada población.

Los residuos sólidos urbanos domésticos que se generan en las ciudades están compuestos básicamente por una fracción húmeda de materia orgánica fermentable y otra parte seca, formada por diferentes materiales prácticamente inertes, sobre todo plásticos, textiles, cartón y papel, metales, vidrios y otros en menor proporción.

1.7. Tratamientos de los residuos sólidos urbanos.

El tratamiento es un proceso que modifica las características físicas, químicas o biológicas de los residuos, para aprovecharlos, estabilizarlos o reducir su volumen, antes de la disposición final. Cualquier tratamiento que se aplique involucra la recolección y clasificación y en dependencia de esto se pueden proponer diferentes alternativas como las que se refieren a continuación[42, 43]

1.7.1. Tratamiento Biológico:

La digestión anaerobia y el compostaje (tratamiento aeróbico) son los tratamientos biológicos aplicables a la Fracción Orgánica de los Residuos Urbanos (FORU) [44]. Los dos sistemas disminuyen la cantidad de residuos (en peso y volumen), su “actividad” y, además, la digestión anaerobia permite la obtención de energía.

- **Obtención de biogás:** El biogás es una mezcla de gases producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de materia orgánica en condiciones anaeróbicas, que artificialmente se obtiene en biodigestores.

La digestión anaeróbica se produce por la acción de bacterias en tres etapas diferenciadas: En la primera, llamada **hidrólisis**, las bacterias de fermentación descomponen las largas cadenas de carbohidratos, proteínas y lípidos en moléculas más pequeñas. En la segunda etapa, llamada **acidificación**, las bacterias productoras de ácidos o acidogénicas convierten los productos de la hidrólisis en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono y en el proceso, consumen oxígeno preparando el ambiente para la tercera etapa llamada **formación de metano**, donde las bacterias metanogénicas combinan estos elementos para producir metano.

Dependiendo del peso molecular de cada compuesto o sustancia, se puede estimar la producción máxima de metano y dióxido de carbono por la relación:



Donde: $x = 1/8 (4c+h-20-3n-2s)$, $y = 1/4 (4c-h-20+3n+2s)$

La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 L/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70%.⁵

Por su parte, el efluente de la digestión está compuesto por diversos productos orgánicos e inorgánicos y se puede utilizar tanto en la fertilización de suelos, con excelentes resultados, como en alimentación animal, aspecto aún en vías de investigación.

El valor calorífico del biogás es cerca de 6 kWh por metro cúbico. Es decir que un metro cúbico de biogás es equivalente a aproximadamente medio litro de combustible diesel

Para el diseño y capacidad de un biodigestor se deben obtener los siguientes datos [45] fuente de la materia orgánica, materia orgánica total obtenible, contenido total de

sólidos, contenido de sólidos volátiles, potencial de producción de metano, tiempo de retención, temperatura de la reacción.

- **Compostaje:** En la mayoría de los países desarrollados, el tratamiento de los residuos orgánicos se está convirtiendo en una de las prácticas claves de la gestión moderna de residuos[46],[47, 48]. Es un material tipo "humus", bioquímicamente estable, constituido por materia orgánica, mineral y cerca de 40% de agua, y pH neutro o poco alcalino.

El compostaje de la parte sólida de los residuos produce un material muy útil para el crecimiento de las plantas. La degradación se produce por la digestión enzimática de los residuos por parte de los microorganismos del suelo (bacterias, hongos, insectos) usando la materia orgánica como sustrato. La degradación aeróbica de las sustancias orgánicas y la mineralización a CO₂ (dióxido de carbono), agua y sales inorgánicas viene acompañada por una reducción de la masa de un 40 % a un 50 %.

El resultado es un producto de alta calidad, muy útil como fertilizante, y además es una manera de reciclar las sustancias orgánicas y minerales producidas por el propio suelo agrícola sin necesidad de tratamientos químicos o biológicos.

1.7.2. Tratamiento por termo conversión:

- **Incineración:** Proceso de combustión controlado de los desechos sólidos que se usa ampliamente en numerosos países para reducir hasta en un 90% el volumen de residuos a través de diversos procesos térmicos controlados y bajo estrictos parámetros de emisiones[49]. No es un sistema completo de eliminación, pues genera cenizas, escorias y gases. Debe efectuarse en un horno especial para evitar la contaminación ambiental. Es recomendable en clínicas y hospitales para mantener un buen control sanitario. Puede o no implicar un aprovechamiento energético en dependencia del valor calórico de los residuales sólidos [50].
- **Gasificación y Pirólisis** La pirólisis y la gasificación son dos formas de tratamiento térmico en las que los residuos se calientan a altas temperaturas con una cantidad de oxígeno limitada. El proceso se lleva a cabo en un contenedor sellado a alta presión. Convertir el material en energía es más eficiente que la incineración directa, se genera energía que puede recuperarse y usarse, mucho más que en la combustión simple[51].

La pirólisis de los residuos sólidos convierte el material en productos sólidos, líquidos y gaseosos. El aceite líquido y el gas pueden ser quemados para producir energía o refinado en otros productos. El residuo sólido puede ser refinado en otros productos como aceite activado.

La gasificación puede ser usada para convertir materiales orgánicos directamente en un gas sintético (syngas) formado por monóxido de carbono e hidrógeno. El gas se puede quemar directamente para producir vapor o en un motor térmico para producir electricidad. La gasificación se emplea en centrales eléctricas de biomasa para producir la energía renovable y calor.

1.7.3. Disposición final:

Relleno sanitario La disposición final de los RSU en rellenos sanitarios o vertederos es la práctica más común en el mundo. Es aplicable a pequeñas y grandes comunidades. Aunque normalmente se aplica a todo tipo de RSU debería implementarse solamente sobre aquellos residuos que no han podido ser tratados por métodos como el reciclaje, compostaje o recuperación.

En la práctica se incluyen residuos peligrosos dentro de los rellenos sanitarios debido a que la mayoría de las instalaciones que manejan los mismos no cuentan con un tratamiento y disposición segura [52].

Es importante minimizar el flujo de RSU cuya disposición final es el relleno sanitario. Con este propósito es necesario promover técnicas de separación y recuperación de residuos, promover plantas de recuperación y reciclaje de residuos y desarrollar mercados para los productos recuperados o reciclados.

El relleno sanitario debe utilizar el menor lugar y ocasionar el menor impacto ambiental posible. Las operaciones que se deben realizar periódicamente en un relleno sanitario son: [53]

- Recepción de los residuos
- Disposición de los residuos
- Compactación de los residuos
- Recubrimiento con tierra
- Compactación

Dentro del relleno sanitario se produce una descomposición anaeróbica (sin presencia de oxígeno), el gas metano y el dióxido de carbono son unos de los productos de esta descomposición, además las emisiones gaseosas contendrán compuestos orgánicos volátiles. Es por esto imprescindible el monitoreo ambiental del relleno.

1.8. Marco Legislativo vigente en Cuba

Existe un grupo de legislaciones, fundamentalmente del Ministerio de Salud Pública, relacionadas con la higiene y el ornato, y sus contravenciones. Existen igualmente Resoluciones de ese Ministerio y del de Economía y Planificación, normando aspectos relacionados con el manejo de los residuos Sólidos Urbanos. El CITMA cuenta en la Ley 81 del Medio Ambiente con Capítulos dirigidos al Manejo de los Desechos Peligrosos y Productos Químico - Tóxicos, así como un Título dirigido hacia los Servicios Públicos Esenciales donde se aborda la recogida de los desechos sólidos y su disposición final en vertederos; y existe una Resolución Ministerial a tono con el cumplimiento del Convenio de Basilea y el manejo y disposición final de los desechos peligrosos[31]

Existen 3 Normas Cubanas (NC 133:2002, NC 134:2002, NC 135:2002) relacionadas con el almacenamiento, recolección, transportación, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos; requisitos higiénicos sanitarios y ambientales. Además la NC 530:2007 relacionada con el manejo de los residuos sólidos de las instituciones de salud y los requisitos higiénico - sanitarios y ambientales.

A pesar de que se puede constatar la realización de estudios relacionados con el tratamiento de los RSU en Cuba, en los cuales se han evaluado los impactos ambientales que los mismos provocan, no se ha llevado a cabo un estudio sistémico que cuantifique los impactos ambientales considerando un amplio rango de categorías de impacto, por lo cual los estudios realizados hasta el momento tienen limitaciones en su evaluación desde el punto de vista ambiental.

De forma general, los estudios relacionados incluyen la recolección, tratamiento, transporte y disposición final, sin embargo en Cuba no se han tratado con fuerza los sistemas de gestión que involucren el tratamiento biológico y térmico de los mismos, aspecto de vital importancia por ser esta una fuente de energía renovable que

contribuiría por un lado a disminuir las cargas contaminantes en el vertedero y por otro lado se contabilizaría la energía generada como cargas evitadas.

La generación de RSU está íntimamente vinculada al desarrollo socioeconómico del país, como ya se ha venido expresando, por lo que el comportamiento de la cuantificación y caracterización ha tenido cambios en el tiempo.

1.9 Antecedentes de aplicación del ACV en la gestión de residuos.

El ACV ha sido usado para comparar opciones específicas de gestión de residuos sólidos. [54], el análisis de ciclo de vida es un estudio que se enfoca a la evaluación del comportamiento ambiental de diferentes opciones de gestión de residuos que pueden ser usadas en el área de Regione Campania, al sur de Italia. El mismo evalúa tres escenarios para la gestión de los residuos: 1) uso del vertedero como única opción, 2) incineración como única opción y 3) el sistema propuesto para la región, que consiste en la separación, el tratamiento biológico para estabilizar la fracción fermentable, incineración y vertedero. Concluyen que la peor opción en términos ambientales es el vertedero y validan el sistema de gestión propuesto para la región como la mejor alternativa. Sugieren que se recupere el vidrio y el aluminio, así como también bajar los límites de emisión de contaminantes para las incineradoras.

[55], Comparan los efectos ambientales de tres diferentes opciones de manejo de residuos para un conjunto de comunidades rurales de la provincia de Salzburg en Austria. Analizan tres escenarios: 1) reciclaje con recolección en un centro de acopio, 2) reciclaje con recogida domiciliaria y 3) sin reciclaje con recogida domiciliaria; concluyen que el reciclaje con recogida selectiva domiciliaria representa la mejor opción en términos ambientales.

[56], Estudiaron varias opciones de tratamiento para residuos sólidos. Analizaron diferentes combinaciones entre incineración, reciclaje de plástico y cartón, y tratamientos biológicos para residuos fermentables y las compararon con el vertedero. La conclusión general del estudio es evitar el vertido tanto como sea posible y que una combinación de digestión anaeróbica, reciclaje de materiales e incineración podría ser la mejor opción.

[57], Comparan por medio del análisis del ciclo de vida, los impactos ambientales de la fabricación de compost, metanización y vertido de los bioresiduos en la ciudad de Sao

Paulo en Brasil. Concluyen que el vertido presenta impactos ambientales mayores que la fabricación de compost y la metanización.

[58], evalúan diferentes estrategias de tratamiento de los residuos sólidos en Suecia. Incluyen las fracciones comestibles o reciclables y fermentables de los residuos (residuos de alimentos, cartón, periódicos y materiales plásticos). Los tratamientos considerados son incineración de todas las fracciones con recuperación de calor, vertido de todas las fracciones con extracción de gas, reciclaje de todas las fracciones (excepto residuos de alimentos), digestión anaeróbica y fabricación de compost (para residuos de alimentos). Concluyen que el reciclaje de papel y materiales plásticos es más favorable, en términos ambientales, sobre la incineración y ésta sobre el vertido, con lo cual éstos resultados validan la jerarquía de los residuos. Con respecto a los residuos de alimentos los resultados no proveen una respuesta clara a la comparación entre incineración y digestión anaeróbica.

Conclusiones parciales.

1. El manejo de los residuos sólidos es uno de los grandes problemas generados por el crecimiento demográfico, el desarrollo económico y la urbanización, reportándose actualmente en el mundo un crecimiento en la generación de los mismos.
2. En los países en vías de desarrollo se impone la necesidad de tener una alternativa de tratamiento a los RSU que contribuya al ahorro de combustible y que garantice el mejoramiento de la gestión de los mismos.
3. En la actualidad el ACV se puede considerar una útil herramienta en la Gestión Integral de Residuos Sólidos ya que permite evaluar diferentes alternativas de tratamientos de acuerdo a las condiciones específicas del lugar que se trate y para el mejoramiento del medio ambiente.

4. En la literatura no se reporta una metodología específica para el análisis de ciclo de vida para la obtención de energía eléctrica a partir de las potencialidades energéticas de los residuos sólidos urbanos.

2. Capítulo II.- Metodología del ACV en los procesos de obtención de energía eléctrica a partir de los residuos sólidos urbanos.

El medio ambiente demanda una actitud responsable y un consumo sostenible, la aplicación de la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) permite evaluar el comportamiento ambiental de un producto desde la extracción de la materia prima, la producción, el uso y su eliminación.

