

*Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas*

*Departamento de Ingeniería Química*

*Facultad Química-Farmacía*



# *Trabajo de Diploma*

*Título: "Estudio de Alternativas de Tratamiento de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos en Santa Clara; desde la perspectiva del Análisis del Ciclo de Vida".*

*Autor: Yadira Ocaña Moreno.*

*Tutor: MSc. Maria Elena López Vega.*

*"Año del 50 Aniversario de la Revolución"  
2007-2008*



La meta básica de la gestión de residuos sólidos es gestionar los residuos de la sociedad de forma compatible con las preocupaciones ambientales y la salud pública, y con los deseos del público respecto a la reutilización y el reciclaje de materiales residuales.

Los residuos orgánicos procedentes de los RSU ocupan en el mundo un lugar prioritario desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo. Constituyen entre el 30 y el 65 % de los residuos domiciliarios, según lugar y clima, considerándose unos de los más contaminantes dentro estos, siendo los principales generadores de lixiviados entre otros daños.

En el presente trabajo se realizaron un grupo de estudios necesarios para desarrollar un Estudio de Impacto Ambiental desde la perspectiva del Ciclo de Vida (ACV) en los Sistemas de Gestión de RSU en Santa Clara, valorando alternativas para el tratamiento de la fracción orgánica de estos residuos. Para cumplir este propósito primeramente se realizó una revisión de la bibliografía Internacional y Nacional para conocer las tendencias mundiales relacionadas con la gestión de RSU, las alternativas de reciclaje y minimización más ecológicas; así como de las diferentes herramientas para desarrollar el ACV a los sistemas de Gestión de RSU a la factibilidad de obtener compost a partir de la fracción orgánica de estos residuos. En el Capítulo II se realiza primeramente una valoración de la gestión de residuos existente en la actualidad para Santa Clara y se realiza la selección de los escenarios a valorar. Los escenarios incluyen la gestión actual y dos propuestas donde se usa el compostaje y la digestión anaeróbica. En el Capítulo III primeramente se definen las categorías de impacto que se tienen en cuenta en la herramienta computacional, se recopilan una serie de datos para el completamiento de la fase de inventario y por último se realiza en análisis de ciclo de vida, comparando todos los escenarios desde el punto de vista ambiental.



## *Abstract*

---

Organic waste from the MSW in the world occupies a priority in terms of qualitative and quantitative. They constitute between 30 and 65% of household waste, depending on location and climate, considered one of the most polluting within these, being the main generators of leachate among other damage.

In this paper we conducted a study group needed to develop an Environmental Impact Study from the perspective of Life (LCA) in MSW Management Systems in Santa Clara, assessing alternatives for the treatment of organic fraction of these waste. To accomplish this goal was first conducted a review of the literature International and National know global trends related to the management of MSW, the alternatives are more environmentally friendly recycling and minimization, as well as different tools to develop the LCA to systems Management MSW to the feasibility of obtaining compost from the organic fraction of this waste. In Chapter II takes place primarily an assessment of waste management currently available for Santa Clara and they choose the scenarios to assess. The scenarios include the current management and two proposals which uses composting and anaerobic digestion. In Chapter III was first defined categories of impact are taken into account in the computational tool, compiles a series of data for the completion of phase inventory and finally takes place in life cycle analysis comparing all scenarios from an environmental point of view.

<b>Índice</b>	<b>No</b>
<b>Introducción</b>	1
<b>Capítulo I “Análisis de la Literatura”</b>	4
1.1 Generalidades de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	4
1.1.1 Generalidades sobre los RSU en Cuba	5
1.1.2 Normativa sobre los RSU en Cuba	6
1.2 Impacto medioambiental de los Sistemas de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos	7
1.3 Importancia de minimizar los RSU. Principios sobre el manejo y gestión de los RSU	9
1.4 Métodos de tratamiento y disposición mas empleados para los RSU	11
1.4.1 Compostaje	12
1.4.2 Incineración	13
1.4.3 Digestión anaerobia	13
1.4.4 Pretratamiento mecánico – biológico	15
1.4.5 Pirolisis	16
1.4.6 Biogas o gasificación	16
1.4.7 Disposición final	17
1.4.8 Rellenos sanitarios	18
1.4.9 Impactos ambientales de los rellenos sanitarios	18
1.5. Análisis del Ciclo de Vida (ACV)	21
1.5.1 ACV de la Gestión Integrada de Residuos	23
1.5.2 Herramientas para el ACV aplicado a la gestión de RSU	25
<b>Capítulo II “ Particularidades de la Gestión de RSU en Santa Clara”</b>	28
2.1 Evaluación Institucional	29
2.1.1 Ámbito provincial y municipal	29
2.1.2 Aspectos económicos y financieros	30
2.1.3 Aspectos críticos identificados	30
2.2 Generación y manejo de los RSU en Santa Clara	32
2.2.1 Generación	32
2.2.2 Manejo de los RSU	33
2.3 Manejo en el sitio de Disposición Final	34
2.4 Planes futuros en la gestión de RSU de Comunales	35
2.5 Definición de los escenarios a comparar	35
2.5.1 Descripción de los escenarios de gestión de residuos para la ciudad de Santa Clara	37
2.6 Descripción de La Herramienta Computacional para el ACV (LCA-IWM)	39
2.6.1 Ámbito de la valoración y unidad funcional	40
2.6.2 Inventario de datos y procedimientos de asignación	42
2.6.3 Origen de los criterios de valoración de la sostenibilidad medioambiental de la gestión de RSU	43
2.6.4 Valoración económica	43
2.6.5 Criterios de indicadores de sostenibilidad económica	44
<b>Capítulo III “Análisis del Ciclo de Vida”</b>	45
3.1 Criterios e indicadores de sostenibilidad medioambiental	46
3.2 Valoración Social	49

3.3 Inventario del Ciclo de Vida	50
3.3.1 Sistema actual para el manejo de desechos	50
3.3.2 Datos operacionales de La Herramienta LCA-IWM	51
3.4 Impacto de las Emisiones	52
3.4.1 Valoración medioambiental	52
3.4.2 Análisis de los Impactos medioambientales en el escenario 1	53
3.4.3 Análisis de los Impactos medioambientales en el escenario 2	54
3.4.4 Análisis de los Impactos medioambientales en el escenario 3	55
3.4.5 Comparación entre escenarios	55
3.4.6 Valoración Social	57
3.4.7 Análisis de los resultados de la Valoración Social del SGRSM en Santa Clara	58
<b>Conclusiones</b>	60
<b>Recomendaciones</b>	61
<b>Bibliografía</b>	62
<b>Anexos</b>	



La generación de residuos sólidos urbanos (RSU) y su manejo adecuado es un desafío para cualquier sociedad. La influencia negativa sobre su entorno crea la necesidad de desarrollar sistemas de gestión adecuados desde el punto de vista ambiental, social y económico.

El manejo de los residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe es complejo y ha evolucionado paralelamente a la urbanización, al crecimiento económico y a la industrialización. Según estadísticas de las Naciones Unidas, América Latina y el Caribe (ALC) tenía 283 millones de habitantes en 1970 y 482 millones en 1995. Para el año 2000 se estimó una población de 524 millones y de 604 millones para el año 2010, por lo que hay que tener muy en cuenta esta creciente urbanización de América Latina y el Caribe para lograr un buen manejo de los residuos sólidos municipales (**Acurio, 2002**).

La correcta toma de decisiones en la gestión de residuos exige el conocimiento de los impactos presentes y futuros de la generación de residuos, la recogida selectiva y la disposición final de los mismos. Las estimaciones en las que no se tenga en cuenta las características de la generación de residuos pueden dar lugar a la superación de la capacidad de las plantas de tratamiento de residuos con el consiguiente encarecimiento económico (**Heyer, 2001**). El análisis Sectorial de Residuos Sólidos para Cuba determinó que uno de los problemas más importantes del Manejo de Residuos Sólidos era precisamente la Disposición Final. Una de las primeras acciones encaminadas a solucionar de manera parcial el manejo de los RSU a partir del año 1999 fue dividir las poblaciones cubanas en poblaciones de hasta 20 mil habitantes y de más de esta cifra (**Collazos, 1999**), para así comenzar con la construcción de rellenos sanitarios manuales para las ciudades más pequeñas. En estos momentos se cuenta con alrededor de 200 rellenos sanitarios manuales, pocas plantas de reciclaje, un gran número de vertederos a cielo abierto, sitios de disposición final donde los residuos son tapados sin existir impermeabilización y vertederos donde se continúa la quema de residuos sin ningún control.

En nuestro país más del 60 % de los residuos sólidos que se generan corresponden a la fracción orgánica que puede ser reciclada mediante económicos procesos (**Pérez, R. 2006**). Esta fracción se considera una de las más contaminantes, principal generadora de lixiviados altamente contaminados y de gases como el metano. Los daños que provocan estos residuos en el medio



ambiente pueden ser mitigados en gran medida si los tratamos mediante métodos biológicos aerobios o anaerobios, para así disminuir la contaminación que provocan.

El creciente reconocimiento de la importancia de la protección ambiental y los posibles impactos asociados con los productos fabricados y consumidos, así como a procesos en general, ha aumentado el interés en el desarrollo de métodos para comprender mejor y reducir esos impactos. Una de las técnicas que se están desarrollando para este propósito es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). **(NC -14 040)**. En la actualidad, la noción de ACV ha sido aceptada en forma general en la comunidad científica como la única base legítima sobre la cual comparar materiales, componentes y servicios alternativos. **(Liamsanguan, 2006)**

Una ventaja clara de la metodología es que permite detectar situaciones en las que un determinado sistema industrial 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, de aquí la importancia de utilizar esta herramienta para determinar las variantes de tratamiento o jerarquía en cuanto a la mejor opción ambiental para la gestión de residuos sólidos urbanos en una localidad. **(Finnveden, 2004; Shabbir, 2007)**.

### **Problema Científico**

En la actualidad en la ciudad de Santa Clara el sitio de disposición final para los residuos sólidos es el Vertedero Municipal, donde no se manejan adecuadamente los residuos. A pesar de que está legislado que se le realicen evaluaciones de Impacto Ambiental a los sitios de disposición final de RSU; no se han desarrollado en el vertedero municipal de Santa Clara, contribuyendo esto al desconocimiento de los impactos negativos sobre el medio ambiente. Teniendo en cuenta que la fracción orgánica de los RSU es una de las más contaminantes, centraremos nuestro estudio en esta fracción.



### **Hipótesis:**

Con la aplicación de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) comparativo a los sistemas de gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) es posible determinar la mejor alternativa de tratamiento y disposición final para la Fracción Orgánica (FO) desde el punto de vista ambiental.

### **Objetivo General:**

Desarrollar Evaluaciones de Impacto Ambiental con enfoque de ciclo de vida a diferentes alternativas de tratamiento y disposición para la Fracción Orgánica de los RSU en Santa Clara, con vistas a determinar la jerarquía en las condiciones del Municipio.

### **Objetivos Específicos:**

- 1- Definir las alternativas o escenarios factibles a evaluar teniendo en cuenta las tendencias mundiales en materia de gestión de residuos sólidos y las características de los residuos sólidos orgánicos en el municipio.
- 2- Desarrollar el análisis de inventario para el ACV teniendo en cuenta la búsqueda de información demográfica, económica y social de la localidad.
- 3- Desarrollar el ACV comparativo a los escenarios seleccionados y determinar la mejor alternativa desde el punto de vista ambiental para ser implementada en la localidad.



### **1.1. Generalidades de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU).**

Llamamos residuos a todos aquellos materiales, ya sean sólidos, líquidos o gaseosos, que se generan como consecuencia de procesos de extracción de materias primas, su posterior transformación y su consumo, y que su poseedor decide abandonar, porque generalmente resulta inservible. Sin embargo la mayor parte de los residuos sólidos pueden convertirse nuevamente en materiales útiles e incluso en productos de alto valor agregado, sobre la base de su recolección por separado y su posterior reciclaje.

En la naturaleza el caso es totalmente distinto, existe una interacción entre los factores orgánicos con los no orgánicos que entre los dos producen una circulación continua de materia entre el medio inorgánico y los estratos vivos. En dichas comunidades existen tres niveles que son complementarios entre sí, unos son productores, otros consumidores y finalmente otros son descomponedores, los cuales permiten una circulación más o menos rápida de los elementos necesarios para la vida.

Por ello los restos que genera la naturaleza son reutilizados constantemente, entonces se puede afirmar que en la naturaleza no existen los desperdicios. Esta realidad debería hacer reflexionar sobre la pobre eficiencia que tiene el humano en su sistema productivo (el hombre produce y consume, no descompone) y servir como punto de referencia para una nueva manera de pensar **(Acurio, G. 1998)**.

Según **(Tuninetti, L. 2000)**, deberá definirse que son los residuos sólidos urbanos, estos son todo material que sea desechado por la población, con distintos orígenes como ser comercial y prestación de servicios en general, industrial, desechos de la vía pública, resultados de la construcción y que no sean considerados peligrosos por la Ley y los decretos reglamentarios de estas.

Otro criterio sobre como definir los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) o municipales es la que plantea que estos residuos son aquellos que se generan en el ámbito doméstico o por comercios, así como los de procedencia industrial, pero análogos a los urbanos y que pueden ser gestionados conjuntamente a los de origen doméstico. **(Cortinas, C. 1999)**.



La cantidad y composición de la basura 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 clasificarlas, recogerlas y su posterior destino indicará el nivel de conciencia ambiental que tiene una determinada población.

Los residuos sólidos urbanos domésticos que generamos 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.

Otros autores hacen un desglose de los componentes que se pueden encontrar en cada uno de estos grupos, por ejemplo:

Materia orgánica.- Restos procedentes de la limpieza o la preparación de los alimentos junto la comida que sobra, restos de jardinería.

Papel y cartón.- Periódicos, revistas, publicidad, cajas y embalajes, etc.

Plásticos.- Botellas, bolsas, embalajes, platos, vasos y cubiertos desechables, etc.

Vidrio.- Botellas, frascos diversos, vajilla rota, etc.

Metales.- Latas, botes, etc.

Otros.- Restos de elementos electrodomésticos, textiles entre otros

### **1.1.1. Generalidades sobre los RSU en Cuba.**

En los años 1898-1902 se establecieron las primeras ordenanzas para la limpieza y recogida de residuos. En ese entonces, Cuba contaba con una población de 2 millones de habitantes, estimándose una generación de residuos de 40 ton/día (0,02 kg/ (hab\*día)). En términos generales, la generación de RSU está vinculada al desarrollo socioeconómico del país, por lo que el comportamiento de la cuantificación y caracterización ha tenido cambios en el tiempo, manifestándose de forma general un aumento en la generación hasta los años 90, un descenso hasta el año 1996 y posteriormente otro aumento hasta la fecha, como se observa en el **Anexo 5. (Schleenstein, G. 2002).**



Como se puede apreciar en el **Anexo 6** dentro de la composición de los RSU predomina la materia orgánica. La composición y contenido de los residuos sólidos está relacionado con el nivel de desarrollo de la sociedad, sus avances científico técnicos y el crecimiento de la población en núcleos de asentamientos humanos cada vez más complejos. A pesar de que ha experimentado cambios o fluctuaciones con el cursar de los años, la materia orgánica ha mostrado una tendencia hacia la disminución.

Nuestro País desde 1988 comenzó a sufrir una fuerte crisis económica, las disponibilidades financieras del Estado han sido muy reducidas, por lo que se han destinado a la solución de los problemas vitales para la población. Esta situación influyó también en la actividad ambiental, pues se carece de fondos para garantizar los niveles adecuados de tratamientos de los residuos, dificultades para la recogida y procesamientos de los desechos sólidos.

En la actualidad en la mayoría de las ciudades y algunos municipios se han incorporado contenedores y equipos especializados para la recogida y para el tratamiento final, manteniéndose dificultades materiales, lo que motiva en ocasiones la presencia de micro-vertederos en algunas vías. También en ciudades muy pobladas de nuestro país como Ciudad Habana, se han montado plantas de reciclaje de RSU; resultando aun insuficientes, procesándose solamente 300 ton/día, cuando la generación de esta ciudad esta en el orden de los 1500 a 1800 toneladas/día. **(Schleenstein, G. 2002).**

Según documento emitido por el **CEPIS/OPS** sobre el análisis sectorial de los residuos sólidos en Cuba los costos totales del sector se ubican en US 56,7 millones para 1995, correspondiendo 36% a Ciudad de La Habana. De ellos, se emplea 46% en salarios y, el resto, en otros gastos. El total de trabajadores del sector asciende a 11.871, estando los principales núcleos en Ciudad de La Habana, Santiago de Cuba, Holguín y Villa Clara. El costo del sector por habitante es de \$ 5,00 aproximadamente, lo cual es relativamente bajo en el contexto latinoamericano.

La cantidad de residuos sólidos urbanos manejados alcanza a 1.824.000 toneladas por año, o sea, 5.000 toneladas por día (0,45 kg/hab/día). El costo total del sector es de \$31 anuales por tonelada, similar a la media latinoamericana. Esta situación se agrava en Ciudad de La Habana, donde el costo por tonelada asciende a \$46 (similar a Buenos Aires y San Pablo).



### **1.5. Normativa sobre RSU en Cuba.**

El marco legal de los aspectos vinculados con los residuos sólidos en Cuba, se caracteriza por una normativa dispersa, contenida en leyes, decretos, reglamentos, normas y otras disposiciones. Por ejemplo se cuenta con tres normas relacionadas con los residuos sólidos urbanos, la **NC: 133, 134 y 135 de 2002**. Estas normas son de carácter obligatorio y de forma general plantean los requisitos higiénicos sanitarios y ambientales en cuanto al almacenamiento, recolección, transportación, tratamiento y disposición final de los RSU. Además tienen en cuenta los requisitos higiénicos sanitarios para la protección de la salud del personal que ejecuta el manejo de los RSU.

La **NC 133:2002** define como residuos sólidos urbanos aquellos residuos putrescibles o no, procedentes de las actividades domésticas, comerciales, industriales y de todo tipo que se producen en una comunidad, con la sola excepción de las excretas humanas. Teniendo en cuenta esta definición de RSU se plantean en la norma un gran número de requisitos específicos según las características de cada residuo, desde los más simples hasta los infecciosos (hospitalarios, etc.)

En la **NC 134: 2002** correspondiente a los requisitos en cuanto al tratamiento de los RSU, se tienen en cuenta los requisitos para las instalaciones de selección y tratamiento, proceso de compostado, lombricultura y procesos de reciclaje e incineración.

Por último en la **NC 135: 2002** se especifican los requisitos en cuanto a la disposición final de los RSU y posee requisitos generales para cualquier tipo de vertedero, requisitos específicos en cuanto a los rellenos sanitarios y a la disposición de los residuos sólidos peligrosos.

A pesar de existir un gran número de decretos y resoluciones y decretos ley como el 99/87 que regula el sistema de tratamiento de las contravenciones personales, hasta la fecha, no existe un procedimiento legal de multas por contravenciones de carácter institucional, relacionadas con el sector. **(CEPIS/OPS)**

### **1.2. Impacto Ambiental de los Sistemas de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos.**

Muchas de las obras, instalaciones y actividades son susceptibles de producir impactos negativos sobre el medio ambiente, afectando a los recursos naturales, a las relaciones o equilibrios entre



ellos y con el hombre, y a la calidad de vida de los ciudadanos. La corrección a posteriori de los daños causados al medio ambiente es, con frecuencia, muy difícil y costosa. Es imprescindible, por tanto, la adopción de medidas preventivas para impedir aquellos proyectos o actividades cuyo impacto ambiental sea inadmisibles o desproporcionado con los fines propuestos, para condicionar o corregir lo que sea enmendable. En este sentido, la Evaluación de Impacto Ambiental es la técnica generalizada y reconocida como el instrumento más adecuado y eficaz para la preservación de los recursos naturales y la defensa del medio ambiente. **(Conesa. 2000).**

Las características de las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) han ido evolucionando con el tiempo en función de las necesidades del hombre. Así, hace unos veinte años se realizaban sin tener en cuenta los componentes socio-económicos, analizándose solamente los elementos naturales. En los tiempos actuales esta situación ha cambiado substancialmente ya que se ha considerado, con mucha razón, que es precisamente el hombre el actor principal del proceso hacia el desarrollo sostenible y de su éxito o fracaso totales o parciales. Es por esta razón que en las EIA también se incluye el análisis de los aspectos socioeconómicos, incluyendo aspectos históricos, sociales y culturales y la opinión de la comunidad.

Las EIA surgieron en los países desarrollados con el criterio de que las condiciones socio ecológicas eran aceptables y capaces de resistir los cambios negativos que se podían producir. Sin embargo, esta suposición no es aceptable ni aplicable en los países en vías de desarrollo o de economías en transición, en los que cualquier proyecto puede provocar importantes mejoras en la calidad de vida en un plano local, considerando que los impactos positivos secundarios pueden superar a los negativos si el proyecto está bien diseñado. En general los estudios de impacto ambiental pueden ser muy variados, pero hay dos tipos que en la actualidad se consideran los más importantes: las evaluaciones o estudios de impacto ambiental y las auditorías ambientales.

Para hablar de evaluación de impacto ambiental es necesario definir qué es un impacto ambiental, al respecto **(Gómez Orea, 1994)**, plantea que *“El término impacto indica la alteración que la ejecución de un proyecto introduce en el medio, expresada por la diferencia entre la evolución de éste sin y con el proyecto. Su significación ambiental interpretada en términos de salud y bienestar humano, es lo que define el impacto ambiental.”*



El mismo autor refiere que *“Los impactos ambientales dependen de la naturaleza, localización y tamaño del proyecto; pueden ser positivos o negativos, reversibles o irreversibles, directos o inducidos, permanentes o temporales, simples o acumulativos, a corto, mediano o largo plazo, etc.”* Quiere esto decir que el impacto ambiental es el cambio que existirá entre el desarrollo natural del medio ambiente y el que produzca la ejecución de cualquier proyecto u otro elemento capaz de producir un cambio en esta evolución.

### **1.3. Importancia de Minimizar los RSU. Principios sobre el Manejo y Gestión de los RSU.**

En los últimos años se ha producido un aumento en la generación de basura en los países industrializados, en la que los Estados Unidos de América marchan a la cabeza con una producción media diaria de dos kilos por persona. En Europa ha bajado en los últimos años este índice como consecuencia de la incorporación de la ecología a la vida diaria, actualmente el promedio se sitúa en un kilogramo por persona por día. **(Calleja, G. 1999)**

La situación que se ha generado por los residuos (especialmente en los últimos 50 años) es grave y compleja. Para que los sistemas de reciclaje puedan convertirse en sistemas capaces de terminar con los desperdicios, deberá procurarse que los materiales sean de alta calidad y que los procesos de reciclaje no generen más basura.

Por otra parte los gobiernos deberán fomentar la rentabilidad del reciclaje desde perspectivas no solo económicas sino también ecológicas.

Muchos de los actuales métodos sobre la disposición de los RSU no son ambientalmente factibles debido fundamentalmente a la carencia de un sistema de Gestión. Este es el caso de los residuos de todo tipo acumulados en vertederos a cielo abierto, provocando contaminación del aire, suelos y aguas, contribuyendo además a la proliferación de vectores y al deterioro del paisaje, entre otros daños. La incineración sin control también es usada, contribuyendo de forma negativa por la generación de gases de efecto invernadero y otros residuos. Los rellenos sanitarios han sido ampliamente usados en el mundo, aunque su tendencia es a ir desapareciendo debido a la baja disponibilidad de suelos, así como a la cada vez mas costosa tecnología para la impermeabilización de los mismos con vistas al tratamiento de los lixiviados y para el control del



gas metano; el que resulta 23 veces más contaminante que las de CO<sub>2</sub>. (<http://www.vidasilvestre.org.ar/pdfs/clima-agenda-local.pdf>).

Los autores (**Werner, M, 1996**) y (**Larraz, P, 1995**) definen la gestión integral de los residuos como la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de gestión idóneos para lograr metas y objetivos específicos de gestión de residuos. Por otra parte (**Collazos, P. 1999**), refieren que el manejo integral de los residuos sólidos debe contemplar la minimización de la producción de residuos, el reciclaje y reuso de todo material al máximo, la recolección y el tratamiento y disposición final de los residuos en forma ambientalmente segura. Se considera que la gestión integral de los residuos sólidos busca ser compatible con las preocupaciones ambientales y la salud pública, y con la conciencia pública respecto a la reutilización y el reciclaje de materiales reciclables.

(**Nilsson, Per 1997**), (**Carro, J y Cossu, R 1990**), plantean que las diferentes alternativas en materia de gestión deben ser las siguientes:

1. Prevención (minimización y reducción en la fuente).
2. Valorización:
  - ❖ Reutilización.
  - ❖ Reciclaje y Compostaje.
  - ❖ Recuperación de energía (digestión anaerobia, incineración, etc)
3. Disposición final de rechazos en rellenos Sanitarios.

A continuación se muestra un diagrama a modo de resumen un sistema integral de residuos sólidos muy usado a nivel mundial: (**Ver Anexo 2**)

Según **Guereca (2006)**, la Gestión Integrada de Residuos Sólidos Municipales, se define como un sistema que engloba todos los tipos de materiales sólidos y todas las fuentes de residuos sólidos, además emplea un rango de tecnologías de tratamientos dependiendo de la situación y un enfoque global con respecto al análisis, la optimización y el manejo del sistema total. El **Anexo 3** muestra los elementos de un sistema integrado de gestión de residuos sólidos. En ella se puede identificar la recogida y selección de materiales como el centro del sistema, rodeado de la gama de tratamientos que se pueden utilizar, dependiendo de las características específicas de la región.



La basura no puede ser tratada dentro de las leyes del mercado. Si bien una parte de la misma es reciclable, esta actividad se le debe tomar como solución a problemas ambientales y no como generadora de utilidades. El reto fundamental de la sociedad actual y de las venideras debe referirse fundamentalmente a evitar en la mayor medida posible la generación de residuos, para lograr un manejo sustentable de los RSU en el ambiente, esto se puede lograr teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- El reciclaje de materiales es importante pero es apenas UNA parte de la solución del problema general de la basura. Debe ponerse énfasis en la REDUCCION de la GENERACION y de la TOXICIDAD de la basura.
- Establecer medidas que devuelvan a los fabricantes la responsabilidad por el impacto del destino final de los bienes que producen.
- Educar para que los habitantes elijan productos duraderos y de menor perjuicio ambiental y separen sus residuos para ser recuperados y reciclados.
- Fomentar la recogida de la fracción orgánica de los RSU y su posterior compostaje para evitar las emisiones de metano de los vertederos o rellenos que no presenten un buen control de emisión de gases.
- Reducción de envases y embalajes, utilización de materiales de bajo impacto ambiental, para evitar el consumo energético y de materias primas que supone su producción. ([www.vidasilvestre.org.ar/pdfs/clima-agenda-local.pdf](http://www.vidasilvestre.org.ar/pdfs/clima-agenda-local.pdf)).

#### **1.4. Métodos de tratamiento y disposición mas empleados para los RSU.**

Para establecer los métodos y tratamientos a los RSU es necesario tener en cuenta la jerarquía, la que establece la prioridad en las opciones de manejo de residuos a través de un orden de preferencia que parte de la reducción en la fuente, reuso, reciclaje, tratamiento y disposición en sitios sanitarios controlados como ultima opción.

Este manejo puede lograrse combinando opciones de manejo que incluyen tratamientos que involucran el reuso, reciclaje, compostaje, biogasificación, tratamiento mecánico-biológico, pirolisis, incineración con recuperación de energía, así como la disposición final en rellenos sanitarios. El punto clave no es cuantas opciones de manejo se utilicen, o si se aplican todas al mismo tiempo,

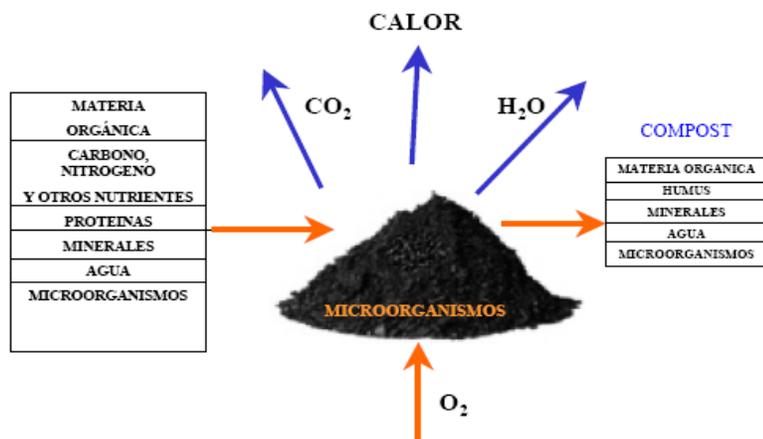
sino que sean parte de una estrategia que responda a las necesidades y contextos locales regionales, así como a los principios básicos de las políticas ambientales en la materia. (Delegación, Coyoacuan. 2005).

La jerarquía debe ser vista mas como un menú de posibles opciones de tratamiento de residuos que como un esquema rígido, por ello su interpretación debe ser flexible y ajustarse a las necesidades locales. (Tchobanoglous, 1998)

### 1.4.1. Compostaje.

En tal sentido (Pravia, A. 2004) plantea a modo de concepto ampliado y moderno que el compostaje se puede definir como un proceso dirigido y controlado de mineralización y pre-humificación de la materia orgánica, a través de un conjunto de técnicas que permiten el manejo de las variables del proceso; y que tienen como objetivo la obtención de un biofertilizante de características físico-químicas, biológicas y microbiológicas predeterminadas, conocido como Compost.

En el siguiente esquema se representa a forma de resumen el proceso de obtención de compost.



(Pravia, A. 2004), (Abu Qdais, H, 1997), (Juan C. Merizalde, 2003) y (Tiquia Sonia M, 1998) consideran que el proceso de compostaje se caracteriza por el predominio de los metabolismos respiratorios aerobios y por la alternancia de etapas mesotérmicas (10-45°C) con etapas termogénicas (45-75°C), y con la participación de microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente. Las elevadas temperaturas alcanzadas son consecuencia de la relación

---

*“Estudios de Alternativas de Tratamiento y Disposición Final de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos en Santa Clara; desde la perspectiva del Análisis del Ciclo de Vida.”*



superficie/volumen de las pilas y de la actividad metabólica de los diferentes grupos fisiológicos participantes en el proceso.

#### **1.4.2. Incineración**

La incineración de los desechos sólidos logra una reducción de volumen, dejando un material inerte (escorias y cenizas), cerca del 10% del inicial, y emitiendo gases durante la combustión. Tal reducción es obtenida en hornos especiales en los que se puede garantizar aire de combustión, turbulencia, tiempos de retención y temperaturas adecuadas. Una mala combustión generará humos, cenizas y olores indeseables. **(Mariano, S. 2000)**

La técnica de la incineración, a excepción de cuando se usa en los residuos hospitalarios, no es recomendable para nuestros países en vías de desarrollo, y menos aún para las pequeñas poblaciones, debido a las siguientes causas:

- Se requiere de un elevado capital inicial.
- Altos costos operativos fuera del alcance de nuestras poblaciones.
- Se necesitan técnicos bien calificados, los cuales son escasos.
- Su operación y mantenimiento son complejos y presentan muchos problemas.
- No es flexible para adaptarse a tratar mayores cantidades adicionales.
- En ocasiones se requiere de combustible auxiliar, ya que el poder calorífico de la basura es bajo y contiene mucha humedad.
- Se requieren equipos de control para evitar la contaminación del aire, ya que ningún incinerador produce una emisión enteramente libre de contaminantes. **(Rodríguez, A. España)**

#### **1.4.3. Digestión Anaerobia.**

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo a través del cual, en ausencia de oxígeno, la materia orgánica es transformada mediante la intervención de distintos grupos de microorganismos en **biogás o gas biológico**, formado principalmente por metano y anhídrido carbónico (metano: CH<sub>4</sub> 55-80%, dióxido de carbono: CO<sub>2</sub> 20-45% y trazas de otros elementos como sulfuro de hidrógeno). La fermentación anaeróbica se produce de forma natural cuando se dan las condiciones adecuadas, sin embargo, a nivel industrial se puede controlar la reacción para optimizar el proceso y recoger la energía (en forma de metano) que se desprende. Esto se realiza



mediante unos digestores, tanques donde se homogeniza la biomasa y se controlan el tiempo, la temperatura y otros parámetros del proceso. El porcentaje de metano en el biogás varía, según el tipo de materia orgánica digerida y de las condiciones de la digestión, desde un mínimo de un 50% hasta un 80% aproximadamente. Debido a que cada grupo de bacterias intervinientes en las distintas etapas responde de forma diferente a esos cambios, no es posible dar valores cualitativos sobre el grado en que afecta cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa. Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta destacan los siguientes:

- Tipo de sustrato (nutrientes disponibles)
- Temperatura del sustrato; la carga volumétrica
- Tiempo de retención hidráulico
- Nivel de acidez (pH)
- Relación Carbono/Nitrógeno
- Concentración del sustrato; el agregado de inoculantes
- Grado de mezclado
- Presencia de compuestos inhibidores del proceso.

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimentos en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas. Los residuos empleados como materia prima para la obtención del biogás son los siguientes:

- a) Residuos ganaderos. La digestión anaerobia es una tecnología interesante para tratar los residuos producidos en explotaciones ganaderas intensivas con alta concentración de ganado.
- b) Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (R.S.U.). Este tipo de residuos pueden emplearse para producir biogás de dos formas: a través de la desgasificación de vertederos o bien mediante la digestión anaerobia en biorreactores (resulta menos interesante que otros procesos más simples como el compostaje aerobio).
- c) Residuos industriales biodegradables. Se emplea la digestión anaerobia para el tratamiento de los residuos biodegradables generados en industrias como la cervecera,



azucarera, alcoholera, láctea, oléica, etc; esta práctica es bastante común en nuestro país y tiene buenas perspectivas de desarrollo debido a que la tecnología está inserta dentro del propio proceso industrial.

- d) Lodos de depuración de aguas residuales urbanas. La utilización energética del biogás, generado a partir de los lodos de las estaciones depuradoras que se someten a tecnologías de digestión anaerobia, ha alcanzado un importante grado de desarrollo en España, fruto de la propia evolución del sector de tratamiento de residuos. **(Pravia, A. 2004)**

#### **1.4.4. Pretratamiento Mecánico – Biológico**

La estabilización de los residuos municipales en un relleno sanitario tradicional tiene un periodo aproximado de 25 años y en el relleno seco se estima hasta unos 100 años. Para reducir este largo periodo de vigilancia ambiental se debe minimizar el potencial contaminante de los residuos sólidos, antes de que los mismos sean depositados en el relleno sanitario. La forma de lograr este reto es extraer a lo máximo los contaminantes orgánicos de los residuos sólidos convirtiéndolos en material inerte. El tratamiento mecánico-biológico es un proceso que convierte los residuos en material semi-inerte antes de su disposición final. El tratamiento mecánico-biológico consiste en dos etapas de tratamiento: Mecánico para acondicionar los residuos municipales a su tratamiento posterior, y biológico mediante una fermentación controlada o digestión aerobia. El tratamiento integra varios procesos, los cuales con flexibilidad se pueden adaptar a las condiciones locales, a la variación de la cantidad y las propiedades y de los desechos municipales. El pretratamiento acelera y facilita el control de los rellenos sanitarios a través de la reducción del volumen de los residuos, de la cantidad de los lixiviados y emisión de biogás. **(Alternativa de Rellenos Sanitarios, 2002). (Ver Anexo 4)**

#### **Riesgos ambientales**

El pretratamiento mecánico–biológico de los residuos sólidos esta relacionado con generación de biogás, lixiviados, ruido y otros vectores ambientales como atracción de insectos, desarrollo de gérmenes y patógenos que afectan el medio ambiente y el personal de operación. La tasa y la extensión de las emisiones dependen del proceso biológico seleccionado para el pretratamiento y la eficacia de las medidas de mitigación propuestas. Los parámetros de interés para el control de estos efectos son la cantidad y la composición de los efluentes líquidos, la tasa de generación de



biogás, y el ruido emitido en la operación de equipo electromecánico. (**Alternativa de Rellenos Sanitarios, 2002**).

#### **1.4.5. Pirolisis**

Es la combustión de materia en atmósferas prácticamente ausente de oxígeno. (<http://www.monografias.com/trabajos15/tratamiento-RS/tratamiento-shtml>. 2000) (Rodríguez, A. España).

El proceso consta de una separación clásica de fracciones no orgánicas, secado variable y pirolización en lecho fluido de aire- nitrógeno pobre en oxígeno. Las tres fracciones de componentes más importantes producidas mediante pirolisis son las siguientes: (<http://www.sidsnet.org/docshare/other/> . 2003)

1. Una corriente de gas que contiene principalmente Hidrógeno, Metano, Monóxido de Carbono y diversos gases, según las características del material sometido a este tratamiento.

2. Una fracción líquida que consiste en un flujo de Alquitrán o aceite, que contiene Acido Acético, Acetona Metanol e hidrocarburos oxigenados complejos. Con un procesamiento adicional, la fracción líquida puede utilizarse como aceite combustible sintético sustituyendo al aceite combustible convencional.

3. Una fracción sólida (coque), la cual es un combustible ligero y poroso que está formado por Carbono casi puro, con algún otro material inerte presente en los residuos.

Se ha encontrado que las distribuciones de las fracciones del producto varían drásticamente según la temperatura en la que se lleva a cabo la pirolisis.

Las ventajas de la pirolisis sobre la incineración son:

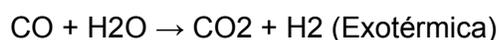
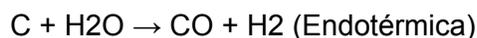
1. Obtención de productos aprovechables.
2. Menos contaminación ambiental.
3. Remedia la escasez de energía

#### **1.4.6. Biogás o gasificación.**

La gasificación es el término global utilizado para describir el proceso de combustión parcial en el combustible quemado con menos aire que el estequiométrico. La gasificación es una técnica energéticamente eficaz para reducir el volumen de los RSU y recuperar energía. Esencialmente el proceso implica la combustión parcial de un combustible rico en Carbono para generar un



combustible gaseoso con alto contenido de Monóxido de Carbono, Hidrógeno y algunos hidrocarburos saturados, principalmente Metano. El gas combustible puede quemarse en un motor de combustión interna, turbina de gas o caldera con cantidades adicionales de Oxígeno. Durante el proceso de gasificación se obtienen cinco reacciones simples: **(Álvarez, B J. 1999)**



El calor necesario para sostener el proceso se obtiene de las reacciones exotérmicas, mientras que los componentes de la combustión son generados principalmente por las reacciones endotérmicas. **(Gómez, M N. 2000).**

#### **1.4.7. Disposición final**

A continuación se presentan los principales métodos de disposición final de basura:

- Relleno sanitario;
- Vertido a corrientes de agua o al mar;
- Botadero a cielo abierto;
- Quema al aire libre;
- Alimentación de animales.