Tiene como función describir la forma en que los sistemas tecnológicos impactan sobre el medio ambiente y proporciona la información necesaria para la toma de decisiones.

La metodología del ACV intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto. Básicamente, se enfoca al rediseño de productos bajo el criterio de que los recursos energéticos y la materia prima.

En este capítulo se desarrolla la metodología basada en el ACV siguiendo las orientaciones de las normas NC ISO 14 040 (2005), NC ISO 14 041(2000), NC ISO 14042 y NC ISO 14043 (2001) y utilizando el método de Eco indicador 99.

El desarrollo de la metodología propuesta tiene como base las fases del ACV, a partir de la fase inventaría del ciclo de vida, como se describe a continuación.

El estudio de ACV de acuerdo con las normas de la serie ISO 14040 consta de cuatro fases:

1. Definición del objetivo y alcance del estudio.
2. Inventario del ciclo de vida.
3. Evaluación del impacto en el ciclo de vida.
4. Interpretación del estudio.

2.1. Definición del objetivo y alcance del ACV.

Diferentes autores como,[59], la norma [60], coinciden que los elementos a incluir en la sección de definición de objetivos y alcance son:

- La razón para la ejecución del ACV.
- Definición precisa del producto, su ciclo de vida y la función que cumple.
- Selección de la unidad funcional, debe estar claramente definida, ser medible y representativa de todas las entradas y salidas.

- Establecimiento de los límites del sistema, determinando lo que entra dentro del sistema en estudio y lo que se queda fuera.
- Suposiciones y limitaciones.
- Requisitos de calidad de los datos.

La metodología parte de la definición del objetivo y alcance del ACV, de acuerdo a la razón y el motivo para realizar el estudio en general.

2.1.1. Objetivos.

La definición de los objetivos debe incluir el uso de los resultados de cada objetivo, así como también las personas responsables de tal información. Quienes lleven a cabo el estudio deben comprender el propósito del mismo, con el objeto de tomar las decisiones correctas durante su desarrollo, La definición del objeto determina el nivel de sofisticación del estudio y los requerimientos del informe final.[60]

2.1.2. Alcance del estudio.

La definición del alcance de la ACV establece los límites de la evaluación, es decir, cuál es el sistema a estudiar y qué método de evaluación se empleará. El alcance debe quedar suficientemente bien definido, para así asegurar que la profundidad y nivel de detalle del estudio sean compatibles con el objetivo fijado anteriormente. Debido a la naturaleza iterativa del ACV este estudio necesitará ser revisado y si es necesario ser modificado mientras esté en desarrollo.[60]

2.1.3. Función y descripción del sistema en estudio.

La definición del alcance de la ACV establece los límites de la evaluación, esta etapa del estudio requiere el conocimiento general del proceso, todas las operaciones del mismo, los materiales, los consumos y qué método de evaluación se empleara. El alcance debe quedar suficientemente bien definido, para así asegurar que la profundidad y nivel de detalle del estudio sean compatibles con el objetivo fijado anteriormente. Debido a la naturaleza iterativa del ACV este estudio necesitara ser revisado y si es necesario ser modificado mientras este en desarrollo.

El sistema de estudio dependerá de las alternativas que se consideren en el mismo y para cada una de ellas se construye el modelo de ciclo de vida, es importante elaborar un modelo base.

2.1.4. Selección de la Unidad Funcional.

La unidad funcional describe la función principal del sistema analizado. Un ACV no sirve para comparar productos entre sí, sino servicios y/o cantidades de producto que llevan a cabo la misma función. Por ejemplo, no es válido comparar dos kilos de pintura diferentes que no sirvan para realizar la misma función, cubrir un área equivalente con una duración similar. La unidad funcional proporciona una referencia respecto a la cual las entradas y salidas del sistema pueden ser normalizadas en un sentido matemático.

Es la unidad que refiere todas las entradas (materias primas energías) así como las salidas (productos, emisiones, residuos), y debe estar debidamente definida debe ser medible y representativa de todos los flujos del proceso. La unidad más representativa de todas las entradas y salidas del proceso en estudio es la producción eléctrica diaria de la planta de biogás a partir de residuos sólidos urbanos. Por lo que se propone como unidad funcional la cantidad de 1 kWh generado diariamente.

2.1.5. Establecimiento de los límites del sistema

Los límites del sistema definen los procesos unitarios que serán incluidos en el sistema a modelar. [61] Es conveniente modelar el sistema producto de tal modo que las entradas y salidas en sus límites sean flujos elementales. En muchos casos no existirá tiempo suficiente, datos o recursos para efectuar un estudio tan completo. Deben tomarse decisiones respecto a qué proceso unitario será modelado y el nivel de detalle con que estos procesos unitarios serán estudiados. No es necesario gastar recursos para la cuantificación de las entradas y salidas que no cambiarán significativamente las conclusiones globales del estudio.

También deben tomarse decisiones relativas a las emisiones al medio ambiente que deben ser evaluadas y el nivel de detalle de esta evaluación. En numerosos casos los límites del sistema definidos inicialmente deben ser refinados sobre la base del resultado del trabajo preliminar. Es conveniente comprender y describir claramente los criterios de decisión utilizadas para facilitar la selección de las entradas y salidas. Otros consejos sobre este proceso se dan en Toda decisión de omitir etapas del ciclo de vida, procesos o entradas/salidas debe ser claramente indicada y justificada. Los criterios utilizados para fijar los límites del sistema deben dictar el grado de confianza necesario para garantizar

que los resultados del estudio no estén comprometidos y que el objetivo de un estudio dado será alcanzado.

Varias etapas del ciclo de vida, procesos unitarios y flujos deberían tomarse en consideración, por ejemplo:

Entradas y salidas en la fase principal de fabricación/procesamiento.

Distribución/transportación.

Producción y uso de combustibles, de electricidad y de calor.

Utilización y mantenimiento de productos.

Disposición de residuos del proceso y de productos.

Recuperación de productos usados (incluyendo la reutilización, el reciclaje y la recuperación de energía).

2.1.6. Asignación de cargas ambientales.

El inventario se basa en el balance de materia entre la entrada y la salida. Es conveniente, en consecuencia, que los procedimientos de asignación se refieran, tanto como sea posible, a las relaciones y características fundamentales de las entradas y de las salidas. Los principios siguientes se aplican a los coproductos, a la asignación de la energía interna, a los servicios (por ejemplo, transporte, tratamiento de residuos) y al reciclaje, en lazo abierto o cerrado.

Sobre la base de los principios mencionados, debe seguirse el procedimiento por etapas

Etapla 1: Es conveniente, en la medida de lo posible, evitar la asignación:

1) dividiendo el proceso unitario a asignar en dos sub-procesos o más y compilando las entradas y salidas vinculadas a esos sub-procesos.

2) extendiendo el sistema producto para incluir las funciones suplementarias vinculadas a los coproductos.

Etapla 2: Cuando la asignación no puede evitarse, es conveniente dividir las entradas y las salidas del sistema entre sus diferentes productos o funciones de manera que se reflejen las relaciones físicas subyacentes entre ellos, es decir, reflejar la forma en que las entradas y salidas son modificadas por los cambios cuantitativos en los productos o las funciones suministradas por el sistema. La asignación resultante no será necesariamente proporcional a cualquier medición simple, como los flujos de masa o moles de los coproductos.

Etapa 3: Cuando no pueda establecerse o utilizarse una relación física como base para la asignación, es conveniente repartir las entradas entre los productos y las funciones, de forma que se reflejen otras relaciones entre ellos. Por ejemplo, los datos de entrada y de salida podrían ser repartidos entre los coproductos proporcionalmente al valor económico de los productos.

2.1.7. Tipos de Impactos a evaluar, metodología e interpretación.

En el análisis de ciclo de vida la herramienta utilizada suministra gran cantidad de métodos estándar y cada método incluye varias categorías de impacto, generalmente de 10 a 20, además permite agregar o quitar categorías de un método o desarrollar métodos completamente nuevos.

2.1.8. Suposiciones y limitaciones.

En esta fase del estudio se deben especificar las suposiciones o consideraciones que se han asumido a lo largo del estudio de un proceso pues en algunos casos puede no disponerse de los datos necesarios o se desprecian datos que no se consideren significativos.

Asimismo, es necesario indicar las limitaciones que se han introducido en el ACV, como consecuencia de ello, ya que esto puede influir en la interpretación de los resultados. Es necesario analizar si se considera el ciclo de vida hasta la obtención del producto, si se tiene en cuenta la etapa de distribución o de consumo, así como las diferentes soluciones que se proponen en cada alternativa para los residuos y los rendimientos de diferentes etapas de acuerdo con índices y otros reportes de la literatura [1].

2.1.9. Requisitos de calidad de los datos.

La calidad de los datos utilizados en el análisis de inventario se reflejará notoriamente en la calidad final de los resultados de la evaluación [61]. Es muy importante el grado de calidad de los datos ya que en función de los resultados que arroje el estudio se realizará un análisis del producto. Se recomienda que la calidad de los datos sea caracterizada por aspectos cuantitativos y cualitativos, así como por métodos utilizados para captar e integrar esos datos.

Se recomienda incluir requisitos de calidad de los datos para los parámetros siguientes:

- Cobertura de tiempo: la edad deseada de los datos (por ejemplo, en los últimos cinco años) y la duración mínima (por ejemplo, un año) para compilar los datos.

- Cobertura geográfica: área geográfica en la cual es conveniente compilar los datos para los procesos unitarios con el fin de satisfacer el objetivo del estudio (por ejemplo, local, regional, nacional, continental, global).
- Cobertura tecnológica: mezcla de tecnologías (por ejemplo, media ponderada de la mezcla real de procesos, mejor tecnología disponible o peor unidad de operación).
- Es necesario también tener en cuenta otros aspectos que definan la naturaleza de los datos, tales como datos compilados en sitios específicos con relación a los datos de fuentes publicadas, y si es conveniente medir, calcular o evaluar los datos.
- Se recomienda que los datos de sitios específicos o los promedios representativos sean utilizados para los procesos unitarios que constituyen la mayor parte de los flujos de masa y de energía de los sistemas estudiados, determinados en el análisis de sensibilidad efectuado.
- Es conveniente igualmente utilizar datos de sitios específicos para los procesos unitarios que son considerados por tener emisiones vinculadas al medio ambiente.
- En todos los estudios, los siguientes requisitos adicionales de calidad de los datos deben ser considerados con un nivel de detalle que depende de la definición del objetivo y alcance:
 - Tipo de tecnología, se recomienda utilizar los datos de procesos específicos, así como especificar el estado de la tecnología.

2.2. Análisis del Inventario de Ciclo de vida.

Esta fase conlleva la resolución de los balances de energía y de materia del sistema, de forma que los datos finales del inventario (parámetros) se recojan en tablas y estén referidos a la unidad funcional. Se trata de la fase del ACV que más tiempo lleva debido a que, normalmente el número de parámetros a considerar es numeroso[61]

El análisis del inventario (ICV)[61] se basa en los principios del análisis de sistemas. El resultado o producto de un sistema puede considerarse también como un servicio. Puede decirse que el interés en aplicar la evaluación del ciclo de vida para prevenir la contaminación, es permitir la selección de las operaciones relacionadas con un sistema cuya producción se realiza de la manera más eficaz al tomar en cuenta el ciclo de vida en su totalidad.

2.2.1. Inventario en la Distribución y Consumo.

Un análisis del inventario del ciclo de vida (ICV) tiene que ver con los procedimientos de cálculo y compilación de los datos. Es conveniente seguir los pasos operacionales teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Vehículos destinados a la transportación y capacidad de los mismos.
- Distancias a recorrer.
- Condiciones de almacenamiento.
- Índices de consumo.
- Consumo de recurso en el sistema de gestión.
- Consumo de combustible en toda la etapa del proceso.

Algunos de estos aspectos si bien no inciden directamente en la cuantificación del impacto ambiental, permiten llegar a conclusiones importantes en la interpretación de los resultados.

Los datos se agrupan de acuerdo a:

- Entradas de la naturaleza.
- Entradas de la tecnosfera.
- Emisiones.
- Ruidos.

El resultado final es el modelo de ciclo de vida para la alternativa en cuestión, que permite la obtención del inventario total del proceso, agrupado en cuatro aspectos:

- Materias primas.
- Emisiones al agua.
- Emisiones al aire.
- Emisiones al suelo.

2.2.2. Establecer el diagrama de flujo del proceso.

A partir del inventario y de los datos que se tengan del proceso en estudio, es necesario realizar el diagrama de flujo considerando las principales etapas, pudiéndose agregar otras etapas (hacia arriba y debajo de la etapa principal) las etapas previas y posteriores a los módulos centrales. Es importante que aquellas etapas que sean desconocidas o no se tenga una completa o adecuada información, queden debidamente marcadas para una

posterior revisión. Este diagrama se puede ramificar o simplificar dependiendo del nivel de detalle que se especifique en el alcance.

2.2.3. Recolección de los datos

Este paso normalmente consume gran cantidad de tiempo y esfuerzo, ya que se deben unir los datos necesarios para cada proceso que se incluye en el estudio. El tiempo de recolección de datos está ligado directamente con el nivel de detalle que requiera cada proceso. Junto a la recopilación de datos, se debe realizar un balance de masa. Perfeccionar o depurar los límites del sistema.

Luego de la recolección inicial de datos, se deben revisar los límites del sistema previamente especificados, ya que se pueden redefinir producto de las decisiones de la subfase anterior. Por ejemplo, la exclusión de determinados procesos del producto o subsistemas, exclusiones de flujos de materiales o inclusiones de nuevas unidades de procesos que tendrán efectos directos.

2.2.4. Procesamiento de datos:

En esta fase se deben procesar y almacenar los datos en forma adecuada para poder obtener resultados de ellos. Esta subfase se puede llevar a cabo desde sencillas hojas de cálculo, pero con ciertas limitaciones o hasta usar programas dedicados al ACV.

2.2.5. Análisis de Incertidumbre.

El análisis de incertidumbre aplicado a un ACV es una técnica. Sin embargo, ayuda a caracterizar esta incertidumbre el uso de gamas y/o distribuciones de probabilidades que permiten determinar la incertidumbre en los resultados y en las conclusiones del ACV, cada vez que sea posible, se recomienda realizar este análisis para explicar mejor y apoyar las conclusiones del ACV.

Tipo de Incertidumbre

1. Incertidumbres en los datos
2. Incertidumbres con respecto a la exactitud (representativamente) del modelo
3. Incertidumbres por ser incompleto el modelo

Las incertidumbres en los datos son relativamente fáciles de manejar puesto que tales incertidumbres pueden ser expresadas como una desviación estándar o de sector. Métodos estadísticas tales como las técnicas Monte Carlo pueden ser utilizados para manejar este tipo de incertidumbre y calcular la incertidumbre en resultados ACV.

La incertidumbre con respecto a la exactitud del modelo se refiere al hecho de que no existe una sola manera para establecer un modelo de realidad. En cada ACV, hay que tomar decisiones más o menos subjetivas para establecer un modelo. Algunos ejemplos son:

- Representatividad. Muchas veces, tenemos que usar datos de procesos que vienen de otras fuentes.
- Base de asignación: No hay una sola forma para escoger una base de asignación.
- Eventos en el futuro. Muchos ACV tratan con productos que tienen una larga vida.
- Selección de unidad funcional. Muchas veces no está claro sobre cual base comparamos los productos.

La incertidumbre causada por insuficiencia se refiere a lagunas inevitables de datos, los puntos fuertes son:

- Límites de sistema. Tal y como hemos visto más arriba, no es fácil aplicar límites consistentes y aislar los criterios.
- Hojas de datos incompletos y datos insuficientemente especificados. En muchos casos, los datos son tomados de entrevistas y cuestionarios y a menudo los datos son parcialmente disponibles.
- Desigualdad entre inventario y determinación del impacto. En muchos casos, los datos del inventario que son compilados no tienen un factor de caracterización y por lo tanto, este resultado es ignorado en el resto del ACV.

Los últimos dos tipos de incertidumbres, resultan ser muy difíciles de aplicar. La mejor solución es combinar el análisis Monte Carlo para las incertidumbres de datos con el análisis de sensibilidad para incertidumbres en los modelos. El análisis Monte Carlo es una manera numérica de procesar datos inciertos y de establecer un rango de incertidumbre en el resultado del cálculo.

El método de Monte Carlo es uno de los muchos métodos para el análisis de propagación de la incertidumbre, donde el objetivo es determinar cómo la variación al azar, la falta de conocimiento, o el error afecta a la sensibilidad, el rendimiento o la fiabilidad del sistema que se está modelando. La simulación de Monte Carlo se clasifica como un método de muestreo, porque las entradas se generan aleatoriamente a partir de las distribuciones de probabilidad para simular el proceso de toma de muestras de una población real. Por lo

tanto, se trata de escoger una distribución de los insumos que más se acerque a los datos que ya tenemos, o mejor representa el estado actual del conocimiento. Los datos generados a partir de la simulación se pueden representar como distribuciones de probabilidad o se convierten en barras de error, las predicciones de fiabilidad, las zonas de tolerancia, e intervalos de confianza.

2.3. Evaluación del impacto de ACV

La Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)[62], va dirigida a evaluar la importancia de los potenciales impactos ambientales utilizando los resultados del análisis de inventario.

Esta fase hace corresponder cada parámetro obtenido en el Análisis de Inventario, con el potencial impacto ambiental a que da lugar. En esencia, la Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida consiste en el desarrollo de las siguientes acciones:

- Elaboración de un inventario de categorías de impacto a que pueden dar lugar las diversas cargas ambientales generadas por el sistema del producto (efecto invernadero, acidificación, eutrofización, agotamiento de recursos, etc.).
- Selección, para el sistema en estudio y en función de los resultados del inventario, de las categorías de impacto, que hay que considerar.
- Asignación de los resultados del inventario a las categorías de impacto a las que contribuyen, teniendo en cuenta que algunos de ellos pueden producir más de un impacto.
- Cálculo de las contribuciones individuales de cada parámetro del inventario a un determinado impacto, calculándose posteriormente las contribuciones totales al mismo.
- Establecimiento de un orden de importancia entre los impactos considerados.

La EICV consta de tres elementos obligatorios: selección de categorías, clasificación y caracterización

Selección de categorías

En esta subfase se deben elegir las categorías de impactos ambientales que se incluirán en el estudio. Las categorías de impactos que generalmente se consideran son: recursos abióticos y bióticos, usos del suelo, calentamiento global, agotamiento de la capa de

ozono, impactos eco toxicológicos, impactos toxicológicos sobre humanos, acidificación, eutroficación, etc.

2.3.1. Clasificación

En esta subfase se deben especificar los problemas ambientales que se incluirán dentro del estudio. Se identifican los impactos a considerar en el ACV, los cuales se agrupan en: consumo de recursos, usos del suelo, ruidos y olores, efectos a la salud en el lugar de trabajo, generación de residuos, conservación de recursos naturales y diversidad de especies.

Según *SETAC* estas categorías de impacto a considerar en un ACV se engloban en tres grupos principales:

- Consumo de recursos naturales.
- Impactos al ecosistema.
- Daños a la salud.

Las categorías de impacto también pueden clasificarse en función del tipo de impacto que origina cada una, distinguiéndose en dos grupos:

- **Efectos globales:** aquellos cuyo impacto es independiente de la localización geográfica en la que se extraen los recursos o en la que tienen lugar las emisiones (consumo de energía, calentamiento global, y efecto sobre la capa de ozono, etc.).
- **Efectos de alcance regional o local:** aquellos cuyos impactos sólo afectan a un área geográfica localizada (acidificación, oxidación fotoquímica, eutrofización de las aguas, etc.).

2.3.2. Caracterización.

En esta fase los parámetros inventariados se adicionan dentro de la categoría de impacto a la que contribuyen. Para ello, se tiene en cuenta su contribución potencial a ese impacto, la cual se expresa en forma de un factor denominado factor de caracterización. Para definir el factor de caracterización se selecciona, de entre todas las especies que contribuyen a un impacto, la más representativa, expresándose el resto en función de ella. Los elementos opcionales de la Evaluación del Impacto Ciclo de Vida (EICV) también son definidos por la norma ISO[62], que establece lo siguiente:

- Normalización.- Es el cálculo de la magnitud del indicador de impacto.

- Agrupación.- Es el proceso de clasificar las categorías de impacto por grupos de impacto similar o por categorías en una jerarquía determinada, por ejemplo, alta, media o baja prioridad.
- Valoración.- Consiste en establecer unos factores que otorgan una importancia relativa a las distintas categorías de impacto para después sumarlas y obtener un resultado ponderado en forma de un único índice ambiental global del sistema.

2.3.3. Características clave de la EICV

A continuación, se enumeran las características clave de la EICV

- La fase EICV, conjuntamente con otras fases del ACV, provee una amplia perspectiva de cuestiones ambientales y de recursos para uno o más sistema(s) producto.
- La EICV asigna los resultados del ICV a las categorías de impacto. Para cada categoría de impacto se seleccionan indicadores de categoría y se calculan los resultados del indicador de categoría, de aquí en adelante citados como resultados del indicador. La recopilación de los resultados del indicador, de aquí en adelante citada como perfil de la EICV, provee información sobre las cuestiones ambientales asociadas con las entradas y salidas del sistema producto.
- La EICV es diferente de otras técnicas tales como la evaluación del desempeño ambiental, la evaluación del impacto ambiental y la evaluación del riesgo. La EICV es un enfoque relativo que se basa en una unidad funcional. LA EICV puede usar información reunida por estas técnicas.

2.3.4. Elementos de la EICV

El marco general de la fase EICV está compuesto de varios elementos obligatorios que convierten los resultados del ICV en resultados del indicador. Además, hay elementos opcionales para la normalización, la agrupación o la ponderación de los resultados del indicador y las técnicas de análisis de la calidad de los datos. La fase de EICV es solamente una parte del estudio completo del ACV y debe ser coordinada con las otras fases. Los elementos de la fase EICV se ilustran en la Figura que se muestra a continuación.

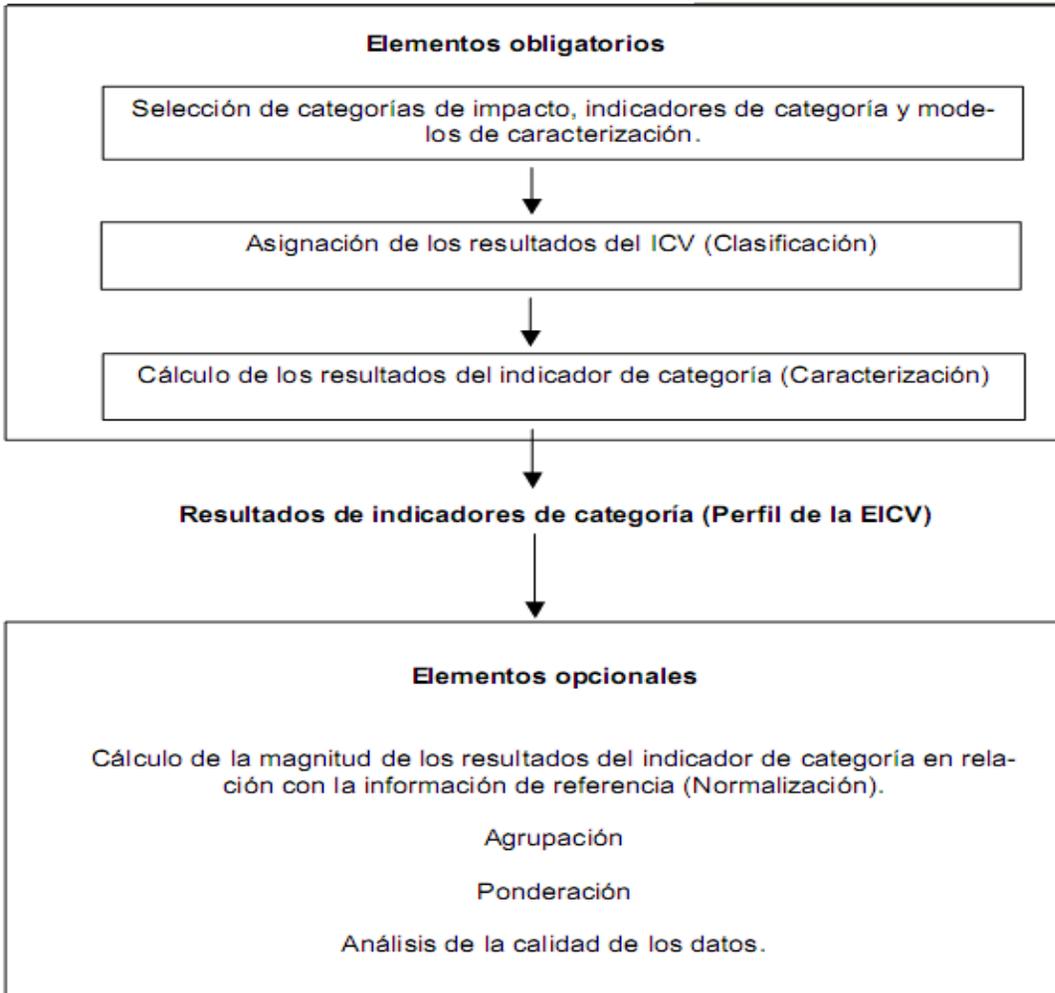


Figura 2: Elementos obligatorios y opcionales en el ACV. (NC-ISO 14 042, 2001)

2.3.5. Elementos opcionales

También existen una serie de elementos opcionales que pueden ser utilizados dependiendo del objetivo y alcance del estudio de ACV:

Normalización: se entiende por normalización la relación de la magnitud cuantificada para una categoría de impacto respecto un valor de referencia ya sea a escala geográfica y\0 temporal.