De éstos, el relleno sanitario es considerado como el único admisible, ya que no representa mayores molestias ni peligros a la salud pública. . **(Haddad, J.1981)**

El lanzamiento de las basuras en los cursos de agua, lagos o mares, es inaceptable debido al desequilibrio ecológico que produce, sobre todo por la adición excesiva de nutrientes y carga orgánica al agua. El abandono de los desechos a cielo abierto ocasiona serios problemas de salud pública por la proliferación de insectos y roedores transmisores de múltiples enfermedades, además de los humos que se producen por los continuos incendios, y que causan el deterioro estético de las ciudades y del paisaje natural.

La alimentación de animales con desechos crudos debe prohibirse por el alto riesgo de transmisión de enfermedades al hombre. Se puede admitir la alimentación de animales con desperdicios de comida de hoteles y restaurantes bajo un estricto control, sólo si se garantiza que sean



recocinados a una temperatura de 100°C durante por lo menos 30 minutos. **(Merisaldes, J C. 2003), (Sakurai, K. 1980).**

#### **1.4.8. Rellenos Sanitarios**

Un relleno sanitario es una obra de ingeniería destinada a la disposición final de los residuos sólidos domésticos, los cuales se disponen en el suelo, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el medio ambiente y el riesgo para la salud de la población. **(Collazos, H y Hernández, L. 1979)**

La obra de ingeniería consiste en preparar un terreno, colocar los residuos extenderlos en capas delgadas, compactarlos para reducir su volumen y cubrirlos al final de cada día de trabajo con una capa de tierra de espesor adecuado. **(Haddad, J.1981)**

Un relleno sanitario planificado y ambiental de las basuras domesticas ofrece, una vez terminada su vida útil, excelentes perspectivas de una nueva puesta en valor del sitio gracias a su eventual utilización en usos distintos al relleno sanitario; como ser actividades silvo-agropecuarias en el largo plazo. **(Jaramillo, J.1991)**

El relleno sanitario es un sistema de tratamiento y, a la vez disposición final de residuos sólidos en donde se establecen condiciones para que la actividad microbiana sea de tipo anaeróbico (ausencia de oxígeno)

#### **1.4.9 Impactos ambientales de los rellenos sanitarios no controlados.**

##### **Impactos de los rellenos sanitarios.**

Cuando se habla de relleno sanitario, se hace referencia a un sitio de disposición final de residuos. Los mecanismos de ingeniería de los rellenos sanitarios pretenden reducir los impactos negativos de los residuos en el medio ambiente. Un relleno sanitario está compuesto básicamente por una depresión en el terreno, cubierta por una membrana inferior, un sistema de recolección de líquidos lixiviados, un sistema de recolección de gases, y ocasionalmente, una cobertura. No necesariamente todos estos elementos están presentes en todos los rellenos sanitarios. Ciertos materiales usados comúnmente en el hogar y que son depositados en los rellenos sanitarios, pueden contener químicos peligrosos. A continuación se resumen algunos de ellos:



- Detergentes para lavar ropa, quitamanchas y otros productos conteniendo solventes pueden poseer: tricloroetileno, benceno, tolueno y cloruro de metileno
  - El esmalte para uñas puede contener: xileno, dibutilftalato y tolueno
  - Los plásticos usados normalmente pueden contener: cloruro de vinilo, formaldehído y tolueno.
- También pueden encontrarse metales pesados en los desechos urbanos:
- Los productos electrónicos como TV y radios, el vidrio, las cerámicas, los plásticos, los materiales de bronce y los aceites usados pueden contener **plomo**.
  - Las baterías de níquel-cadmio, los plásticos, los productos electrónicos, el lavavajillas, el lavarropas, los pigmentos, el vidrio, las cerámicas, los aceites usados y el caucho contienen **cadmio**
  - Las baterías, las lámparas fluorescentes, los restos de pinturas, los termómetros, los pigmentos de tintas y los plásticos pueden contener **mercurio**.

### Producción de líquidos y gases

Al depositarse los residuos en los rellenos, éstos comienzan a descomponerse mediante una serie de procesos químicos complejos. Los productos principales de la descomposición son los **líquidos lixiviados** y los **gases**. Tanto los líquidos como los gases pueden afectar la salud de las poblaciones de los alrededores. Los líquidos lixiviados se forman mediante el percolado de líquidos (como por ejemplo, agua de lluvia) a través de sustancias en proceso de descomposición. El líquido, al fluir, disuelve algunas sustancias y arrastra partículas con otros compuestos químicos. Los ácidos orgánicos formados en ciertas etapas de la descomposición contenidos en el lixiviado (como ácido acético, láctico o fórmico) disuelven los metales contenidos en los residuos, transportándolos con el lixiviado (**Friends of the Earth, 1996**).

La producción de metano se debe a la actuación de microorganismos como bacterias, que mediante procesos biológicos degradan los residuos, emitiendo éste y otros gases, y liberando otras sustancias químicas.

Los que construyen los rellenos sanitarios alegan que una vez abandonado un relleno sanitario, y cubriéndose el mismo con un cobertor, la ausencia de oxígeno o agua impediría la posterior degradación de los residuos. Sin embargo, cualquier rotura o desgaste de la membrana de



cubrimiento, transformaría a los líquidos lixiviados y los gases en peligrosos para las comunidades vecinas.

### **Composición de los lixiviados**

La composición de los lixiviados varía mucho de acuerdo al tipo de residuos, las precipitaciones en el área, las velocidades de descomposición química u otras condiciones del lugar. Sin embargo, hay tres grupos de sustancias que se encuentran generalmente en las cercanías de los rellenos, estos son:

- Compuestos Orgánicos Volátiles: Los Compuestos Orgánicos Volátiles son compuestos formados básicamente por átomos de carbono e hidrógeno que se evaporan fácilmente.
- Metales: Los metales contenidos en los residuos depositados en los rellenos, debido al carácter ácido de los líquidos lixiviados, son disueltos y transportados.
- Otras sustancias químicas: Otros compuestos químicos que pueden encontrarse dentro de los lixiviados son los compuestos orgánicos sintéticos y alcoholes.

### **Composición de los gases emitidos**

El principal componente de los gases emanados en los rellenos sanitarios es el metano, seguido por el dióxido de carbono. Típicamente, los gases que escapan de un relleno llevarán consigo otras sustancias químicas tóxicas como ser solventes, pesticidas u otros compuestos orgánicos volátiles, por lo general, clorados. **(Environmental Research Foundation, 1998)**

El venteo de los gases producidos también genera problemas de salud. Un estudio realizado por el departamento de salud de Nueva York donde se analizaba la presencia de compuestos orgánicos volátiles en los gases emitidos por 25 rellenos, encontró tetracloroetileno, tricloroetileno, tolueno, 1,1,1-tricloroetano, benceno, cloruro de vinilo, xileno, etilbenceno, cloruro de metileno, 1,2-dicloroetano y cloroformo. **(Environmental Research Foundation, 1998).**

### **Evidencias de los impactos de los rellenos sanitarios en la salud.**

Existen varios estudios en el mundo que dan cuenta del impacto que pueden tener los rellenos sanitarios en la salud de la población cercana. He aquí un breve resumen de algunos de ellos:

- Un estudio realizado en 1998 por el Departamento de Salud del Estado de Nueva York examinó la incidencia de siete tipos de cáncer en hombres y mujeres que viven cerca de 38 rellenos donde se piensa que existe liberación de gases. De los 14 tipos de cáncer estudiados (7 en hombres y 7



en mujeres), se encontró que en 10 casos, los valores eran elevados, pero en sólo dos tipos de cáncer (cáncer de vejiga y leucemia en las mujeres) fueron estadísticamente significativos. Los siete tipos de cáncer estudiados fueron la leucemia; los linfomas no Hodgkin; el cáncer de hígado, de pulmón, de riñón, de vejiga y de cerebro. El estudio también concluyó que para las mujeres que viven cerca de los rellenos, la incidencia de los siete tipos de cáncer era elevada. En los hombres, el estudio encontró una incidencia elevada (aunque no estadísticamente significativa) de cáncer de pulmón, cáncer de vejiga y leucemia (**Environmental Research Foundation, 1998**).

- Varios estudios realizados tanto en Estados Unidos y Canadá como en Europa a poblaciones que viven cerca de rellenos sanitarios concluyen que habitar cerca de un relleno es peligroso para la salud, no importa si es un relleno de residuos sólidos o de residuos peligrosos. Se detecta además que los efectos más comunes de vivir cerca de un relleno son un menor peso y tamaño de los recién nacidos. Por otro lado los tipos más comunes de cáncer relacionados con los rellenos son la leucemia y el cáncer de vejiga. (**Geenpeace, 2005**).

### **1.5 El Análisis de Ciclo de Vida (ACV)**

El desarrollo de las sociedades humanas se ha basado en los sistemas naturales, que han sido fuente de recursos y sumidero de residuos, pero a medida que los pueblos fueron creciendo e industrializándose, la explotación de los ecosistemas se volvió intensiva, generando importantes problemas ambientales.

A partir de los años 1960's el ambiente natural comienza a ser considerado en la toma de decisiones; pero no de una forma global, sino abordando problemas ambientales específicos, lo cual no representa una solución a largo plazo porque sólo se logran trasladar los efectos ambientales entre áreas geográficas, vectores (aire, agua, suelo) o a través del tiempo.

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que permite evaluar los impactos ambientales de productos o servicios de una forma global porque considera todas las etapas del ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final y todos los vectores involucrados.

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV), de acuerdo a la Norma **ISO 14040 (ISO, 1997)**, es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto:



compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio. Por otra parte la **NC- ISO 14040:1999** plantea El ACV estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo de la vida del producto, (es decir, de la cuna a la tumba), desde la adquisición de las materias primas hasta la producción, uso y disposición. Las categorías generales de aspectos ambientales que precisan consideración incluyen el uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas.

El ACV es un proceso en el que se reconocen las siguientes etapas:

- Definición del objetivo y alcance
- Análisis del inventario del ciclo de vida
- Evaluación del impacto del ciclo de vida
- Interpretación del ciclo de vida

El primer paso, definición de objetivo y alcance, debe expresar claramente el propósito y la extensión del estudio, además debe describir el o los sistemas estudiados y la unidad funcional.

La unidad funcional se refiere a la cantidad de productos o servicios necesarios para cumplir la función que se compara, sirve de base para la comparación entre sistemas y a partir de ella se cuantifican las entradas y salidas funcionales de un sistema productivo o de servicios. En el **Anexo 7** se muestra las fases de un análisis de ciclo de vida.

Debido a su naturaleza global, un ACV completo puede resultar extensísimo. Por esta razón se deberán establecer unos límites que deben estar perfectamente identificados. Los límites del sistema determinarán qué procesos unitarios deberán incluirse dentro del ACV. Varios factores determinan los límites del sistema, incluyendo la aplicación prevista del estudio, las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión, los datos y las limitaciones económicas y el destinatario previsto.

El análisis de inventario del ciclo de vida (ICV), comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes de un sistema, tomando como referencia la unidad funcional. Esas entradas y salidas pueden incluir el uso de recursos y las emisiones al aire, agua y suelo asociadas con el sistema a lo largo del ciclo de vida, es decir, desde la extracción de las materias primas hasta la disposición final. Las interpretaciones



pueden sacarse de esos datos, dependiendo de los objetivos y alcance del ACV. Esos datos también constituyen las entradas para la evaluación de impacto de ciclo de Vida. **(NC- ISO 14041:2000)**

La Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV), va dirigida a evaluar la importancia de los potenciales impactos ambientales utilizando los resultados del análisis de inventario. En general, este proceso implica la asociación de datos del inventario con impactos ambientales específicos tratando de valorar dichos impactos. El nivel de detalle, la elección de impactos evaluados y las metodologías usadas dependen del objetivo y alcance del estudio. **(NC-ISO 14042: 2001)**

Por último la fase de interpretación del ciclo de vida es un procedimiento sistemático para identificar, calificar, verificar y evaluar la información a partir de los resultados del ICV y/o de la EICV de un sistema producto, y para presentar estos resultados de manera de cumplir con los requisitos de aplicación que se describen en el objetivo y el alcance del estudio. Es conveniente que quien emprenda el estudio del ACV esté en estrecho contacto con quien lo haya encargado para asegurar que se hayan considerado las cuestiones específicas. Esta comunicación también tiene que ser mantenida durante la fase de interpretación del ciclo de vida. Por lo tanto, durante toda la fase de interpretación es esencial la transparencia. Es necesario que la persona que realice el estudio del ACV establezca claramente en el informe final las preferencias, las suposiciones y los valores seleccionados usados.

La interpretación del ciclo de vida también puede, mediante la racionalización y el enfoque en los resultados, demostrar los vínculos que existen entre el ACV y otras técnicas de gestión ambiental. Por lo tanto, es importante considerar no solamente esta técnica desde la aplicación hasta la fase de interpretación del ciclo de vida (considerando las demás fases) sino también, por ejemplo, el uso concurrente de otras técnicas.

La interpretación del ciclo de vida incluye la comunicación, da credibilidad a los resultados de las otras fases del ACV (es decir, el ICV y la EICV), en una forma que sea comprensible y útil para quien tenga que tomar decisiones. Mientras que las decisiones basadas en el desempeño técnico, o los aspectos económicos o sociales se encuentran fuera del estudio del ACV, las cuestiones ambientales seleccionadas para incluirlas como parte de la definición del objetivo y el alcance, pueden reflejar estas otras cuestiones. **(NC-ISO 14043: 2001).**



### 1.5.1. El Análisis del Ciclo de Vida de la Gestión Integrada de Residuos

A diferencia de los ACV's de productos, en donde los estudios se enfocan en sólo algunos materiales determinados, el ACV de la gestión de residuos se caracteriza porque estudia toda la gama de materiales que son producidos y utilizados en la sociedad. El **Anexo 8** se muestra la diferencia que existe entre un ACV para productos y un ACV para residuos.

El análisis de ciclo de vida de la gestión integrada de residuos, relaciona al sistema de gestión con los impactos ambientales que pueden ser generados por sus entradas y salidas.

El ACV ha sido usado para comparar opciones específicas de gestión de residuos (**Denison, 1996; Finnveden y Ekval, 1998**) y también se ha usado de forma completa para sistemas completos de manejo (Wilson, 1997, 1998; Thurgood, 1998). Dentro de los trabajos más actuales destacan el de Arena *et al.* (2003), Mendes *et al.* (2003), Mendes *et al.* (2004), Finnveden *et al.* (2004), Beigl y Salhofer (2004), Eriksson *et al.* (2005), Lundie y Peters (2005), den Boer (Szpadt), *et al.* (2005) y Bovea y Powell (2006).

Algunos de estos trabajos más relevantes se describen a continuación:

**Arena et al. (2003)** realizan 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. Ellos evalúan 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.

**Beigl y Salhofer (2004)** 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. Ellos 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.



**Mendes et al. (2003)** 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.

**Finnveden et al. (2004)** 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. Sin embargo mencionan que el vertido y la fabricación de compost parecen ser una estrategia nefasta si se quiere reducir el uso de energía y las emisiones de gases invernadero. **(Wanida, W y Shabbir, H., 2007)**

### **1.5.2. Herramientas para el ACV aplicado a la gestión de Residuos sólidos Municipales.**

Desde finales de la década de los años 90 los científicos comenzaron de manera general a crear modelos para el ACV específicos para la gestión de residuos sólidos municipales **(Winkler, J. 2005)**. En el año 1998 se estableció el grupo de Expertos en el ACV para la Gestión Integrada de Residuos Sólidos en Londres (Internacional expert group on life cycle assessment for integrated waste management (IEG)), este grupo de expertos es el que va a la delantera con un equipo de aproximadamente 20 especialistas de 10 países (Australia, Canadá, Francia, Alemania, Irlanda, Italia, Israel, Suecia, Reino Unido, y Estados Unidos de América). El objetivo de este grupo es lograr con las técnicas de ACV una mayor sostenibilidad en la gestión de residuos y la creación de herramientas para este fin. **(Thomas, B y McDougall, 2005)**.



Existe un gran número de herramientas en diferentes soportes computacionales para el ACV de la gestión de residuos, fundamentalmente desarrollados en Europa, un ejemplo de esto son los siguientes modelos:

- ARES (Alemania).
- EPIS/CSR: Herramienta para la gestión integrada de residuos sólidos (Canadá)
- DST: Herramienta para la toma de decisiones (US EPA) USA.
- IWM2: (UK)
- ORWARE (Suecia)
- UMBERTO (Alemania)
- WISARD (UK)
- WRATE (UK)
- LandGEM (The Landfill Gas Emissions Model)
- (LCI) Model y (LCIA) Model.
- LCA-IWM. Herramienta de valoración del ciclo de vida para el desarrollo de un sistema integrado de residuos, entre otros.

**(Winkler, J., 2006)** plantea que los modelos creados por Industrias o centros de investigación por lo general son más fáciles de usar con respecto a los elaborados por expertos de universidades, ya que estos modelos son creados por lo general para investigaciones internas.

Por lo general los modelos desarrollados permiten determinar los impactos en todas las etapas de un sistema de gestión, desde el almacenaje temporal hasta los métodos de tratamiento y disposición final y además permiten la comparación entre diferentes escenarios, estos programas deben ser fáciles de trabajar por el usuario y deben ayudar en la interpretación del ACV. **(Ozeler, D. 2006).**

Algunas herramientas permiten una integración entre los aspectos ambientales, económicos y sociales relacionados con los sistemas de gestión de residuos, un ejemplo de esto son las herramientas LCA-IWM: 1) Herramienta de predicción de residuos, ayuda para la predicción de las futuras cantidades de residuos generados para ciudades con economías en crecimiento. 2) Herramienta de valoración de la gestión de residuos, ayuda para la planificación y valoración de las estrategias de gestión de residuos. Estas herramientas son el fruto de un proyecto de investigación Europeo titulado "El uso de las herramientas de LCA para el desarrollo de un sistema integrado



de residuos en las economías de crecimiento rápido” y están disponibles gratuitamente en Internet en la pagina [www.lca-iwm.net](http://www.lca-iwm.net) . **(den Boer, E et al.2005)**.

Hasta la fecha la gran mayoría de los modelos están creados teniendo en consideración condiciones Europeas, y solo muy pocos desarrollados en América (Canadá y Estados Unidos), por lo que no existe ningún modelo que contemple las condiciones de América Latina y el Caribe **(Guereca, 2007)**, esto a su vez trae consigo que existan pocos estudios de ACV aplicado a los sistemas de gestión de residuos en nuestra zona y sea necesario la adaptación de dichos modelos a las condiciones del País en cuanto a la composición de los residuos y las características de la producción de electricidad. Un ejemplo de esto es el estudio realizado por **(Mendes, M, 2003)**, donde evaluó varias alternativas para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales en la ciudad de Sao Paulo, empleando los modelos LCI-Model y LCIA-Model adaptándolo a las condiciones Brasileña.



La Provincia de Villa Clara se constituyó como provincia en 1976 según la última división político-administrativa. Con una población de 811 671 habitantes, es la quinta más poblada del País, y posee un índice de urbanización del 76%.

Está situada en el centro de la isla, limitando al norte con el Océano Atlántico, al sur con las provincias de Cienfuegos y Sancti Spiritus, con las que también limita por el este, sudeste y sudoeste y hacia el oeste con Matanzas. Posee una extensión territorial de 8662.4 km<sup>2</sup>, incluidos 719,2 de cayos adyacentes lo que la ubica en el quinto lugar por extensión entre las 14 provincias del territorio nacional, su extensión representa el 7,8 % del área total del país.

Las costas, que poseen características bajas y pantanosas, alcanzan una longitud de 191,0 kilómetros por el norte y son la única frontera marítima. Las mayores alturas se ubican en la Sierra Trinidad, son: Pico Tuerto con 923 metros y Sierra Guaniquical, con 869 metros.

En cuanto a la red hidrográfica, los ríos de mayor caudal son: Sagua la Grande con 163 km, Sagua la Chica con 81 km, Cana, Agabama y Zaza. Las presas más importantes por su capacidad de embalse son: Alacranes, Hanabanilla, Minerva y Palma Sola. En el municipio de [Corralillo](#) se encuentran los manantiales minero medicinales de [Elquea](#), famosos por las propiedades curativas de sus aguas.

Villa Clara cuenta con 13 municipios, el de mayor densidad poblacional es [Santa Clara](#) con 444,7 habitantes por kilómetros cuadrados y el de mayor extensión territorial es [Manicaragua](#) con 1062.8 km<sup>2</sup>, aquí se encuentra ubicado el macizo montañoso del Escambray, el cual se extiende por toda la parte central del país. En el [Plan Turquino](#) se resume una estrategia integral de desarrollo en las montañas que lleva aparejado el desarrollo socio-económico y la elevación del nivel de vida de la población, posee zonas de singular belleza y valor natural como el Valle de Jibacoa, la presa [Hanabanilla](#) y el [Hotel](#) del mismo nombre.



## **2.1 Evaluación Institucional**

Analizando la evolución institucional que han tenido los Organismos de la Administración Central del Estado (OACE) y otras instituciones civiles vinculadas directa o indirectamente con el sector de los residuos sólidos urbanos, tenemos que desde los primeros años del siglo pasado este sector ha estado vinculado a la gestión de alcaldías municipales adscriptas al antiguo Ministerio de Salubridad. Posteriormente, dependían del MINSAP y más tarde de las Juntas de Coordinación e Inspección (JUCEI) del Poder Local y de los Órganos Locales del Poder Popular. De 1977 a 1991, la Oficina de Atención a Órganos Locales del Poder Popular estuvo al frente de las actividades a nivel central; a partir de 1991 y hasta 1995, estas actividades pasaron a depender del Poder Popular Provincial y Municipal; finalmente el sector quedaría a cargo del Ministerio de Economía y Planificación (MEP) en 1996.

### **2.1.1 Ámbito provincial y municipal**

A nivel provincial, las atribuciones y competencias en materia del sector de residuos sólidos están reguladas por las direcciones provinciales de Servicios Comunales y a nivel municipal, por las direcciones municipales de Servicios Comunales.

La Constitución de la República de Cuba establece para cada ciudadano establece para igual derecho a recibir las atenciones del sector de la salud, donde se inscribe lo relacionado con los residuos sólidos por su incidencia sobre la salud de la población. A su vez, existen leyes, decreto-leyes y normativas para el sector de aseo urbano que comprometen aspectos de recolección, barrido y disposición final de los mismos.

A partir de 1990 y con la aparición del “periodo especial” y la política estatal de propiciar el trabajo por cuenta propia, se ha introducido el empleo de carretones de tracción animal en el sector. Aproximadamente, el 98% de los carretones son privados y han tenido que convertirse en una parte importante de la recolección de los desechos de todo el país.



### **2.1.2 Aspectos económicos y financieros**

Los costos totales del sector se ubican en US\$ 56.7 millones para 1995, correspondiendo 36% a Ciudad de La Habana. De ellos, se emplea 46% en salarios y, el resto, en otros gastos. El total de trabajadores del sector asciende a 11.871, estando los principales núcleos en Ciudad de La Habana, Santiago de Cuba, Holguín y Villa Clara. El ausentismo general del sector es de \$ 5.00 aproximadamente, lo cual es relativamente bajo en el contexto latinoamericano.

La cantidad de residuos sólidos urbanos manejados alcanza a 1 824 000 toneladas por año, o sea, 5 000 toneladas por día (0.45 kg/hab/día). El costo total del sector es de \$31 anuales por toneladas, similar a la media latinoamericana.

En lo que respecta a los servicios del sector, o sea, barrido, recolección y disposición final, existe distorsión tanto a nivel de provincia como de municipio, donde se observan costos diferentes para actividades similares. Los principales problemas de altos costos por cantidad manejada se encuentran en el servicio de recolección. Vale señalar que la actividad de recolección con tracción resulta más cara que la que se realiza por otros medios.

### **2.1.3 Aspectos Críticos Identificados:**

Nivel institucional

- Deficiencia del sistema nacional de información, desde el municipio hasta el nivel nacional, para conocer las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos, así como la base económica, técnica y de gestión de los servicios de aseo urbano.
- Problemas en la generación de la información primaria (municipios), pues la información esta sistematizado a nivel nacional pero no se permite un análisis directo y claro de la gestión de residuos sólidos urbanos.
- Insuficientes programas de investigaciones por parte de los centros científicos técnicos del país.

Nivel legal

- Falta de cumplimiento de la normativa existente.
- Deficiente aplicación de mecanismos de control y fiscalización.



- Desactualización de la legislación en correspondencia con la situación del país.

#### Nivel técnico

- Ausencia de una planificación adecuada de las actividades de barrido, recolección, almacenamiento, transporte y destino final de los residuos sólidos, determinada por limitaciones organizativas, de preparación del personal y económicas.
- Falta de un sistema de información básica para el control económico y de costos.
- Malas condiciones de disposición final de los residuos.
- Inexistencia del manejo adecuado de los residuos hospitalarios y disposición final.
- Deficiencia en la recolección de residuos, principalmente en las zonas atendidas con servicio especializado, lo que propicia la formación de microvertederos.
- Malas condiciones de almacenamiento de los desechos sólidos, tanto domiciliarios como externos.

#### Nivel Económico – Financiero

- Ausencia de un ordenamiento de las cuentas de gastos agrupadas según las características específicas del sector; además, no se desagregan los vertederos dentro de los gastos de recogida, especialmente a nivel municipal.
- Deficiencias en la planificación por no considerar gastos en pesos y el que debe realizarse en divisas en conjunto: el monto en divisas es una adición externa a los servicios comunales y el monto obtenido es distribuido por la Dirección de Servicios Comunales en los servicios que brindan (el sector es solo uno de ellos).
- Trámite de presupuesto anual más formal que efectivo debido a la falta de indicadores de gestión, la acumulación de rubros por falta de un sistema computarizado y una adecuación de la contabilidad a las necesidades del sector y al problema de las divisas.
- Implementación del presupuesto, su gestión y control con base en el gasto efectivo del año anterior más algunos ajustes pues no se calculan indicadores de gestión que incluyan información económica.
- Alto costo en salarios por número de trabajadores, no acorde al servicio de recogida brindado; por ejemplo, no se realiza seguimiento de la productividad de los trabajadores, controlándose básicamente la asistencia.
- Elevado gasto en servicios productivos en la recogida, una parte por pago a carretoneros particulares y otra por problemas en contratos con terceros y precios no acordes a los



bienes y servicios brindados; además, no se realiza un control y seguimiento sistemático de estos gastos, excepto en comparaciones de precios si hay mas de una oferta.

- Carencia de estudios de base para avalar las tarifas aplicadas y evaluar sus resultados, aunque se están intentando experiencias piloto para modificar la situación del sector en varias provincias. La legislación vigente impide cobrar algunos servicios, se presentan trabas administrativas y de decisión a mayor nivel jerárquico y existen limitaciones a los requerimientos de equipos.
- Carencia de información confiable sobre la potencialidad de la recuperación de materias primas a partir de la generación de residuos sólidos urbanos en el país.

Nivel ambiental

- Insuficiencia en el sistema de control sobre la gestión de los residuos sólidos y sus afectaciones al ambiente, en especial, a nivel local.
- Deficiente incorporación de la dimensión ambiental en los planes de desarrollo relacionados con esta temática.
- Insuficiencias en la ejecución de estudios y evaluaciones de impacto ambiental.
- Deficiente interacción entre los organismos con responsabilidades en el sector de los residuos sólidos.

## **2.2 Generación y manejo de los RSU en Santa Clara.**

### **2.2.1 Generación.**

En la ciudad de Santa Clara existe una población total de 238424 habitantes pero realmente reciben el servicio de comunales un total de 202352 habitantes, lo que representa un 96.2%, esta población genera 0.614 kg/habitante/día de residuos municipales y 0.584 kg/habitante/día de residuos domiciliarios, produciendo un total de 110 toneladas/día como promedio.



### **2.2.2 Manejo de Residuos Sólidos.**

La limpieza de la ciudad se lleva a cabo por el gobierno, mediante la organización de Servicio de Comunales, los principios de higiene pública encausados a salvaguardar la salud de la colectividad fueron establecidos en el país hace más de 80 años. Hasta el año 1960, el servicio de limpieza de calles y recogida de basuras era brindado a la población a través del antiguo Ministerio de Salubridad y Asistencia Social. Con la promulgación de la Ley No. 905 del año 1960 del Gobierno Revolucionario, se estableció que este servicio pasara a las Juntas de Coordinación e Inspección Municipales (JUCCI Municipales) que se dedicaron, además, al control de la disposición final de los residuos sólidos. Posteriormente, estas funciones pasaron al Poder Local y, en el año 1997, fueron asumidas por las actuales direcciones provinciales y municipales de servicios del Poder Popular.

Actualmente existen en la ciudad diez zonas que reciben este servicio:

Zona 1: Casco Urbano.

Zona 2: Camacho, Libertad, Base Aérea

Zona 3: Capiro, Santa Catalina, Universidad y Callejón de los Patos.

Zona 4: Vigía, Sandino, Reparto Bonachea.

Zona 5: Consejo Hospital, Chamberry.

Zona 6: Condado completo.

Zona 7: Virginia, José Martí, Antón Díaz.

Zona 8: Sub Planta, Hospital Militar, Dovarganes.

Zona 9: Reparto Escambray y Arcoiris.

Zona 10: Circunvalante completa.

Entre las tareas a cumplir por el Servicio Comunales están:

- ✓ Limpieza de vías y áreas públicas.
- ✓ Recolección y transporte.
- ✓ Disposición final.

Para la limpieza de vías y áreas públicas se lleva a cabo el barrido de las mismas, que varía la frecuencia según la zona. Se profundizará en la Zona 1 por ser esta el área más complicada y a la vez la más organizada, la cual tiene una frecuencia de barrido de 3 veces/día.



Actualmente el servicio de barrido en esta zona cuenta con 43 barrenderos permanentes, además de 3 Jefes de Brigadas, 1 Jefe de Zona Comunal, 1 Administrador, 1 Auxiliar Económico, 2 Jefes de Brigadas de los Carros Recogedores de Basuras, 20 Recogedores de Basura, 1 Jardinero, 2 Jefes de Brigadas de Operarios de Mantenimiento de Avenidas, Jardines, Viveros y Floricultura, así como 14 Operarios, 19 Operarios de Mantenimiento en instalaciones con Mobiliario Urbano, además de 9 serenos.

Los residuos sólidos de la Zona 1, al igual que el resto de la ciudad son recogidos y trasladados directamente hasta el sitio de disposición final que en este caso es el Vertedero Municipal. Parte de estos residuos son recolectados de los supiaderos y contenedores que establecidos en diferentes puntos de la zona, la otra parte es sacada por los vecinos de la zona en cajas de cartón o bolsas de nylon a la calle a la hora de recogida de los carros recolectores.

Es importante destacar que a estos residuos no se les proporciona ningún tratamiento, solo son llevados al vertedero y son depositados allí, de ahí la importancia de una propuesta de Gestión para estos residuos.

El personal de recolección de los residuos sólidos (basura) cuenta con los elementos mínimos necesarios para la recolección y se realiza de forma manual, no cuenta con equipos de protección. Esta basura recolectada es depositada en el Vertedero Municipal de Santa Clara.

### **2.3 Manejo en el sitio de Disposición Final.**

El vertedero de la ciudad de Santa Clara se encuentra ubicado en las coordenadas 22<sup>o</sup>.03'.00" de latitud Norte y 79<sup>o</sup>.57'.00" de longitud oeste al suroeste de la ciudad, a 2 Km aproximadamente del limite urbano más cercano, su acceso principal es la carretera a Manicaragua con un recorrido aproximado de 3 km. Presenta una topografía accidentada, lo cual lo hace idóneo para la actividad, además de estar rodeado de elevaciones que sirven de cortina natural a esta instalación. Fue fundado en el año 1970 y posee un área de 25 ha. Tributan a este vertedero un aproximado de 1100 m<sup>3</sup> de RSU/ día.



Los residuos que pasan al vertedero son residuos domiciliarios o asimilables a domiciliarios. Estos residuos son depositados en trincheras y tapados diariamente, pero estas trincheras no cuentan con impermeabilización para la recogida de lixiviados y tampoco se recupera el biogas generado de la descomposición anaerobia de los residuos.

#### **2.4 Planes Futuros en la Gestión de RSU de Comunales**

El servicio de Comunales tiene como planes futuros la implantación de una planta de segregación en Vegas Nueva, así como también de una Planta de fregado en el Vertedero Municipal, donde existen condiciones para ello, además de implementar la lombricultura (fracción orgánica), existiendo de igual forma condiciones para el desarrollo de esta actividad. En cuanto a la recogida selectiva en el origen no existe hasta el momento alguna planeación o proyecto, aunque las autoridades del sector están concientizadas con la importancia de este aspecto pero no poseen los recursos necesarios para su implementación.

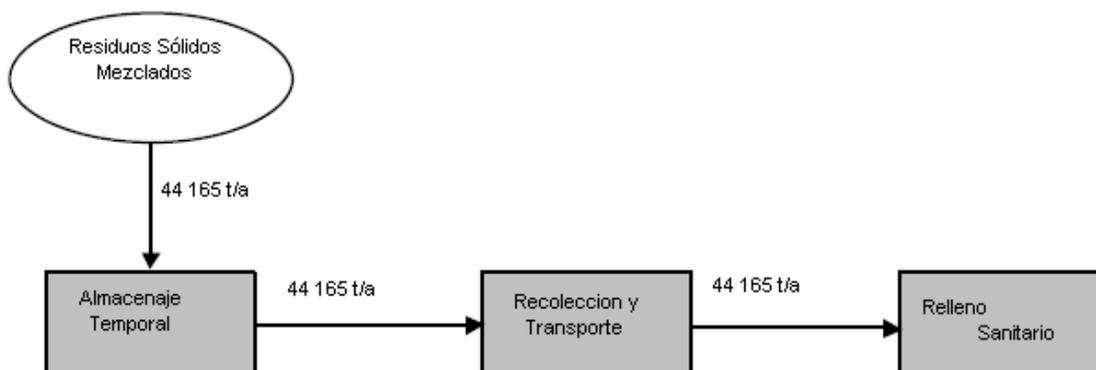
#### **2.5 Definición de los escenarios a comparar.**

En la actualidad todos los residuos, entiéndase por todos a los residuos: domésticos, comerciales, industriales asimilables a urbanos, agrícolas y otros, se disponen en un vertedero (Municipal) situado a aproximadamente 8 km del centro de la ciudad de Santa Clara. Por lo que este será nuestro primer escenario:

Escenario 1:

Almacenaje Temporal – Recogida y Transporte: Residuos (basura) sin separación en el origen.

Tratamiento – Disposición: Vertido del desecho.

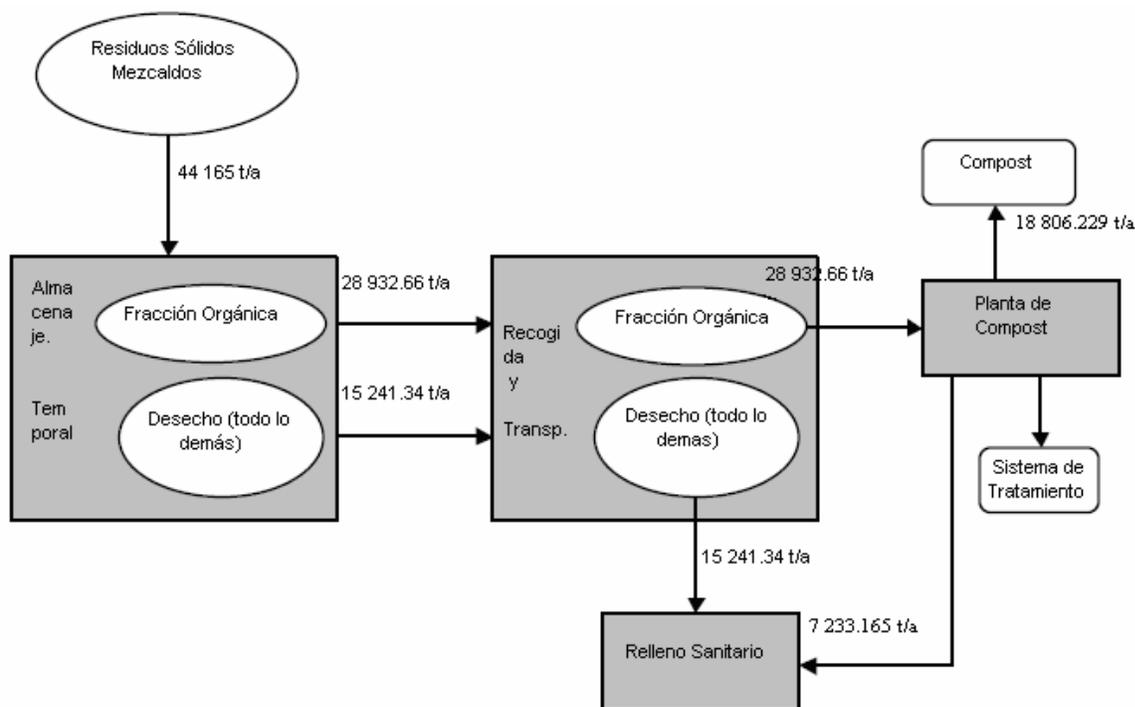


**Figura 2.1.** Sistema actual de gestión de residuos en Santa Clara.

**2.5.1 Descripción de los escenarios de gestión de residuos escogidos para la ciudad de Santa Clara.**

**Escenario 2:**

Almacenaje Temporal – Recogida y Transporte: recogida selectiva de materia orgánica y desechos.  
Tratamiento – Disposición: tratamiento aeróbico de la materia orgánica (Compost) y vertido del desecho.

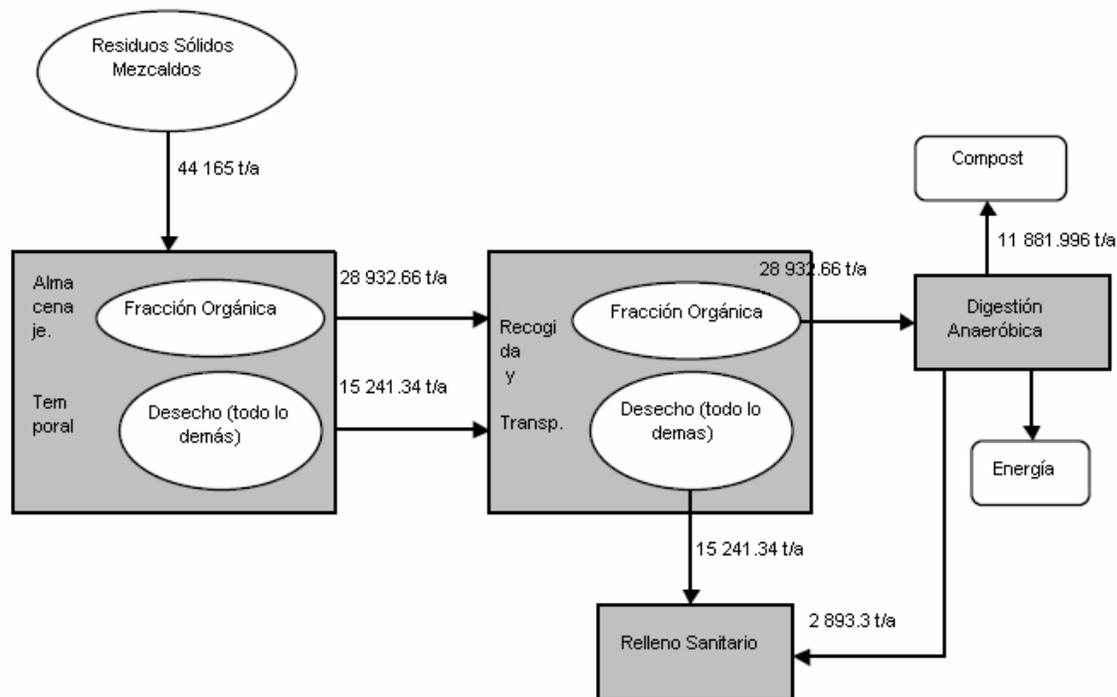


**Figura 2.2.** Sistema de Gestión de Residuos Sólidos para la ciudad de Santa Clara. (Escenario 2)

Escenario 3:

Almacenaje Temporal – Recogida y Transporte: recogida selectiva de materia orgánica.