La finalidad de la normalización de los resultados del indicador es comprender mejor la magnitud de cada resultado del indicador del sistema producto en estudio. El cálculo de la magnitud de los resultados del indicador en relación con la información de referencia (a menudo citada como normalización) es un elemento opcional que puede ser de utilidad para, por ejemplo:

- Controlar incoherencias

- Proveer y comunicar información sobre la significación relativa de los resultados del indicador
- Preparar procedimientos adicionales, tales como el agrupamiento, la ponderación o la interpretación del ciclo de vida.
- Este procedimiento transforma el resultado del indicador mediante su división por un valor de referencia seleccionado. Algunos ejemplos de valores de referencia son:
 - Las emisiones totales o el uso de recursos para una área dada, la cual puede ser global, regional, nacional o local
 - Las emisiones totales o el uso de recursos para una área dada sobre una base per cápita o una medida similar
 - Un escenario básico, tal como un sistema producto alternativo.

Es conveniente que la selección del sistema de referencia considere la coherencia de las escalas espaciales y temporales del mecanismo ambiental y el valor de referencia.

La normalización de los resultados del indicador cambia el resultado de los elementos obligatorios de la fase EICV. Para mostrar las consecuencias sobre el resultado de los elementos obligatorios de la fase de EICV puede ser conveniente usar varios sistemas de referencia. Un análisis de sensibilidad puede proveer información adicional respecto de la elección de la referencia. El conjunto de los resultados del indicador normalizados representa un perfil normalizado de la EICV.

Agrupación: clasificación y posible catalogación de los indicadores ordenar y cuando sea posible clasificar las categorías de impacto.

La agrupación asigna categorías de impacto a uno o más conjuntos, tal como se define en el objetivo y el alcance y puede implicar ordenamiento y/o clasificación. La agrupación es un elemento opcional con dos procedimientos posibles:

- Ordenar las categorías de impacto sobre una base nominal, por ejemplo, mediante características tales como emisiones y entradas, o escalas espaciales globales, regionales o locales, ”
- Clasificar las categorías de impacto con una determinada jerarquía, por ejemplo, de alta prioridad, de mediana prioridad y de baja prioridad.

La clasificación se basa en valores seleccionados.

La aplicación y el uso de métodos de agrupación deben ser coherentes con el objetivo y el alcance del estudio del ACV y deben ser completamente transparentes.

Individuos, organizaciones y sociedades diferentes pueden tener preferencias diferentes, por lo tanto, es posible que cualquiera de ellos llegue a distintos resultados de clasificación basados en los mismos resultados del indicador o en los mismos resultados del indicador normalizados.

Ponderación: consiste en establecer unos factores que otorgan una importancia relativa a las distintas categorías de impacto para después sumarlas y obtener un resultado ponderado en forma de un único índice ambiental global del sistema. Convertir y cuando sea posible agregar los resultados del indicador en las categorías de impacto usando factores numéricos basados en valores elegidos.

La ponderación es el proceso de conversión de los resultados del indicador de diferentes categorías de impacto mediante el uso de factores numéricos basados en valores elegidos. Puede incluir la agregación de los resultados del indicador ponderados. La ponderación es un elemento optativo con dos procedimientos posibles:

- Convertir los resultados del indicador o los resultados normalizados mediante factores de ponderación seleccionados,
- Agregar eventualmente estos resultados del indicador convertidos o los resultados normalizados dentro de categorías de impacto.

Los pasos de la ponderación se basan en valores seleccionados y no en las ciencias naturales.

La aplicación y el uso de los métodos de ponderación deben ser coherentes con el objetivo y el alcance del estudio del ACV y deben ser completamente transparentes.

En un estudio de ACV puede ser conveniente usar varios factores y métodos de ponderación diferentes, y realizar un análisis de sensibilidad para evaluar las consecuencias de diferentes valores elegidos y métodos de ponderación sobre los resultados de la EICV.

Para proporcionar transparencia, todos los métodos y las operaciones de ponderación usados deben ser documentados. Es conveniente que los datos y los resultados del indicador (se encuentren o no normalizados) que fueron obtenidos antes de la ponderación se encuentren disponibles junto con los resultados ponderados.

2.4. Interpretación del estudio

En esta etapa se combinan los resultados de las etapas anteriores (Análisis de Inventario y Evaluación del Impacto), con la finalidad de extraer, de acuerdo a los objetivos y alcance del estudio, conclusiones y recomendaciones que permitan la toma de decisiones futuras con respecto a la implementación de tecnologías (en el caso de este estudio en el tratamiento de la fracción orgánica), enfocados al desarrollo de las alternativas con un sólido argumento ambiental. [63]

De igual forma se asocia con las herramientas de prevención de la contaminación, por la minimización de los residuos y los daños evitados.

2.4.1. Objetivos de la interpretación del ciclo de vida

Los objetivos de la interpretación del ciclo de vida son analizar los resultados, extraer conclusiones, explicar las limitaciones y formular recomendaciones basadas en los hallazgos de las fases precedentes del estudio de ACV o de ICV, e informar los resultados de la interpretación del ciclo de vida de una manera transparente.

La interpretación del ciclo de vida está ideada también para proveer una presentación fácilmente comprensible, completa y coherente de los resultados del estudio de ACV o del ICV, de acuerdo con la definición del objetivo y el alcance del estudio.

2.4.2. Las características claves de la interpretación del ciclo de vida

- El uso de un procedimiento sistemático para identificar, calificar, verificar, evaluar y presentar las conclusiones basadas en los hallazgos de un estudio de ACV o del ICV, para cumplir con los requisitos de la aplicación según se describe en el objetivo y el alcance del estudio;
- El uso de un procedimiento iterativo tanto en la fase de interpretación como en las otras fases de un ACV o en un estudio de ICV;
- La provisión de vínculos entre el ACV y otras técnicas de gestión ambiental, enfatizando las fortalezas y los límites de un estudio de ACV o del ICV en relación con la definición del objetivo y alcance.

Elementos de la interpretación del ciclo de vida

La fase de interpretación en un estudio de ACV o de ICV comprende los tres elementos siguientes,

- La identificación de las cuestiones significativas basadas en los resultados de las fases ICV y EICV del ACV;
- La evaluación, que considera entre otras las verificaciones de integridad, sensibilidad y coherencia;
- Las conclusiones, las recomendaciones y el informe.

2.4.3. Determinación de las cuestiones significativas

Cuando se haya encontrado que los resultados de las fases precedentes (ICV, EICV) cumplen las demandas del objetivo y el alcance del estudio, se debe determinar la significancia de esos resultados.

Con este propósito se usan los resultados del ICV y/o de la EICV. Es conveniente que esto se realice como un proceso iterativo con el elemento evaluación, las cuestiones significativas pueden ser:

- Las categorías de datos del inventario, tales como energía, emisiones, residuos, etc.;
- Las categorías de impacto, tales como uso de recursos, potencial de calentamiento global, etc.;
- Las contribuciones esenciales de las etapas del ciclo de vida a los resultados del ICV o la EICV, tales como procesos unitarios individuales o grupos de procesos como el transporte y la producción de energía.

Los objetivos del elemento evaluación son establecer y aumentar la confiabilidad de los resultados del estudio de ACV o de ICV, incluyendo las cuestiones significativas identificadas en el primer elemento de la interpretación. Es conveniente que los resultados sean presentados de una manera que brinden una visión clara y comprensible del resultado del estudio, a quien lo haya encargado o a cualquier otra parte interesada.

La evaluación debe ser efectuada de acuerdo con el objetivo y el alcance, y es conveniente que se tome en cuenta el uso final previsto de los resultados del estudio.

Durante la evaluación se debe considerar el uso de las técnicas que se detallan a continuación:

- Verificación de integridad;
- Verificación de sensibilidad;
- Verificación de coherencia.

Es conveniente que los resultados de los análisis de incertidumbre y el análisis de calidad de los datos completen estas verificaciones.

2.4.4. Análisis de sensibilidad

Para comprobar las influencias de las suposiciones más importantes, se recomienda efectuar el análisis de sensibilidad durante y al final del ACV. El principio consiste en cambiar la suposición y recalcular el ACV, ya que el resultado del ACV puede depender de algunas de las suposiciones hechas durante el estudio, eso no necesariamente debe ser un problema siempre cuando las conclusiones del ACV sean estables. Si bajo una suposición los resultados difieren a los obtenidos bajo otra suposición debe ser explicado cuidadosamente.

Conclusiones parciales

1. El ACV permite determinar el perfil ambiental del proceso en cuestión, donde se puede calcular la contribución total de los procesos a las diferentes categorías de impacto y daños considerados.
2. La metodología propuesta constituye una herramienta novedosa y científicamente fundamentada para su aplicación en los procesos de generación de energía eléctrica.

3. Capítulo III. Aplicación de la Metodología para el proceso de obtención de 1 kWh a partir del biogás producido por la fracción orgánica de los RSU.

Estudios anteriores demuestran que la digestión anaeróbica es el tratamiento más factible desde el punto de vista técnico económico para procesar la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos con fines energéticos (R. Santos y T. Cárdenas)

En el presente trabajo se presenta el análisis de una planta de biogás para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en la ciudad de Santa Clara con la finalidad de generar energía eléctrica.

La Planta será diseñada para procesar 100 m³ de residuos orgánicos diariamente, o sea, 30000 m³ al año, lo que equivale a 7500 toneladas anuales, teniendo en cuenta la generación diaria de RSU y su clasificación.

Con un índice de 2 kWh/m³ de biogás, tomado de la base de datos ecoinvent, para una generación de 6666 m³/día de biogás, la capacidad instalada sería de 550 kW. Lo anterior implicaría que con 8000 horas al año de funcionamiento se obtendrían unos 4400 MWh de energía, como sub productos se obtienen fertilizante líquido nitrogenado y un lodo que podrá ser utilizado como compost.

3.1. Descripción Técnica de la Planta.

El proceso tecnológico tendrá cuatro fases principales preparación, hidrólisis, digestión anaeróbica, utilización del biogás.

Los residuos orgánicos deberán recibir un pre-tratamiento en la planta donde de forma manual se realizará una selección con el objetivo de eliminar las impurezas tales como: cáscara de coco, piedras, plásticos, papel, vidrio, cartón, metales, para evitar daños en los equipos y la interferencia en el proceso de digestión.

Mediante una trituradora de martillo se garantiza reducir y homogenizar el tamaño de la partícula, aumentando de esta forma la eficiencia en el proceso de producción de biogás.

El tanque hidrólisis es un reactor con agitadores donde ocurre un proceso Semi-anaeróbico y debe trabajar a temperaturas entre los 20-40 °C.

El digester anaeróbico debe ser regulado a la temperatura de 55 ± 2 °C para que la fermentación permita la descomposición de los residuos orgánicos y elimine las bacterias patógenas, los gusanos parásitos y los óvulos que se encuentran en la basura. El digester anaeróbico debe tener un volumen efectivo de 1000 m^3 y para un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 15 a 20 días.

El líquido residual generado en el proceso, será integrado al tanque hidrólisis para asegurar la disolución de las partículas sólidas, el agua de enfriamiento proveniente de la unidad generador la cual debe salir aproximadamente a 90 °C, podrá ser utilizada en el digester con el objetivo de mantener la temperatura del mismo.