Tratamiento y Disposición: descomposición anaeróbica de la materia orgánica y vertido del desecho.



**Figura 2.3.** Sistema de Gestión de Residuos Sólidos para la ciudad de Santa Clara. Escenario 3

La selección de los dos escenarios se hizo teniendo en cuenta las posibilidades que se pueden implementar a un plazo de tiempo mediano, en cuanto a la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en Santa Clara. Además estos escenarios fueron seleccionados analizando fundamentalmente la caracterización de los residuos generados en el municipio, en la que se destacan la materia biodegradable que representa un 65.49% del total y los residuales que pueden ser recuperados que representan un 21.17%, quedando solo un 13.34% a disposición final (vertedero).



## **2.6 Descripción de la Herramienta Computacional para el Análisis de Ciclo de Vida**

Como resultados del proyecto *“Uso de Herramientas para el Análisis de Ciclo de Vida para el Desarrollo de Estrategias de Gestión Integrada de Residuos Para Ciudades y Regiones con un Crecimiento Rápido de la Economía”* (LCA-IWM), en ciudades europeas se obtuvieron dos herramientas de apoyo a la toma de decisiones: una Herramienta de predicción de la cantidad y composición de los residuos y una Herramienta de valoración del Sistema de Gestión de Residuos. Estas Herramientas se encuentran libres en Internet.

La Herramienta de Predicción permite la estimación de las futuras cantidades de residuos generados sobre la base de una cantidad limitada de parámetros de entrada. Estos parámetros consisten en la cantidad actual y la composición de los residuos domésticos y algunos indicadores socioeconómicos generales por una parte y los datos históricos de estos factores por otra (disponibles en la herramienta). La Herramienta de valoración permite la planificación y valoración de las estrategias de gestión de residuos. Se pueden crear y comparar hasta cuatro escenarios diferentes. Cada escenario, además de las entradas generales del usuario, consiste en tres subsistemas básicos de gestión de residuos:

- ✓ Almacenaje temporal
- ✓ Recogida y transporte
- ✓ Tratamiento, disposición y reciclado

Para todos los escenarios se pueden determinar los impactos medioambiental, económico y social que ofrece una valoración de la sostenibilidad de las distintas alternativas.

La Herramienta de Valoración LCA-IWM, es una herramienta de ayuda a la toma de decisiones para la planificación de la gestión de los residuos. La herramienta permite representar escenarios de gestión de residuos a nivel municipal. El usuario final destinatario es un funcionario municipal responsable de la planificación de los residuos sólidos que valora tener una visión más detallada del impacto potencial de sus dediciones. Para ello se han desarrollado distintos módulos que representan los procesos individuales que constituyen la gestión de residuos como son el Almacenaje Temporal, la Recogida, el Transporte y el Tratamiento. Mediante la utilización de los módulos el usuario diseña los escenarios que quiere considerar para su municipio. El apartado de valoración de la herramienta consiste en distintos sistemas de valoración medioambiental,

económica y social. La base para esta valoración son los criterios de sostenibilidad y sus indicadores cuantitativos que están incluidos en la herramienta. De esta manera, el apartado de valoración contiene algoritmos que permiten el cálculo de los aspectos medioambientales, económicos y ambientales de un escenario concreto. La información necesaria para el cálculo de los indicadores de resultados son datos de inventario, como por ejemplo, las emisiones para la valoración medioambiental y los costos para la valoración económica. Esta información procede de los módulos de procesos de gestión de residuos.

### 2.6.1 Ámbito de la valoración y unidad funcional

La metodología desarrollada en el proyecto LCA-IWM ofrece un medio para la valoración de sistemas alternativos para la gestión de los residuos. Los límites de valoración se amplían para incluir el impacto medio ambiental, social y económico que tiene lugar en todas las fases de un sistema de gestión de residuos.

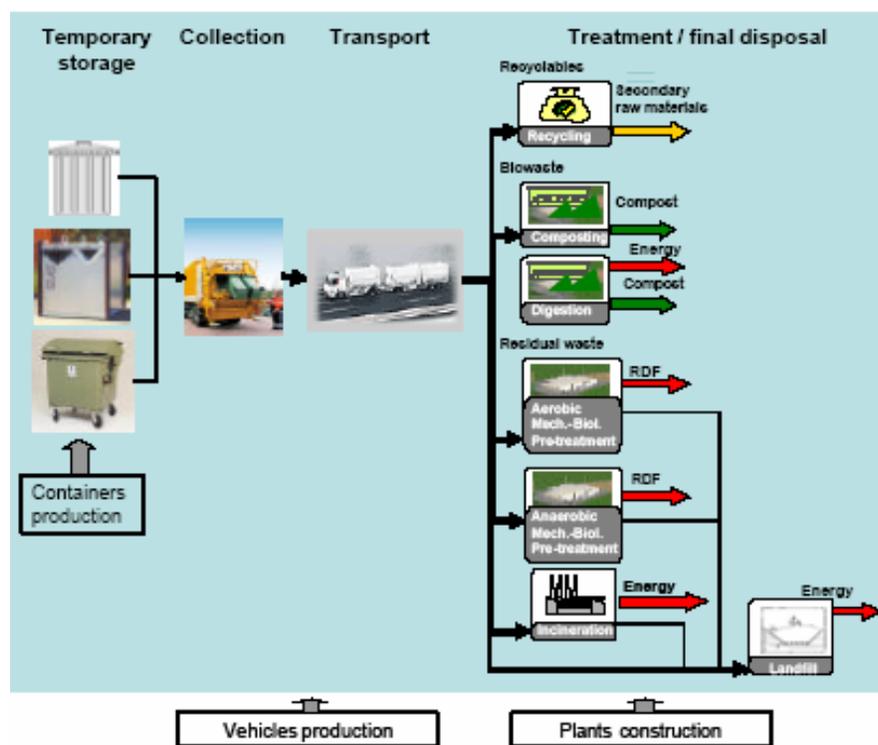


Figura 2.4. Las fronteras (límites) de la valoración medioambiental.



La valoración empieza en el momento en que el residuo entra en un sistema de Almacenaje Temporal (bolsas papeleras y contenedores). Desde aquí el residuo es recogido y transportado a la planta de tratamiento / disposición. Las opciones de tratamiento posibles son tratamientos de reciclado y reciclables recogidos selectivamente, compostaje de los bioresiduos, pretratamiento mecánico biológico aeróbico y anaeróbico (PMB) o incineración de los desechos. Además del flujo de residuos, en la valoración también se consideran los flujos de productos resultantes del procesamiento de los residuos como son materiales secundarios obtenidos de los reciclables, compost derivado de la materia orgánica y energía producida en los procesos de tratamiento de los residuos. La producción de estos productos se contabiliza como un efecto positivo, los llamados créditos (véase Figura 2.5.)

La valoración del impacto medioambiental tiene en cuenta las emisiones de contaminantes y el consumo de recursos a lo largo de todo el sistema. En la valoración económica, el coste de la valoración es la partida más importante e incluye la inversión en los contenedores de basura, los vehículos de recogida y transporte y las plantas de tratamiento. En el apartado referente al medio ambiente y los aspectos sociales, la construcción de plantas y la producción de equipamientos para la gestión de residuos se consideran de mucha menos importancia que el funcionamiento del sistema. Así los impactos surgidos en la fase de construcción se excluyen de la valoración. La única inversión incluida en la valoración medioambiental es el impacto de la producción de bolsas, papeleras y contenedores de basura. Ello es debido a la corta duración de los mismos.

La *unidad funcional* del método de valoración propuesto es la *cantidad de residuos generados* en una ciudad y que entran en el sistema de gestión de residuos durante *un año*.

La asignación de flujos y emisiones se basa en la asignación de créditos para los coproducidos adicionales. El sistema de créditos permite contabilizar los beneficios de la valorización. Los coproducidos adicionales, como la electricidad, el calor, el combustible derivado de desechos (CDD) y los materiales secundarios reciclados sustituyen los productos generados con las tecnologías convencionales. Así, los créditos en forma de flujos negativos de energía y materiales equivalentes a las cantidades de los productos primarios sustituidos se asignan a los procesos correspondientes. Por ejemplo, en el proceso de incineración de residuos, además de la disposición

de residuos también tiene lugar una coproducción de electricidad y calor. Así, para cada Kwh. de electricidad y de kJ de calor, se asigna un crédito en forma de flujo negativo relativo a la producción de un Kwh. de electricidad y un kJ de calor de una planta eléctrica.

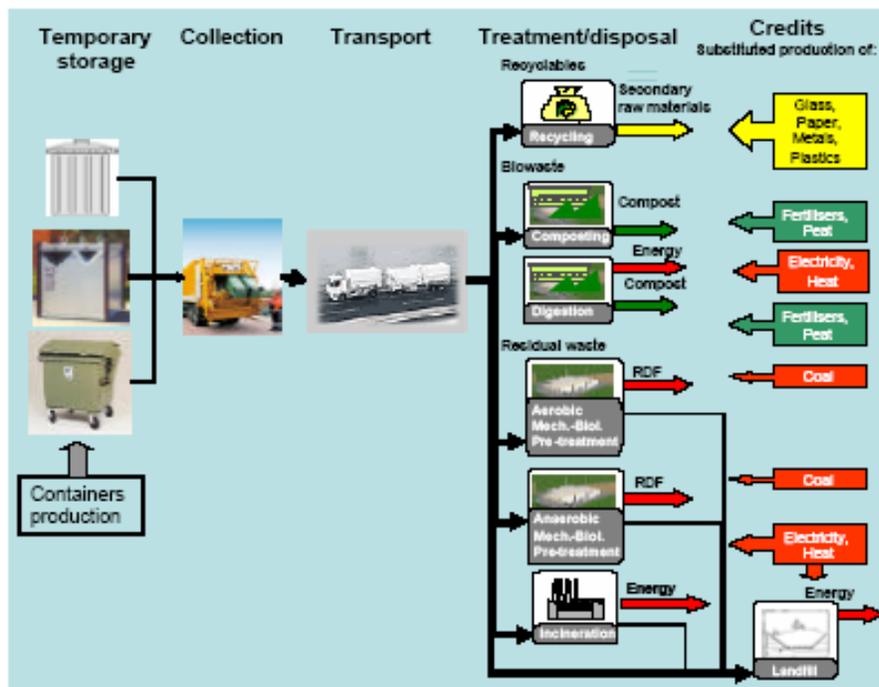


Figura 2.5. Créditos para los coproductos del sistema de gestión de residuos.

### 2.6.2 Inventario de datos y procedimientos de asignación.

La intención del estudio es conseguir un método de valoración para la gestión de residuos en las ciudades y regiones con un rápido crecimiento, es decir, en áreas en las que la gestión de residuos todavía no está demasiado avanzada. Los datos proceden de países que disponen de tecnologías avanzadas para la gestión de los residuos.



### **2.6.3. Origen de los Criterios de Valoración de la Sostenibilidad Medioambiental de la gestión de residuos sólidos municipales.**

Durante los últimos años se han desarrollado diversos métodos de Valoración Medioambiental para describir y cuantificar estas intervenciones medioambientales. Uno de estos métodos es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). El ACV proporciona una valoración cuantificada de los aspectos medioambientales en términos de contaminación (emisiones) y consumo de recursos a lo largo de un ciclo de vida completo de un producto / servicio concreto.

La metodología de la Valoración del Impacto del Ciclo de Vida permite cuantificar el posible impacto de estas intervenciones humanas sobre la salud y el medio ambiente.

A diferencia de otros métodos el ACV permite establecer comparaciones entre distintos sistemas sobre la base de un sistema genérico, es decir sin datos específicos del sitio. El ACV permite comparar la carga medioambiental provocada por los distintos sistemas, pero no hace ninguna diferencia al impacto real sobre un sitio específico. Ello significa que no se consideran la sensibilidad del sitio y el estado del medio ambiente de la localidad en cuestión. Así, hay que analizar con cuidado los resultados de la Valoración del Impacto del Ciclo de Vida y considerar los impactos medioambientales calculados como posibles impactos.

### **2.6.4. Valoración económica**

Para hacer una valoración económica preliminar, es necesario destacar los beneficios o productos que se obtienen en cada uno de estos tratamientos biológicos:

- Compostaje: los restos de comida y de mantenimiento de jardines separados en origen (materia orgánica de alta calidad) son compostados produciendo humus de calidad suficiente para su comercialización como acondicionador de suelo o medio de crecimiento en horticultura y agricultura. (compostaje centralizado y casero).
- Digestión anaerobia: digestión en condiciones anóxicas de restos orgánicos putrescibles separados en origen. Se produce gas metano (calor y electricidad) y composta de alto contenido fertilizante.



Basados en estudios revisados en la literatura, varios autores plantean que hay que tener en cuenta a parte de los costos de instalación y mantenimiento de las plantas, el precio de venta de los productos reciclados en el mercado (beneficio) menos el precio real del tratamiento. (Hernan, T. 2006)

Un estudio realizado en Europa (Hernan, T. 2006) determinó que el costo de tratamiento de los residuos Euros/t son los que representan el la siguiente tabla #. En nuestro caso se le debe prestar principal atención a los costos del compostaje y la digestión anaerobia.

Tabla 2.1. Costos de tratamiento de los residuos (Euros/t)

<b>Residuos municipales sin tratar</b>	
Vertedero	56 (11-162)
Incineración	64 (31-148)
MBT	65 (60- 87)
<b>M.O + poda y jardín</b>	
Separación en origen	40 (2000)-10 (2020)
Compostaje	
Sistema abierto	35
Sistema cerrado	50
"en casa"	0
Digestión anaerobia	65 (41-153)
<b>Tratamiento del papel</b>	
Separación en origen	40 (2000)-10 (2020)
Reciclaje	-450
<b>Tratamiento de los plásticos</b>	
Separación en origen	400
Reciclaje	300 (trituro)-150 (sin trituro)

### 2.6.5. Criterios e indicadores de sostenibilidad económica.

La Herramienta LCA - IWM en su valoración económica maneja un grupo de criterios económicos importantes en la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos, en la siguiente tabla aparecen algunos de los mas importantes a tener en cuenta



**Tabla 2.2.** Ejemplos de criterios económicos y ambientales

<i>Criterio</i>	<i>Posible indicador (también hay otros)</i>
Equidad	carga [€] por persona / ingresos medios
Reducción de la cantidad de residuos	toneladas/año/en una década
Calidad del servicio	Frecuencia de recogida
Coste para el ciudadano	coste real [€] por Vivienda o por persona o coste real [€] por tonelada o carga municipal por tonelada
Coste para el municipio	€ por tonelada



### **3.1. Criterios e indicadores de sostenibilidad medioambiental.**

#### **✓ Selección de criterios basados en el método de Valoración del Impacto del Ciclo de Vida.**

En el proyecto LCA – IWM, a fin de seleccionar los criterios relevantes para la Valoración del Impacto del Ciclo de Vida (VICV) de la gestión de residuos se ha llevado a cabo un ACV selectivo. El objetivo ha sido eliminar aquellas categorías de impacto en las que el impacto de la gestión de residuos es insignificante o no aporta ninguna diferenciación entre escenarios. A fin de comparar la magnitud de los impactos en las diferentes categorías, se han normalizado los resultados caracterizados. En la fase de normalización, los resultados se relacionan con los impactos medioambientales globales en una determinada región en un año concreto. Así, los resultados se pueden describir en, por ejemplo, Equivalentes de Habitantes. De esta forma, las categorías de impacto del ACV definidas como relevantes para la valoración de los escenarios de gestión de residuos es la siguiente:

- Agotamiento de los recursos abióticos
- Cambio climático
- Toxicidad humana
- Formación de oxidantes fotoquímicos
- Acidificación
- Eutrofización.

#### **✓ Cuantificación de los indicadores medioambientales**

Los impactos se calculan utilizando los factores de caracterización proporcionados por el método CML 2001 (Guinée et al. 2001). Las emisiones para las diferentes fracciones de residuos así como para las diferentes plantas de tratamiento y consumo de energía están incluidas en la herramienta. Algunos de estos datos pertenecientes al Inventario del Ciclo de Vida aparecen en el **Anexo 11**

#### **Indicador: agotamiento Abiótico (AR)**

Los recursos abióticos son recursos naturales (incluidos los recursos energéticos) como por ejemplo, el hierro, el petróleo y otros recursos que pueden ser considerados como no vivos. El agotamiento de los recursos abióticos depende de las reservas existentes y las tasas de extracción de recurso concreto, que combinados, ofrecen una indicación de la gravedad del agotamiento de recursos. Como reserva se entiende la cantidad de recurso (como elemento o compuesto químico) disponible, estimada mediante la multiplicación de la concentración natural media del recurso en el medio de



extracción principal (por ejemplo, corteza terrestre) por la masa o volumen de este medio (por ejemplo, la masa de la corteza terrestre) (Guinée et al. 2001). La aplicación de este criterio en la valoración de la gestión de los residuos permite contabilizar los aspectos positivos de la recuperación del residuo, tanto en forma de reciclaje como en forma de recuperación de energía. Los recursos ahorrados por el reciclaje y la recuperación sustituyen recursos abióticos que de lo contrario tendrían que ser extraídos.

**Indicador: Cambio Climático (CCI)**

El cambio climático se define como el impacto de las emisiones humanas sobre la fuerza de la radiación (es decir, calentamiento de la superficie de la Tierra) conocido popularmente como “efecto invernadero” (Guinée et al.2001). Las emisiones procedentes de la gestión de los residuos que suelen contribuir al potencial de calentamiento global incluyen el dióxido de carbono fósil, el óxido de nitrógeno y el metano (Hellweg 2003, Schwing 1999). Los procesos de tratamiento térmico y biológico de los residuos constituyen contribuciones importantes según este criterio.

**Indicador: Toxicidad Humana (HT)**

Esta categoría de impacto hace referencia a los efectos negativos sobre la salud humana de las sustancias tóxicas emitidas al medio ambiente. Las prácticas de gestión de residuos inadecuadas pueden suponer una considerable amenaza para la salud humana. Los residuos contienen sustancias tóxicas que deben ser gestionadas de manera que se minimice su penetración en el medio ambiente. Las emisiones procedentes de la gestión de residuos con el impacto más significativo dentro de esta categoría son: metales pesados (especialmente el ácido cromico (cromo hexavalente), el mercurio y el plomo, el níquel y el cobre, las dioxinas, el bario y el antimonio.

**Indicador: Formación de oxidantes fotoquímicos (POFo)**

Esta es la formación de compuestos químicos reactivos como el ozono por acción de la luz solar sobre determinados contaminantes de aire. Estos compuestos reactivos pueden ser perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas y también pueden dañar las cosechas. Las áreas relevantes de protección son la salud humana, el entorno humano, el entorno natural y los recursos naturales. Los oxidantes fotoquímicos se pueden formar en la troposfera bajo la influencia de la luz ultravioleta, a través de la oxidación fotoquímica de los Compuestos Orgánicos Volátiles y el monóxido de carbono en presencia de óxidos de nitrógeno. El ozono se considera el más importante de estos



agentes oxidantes, junto con el peroxiacetilnitrato (PAN). En la gestión de residuos las emisiones de esta categoría de impacto que se consideran relevantes son: Compuestos Orgánicos Volátiles distintos del Metano y el metano procedente de los vertederos y las emisiones de NOx y CO de los procesos termales. Las emisiones de monóxido de nitrógeno tienen un efecto decreciente del Potencial de Creación de Ozono Fotoquímico, dado que puede reaccionar con el ozono dando dióxido de nitrógeno y oxígeno, eliminando así el efecto ozono.