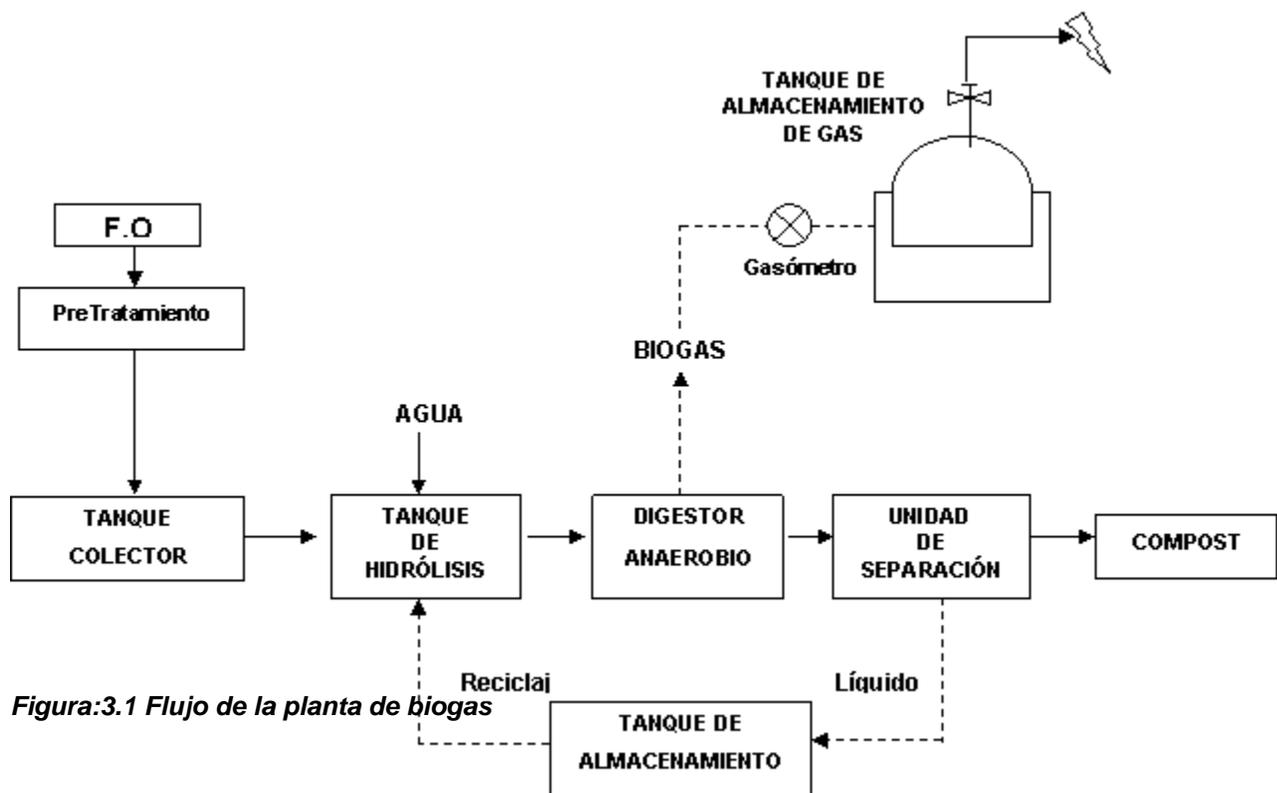


Figura:3.1 Flujo de la planta de biogás

3.2 Análisis del Ciclo de Vida de la generación de 1 kWh a partir de biogás.

Se realiza el análisis de Ciclo de Vida para la producción de 1 kWh a partir de la propuesta de una planta de biogás, con el objetivo de evaluar los impactos, tanto evitados como generados en el proceso de tratamiento de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Santa Clara, conociendo que el Ciclo de Vida, (ACV), es un método internacionalmente estandarizado, basado en la norma ISO 14040 (1997). Está considerado como la mejor herramienta de manejo

que pueda ser usada para obtener un justo entendimiento y una cuantificación objetiva de todos los impactos ambientales.

3.2.1 Objetivo.

Los objetivos de la ejecución del ACV en la generación de 1 kWh a partir de los residuos sólidos urbanos son los siguientes:

1. Identificar y cuantificar los impactos ambientales generados por el manejo de los residuos sólidos urbanos, considerando un escenario que responda a la producción de electricidad a partir del biogás generado por estos residuos.
2. Analizar desde el punto de vista ambiental el impacto que estos representan para el ecosistema y trazar estrategias a partir de los resultados obtenidos en el estudio.

3.2.2 Alcance del estudio.

La función principal del proceso es la obtención de electricidad a partir del biogás generado por los RSU, a la vez se podrán obtener subproductos de gran valor que se utilizan con otros fines.

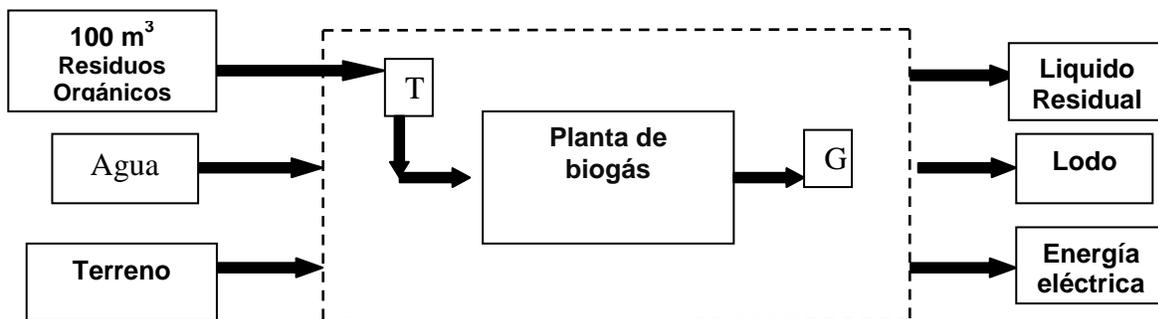


Figura 3.2 Límites del Sistema

3.2.3 Unidad Funcional

Se considera la producción de 1 kWh a partir del biogás generado por la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en Santa Clara.

3.2.4 Límites del Sistema.

Para este estudio se consideran los límites del sistema mostrados en la figura 3.1: transporte de los residuos hasta la planta, el agua y el terreno con las salidas de electricidad producida, líquido residual y lodos.

Reglas de asignación de cargas ambientales.

Se considera la energía eléctrica como un producto principal y como productos evitados el uso de los lodos y líquidos generados en el proceso como fertilizantes nitrogenados, ahorrándose la producción y consumo de urea, cloruro de potasio y superfosfato triple, por lo que se evita la asignación de cargas ambientales.

3.2.5 Tipos de Impactos a evaluar, metodología e interpretación.

Para la evaluación de los impactos se utiliza en la metodología de Eco-indicador 99 mediante el uso del software Simapro 7.2, por lo que se evalúan las 11 categorías de impacto consideradas en el Eco-indicador.99.

3.2.6 Suposiciones y Limitaciones.

- El sistema de estudio considerado es una Planta Piloto de producción de electricidad a partir del biogás, con capacidad para procesar 100 m³ de residuos orgánicos diariamente.
- En la evaluación del uso del líquido y el lodo como fertilizantes para la agricultura se consideró el ahorro de los fertilizantes químicos que comúnmente se emplean en la agricultura (urea, cloruro de potasio y superfosfato triple).
- El uso de una parte del líquido residual en el proceso se considera un ahorro de agua.
- El biogás producido será considerado como una fuente para la producción de energía eléctrica.

3.2.7 Requisito de la Calidad de los Datos.

Los Datos utilizados corresponden a las estadísticas existentes en la Dirección de Servicios Comunales sobre la cantidad y composición de los residuos sólidos generados en la ciudad de Santa Clara.

Los análisis se hicieron en el laboratorio de LARE perteneciente a Servicios Comunales de la Ciudad de La Habana.

3.3 Análisis de Inventario:

En el análisis de inventario del ciclo de vida (ICV), se cuantifican los consumos de portadores energéticos y de recursos que se consumen en el proceso de digestión anaeróbica, emisiones a la atmósfera, así como las diferentes etapas del proceso que están dentro de los límites del sistema, en relación con la unidad funcional

seleccionada. El nivel de detalle que se alcanza en el inventario depende de la disponibilidad de los datos los cuales son registrados en todo el proceso y el nivel de complejidad con que se obtengan, pudiéndose aplicar una aproximación o simplificación de los mismos en los casos que sea necesario.

Tabla 3.1 Inventario para la generación de 1 kWh.

Entrada Naturaleza	Agua	m ³	150
	Terreno	ha	25
Entradas	Residuos Orgánicos	m ³	100
	Combustible	m ³	0, 20
Salidas	Biogás	m ³	1000
	Electricidad	kWh	2000
	Líquido residual(fertirriego)	m ³	5
	Lodos	m ³	15
Emisiones Al aire (evitadas)	Dióxido de carbono	m ³	223452,29
	Metano	m ³	162510,75

3.4 Evaluación del Impacto

Se realiza por el método eco indicador 99 mediante el uso del software Simapro 7.2.

En la Figura 3.2 se presenta la red del proceso, donde se observa que la producción de 1 kWh a partir del biogás generado por la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en Santa Clara produce un impacto ambiental total beneficioso (barra de contribución verde); que esto está dado fundamentalmente por el efecto de los productos evitados (urea, cloruro de potasio y superfosfato triple), mientras los procesos de transportación, recolección de residuos y consumo de diesel producen un efecto perjudicial (barra de contribución roja).

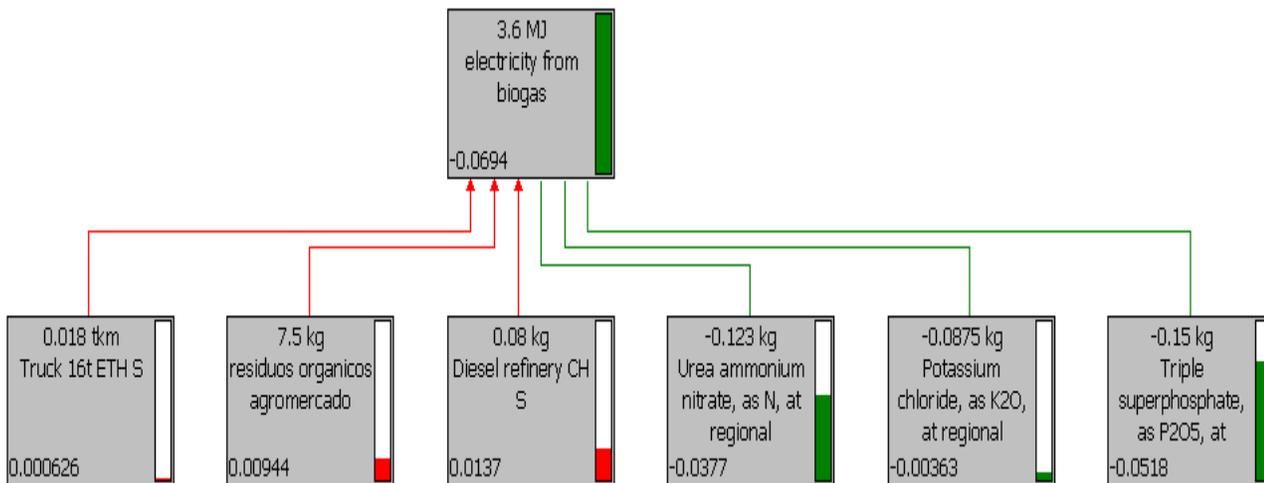


Figura 3.2 Red del proceso

En la figura 3.3 se muestran los resultados de la caracterización del proceso de obtención de energía eléctrica por el biogás producido en una planta piloto a partir de los residuos orgánicos, donde se observa que los mayores impactos perjudiciales están asociados a la etapa de diesel refinado, la cual influye en la mayoría de las categorías de impacto evaluadas, destacándose el efecto por respiración de compuestos orgánicos con aproximadamente el 40 % del impacto positivo, capa de ozono con el 95 %, y combustibles fósiles con un 40 %; lo cual está asociado con el consumo de combustible, que implica procesos de extracción, procesamiento, combustión y por tanto emisiones de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y material particulado.

El proceso de recolección y uso de los residuos orgánicos en el proceso tiene una contribución perjudicial de aproximadamente el 60 % del impacto positivo sobre la respiración de compuestos orgánicos y aproximadamente el 95 % del impacto sobre cambio climático.

Por otra parte, se observa el impacto beneficioso que se produce en la mayoría de las categorías de impacto por concepto de ahorro de la urea, superfosfato triple y cloruro de potasio (productos evitados) por la composición de lodos y líquido residual en el proceso.

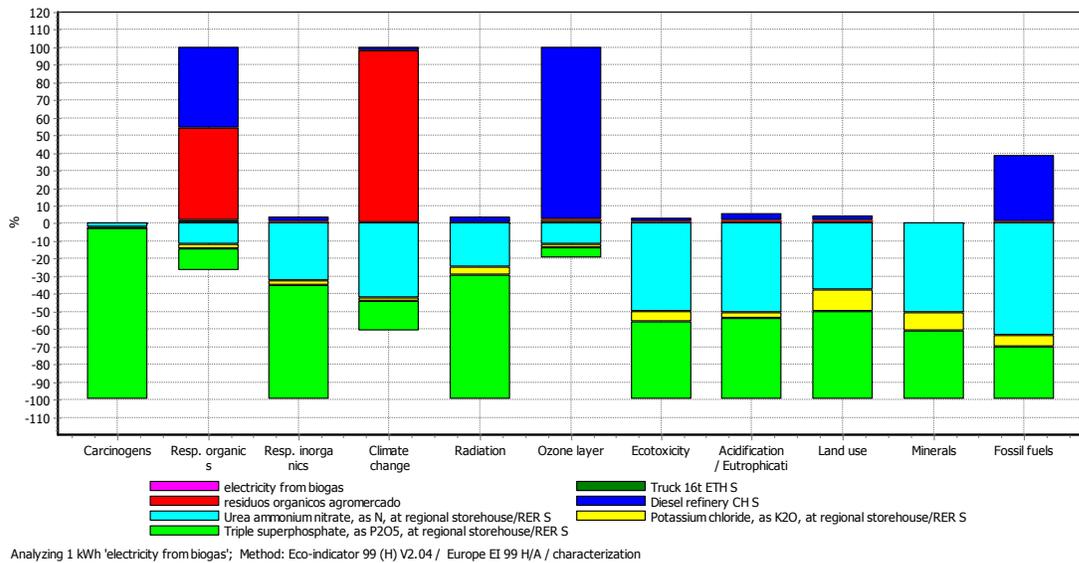


Figura 3.3 Perfil de Caracterizacion de una planta de biogás a partir de los residuos solidos organicos

En la Figura 3.4 se presenta el perfil ponderado por categorías de impacto, donde se presentan los resultados en puntos, se evidencia que las categoría de combustibles fósiles y cambio climático son las más afectadas. El impacto positivo sobre los combustibles fósiles esta dado fundamentalmente por el diesel refinado (0.0125 Pt) y sobre la categoría de cambio climático influyen los residuos orgánicos (0.0094 Pt) y el diesel refinado (0.0002 Pt). El impacto negativo es por concepto de los productos evitados, fundamentalmente el superfosfato triple influye sobre la carcinogénesis (-0.0200 Pt), respiración de inorgánicos (-0.0169 Pt), combustibles fósiles (-0.0099 Pt) y cambio climático (-0.0016 Pt); la urea influye principalmente sobre combustibles fósiles (-0.0212 Pt), respiración de inorgánicos (-0.0084 Pt) y cambio climático (-0.0040 Pt); en menor magnitud se presenta el impacto del cloruro de potasio sobre los combustibles fósiles (-0.0021 pt) y sobre la respiración de inorgánicos (-0.0007 Pt).

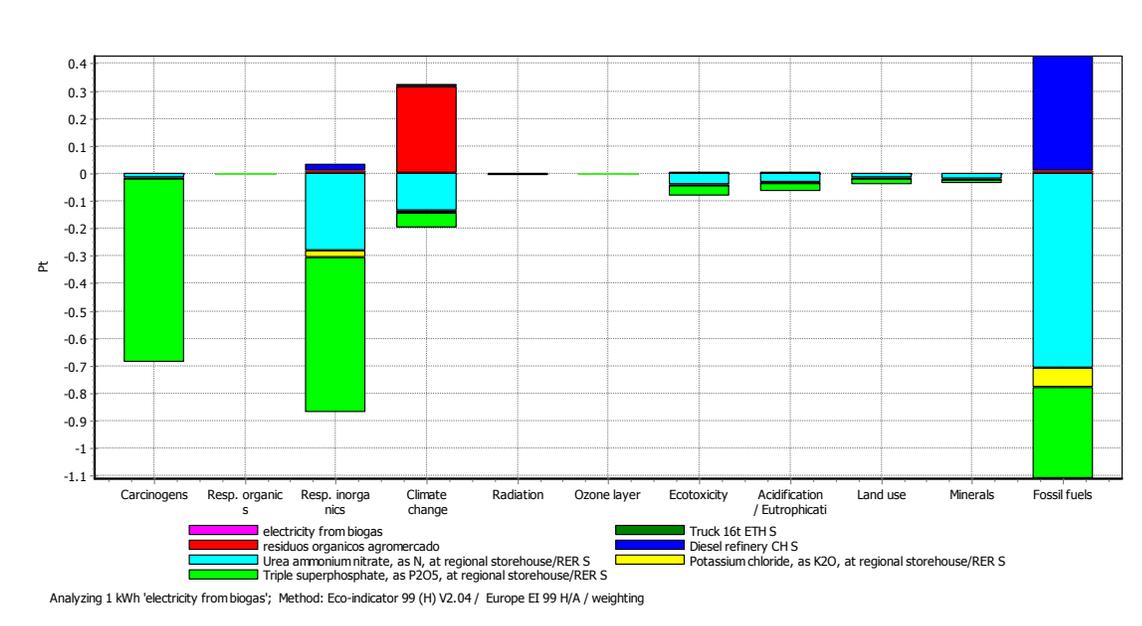


Figura 3.4. Perfil ponderado por categorías de impacto

En la Figura 3.5 aparecen los resultados de puntuación única por categorías de daño, corroborándose los resultados de los análisis anteriores. Se observa que el mayor impacto perjudicial es provocado por el diesel refinado (0.0125 Pt de impacto sobre los recursos) dado por el consumo de combustibles fósiles en todo el proceso. Seguidamente, en orden de magnitud se presenta el daño a la salud por los residuos orgánicos del agromercado (0.0094 Pt de daños a la salud humana), dado fundamentalmente por la respiración de compuestos orgánicos y cambio climático, asociados a las emisiones relacionadas con esta etapa. Se destacan por el efecto negativo (beneficioso) el impacto que se produce por la sustitución de la urea que en este caso beneficia en mayor medida los efectos sobre los recursos (-0.0218 Pt) por el ahorro de minerales, combustibles fósiles y fertilizantes químicos y a la salud humana (-0.0131 Pt), mientras la sustitución del superfosfato triple beneficia la categoría de daños a la salud humana con -0.0387 Pt y a los recursos con -0.0104 Pt. En menor medida se aprecia el efecto sobre el ecosistema que en el caso de la urea es de -0.0028 Pt y el del superfosfato triple es -0.0026 Pt.

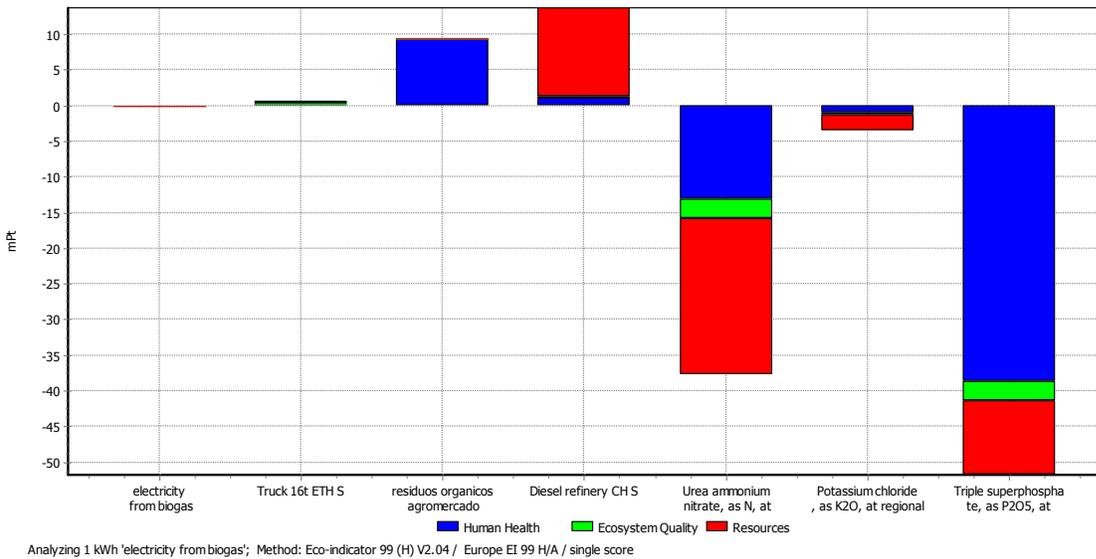


Figura 3.5 Puntuacion unica por categorías de daño

Adicionalmente se realizó una comparación de la producción de electricidad a partir de biogás y de un grupo electrógeno considerando como unidad funcional la generación de 1kwh. Los resultados se muestran en la Figura 3.6.

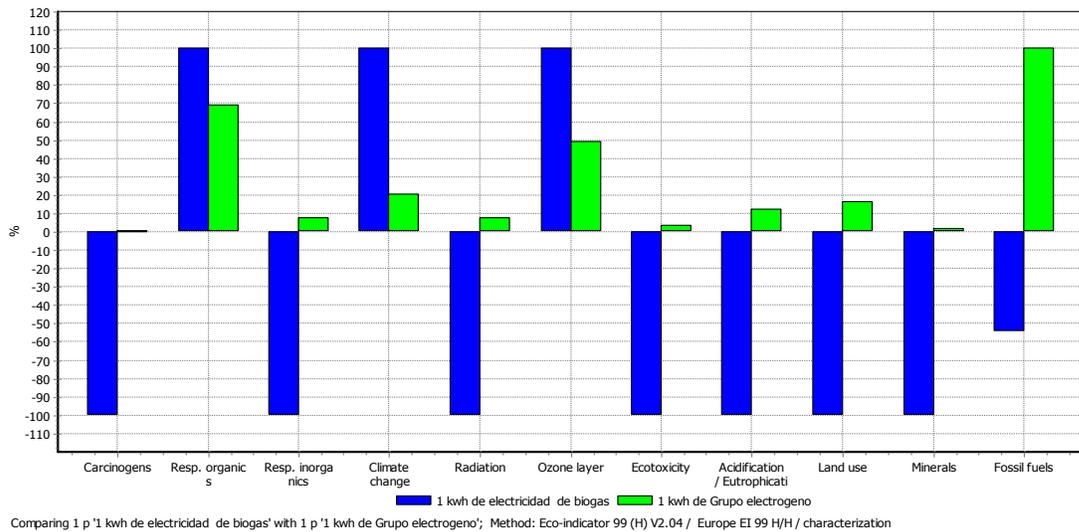


Figura 3.6 Perfil de Caracterización de la comparación de la producción de electricidad a partir de biogás con la electricidad producida en un grupo electrógeno

En la figura 3.6 se observa que la electricidad producida en un grupo electrógeno provoca mayores impactos perjudiciales para el medio ambiente que la producción a partir de biogás. Por otra parte, la producción a partir de biogás produce mayores impactos beneficiosos para la categoría de carcinogénesis, respiración inorgánica Radiación, ecotoxicidad, acidificación/eutrofización, el uso del suelo, minerales y combustibles fósiles; solo es sobrepasada por el grupo electrógeno en el caso de la respiración orgánica, cambio climático y la capa de ozono, en estas tres categorías de impactos se obtienen valores positivos (perjudiciales) debido a los gases de dicho proceso como son el metano, y el dióxido de carbono, por los cuales está compuesto el mismo biogás. Con respecto a las otras categorías estos efectos están dados por el ahorro de diesel y todos los impactos asociados a su extracción, procesamiento y consumo, al producir electricidad a partir de biogás y no de dicho combustible. Además, de los fertilizantes que se ahorran por concepto de los subproductos del proceso de biogás.

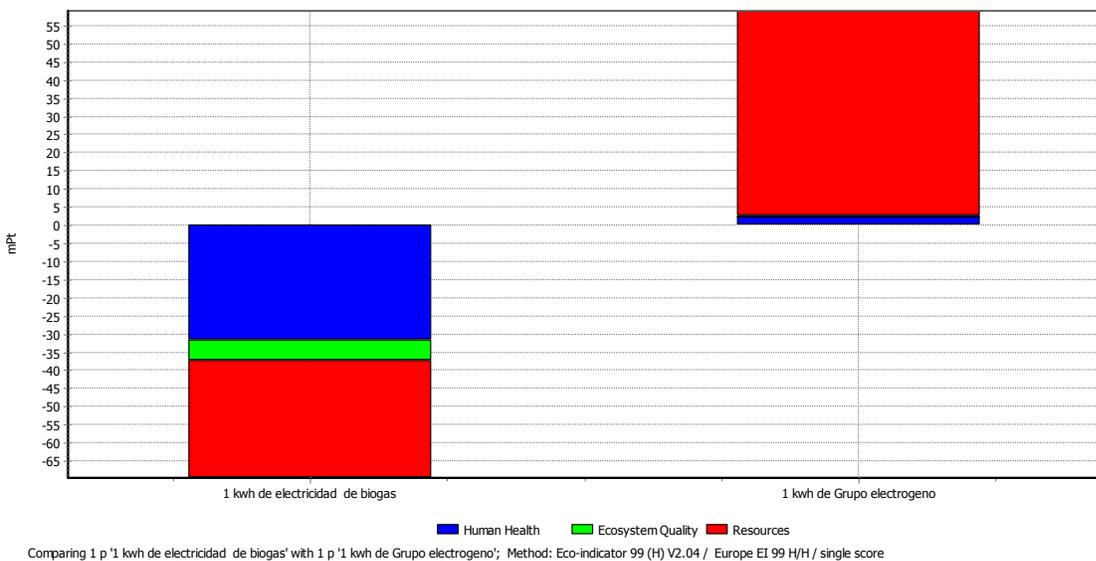


Figura 3.7 Puntuación única de la comparación de la producción de electricidad a partir de biogás con la electricidad producida en un grupo electrógeno

En esta figura se muestra con mayor claridad la diferencia de la comparación de 1kWh de la energía eléctrica producida por biogás y la generada por un grupo electrógeno,

debido a que esta grafica muestra la puntuación única en categoría de daños por puntos, donde es fácil de apreciar el impacto positivo del grupo electrógeno (0.0590 Pt), sobre todo en recursos (0.0564 Pt), lo que se ve afectado considerablemente por el combustible fósil y los minerales ya anteriormente explicados, en menor medida se observa el impacto a la salud humana (0.0021 Pt). En el caso de la electricidad de biogás el impacto fue negativo (beneficioso, -0.0697 Pt) donde el impacto a los recursos (-0.0324 Pt) es mayor que el de la salud humana (-0.0316 Pt) lo que se debe principalmente al ahorro de combustible fósil, así como a la sustitución de la urea por los lodos y líquidos residuales, lo que evita recursos y la transportación de dicho fertilizante químico.