#### **Indicador: Acidificación (Ácido)**

Los contaminantes acidificantes tienen una amplia variedad e impactos sobre el suelo, el agua subterránea, el agua superficial, los organismos vivos y el entorno construido. Algunas de las emisiones antrópicas pueden ser ácidas o bien convertirse en ácidos mediante procesos que tienen lugar en el aire. Ejemplos de dichas emisiones son el dióxido de azufre (que se convierte en ácido sulfúrico) y el óxido de nitrógeno (que se convierte en ácido nítrico). En la gestión de residuos, los principales impactos de esta categoría se derivan de las emisiones de óxidos de nitrógenos procedentes de los procesos termales, el amoníaco procedente de los procesos biológicos y las emisiones de óxido de azufre procedentes de la producción de electricidad.

#### **Indicador: Eutrofización (Eutr)**

La eutrofización abarca todos los impactos potenciales de niveles medioambientales de nutrientes excesivamente altos, de los cuales los más importantes son el nitrógeno y el fósforo. El enriquecimiento de nutrientes puede provocar un cambio indeseable en la composición de las especies y un exceso de producción de biomasa en los ecosistemas acuáticos y terrestres. Puede hacer que las aguas superficiales dejen de ser aptas para el consumo. Un incremento en la producción de biomasa en el entorno acuático provoca un consumo adicional de oxígeno para la descomposición de biomasa (medida como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)). Así, las emisiones de materiales biodegradables tendrán los mismos efectos que un incremento de las emisiones de nutrientes de manera que la DBO también se tiene en cuenta en el potencial de eutrofización. Con referencia a la gestión de los residuos, el potencial de Eutrofización se atribuye a las emisiones atmosféricas de NOx y amoníaco, así como de fósforo y nitrógeno al agua procedente de procesos biológicos.



### 3.2 Valoración Social

La Sostenibilidad Social en la Gestión de Residuos (SoSGR) forma parte de la sostenibilidad en la gestión de residuos, junto a la sostenibilidad ambiental y económica. La SoSGR, a grandes rasgos, es el comportamiento ético de un sistema de gestión de residuos para con la sociedad. En particular, significa planificar y gestionar los residuos municipales de forma responsable con la sociedad que tiene un interés legítimo en este tema y no solo el deber de cumplir la legislación.

La siguiente tabla muestra la perspectiva social que mide y la fase del sistema de gestión de residuos que valora cada indicador.

Aceptación social	Almacenaje temporal	Recogida Transporte	Pretratamiento
1.- OLOR	Sí	No	Sí
2.- IMPACTO VISUAL	Sí	No	Sí
3.- COMODIDAD	Sí	No	No
4.- ESPACIO URBANO	Sí	No	Sí
5.- ESPACIO PRIVADO	Sí	No	No
6.- RUIDO	Sí	Sí	Sí
7.- COMPLEJIDAD	Sí	No	No
8.- TRÁFICO	No	Sí	Sí
9.- PERCEPCIÓN DE RIESGO	No	No	Sí
<b>Equidad Social</b>			
10.- DISTRIBUCIÓN / LOCALIZACIÓN	Sí	No	No
11.- CALIDAD DEL EMPLEO	No	Sí	Sí
<b>Función Social</b>			
12.- RECICLADO / DESTINO	No	No	Sí
13.- CREACIÓN DIRECTA DE EMPLEO	No	Sí	Sí

Tabla 1. Lista de criterios e indicadores sociales.



### 3.3 Inventario del Ciclo de Vida

#### 3.3.1 Sistema Actual para el Manejo de Desechos

En la *Tabla 3.1* se resumen las principales características del manejo de residuos en la ciudad de Santa Clara.

**Tabla 3.1.** Características del Sistema Actual para el Manejo de Residuos en la ciudad de Santa Clara.

Característica	Situación Actual
Esquema utilizado	Basado en el esquema simplificado Generación – Recolección y Disposición Final.
<i>Generación:</i>	
Actividad Domiciliaria (kg/habitante/día)	0.584
Actividad Municipal (kg/habitante/día)	0.614
<i>Recolección:</i>	
Cobertura del servicio:	96.2%
Frecuencia de recolección:	Casco Central: Diaria Otros Sectores: Interdiaria
Servicios prestados:	Recolección urbana, barrido de calles manuales, profilaxia animal y vegetal, recolección de cauchos y de escombros.
<i>Disposición Final:</i>	
Cantidades recibidas (kg/habitante/día)	0.54
Características generales de la operación	Control de flujo de materiales, cobertura irregular, sin control de gases y lixiviados.



### 3.3.2 Datos operacionales de la herramienta

En la siguiente tabla se presentan los parámetros más importantes en cuanto a la caracterización de los RSU en Santa Clara como datos de entrada para la Herramienta.

**Tabla 3.2.** Caracterización de los residuos sólidos urbanos a tratar. (Comunales, 2005)

No.	COMPONENTES	Total	
		t/año	%
1	Papel y Cartón	2389.07	5.74
2	Env. Met. de cervezas y otros	886.30	2.01
3	Latas estañadas	390.82	0.88
4	Hierro	958.38	2.17
5	Cobre	132.50	0.30
6	Aluminio	309.16	0.70
7	Otros metales	75.09	0.17
8	Cuero	39.75	0.09
9	Huesos		
10	Trapos	1364.70	3.09
11	Algodón		
12	Gasa		
13	Otros textiles	247.33	0.56
14	Plásticos	1227.79	2.78
15	Pet		
16	Películas		
17	Vidrio Blanco	940.71	2.13
18	Vidrio color	688.97	1.56
19	Envase de vidrio	2380.49	5.39
20	Nylon	154.58	0.35
21	Otros recuperables	397.57	0.90
	TOTAL RECUPERABLE	12583.20	28.49
22	Mat. Org. (Rápida desc.)	9640.85	21.83
23	Materia Orgánica	19299.86	43.70
24	Misceláneas	2650.15	6.00
	TOTAL	44165.00	100.0

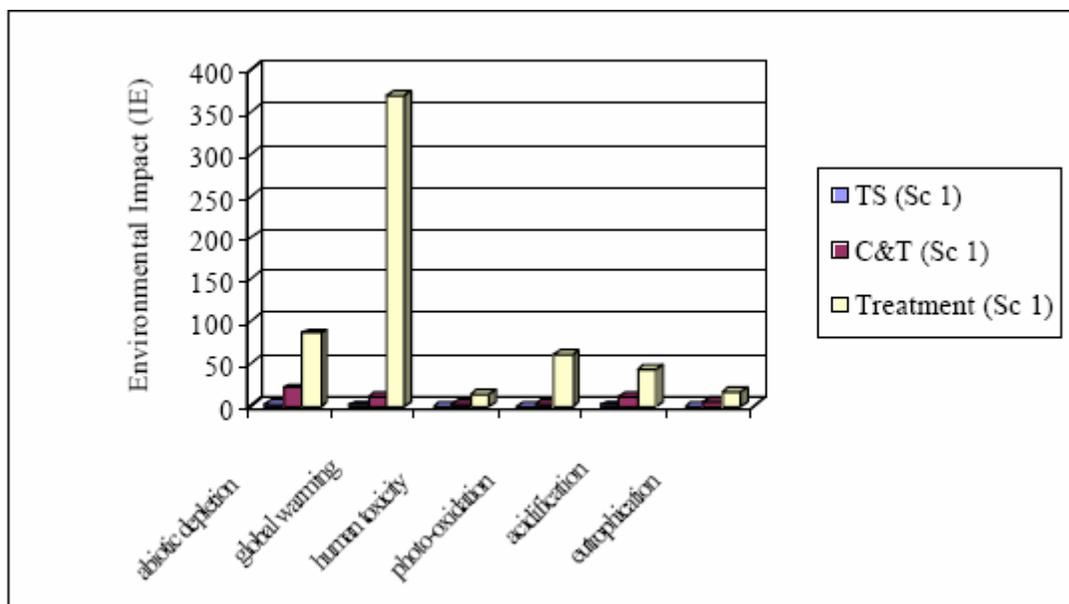
*“Estudios de Alternativas de Tratamiento y Disposición Final de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos en Santa Clara; desde la perspectiva del Análisis del Ciclo de Vida.”*

**Tabla 3.3.** Entradas generales a la herramienta LCA – IWM

Entradas Generales	
País	Cuba
No de Habitantes	11 239 043
Ciudad	Santa Clara
No de Habitantes	238424
No de Viviendas	71780
Área (Km2)	513.7
Índice Promedio de caída de lluvia en la ciudad (mm/año)	1347
Temperatura Promedio en la ciudad (0C)	30

**3.4. Impacto de las Emisiones**

**3.4.1. Valoración Medioambiental**



**Gráfico 3.1.** Impactos medioambientales de cada subsistema (Escenario 1)



### **3.4.2. Análisis de los Impactos medioambientales en el Escenario 1**

El subsistema que presenta mayores impactos medioambientales es el de **tratamiento**, que para este primer escenario coincide con el la gestión existente actualmente en la ciudad de Santa Clara, en el que todos lo residuos reciben como tratamiento y disposición final el Relleno Sanitario incontrolado. Presenta mayor impacto en la categoría de **Calentamiento Global**. Las emisiones procedentes el vertedero contribuyen al potencial de calentamiento global, dióxido de carbono fósil, óxido de nitrógeno la emisiones de metano, provocado una alteración de las condiciones de la ciudad.

En segundo lugar tenemos el agotamiento de recursos, basado en la **disponibilidad de recursos naturales**, en este caso puede estar dado por la masa de la corteza terrestre, que debido a la creación de vertederos como tratamiento y disposición final de todos los residuos llevando a una disminución de la masa de la corteza terrestre, También una gran contribución al agotamiento de recursos es el consumo de combustibles fósiles y a la perdida de recursos que pueden ser reciclados y se están enterrando

**La fotoxidación** es la tercera categoría de impacto de importancia relevante para este escenario. Esto es debido fundamentalmente a las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles, metano y óxidos nitrosos procedentes de los vertederos. Estos compuestos mencionados anteriormente tienen una gran influencia en la formación de los oxidantes fotoquímicos en la troposfera bajo la influencia de la luz ultravioleta.

Existe también la **acidificación** que aunque no presenta gran variación con relación a los demás subsistemas, son impactos que actúan a largo plazo, provocando daños irreparables al medio ambiente, esta acidificación es el resultado de la liberación de óxidos de nitrógenos y sulfuros en la atmósfera, en el suelo y en el agua.

Por ultimo están los impactos presentes por la **eutrofización** y **la toxicidad humana**, una por el aumento de biomasa, que puede hacer que las aguas superficiales sean no aptas para el consumo humano y la otra por los efectos negativos sobre la salud humana, por la emisión de sustancias tóxicas al medio ambiente, que tienen lugar en este vertederos.

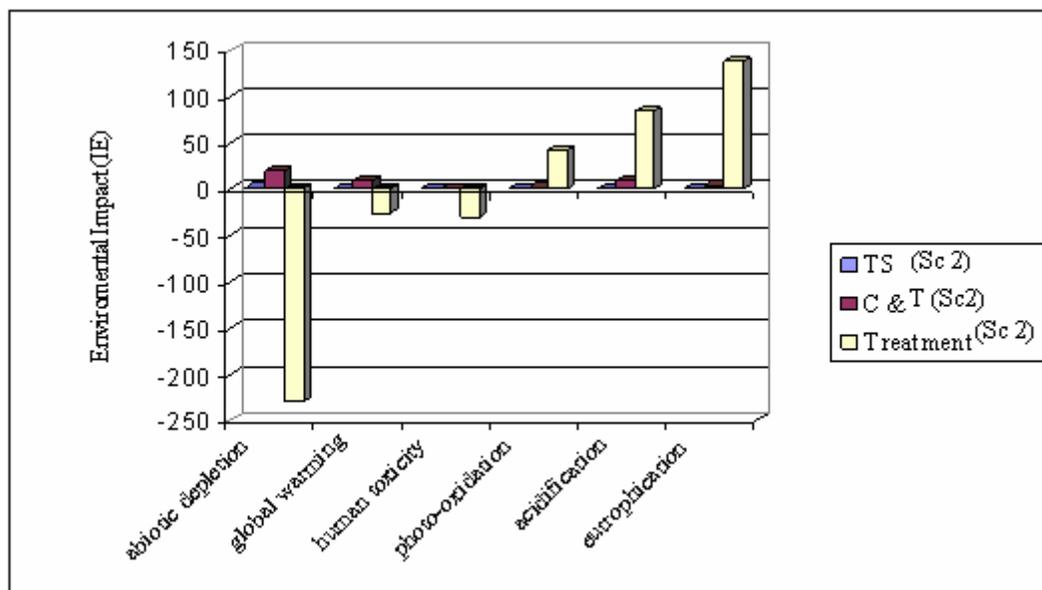
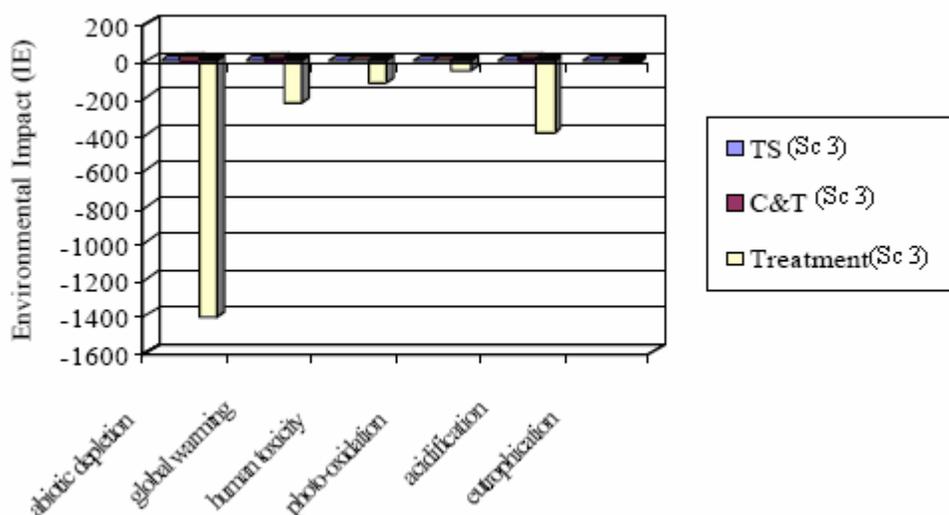


Gráfico 3.2. Impactos medioambientales de cada subsistema (Escenario 2)

### 3.4.3. Análisis de los impactos medioambientales en el Escenario 2

De igual forma el subsistema del **tratamiento** en este escenario es el mayor responsable de los impactos más relevantes. En este caso que el tratamiento brindado a la fracción orgánica será el composta, tenemos algunas categorías de impacto negativas (**significa daños evitados al medioambiente**) tenemos en este caso el agotamiento abiótico, el calentamiento global, y la toxicidad humana, resultado del no vertimiento de la fracción orgánica en el vertedero.



**Gráfico 3.3.** Impactos medioambientales de cada subsistema (Escenario 3)

#### **3.4.4. Análisis de los impactos medioambientales en el Escenario 3**

En este escenario todas las categorías de impacto son negativas, destacándose el agotamiento abiótico, debido a la recuperación de energía de la planta de digestión anaeróbica y a la obtención de Compost que también se tiene en este escenario. De igual forma existen daños evitados en la categoría de acidificación ya que no serán liberados óxidos a la atmósfera.

#### **3.4.5. Comparación entre Escenarios**

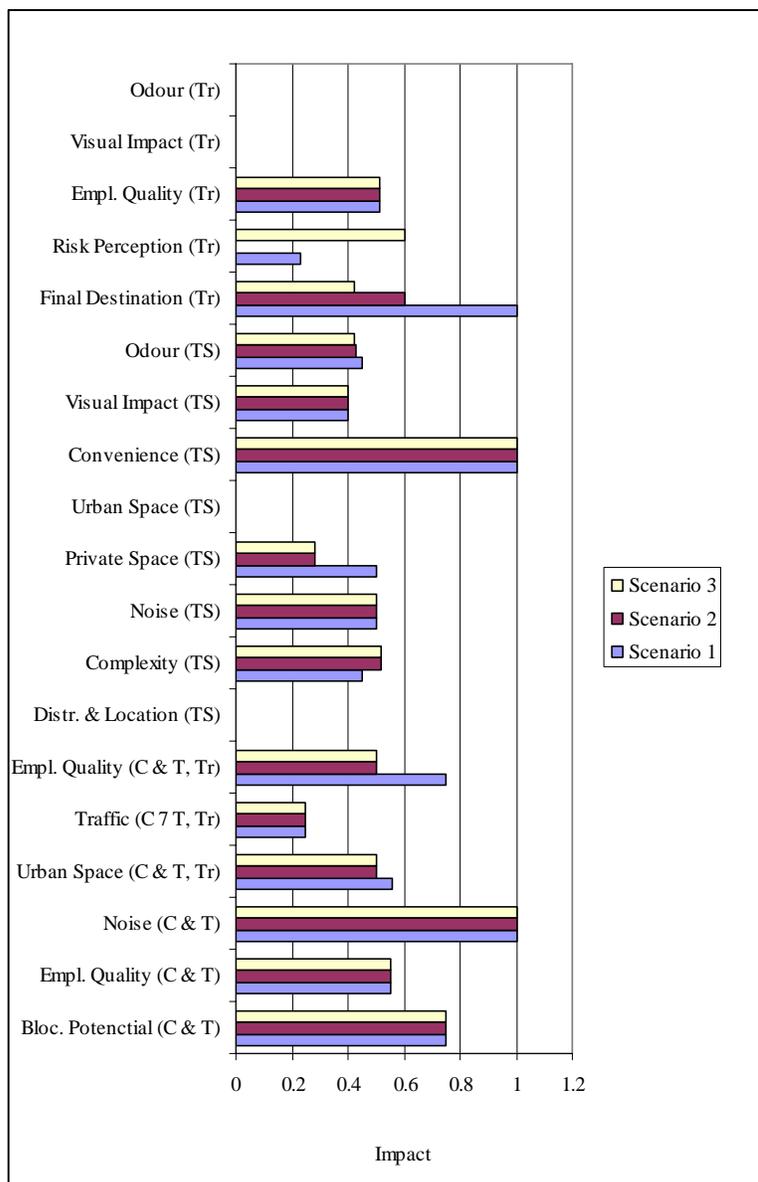
Es evidente que el escenario 3 (**digestión anaerobia**) es el que mas daños evita al medio ambiente ya sea en la etapa de almacenaje temporal, en la recogida y transporte y en el tratamiento, este último subsistema ha sido el elemento que se ha variado en los tres escenarios, además de la recogida selectiva de la fracción orgánica, tratamiento que en estos momentos no se realiza en la gestión actual. Demostrando una vez más que la fracción orgánica es la que mas daños causa al medioambiente si no se le realiza un correcto tratamiento.