3.5 Impactos por resultados

Los beneficios ambientales de la producción de electricidad a partir de biogás son resultado de que en dicho proceso comparado con el grupo electrógeno se ahorran, aproximadamente 4 toneladas de diesel, además de obtener energía eléctrica, se produce un residual líquido y lodos con características adecuadas como fertilizante.

Impacto Social

La explotación de la Planta de biogás podrá preparar a los futuros profesionales en el uso de la tecnología como campo de acción de nuevos proyectos sobre uso del biogás como fuente de energía.

Abre nuevas posibilidades para la sociedad basadas en el uso de todas las fuentes para reciclar y aprovechar en su beneficio todo lo útil.

Emprende desde su base nuevos destinos a profesionales que con la experiencia obtenida serán capaces de hacer crecer las posibilidades potenciales en la descontaminación ambiental y el tratamiento de los residuales.

Ahorraría al país incontables recursos en bien de otras necesidades primordiales (combustible)

3.6 Análisis Económico

3.6.1 Costo estimado de la Inversión.

El valor estimado de inversión de la instalación para producir Biogás es:

$$CIP = CIR * (Cap P / Cap R) ^{0.6}$$

DONDE:

CIP: Costo de Inversión de la planta.

CIR: Costo de Inversión de Referencia.....\$1 000 000

Cap P: Capacidad de la planta..... 90-100 t/d

Cap R: Capacidad de referencia.....15-20 t /d

$$CIP= 2\,930\,156.00 \$$$

Tabla 3.2 Costo Total de Producción (CTP)

Código	Indicadores	%	Costo (\$ año)
A	Materia Prima	-	
B	Mano de Obra	-	57600.00
C	Supervisión	10 % de B	5760.00
D	Mantenimiento y Reparación.	2 % de IF	58603.00
E	Suministros	2 % de IF	58603.00
F	Depreciación	10 % de IF	293 015.00
H	Seguros	4 % de IF	117 206.00
Total	-	-	\$590 787.00 año

3.6.2 Análisis de la Rentabilidad.

$$G = VP - CTP$$

$$G = 2\,508\,480.00 - 590\,787.00 = 1\,917\,693 \text{ \$/año}$$

$$VP = \text{Precio} * \text{Producción}$$

$$VP = 0.67 \text{ \$/Kwh} * 13\,000 \text{ Kwh/d} * 288 \text{ d/ año}$$

$$VP= 2\,508\,480.00 \text{ \$/año.}$$

Factibilidad.

$$VAN = \sum_{i=1}^n FCk / (1+i)^n - Inv.$$

Tabla 3.4 Cálculo de los Valores Dinámicos de la Factibilidad.

Valor Actual Neto VAN	\$7,099,891.26
Tasa Interna de Rend. TIR	75%
Periodo de Recuperación Descuento	2 años

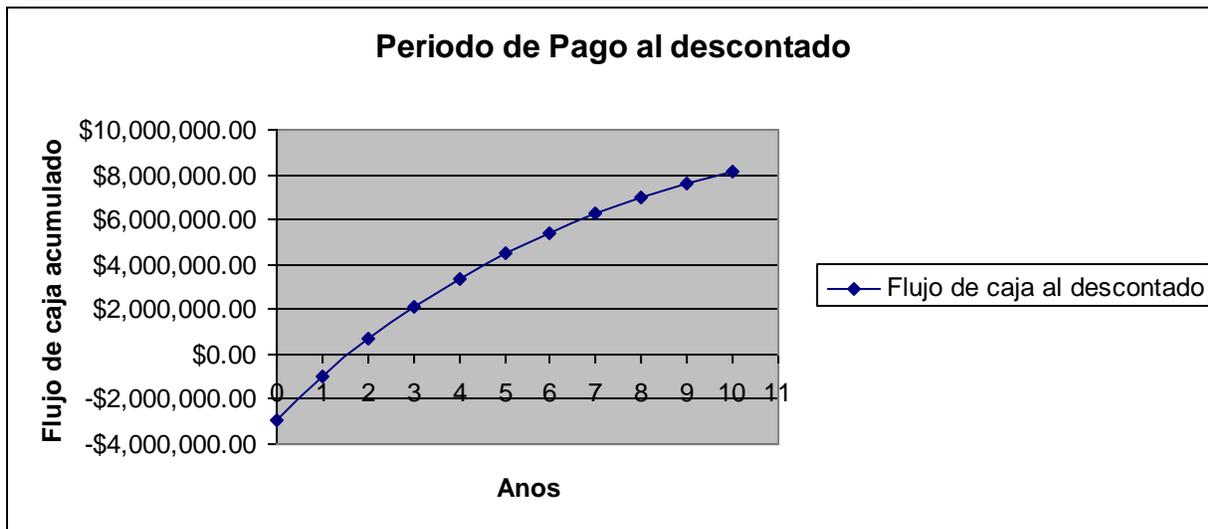


Figura 3.7 Cálculo del Período de Recuperación al Descuento.

En el anexo1 se muestra la tabla para el análisis económico

3.6.3 Análisis de la Inversión.

Con la propuesta del equipamiento a instalar en esta inversión, se obtiene el metano para ser usado en un generador, donde la energía eléctrica producida es a bajo costo, pues la materia prima utilizada es de rechazo (residuos sólidos urbanos orgánicos).

En los requerimientos del mercado la demanda del producto es alta y ascendente, logrando por este concepto ganancias económicas, ambientales y sociales, como aspecto a destacar tenemos que la inversión se recupera en un período menor de 2 años.

La ganancia económica viene dada no solo por la electricidad producida, sino que el rechazo de la producción puede ser utilizado en la agricultura, ya que según experiencias de otra planta existente en el país (calle 100 Habana), los líquidos de

rechazo están aptos para utilizarlos en el fertiriego, y el componente sólido para compost.

Conclusiones Parciales.

1. Los mayores impactos positivos del proceso de generación de energía eléctrica a partir de biogás están relacionados con el consumo de combustible fósil en el transporte empleado en el sistema de gestión de los residuos.
2. Se producen impactos negativos por concepto de productos evitados, al utilizar los residuos del proceso en la agricultura, sustituyendo a la urea, superfosfato y cloruro de potasio triple.
3. La producción de energía eléctrica a partir de biogás produce un impacto ambiental total negativo (-0.0697 Pt), mientras la generación en un grupo electrógeno produce un impacto total positivo (0.0590 Pt).
4. Desde el punto de vista económico es factible la implementación de la planta de electricidad a partir de biogás.

Conclusiones Generales.

1. En la actualidad el ACV se puede considerar una útil herramienta en la Gestión Integral de Residuos Sólidos y no existe en Cuba una metodología específica para el análisis de ciclo de vida para la obtención de energía eléctrica a partir de las potencialidades energéticas de los residuos sólidos urbanos.
2. La metodología de ACV propuesta constituye una herramienta científicamente fundamentada que permite determinar el perfil ambiental del proceso de generación de energía eléctrica a partir de biogás obtenido de RSU
3. El perfil ambiental de una planta de obtención de energía eléctrica a partir del biogás generado en el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos de Santa Clara, muestra que el mayor impacto perjudicial es provocado por el diesel refinado con 0.0125 Pt de impacto sobre los recursos, dado por el consumo de combustibles fósiles en todo el proceso, seguido por los residuos orgánicos del agromercado que producen un daño a la salud humana de 0.0094 Pt, dado fundamentalmente por la respiración de compuestos orgánicos y cambio climático asociados a las emisiones relacionadas con esta etapa.
4. Se destacan el efecto beneficioso que se produce por la sustitución de la urea que en este caso beneficia en mayor medida los efectos sobre los recursos (-0.0218 Pt) por el ahorro de minerales, combustibles fósiles y fertilizantes químicos y a la salud humana (-0.0131 Pt), mientras la sustitución del superfosfato triple beneficia la categoría de daños a la salud humana con -0.0387 Pt y a los recursos con -0.0104 Pt.
5. Desde el punto de vista ambiental, la producción de energía eléctrica a partir de biogás resulta más factible que la generación en un grupo electrógeno, ya que la primera produce un impacto ambiental total negativo de -0.0697 Pt, mientras el grupo electrógeno produce un impacto total positivo de 0.0590 Pt.
6. El análisis económico de la planta de electricidad a partir de biogás demostró que es factible su implementación, con un Valor Actual Neto de \$7, 099,891.26, una Tasa Interna de Rendimiento del 75% y la Planta tiene un Período de Recuperación de 2 años.

Recomendaciones.

1. Implementar la construcción de una planta de energía eléctrica a partir del biogás generado del tratamiento de la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos generados en la Ciudad de Santa Clara.
2. Aplicar el análisis de ciclo de vida al estudio de diferentes alternativas para la obtención de energía, para obtener el proceso más adecuado desde el punto de vista ambiental.

Bibliografía

1. CONTRERAS, A., *Metodología para el análisis de Ciclo de Vida Combinado con el análisis energético en la industria azucarera*. Tesis en opción al título de Doctor. En la UCLV, Santa Clara, Cuba.
. 2007.
2. Barradas.A, *Tesis Doctoral Gestion Integral de Residuos Solidos Municipales*. 2009.
3. Tchobanoglous, T.y.V., *Gestión Integral de Residuos Sólidos, Tratamiento y Disposición Final*. 1993.
4. Montes Carmona , M., *Estudio tecnico Economia de la digestion anaerobicade la fraccion organica de los residuos solidos urbanos y lodos de depuadoras para la obtencion de biogas*
2008.
5. Hunt, D.A.J., *C Sistema de Gestion Medio Ambiental*, 2009.
6. Kirkpatrick, N., *Choosing a waste disposal option on the basis of lifecycle assessment. Proceedings of PIRA Conference: Lifecycle analysis protecting your market share.*, 1992.
7. Denisonen, <http://www.fonamperu.org/general/energia/tecno.php>, 1996.
8. Finnveden G., E.T., *Life cycle assessment as a decision support tool -the case of recycling vs. incineration of paper.* . Resources, Conservation and Recycling;, 1998. **24**: p. 235 - 256.
9. Enciclopedia, *Enciclopedia Universal Micronet Versión 2006*. Acceso 30/01/09 <http://www.encyclopedia.net/>, 2005.
10. Ramírez Juidias, E.a.G.O., L., <http://www.fonamperu.org/general/energia/tecno.php>, 2003.
11. Gabriel Quadri de la Torre, G.W., (<http://www.fonamperu.org/general/energia/tecno.php>), 2003.
12. Diego, L., http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/Revista+Limpia/Vol1n2/p+I_v1n2_78-86_tecnolog%C3%ADas.pdf.
13. Gabriel Quadri de la Torre, G.W., `Jorge Sánchez Gómez, Alejandra López Villalobos, Alejandro Nyssen Ocaranza, **La Basura en el Limbo: Desempeño de Gobiernos Locales y Participación Privada en el Manejo de Residuos Urbanos**. Proyecto de Apoyo a la Gestión de Residuos Sólidos en el Estado de México, **2003**.
14. (<http://tecnologias-limpias.blogspot.com/2007/02/tecnologias-limpias.html>) 2007.
15. Arena U., M.M.L., Perugini F. , *The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study.* . Chemical Engineering Journal, 2003. **96**: p. 207-222.
16. Calvo.F, *Metodologia de diagnostico Ambiental de Vertederos*. 2003.
17. Fouhy, K.a.I.K., (<http://www.plastivida.com.ar>), , 1993.
18. Buenrostro- Fouhy, K., (<http://www.pvem.org>), , 1993.
19. Hagberg, <http://www.pvem.org>, 1992.
20. O., D., <http://www.pvem.org.mx>, 2001.

Bibliografía

21. (Acosta, M.R., (<http://www.fortunecity.es>, 2000.
22. Carreño, R., <http://www.morelia.gob.mx>, 1973.
23. Álvarez, S., (<http://www.bancomext.com>), , 1975.
24. López-Granados, (www.sre.gob.mx), 2004.
25. (<http://www.pvem.org.mx>.
26. <http://www.morelia.gob.mx>.
27. (<http://www.bancomext.com>.
28. (López-Granados, E.M., Bocco, G. y M.E. Mendoza-Cantú., <http://www.aimplas.es>, 1999. .
29. . (Heinen, J.T.,). *Predicción del cambio de uso de suelo*. (<http://www.morelia.gob.mx/htm/Medioambiente/>), 1992.
30. TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S., *Gestión Integral de Residuos Sólidos, Tratamiento y Disposición Final*. McGraw-Hill, 1994.
31. Martínez Chaviano; Y, Trabajo de diploma., 2009.
32. Gaitán Mesa, F.A., *Diseño y gestión de las rutas para la recolección de residuos sólidos urbanos en la ciudad Santa Clara*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, . Trabajo de diploma., 2006.
33. Domínguez Nuñez, J., A, *Tesis de Saneamiento Ambiental*. 2006.
34. Núñez., J.A.D., *Guía Metodológica para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos en la Ciudad de Santa Clara*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Trabajo de diploma para optar por la categoría de MSc. 2009.
35. *Estadística del Dpto. Independiente Servicios Comunales Nacional*. 2008.
36. <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>.
37. Werner, M., <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>, 1996.
38. Ramírez García Carlos A. Ing., P.G.J., *Gestión de los Residuales Sólidos Urbanos: Estado del arte de los Rellenos Sanitarios: Caso de Estudio Colombia*. 2007.
39. Morejón., D.C.F.D., *Cuba: Análisis de los Servicios Ambientales*. CITMA. Cuba., 2004.
40. *Web:ResiduosSólidos*.
- . 2009.
41. D.P.d.S.C.d.I.C.d.L.H.L.d.A.d, *Guía Gestion Integral de los Residuos*. 2007.
42. R. B. Williams, B.M.J., D. Nguyen. December, *Solid Waste Conversion: A Review And Database Of Current And Emerging Technologies*. FINAL REPORT. University Of California. , 2003.
43. <http://www.monografias.com/trabajos15/sistemas-control/sistemas-control.shtml>.
44. *Plan Integral de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos*. 2003.
45. **Miño., S.J.S., ENERGÍAS RENOVABLES. Conceptos y Aplicaciones** 2003.
46. Abu Qdais, H.A.H., M. F.; J.Newham, , *ANALYSIS OF RESIDENTIAL SOLID WASTE AT GENERATOIN SITES*. . Waste Management & Research., 1997. Vol. 15, No. 4, : p. pp. 395-405.
47. Merizalde Hoyos Juan C., M.G.A., Mujica Muñoz Julián Reynaldo, *Manual para el Manejo Integral de Residuos Sólidos (MIRS) en Instituciones Educativas Escuela de Ingeniería de Antioquia Ingeniería Ambiental*. 2003.

Bibliografía

48. Ing . Karin Santos Bonilla, W.C.M., *Generación y Manejo de Gases en Sitios de Disposición Final*. . www.ingenieriaquimica.org/usuario/wagner
<<http://www.ingenieriaquimica.org/usuario/wagner>.
49. Ocaranza., G.Q.d.I.T.G.W.J.S.G.A.L.V.A.N., *La Basura en el Limbo: Desempeño de Gobiernos Locales y Participación Privada en el manejo de Residuos Urbanos*. . 2003.
50. Michelle Allsopp, P.C.Y.P.J.L.D.I.D.G., *Informe Sobre Incineración Y Salud Humana. Estado Del Conocimiento De Los Impactos De Los Incineradores De Residuos En La Salud Humana*. www.ambiente-ecologico.com. Universidad De Exeter, Reino Unido. .
51. <http://www.e-compound.com>
52. Schleenstein, G., *Educación Ambiental Comunitaria – Minería en Moa (Cuba) Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en Cuba con un Enfoque al Municipio Minero de Moa*. . 2003.
53. Fábregas., X.L., *Estudio de la Aplicación de Sistemas Basados en el Conocimiento a la Operación de una Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos por Valorización Energética*. . 1999.
54. U. Arena, M.L.M., F. Perugini, , *The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study*. Chemical Engineering Journal, 2003: p. p. 207–222.
55. Beigl P., S.S., *Comparison of ecological effects and cost communal waste management systems. Resources, Conservation and Recycling;* . . 2004(41:): p. p. 83-102.
56. Eriksson O., C.R., Frostell B., Björklund A., Assefa G., Sundqvist J-O., Granath J., Baky A., Thyselius L. , , *Municipal solid waste management from a systems perspective*. . *Journal of Cleaner Production* 2005.(13): p. 241-252.,.
57. Mendes M.R., A.T., Hanaki K. , . *Waste Management; . Assessment of the environmental impact of management measures for biodegradable fraction of municipal solid waste un Sao Paulo City*. 2003(23): p. 403-409.
58. Finnveden G., E.T., . *Resources, , Life cycle assessment as a decision support tool -the case of recycling vs. incineration of paper*. Conservation and Recycling, 1998(24): p. 235 - 256.
59. Goedkoop and Oele, *Introction to LCA(life cycle assessment)* Simapro , Pre Consultants,, 2004.
60. *Norma Cubana ISO 14040*. 2005.
61. *Norma Cubana 14041*. 2000.
62. *Norma Cubana ISO 14042*. 2001.
63. *Norma Cubana ISO 14043*. 2001.

Anexos

Anexo 1

Análisis económico:

Concepto	0	1	2	...	9	10
		\$2,508,480.0	\$2,508,480.0		\$2,508,480.0	\$2,508,480.0
Ingresos		0	0		0	0
Costos Operacionales (a+B)		\$297,772.00	\$297,772.00		\$297,772.00	\$297,772.00
Beneficio Operacionales		\$2,210,708.0	\$2,210,708.0		\$2,210,708.0	\$2,210,708.0
Depreciación		0	0		0	0
		\$293,015.00	\$293,015.00		\$293,015.00	\$293,015.00
		\$1,917,693.0	\$1,917,693.0		\$1,917,693.0	\$1,917,693.0
Beneficios antes Impuestos		0	0		0	0
Impuestos		\$0.00				
Beneficios despues Imp.		\$1,917,693.0	\$1,917,693.0		\$1,917,693.0	\$1,917,693.0
		0	0		0	0
Inversión	\$2,930,157.00					
		- \$2,210,708.0	\$2,210,708.0		\$2,210,708.0	
Flujo de caja	\$2,930,157.00	0	0		0	
Flujo de caja		- \$1,922,354.7	\$1,671,612.8			\$2,210,708.0
Actualizado	\$2,930,157.00	8	5		\$628,421.19	0
		-				
Flujo de caja al		- \$1,007,802.2			\$7,618,421.7	
descontado	\$2,930,157.00	2	\$663,810.64		4	\$546,453.21
						\$8,164,874.9
						5

VAN	\$7,099,891.26
TIR	75%

Interés 0.15

Anexos

Anexo 2

Título:	Comparación 1 p '1 kwh de electricidad de biogás' with 1 p '1 kwh de Grupo electrógeno'		
Método:	Eco-indicator 99 (H) V2.04 / Europe EI 99 H/H		
Indicador:	Caracterización		
Categorías:	Nunca		
Modo relativo:	No		
Categoría de impacto	Unidad	1 kwh de electricidad de biogás	1 kwh de Grupo electrógeno
Carcinogénesis	DALY	-7.92E-07	3.12E-09
Resp. Organicas	DALY	1.35E-09	9.33E-10
Resp. Inorgánicas	DALY	-9.68E-07	7.54E-08
Cambio climatico:	DALY	1.43E-07	2.91E-08
Radiacion	DALY	-3.15E-09	2.48E-10
Capa de ozono	DALY	3.44E-10	1.69E-10
Ecotoxicidad	PAF*m2yr	-0.31691454	0.011070226
Acidificación/ Eutrofización	PDF*m2yr	-0.024792656	0.003056035
Uso del suelo:	PDF*m2yr	-0.015580801	0.002540847
Minerales	MJ surplus	-0.047478636	0.000708917
Combustibles Fósiles	MJ surplus	-0.86226778	1.5796541

Título:	Comparación 1 p '1 kwh de electricidad de biogás' with 1 p '1 kwh de Grupo electrógeno'		
Método :	Eco-indicator 99 (H) V2.04 / Europe EI 99 H/H		
Indicador:	Puntuación única		
Categoría por impacto :	No		
Categorías:	Nunca		
Modo relativo:	No		
Categoría de daño	Unidad	1 kwh de electricidad de biogás	1 kwh de Grupo electrógeno
Total	Pt	-0.069702436	0.059070345
Salud humana	Pt	-0.031603426	0.002128482
Ecosistema	Pt	-0.005621063	0.000522905
Recursos	Pt	-0.032477947	0.056418959

Anexo 3

Titulo:	Análisis 1 kWh 'electricidad del biogás'	
Método :	Eco-indicator 99 (H) V2.04 / Europe EI 99 H/A	
Indicador:	Caracterización	
Categoría de impacto	Nunca	
Modo relativo	No	
Categoria de impacto	Unidad	Total
Carcinogénesis	DALY	-7.92E-07
Resp. Orgánicas	DALY	1.35E-09
Resp. Inorgánicas	DALY	-9.68E-07
Cambio climático:	DALY	1.43E-07
Radiacion	DALY	-3.15E-09
Capa de ozono	DALY	3.44E-10
Ecotoxicidad	PAF*m2yr	-0.31691454
Acidificación/ Eutrofización	PDF*m2yr	-0.024792656
Uso del suelo:	PDF*m2yr	-0.015580801
Minerales	MJ surplus	-0.047478636
Combustibles Fósiles	MJ surplus	-0.86226778

Anexos

Anexo 4

Titulo:	Análisis 1 kWh 'electricidad del biogás'	
Método :	Eco-indicator 99 (H) V2.04 / Europe EI 99 H/A	
Indicador:	Ponderación	
Por categoría de impacto	Si	
Categorías	Nunca	
Modo relativo	No	
categoría de impacto	Unit	Total
Total	Pt	-0.069410929
Carcinogénesis	Pt	-0.020630281
Resp. Orgánica	Pt	3.52E-05
Resp. Inorgánicas	Pt	-0.025193769
Cambio climático	Pt	0.00372413
Radiación	Pt	-8.21E-05
Capa de ozono	Pt	8.95E-06
Ecotoxicidad	Pt	-0.002471933
Acidificacion/ Eutrophication	Pt	-0.001933827
Uso del suelo:	Pt	-0.001215303
Minerales	Pt	-0.001129992
Combustibles Fósiles	Pt	-0.020521973

Anexo 5

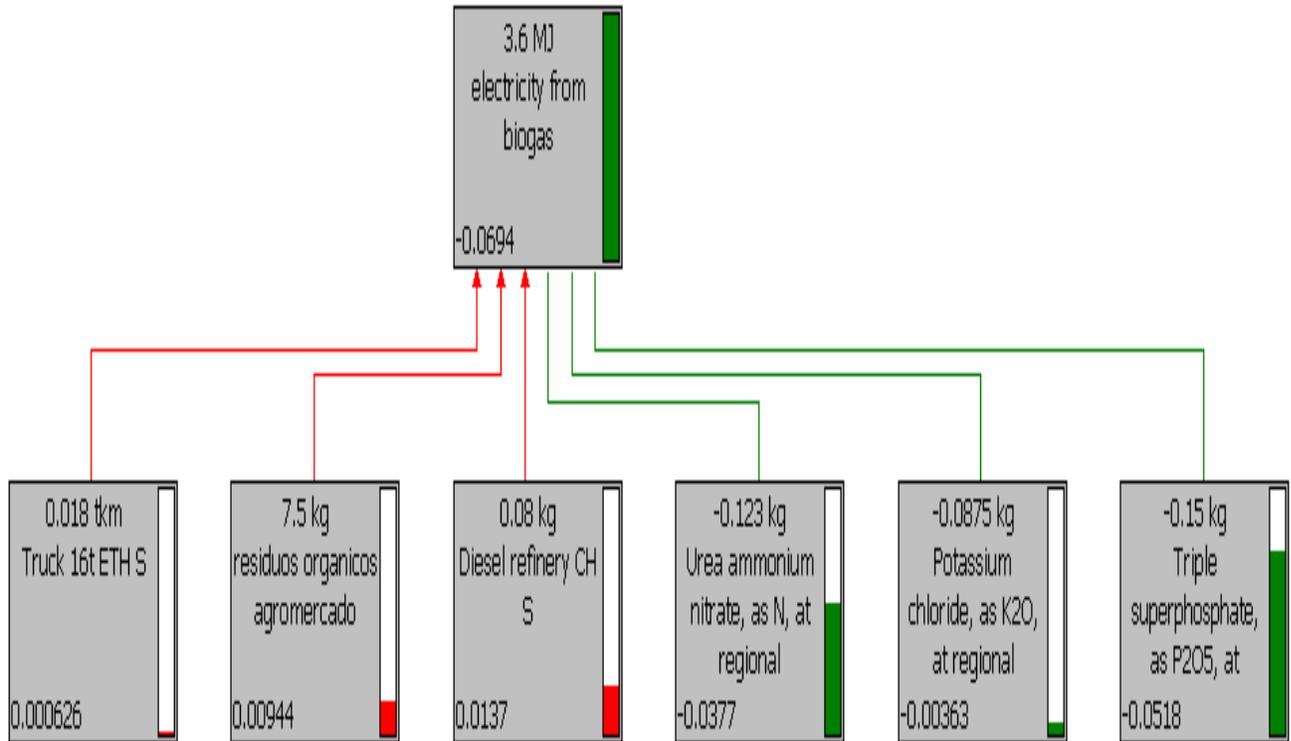
Equivalencia del Biogás con otras Fuentes de energía.



Anexos

Anexo 6

Red del proceso de la Planta de Biogás para obtener electricidad a partir de los residuos sólidos orgánicos.



Anexos