Tabla 3.4. Impactos medioambientales del SGRSM de Santa Clara

Subsistema	Escenarios		
	Esc 1	Esc 2	Esc 3
<b>Agotamiento Abiótico (IA)</b>			
Almacenaje Temp.	0.79	0.95	0.97
Recogida y Transp.	20.96	18.93	17.17
Tratamiento	86.13	-230.5	-257.41
<b>Calentamiento Global (IA)</b>			
Almacenaje Temp.	0.25	0.25	0.25
Recogida y Transp.	9.64	8.51	7.90
Tratamiento	368.20	-25.63	-27.55
<b>Toxicidad Humana (IA)</b>			
Almacenaje Temp.	0.01	0.01	0.01
Recogida y Transp.	0.74	0.68	0.61
Tratamiento	12.40	-30.21	-43.51
<b>Fotooxidación (IA)</b>			
Almacenaje Temp.	0.01	0.03	0.03
Recogida y Transp.	1.15	0.98	0.94
Tratamiento	61.26	42.30	31.54
<b>Acidificación (IA)</b>			
Almacenaje Temp.	0.16	0.17	0.18
Recogida y Transp.	9.79	8.00	8.02
Tratamiento	41.94	84.50	82.42
<b>Eutrofización (IA)</b>			
Almacenaje Temp.	0.03	0.036	0.04
Recogida y Transp.	4.58	3.36	3.75
Tratamiento	16.76	138.21	144.08

**3.4.6. Valoración Social**



**Gráfico 3.4.** Impacto social de los escenarios del SGRSM para Santa Clara.



Tabla 3.5. Impactos sociales del SGRSM en Santa Clara.

	Scenarios		
	Sc 1	Sc 2	Sc 3
Bloc. Potencial (C&T)	0.75	0.75	0.75
Empl. Quality (C&T)	0.55	0.55	0.55
Noise (C&T)	1.00	1.00	1.00
Urban Space (C&T, Tr)	0.56	0.50	0.50
Traffic (C&T, Tr)	0.25	0.25	0.25
Empl. Quality (C&T, Tr)	0.75	0.50	0.50
Distr. & Location (TS)			
Complexity (TS)	0.45	0.52	0.52
Noise (TS)	0.50	0.50	0.50
Private space (TS)	0.50	0.28	0.28
Urban Space (TS)			
Convenience (TS)	1.00	1.00	1.00
Visual Impact (TS)	0.40	0.40	0.40
Odour (TS)	0.45	0.43	0.42
Final Destination (Tr)	1.00	0.60	0.60
Risk Perception (Tr)	0.23		
Empl. Quality (Tr)	0.51	0.51	0.51
Visual Impact (Tr)			
Odour (Tr)			

**3.4.7. Análisis de los Resultados de la Valoración Social del SGRSM en Santa Clara**

En esta valoración social tenemos como mayores impactos los presentados por el **Olor** , **Impacto visual**, **Ruido y Tráfico** en el sistemas de Almacenaje Temporal de residuos y Tratamiento. En el caso la recogida y transporte también tienen un mayor impacto social el Ruido y El tráfico. Es de

---

*“Estudios de Alternativas de Tratamiento y Disposición Final de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos en Santa Clara; desde la perspectiva del Análisis del Ciclo de Vida.”*



destacar que la implementación de la recogida selectiva de la fracción orgánica contribuiría en gran medida a la aceptación social, ya que se reducen los impactos en cuanto al **Olor** y la consecuente disminución en la proliferación de vectores y además se evitaría la contaminación de las demás fracciones de residuos que pueden ser recicladas.

La **complejidad** depende del sistema de almacenamiento / recogida, la concientización pública y las actividades de reciclaje. Deben ser de fácil comprensión para los ciudadanos, de manera que puedan aceptarlo y formar parte de él. Son nuestros sistemas propuestos de mayor complejidad ya que se necesita de la recogida selectiva de la fracción orgánica de estos residuos para su posterior tratamiento, aunque vale destacar que entre el escenario 2 y 3 no hay variación de este indicador por lo que pueden ser fácilmente aceptables.

Los resultados de los escenarios propuestos realizados a la ciudad de Santa Clara con respecto al actual, muestran que la propuesta de modernización de los sistemas de gestión de residuos implicara, generalmente, un alivio medioambiental y una mejora de la aceptación social de los futuros escenarios de gestión de residuos en comparación con la situación actual. No obstante, la mejora del sistema de gestión de residuos necesita inversiones en instalaciones de tratamiento de residuos y mayores costos de funcionamiento de estas instalaciones.



1. Los actuales métodos de tratamiento y disposición en Santa Clara no son ambientalmente factibles, debido fundamentalmente a la carencia de un Sistema de Gestión adecuado así como de económico.
2. Las Evaluaciones de Impacto Ambiental con enfoque de ciclo de vida son alternativas muy usadas a nivel mundial para el estudio de los impactos en todas las etapas de un SGRSM y para establecer la Jerarquía dentro de los sistemas de gestión.
3. La selección de los escenarios se realizó analizando fundamentalmente la caracterización de los residuos generados en Santa Clara, en el que se destaca la materia biodegradable que representa el 65.49% del total.
4. Se realizó una amplia búsqueda de datos demográficos, sociales y de las particularidades de la gestión de residuos en Santa Clara, para el Inventario del Ciclo de Vida.
5. De los escenarios propuestos a evaluar mediante la herramienta LCA – IWM, se determinó la factibilidad tanto medioambiental como social, siendo el Escenario 3, que propone digestión anaerobia como tratamiento de la fracción orgánica la mejor alternativa desde el punto de vista de los beneficios ambientales.



1. Realizar periódicamente caracterización de Residuos Sólidos Urbanos.
2. Fomentar la ejecución de estudios y evaluaciones de impacto ambiental de los residuos sólidos generados en Santa Clara.
3. Realizar un sistema de información básica para el control económico y de costos en el sector de la gestión de residuos sólidos.
4. Mejorar las condiciones de almacenamiento de los desechos sólidos, tanto domiciliarios como externos.
5. Valorar otras alternativas de escenarios que incluyan el reciclado de las fracciones que pueden ser recuperadas como los metales, plásticos, etc.



1. Abu Qdais, H. A.; Hamoda, M. F.; y Newham, J. ANALYSIS OF RESIDENTIAL SOLID WASTE AT GENERATOIN SITES. Waste Management & Research. Vol. 15, No. 4, pp. 395-405. ISWA. Copenhagen, Denmark., 1997
2. Acurio, G. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales. Publicación conjunta del Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana de la Salud. 1998 <http://www.cepis.org.pe>
3. Agrícola Vergel año XXI – Número 247 julio 2002
4. Álvarez, A., González, M. Desarrollo sostenible de lo general a lo particular. Situación y diagnóstico ambiental de Cuba, Villa Clara, Santa Clara. Apuntes hacia una estrategia. Departamento Arquitectura, Facultad de Construcciones, Universidad Central de Las Villas.
5. Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Cuba. Capítulo 3. CEPIS/OPS. 1999.
6. Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Cuba. Serie Análisis Sectoriales No. 13 OPS/OMS, 1997.
7. Arena U., Mastellone M.L., Perugini F. 2003. The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study. Chemical Engineering Journal 96. 207-222.
8. Asociación De Ingenieros Sanitarios De Antioquia (AINSA). Desechos sólidos: Generación, almacenamiento, recolección, disposición, reciclaje. Memorias del Curso de Desechos Sólidos y Reciclaje. Medellín, Colombia. Septiembre, 1987.
9. Astrup, A., Hoffman L., Moller B., Schmidt A., Christiansen K., Elkington J., Van Dijk F. 1997. Life Cycle Assessment (LCA) a guide to approaches, experiences and information sources. Environmental Issues Series, 6. European Environment Agency. En: Guereca, L. 2006. Desarrollo de una metodología para la valoración en el análisis de ciclo de vida aplicada a la gestión integral de residuos municipales. Tesis de Doctorado. Universidad Politécnica de Cataluña.
10. Ávila, R G., Velarde, F J., Gregorio, M. Alternativas para una riqueza olvidada, reciclaje de desechos sólidos en zonas marginales: El caso de la ciudad de El Alto. Enda-bolivia. 1989.
11. Barral, M. Usos del compost y papel de la materia orgánica del suelo. 2003
12. Beigl P., Salhofer S. 2004. Comparison of ecological effects and cost communal waste management systems. Resources, Conservation and Recycling 41: 83-102.



13. Calleja, G., García, F., de Lucas, A., Prats, D. y J.M. Rodríguez. 1999. Introducción a la ingeniería química. Editorial Síntesis. Madrid, España. pp: 523.
14. Carro, J y Cossu. R. International perspectives on municipal solid wastes and sanitary landfilling. ISWA Academic P.INC USA.1990
15. CEPIS/OPS. Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Cuba. Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud. Serie Análisis Sectoriales No. 13. Capítulo 10. 2007
16. Collazos Héctor P. Muñoz, D. "Residuos Sólidos" Facultad de Ingeniería – Publicaciones, Universidad Nacional de Colombia. 1999
17. Collazos, Héctor y Hernández, Leoncio. Relleno sanitario manual. Revista ACODAL No. 87. Bogotá, Colombia. Abril, 1979.
18. Composición de los residuos sólidos urbanos. Enciclopedia Virtual. Redacción Ambientum.España.2006.<http://www.ambientum.com/enciclopedia/residuo/1.26.16.06r.htm>.
19. Conesa Fernández - Vitora, Vicente. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. 3<sup>ra</sup> Edición revisada y ampliada. Ediciones Mundi - Prensa. 2000.
20. Coronado, M. Manejo ecológico del suelo. Centro de investigaciones, Educación y desarrollo, CIED. Lima. 2006. <http://www.ciedperu.org/manuales/suelin.htm>
21. Cortinas, C. 1999. minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos. Instituto Nacional de Ecología. México.
22. Dee Norbert. Environmental evaluating system for water resource planning. Battelle, Columbus, USA. 1972
23. Delgado, A J. Apuntes de trabajo, 2001.
24. den Boer, E et al. 2005. Manual para la predicción de los residuos municipales y la valoración de la sostenibilidad de los sistemas de gestión. Proyectos Europeo LCA-IWM.
25. Denison R. 1996. Environmental Life Cycle comparisons of recycling, landfill and incineration: a review of recent studies. Ann. Rev. Energy Environ; 2:191-237.
26. Departamento administrativo de planeación de Antioquia. Guía para el diseño, construcción y operación de un relleno sanitario manual. Imprenta Departamental. Medellín, Colombia. 1988.
27. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe. Perú 2003



28. Dirección de Ingeniería Sanitaria. Cuartilla de saneamiento. Desechos sólidos. La Habana, 1963.
29. Documento "Curso internacional de atención sanitaria al medio ambiente". Pamplona. España, 1992.
30. Documento "Curso sobre salud y medio ambiente" Instituto de formación y estudios sociales. Pamplona. España. 1993.
31. E.P.A. "Sanitary Landfill Technology". 1974
32. Echarri Prim, Luís. Ciencias de la tierra y del medio ambiente: Residuos sólidos urbanos. 1998.
33. El compostaje. 2006. <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.asp>
34. El reciclado. <http://www.emison.com/reciclaje.htm>
35. Environmental Protection Agency. Sanitary landfill design and operation. U.S. Government Printing Office. Washington, D.C., 1972.
36. FAO. Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 1991
37. Finnveden G. 1998. Life cycle assessment of integrated solid waste management systems. Proc. Systems engineering models for waste management. International workshop on Göteborg, Suecia. 25-26 febrero 1998.
38. Finnveden G., Johansson J., Lind P., Moberg A. 2004. Life cycle assessment of energy from solid waste –part1: general methodology and results. Journal of Cleaner Production 13: 213-229.
39. Formulación y evaluación de proyectos ambientales compatibles. México.1994.
40. Gómez Mejía, N. Proyecto Ambiental Interinstitucional. Medellín, 2000.
41. Guereca, L. 2006. Desarrollo de una metodología para la valoración en el análisis de ciclo de vida aplicada a la gestión integral de residuos municipales. Tesis de Doctorado. Universidad Politécnica de Cataluña.
42. Guinée J. B., Gorrée M., and Weideman, B. P. Handbook on Life Cycle Assessment, operational guide to the ISO standards. Kluwer Academic Plublishe, Dordrecht. 2007



43. Haddad, José. Módulo de disposición final de residuos sólidos. CEPIS/HPE/OPS. Lima, Perú. 1981
44. Hernant. Digestion Anaerobia. Master en Energías Renobables de la Universidad de La Laguna. Fundamentos de Biomasa.2006
45. <http://www.bohemia.cubaweb.cu/sumarios/cienciatecnologia/articulo1.html>. 2003.
46. [http://www.enda.org.ma/dechets\\_urbains.php](http://www.enda.org.ma/dechets_urbains.php). Amélioration du cadre de vie et de l'environnement. urbain. Traitement alternatif et durable des déchets urbains.2004
47. <http://www.evariste.org/100tc//f034.html>. Tri, stockage et compactage des déchets urbains. 1996.
48. <http://www.monografias.com/trabajos15/tratamiento-RS/tratamiento-shtml>. Residuos sólidos. Ingeniería Ambiental. 2000
49. <http://www.sidsnet.org/docshare/other/>.El análisis sectorial de residuos. 2003
50. Izquierdo, J C. "Estudio del compostaje de residuos orgánicos. Valoración agrícola". Tesis doctoral, 1990.
51. Jaramillo, J. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Washintong. 1991.
52. José, F. Residuos Orgánicos (R.O).1997. <http://www.monografias.com/trabajos10/organ/organ.shtml>
53. Juan Carlos Merizalde Hoyos, Alejandro Monsalve García, Julian Reynaldo Mujica Muñóz, Manual para el Manejo Integral de Residuos Sólidos (MIRS) en Instituciones Educativas 2003 Escuela de Ingeniería de Antioquia Ingeniería Ambiental.
54. Juan Carlos Merizalde Hoyos, Alejandro Monsalve García, Julián Reynaldo Mujica Muñóz, Manual para el Manejo Integral de Residuos Sólidos (MIRS) en Instituciones Educativas 2003 Escuela de Ingeniería de Antioquia Ingeniería Ambiental.
55. La Habana, Prensa Latina, 6 jun 2003.
56. Larraz Pedro. CUADERNO TECNICO DEL MEDIO AMBIENTE. Editorial Valero. España. 1995
57. Ley de Medio Ambiente de la República de Cuba, 1998.
58. Lezcano, M. Reciclado: Colección, Clasificación y tratamiento de los residuos sólidos domiciliarios. 2005. <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpyVVylulZXnOQEPMH.php>



59. Los Residuos y el Medio Ambiente. Fundación vida silvestre Argentina. 2005.  
<http://www.vidasilvestre.org.ar/pdfs/clima-agenda-local.pdf>
60. Manejo integral de residuos sólidos. Instituto nacional de ecología. México. 2005.  
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/133/manejo.html> - 147k
61. Manual de Incineración de Residuos Sólidos Urbanos. Instituto de la diversificación y ahorro de la energía. IDEA. 1992.
62. Mariano Seodanez. Residuos: Problemática, descripción, manejo aprovechamiento y destrucción. Barcelona. Mundi Prensa.2000.
63. Marín Restrepo M. Manejo integral de residuos sólidos comunidad colegio Jesús Maria. Medellín, 2002.
64. Mendes M.R., Aramaki T., Hanaki K. 2003. Assessment of the environmental impact of management measures for biodegradable fraction of municipal solid waste un Sao Paulo City. Waste Management; 23: 403-409.
65. Merisaldes, J C. Manual para el manejo integral de los residuos sólidos (MIRS) en instituciones educativas. Comité ambiental internacional. Escuela de ingeniería de Antioquia. Ingeniería ambiental, 2003.
66. Monreal, J A. Gestión de los Residuos Sólidos. Mesa Redonda. OEA-CIID.
67. NC 133:2002. Residuos Sólidos Urbanos. Almacenamiento, recolección y transportación. Requisitos higiénicos sanitarios y ambientales.
68. NC 134:2002. Residuos Sólidos Urbanos. Tratamiento. Requisitos higiénicos sanitarios y ambientales.
69. NC 135:2002. Residuos Sólidos Urbanos. Disposición final. Requisitos higiénicos sanitarios y ambientales.
70. Nilsson, Per. Treatment of solid residues from waste incineration. The iswa yearbook1997/8. ISWA, Copenhagen, Demark. 1997
71. Orozco, A. Desechos sólidos. Una aproximación racional para su recolección, transporte y disposición. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia 1980.
72. Otero, L." Residuos Sólidos Urbanos. Unidades temáticas Medio ambiente .MOPO (DGMA) ,1998.
73. Ozeler, D. 2006. Life cycle of municipal solid waste management methods: Ankara case study. Journal of Enviromental Internacional 32 (2006)405-411.



## **Bibliografía**

---

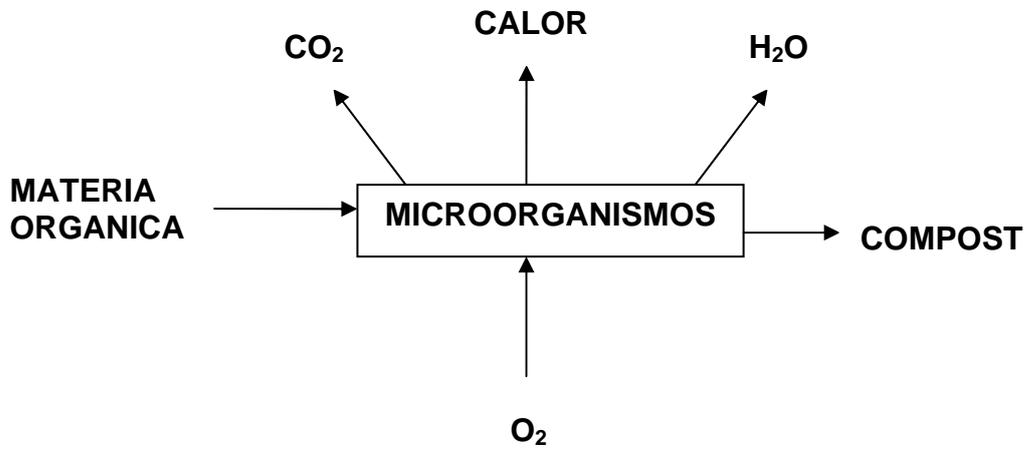
74. Pravia, A. Manual para la elaboración de Compost , bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud. OPS/HEP/HES/URO. 2004.
75. Proyecto de Gestión de RSU de Galicia. Junta de Galicia. Ordenación y obras públicas. España. 1992.
76. Ramírez, C. Diseño de un Relleno Sanitario para la solución de la disposición final de los residuos sólidos en la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Tesis para optar por el grado de Master. 2005.
77. Residuos Sólidos .Casa de la Naturaleza. Ayuntamiento Castro Urdiales. Concejalía de Medio Ambiente. España. 2004. <http://www.castro-urdiales.net/ayuntamiento/WEBMEDIOAMBIENTE/residuos.htm>
78. Residuos sólidos en Cuba. Atlas des décharges d'ordures ménagères dans les pays en développement. Université de Liège. Belgique. 2005 <http://www.ulg.ac.be/cwbi/projets/atlas/pays/Cuba/Cuba.htm>
79. Residuos Sólidos. Generalidades. Universidad de Navarra. España. 2005. <http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/13Residu.htm>
80. Rodríguez, A. Residuos Sólidos Urbanos. Tecnologías Aplicadas en la Unión Europea. Universidad del País Vasco E.U.I.T.I. de Victoria (España).
81. Rojas, G. Gestión de residuos sólidos en la Ciudad Universitaria Marta Abreu de las Villas. Trabajo de Diploma. 2004
82. Sakurai, K. Disposición final de residuos sólidos. CEPIS. Lima, Perú. 1980.
83. Schleenstein, G. (2002). Gestión De residuos sólidos urbanos en Cuba con un enfoque a Moa. Proyecto ASA.2002.
84. Secretaria de desarrollo urbano y ecología, et al. Programa estatal de control de residuos sólidos municipales. Talleres gráficos del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos. México. Junio, 1985.
85. Situación Ambiental 2004. [http://www.medioambiente.cu/sitio5\\_de\\_junio/pdf/geocuba/Capitulo5.pdf](http://www.medioambiente.cu/sitio5_de_junio/pdf/geocuba/Capitulo5.pdf). 2004
86. Suárez R A. "Estudio del manejo de los Desechos sólidos en diez localidades de la provincia Las Villas. Cuba. 1974.
87. Suárez, R A. "Estudio de la recogida, disposición final de desechos sólidos y limpiezas de calles en la ciudad de Santa Clara" Cuba. 1973.



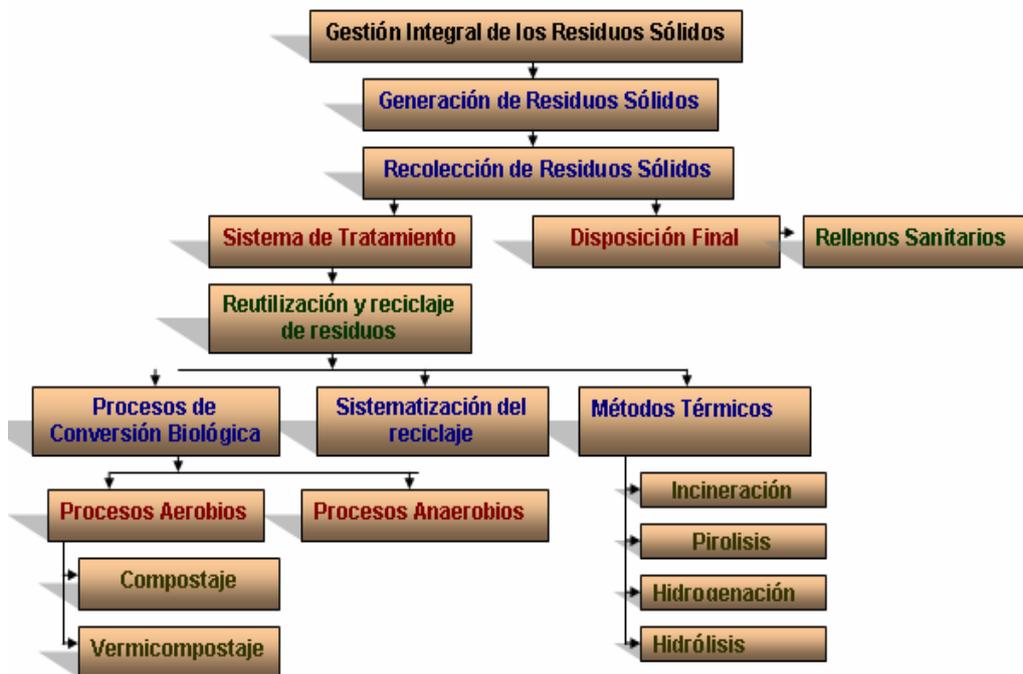
## ***Bibliografía***

---

88. Tchobanoglous, George. eds. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Madrid. Mc-Graw-Hill.1998.
89. Thomas B., McDougall F. 2004. International expert group on life cycle assessment for integrated waste management. Journal of Cleaner Production. 13. 321-326.
90. Treto, M. Manejo De Los Residuales Sólidos Urbanos de la Ciudad De Santa Clara. Trabajo De Diploma. 1998.
91. Tuninetti, L. (2000). <http://www.eco-site.com.ar/rsu-generalidades.htm>



Anexo 1. Proceso de compostaje.



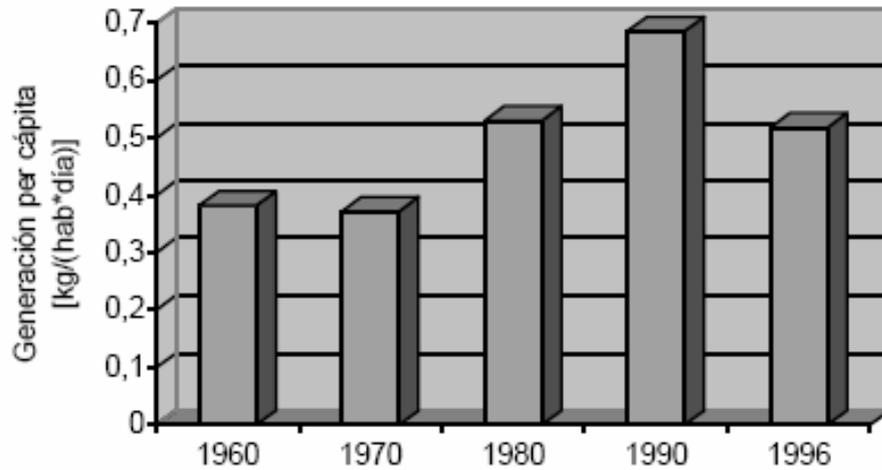
Anexo 2. Sistema Integral de Gestión de Residuos Sólidos.



Anexo 3. Esquema de un sistema integrado de gestión de residuos.  
Modificado a partir de McDougall et al. (2001).



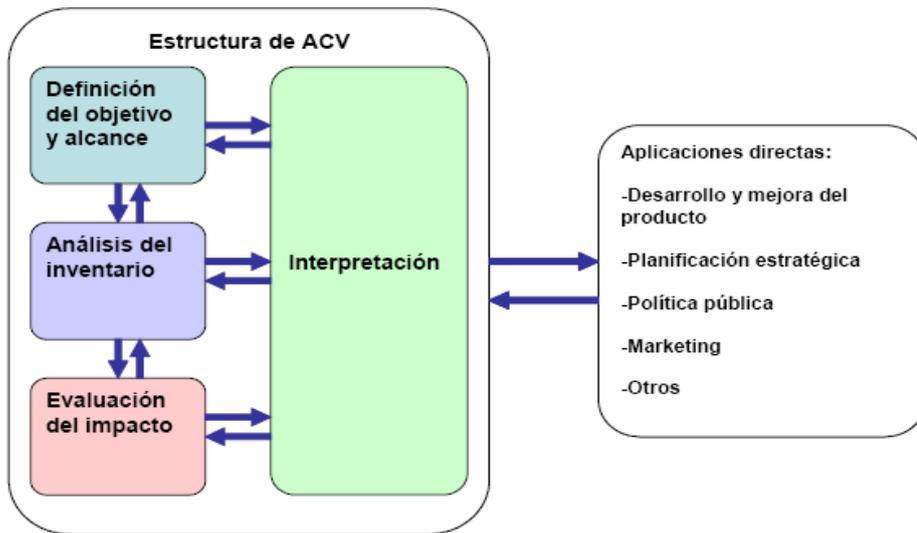
Anexo 4. Pretratamiento mecánico-biológico de residuos sólidos en pilas (celda demostrativa)



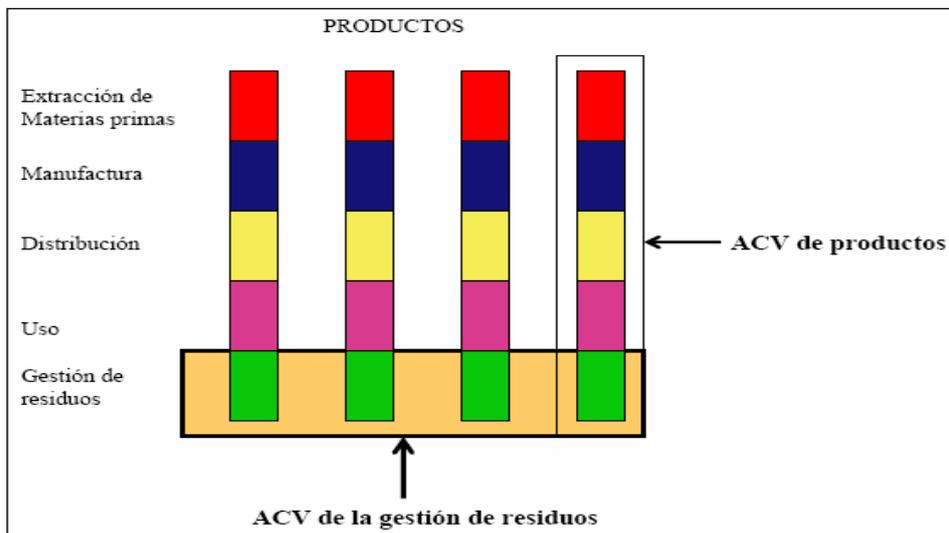
**Anexo 5.** Comportamiento de la generación de RSU en Cuba desde 1960-1996.

Componentes	1969-1973	1975-1979	1980-1983	1989
Materia orgánica	50,7	47,2	37,3	48,8
Papel y cartón	24,2	19,0	27,3	18,7
Plásticos	0,7	1,9	4,2	4,3
Metales	7,0	6,7	6,0	3,8
Vidrio	1,9	5,6	3,7	5,1
Trapos	4,7	3,4	6,9	4,9
Maderas	3,6	3,7	2,4	1,8
Goma	0,4	0,1	0,3	1,2
Huesos	0,5	0,7	0,6	1,1
Escombro	5,5	9,2	9,8	8,4
Cuero	0,8	1,6	1,5	1,9
<b>Totales</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

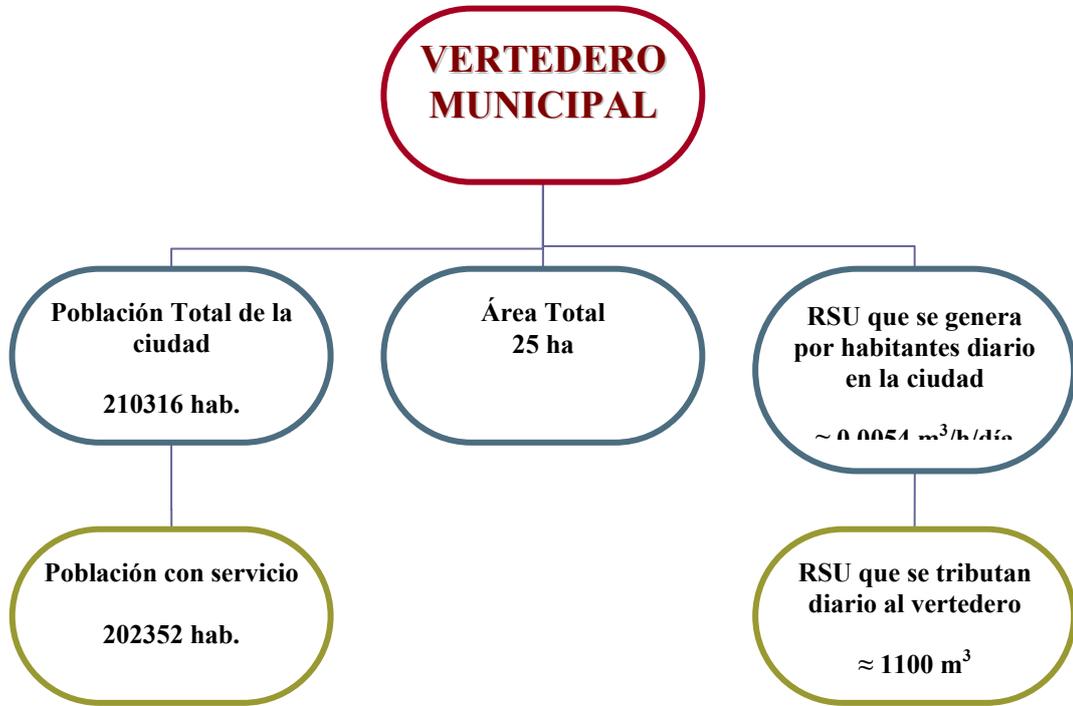
**Anexo 6.** Análisis histórico de los subproductos contenidos en los residuales sólidos en Cuba.



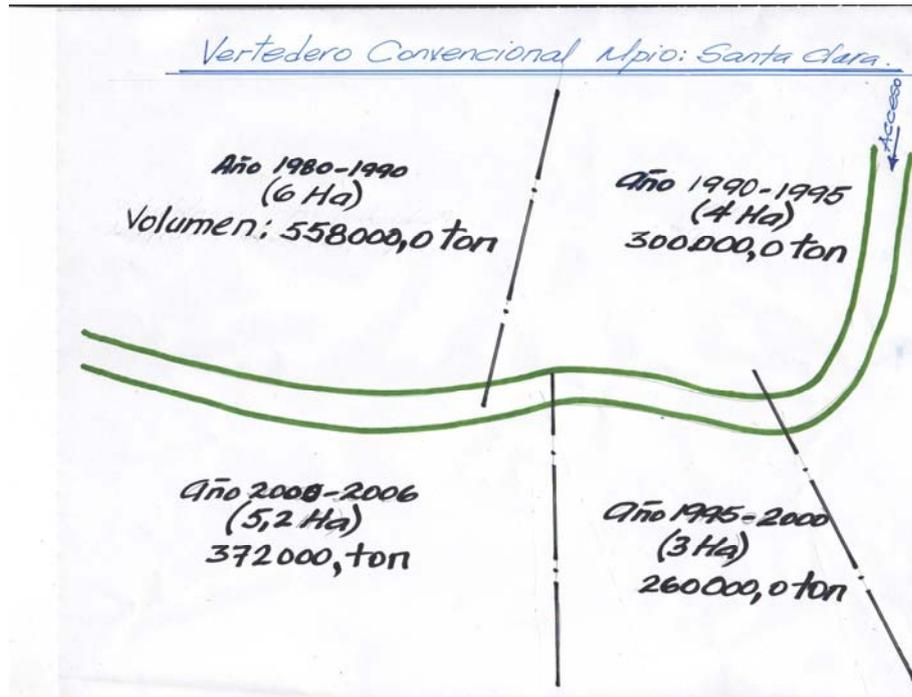
Anexo 7. Fases de un análisis de ciclo de vida. Fuente: NC- ISO 14040: 1999



Anexo 8. Diferencias entre ACV para productos y ACV para gestión de residuos. Fuente (Guereca, 2006).



Anexos 9. Vertedero Municipal de Santa Clara.



Anexo 10. Vertedero Convencional de Santa Clara.

Anexo 11.



Appendix I. Environmental effect of diesel use in transport

	Emissions and resource consumption (kg/kg diesel consumed)
energy resources (r)	
crude oil	1,2E+00
emissions (air)	
ammonia	2,0E-05
arsenic	2,5E-08
Benzene	1,4E-04
cadmium (II) ion	6,2E-08
Carbon dioxide	3,5E+00
Carbon Monoxide	8,9E-03
chromium (III) ion	3,1E-08
dioxins (unspec.)	6,5E-14
dust (PM10)	1,9E-03
Formaldehyde	5,8E-04
hydrogen chloride	1,0E-06
Methane	9,1E-04
nickel	2,5E-08
nitrogen oxides (as NO2)	3,3E-02
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Carcinogenic- (carcinogenic-PAH)	8,0E-09
sulphur dioxide	3,1E-03
benzo(a)pyrene	-9,1E-13
NMVOC, unspec.	-7,4E-07



Appendix II. Air emissions from a mechanical-biological pre-treatment plant (MBP)

Pollutant	Measured emissions in raw gas			Average emission in raw gas	Biofilter efficiency	Average emission in a clean gas	
	mg/L MBP input waste						kg/L MBP input waste
	Cultis 2001	Schweg, 1999	Fricke and Müller 2001				Fricke and Müller 2001
Dinitrogen oxide (N <sub>2</sub> O)		4.24E+04	1.81E+04	2.02E-02	40%	1.75E-02	
Methan			3.03E+04	3.03E-02	50%	1.51E-02	
Ammonia	1.40E+08	1.98E+05	2.35E+05	8.11E-01	90%	8.11E-02	
Sulphur dioxide		1.23E+05	4.31E+03	8.38E-02	50%	0.091817	
TOC		7.09E+05	8.08E+05	8.57E-01	82%	1.18E-01	
Hydrocarbons, halogenated		4.80E+03	9.80E+02	2.89E-03	40%	1.73E-03	
Hydrogen chloride (HCl)			1.89E+03	1.89E-03	0%	1.89E-03	
Chlorine (total)		1.87E+04		1.87E-02	0%	1.87E-02	
Hydrogen fluoride (HF)			1.10E+02	0.03E+00	0%	0.00E+00	
Fluor (total)		8.18E+02		8.18E-04	0%	8.18E-04	
Hydrogen sulfide (H <sub>2</sub> S)		2.34E-01		2.34E-07	0%	2.34E-07	
Volatile Organic Compounds							
Benzene	7.06E+02	3.35E+02	2.73E+02	4.68E-04	40%	2.81E-04	
Toluene	1.50E+04	3.32E+03	3.40E+03	8.27E-03	80%	1.65E-03	
Ethylbenzene	9.51E+03	8.47E+03	5.82E+03	7.20E-03	80%	1.44E-03	
m,p-Xylo	2.76E+04	1.21E+04	1.07E+04	1.68E-02	80%	3.32E-03	
Styrol	3.15E+03	4.43E+03	1.90E+03	3.18E-03	70%	9.84E-04	
o-Xylo	7.39E+03	3.03E+03	3.02E+03	4.48E-03	80%	8.92E-04	
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)							
Naphthalin	1.14E+03	5.09E+01	2.40E+01	4.06E-04	40%	2.44E-04	
Acenaphthylene		7.88E+01	3.80E+01	5.74E-05	40%	3.44E-05	
Acenaphthene		3.13E+00		3.13E-06	40%	1.88E-06	
Fluoren		2.98E+00		2.98E-06	40%	1.78E-06	
Phenanthrene		2.04E+01		2.04E-05	40%	1.23E-05	
Anthracene		8.37E-01		8.37E-07	40%	3.82E-07	
Fluoranthene		8.11E-01		8.11E-07	40%	4.86E-07	
Pyrene		2.82E-01		2.82E-07	40%	1.69E-07	
Benzo(a)anthracene		8.57E-02		8.57E-08	40%	3.94E-08	
Chrysene		3.42E-02		3.42E-08	40%	2.05E-08	
Benzo(b)fluoranthen		2.34E-02		2.34E-08	40%	1.40E-08	
Benzo(k)fluoranthene		2.34E-02		2.34E-08	40%	1.40E-08	
Benzo(a)pyrene		2.34E-02		2.34E-08	40%	1.40E-08	
Dibenz(a)anthracene		2.89E-01		2.89E-07	40%	1.73E-07	
Benzo(ghi)perylene		2.98E-02		2.98E-08	40%	1.77E-08	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene		2.34E-02		2.34E-08	40%	1.40E-08	
Alkane							
Cyclohexane	7.07E+02	2.11E+03	3.47E+02	1.08E-03	75%	2.64E-04	
Hexane		1.17E+03	7.33E+01	8.21E-04	75%	1.55E-04	
Heptane	1.83E+04	2.50E+03	7.41E+02	7.17E-03	75%	1.79E-03	
Octane	5.87E+03	2.91E+03	9.12E+02	3.17E-03	75%	7.91E-04	
Nonane	5.72E+03	1.35E+04	5.48E+03	8.24E-03	75%	2.06E-03	
Decane	1.78E+04	3.79E+04	1.97E+04	2.49E-02	75%	6.23E-03	
Chlorinated Hydrocarbons							
Tetrachloroethylene	1.11E+03	1.43E+03	2.79E+01	8.57E-04	50%	4.29E-04	
Tetrachloroethane		1.89E+03	4.38E+02	1.18E-03	50%	5.82E-04	
Dichloromethane	3.85E+03	5.81E+02	9.14E+01	1.43E-03	50%	7.16E-04	
Trichloromethane		1.80E+02	1.02E+01	8.44E-05	50%	4.22E-05	
Tetrachloromethane		1.42E+02	1.20E+01	7.88E-05	50%	3.84E-05	
trans-dichloroethane		2.34E+02	2.40E+01	1.29E-04	50%	6.44E-05	
cis-Dichloroethane		2.34E+02	2.40E+01	1.29E-04	50%	6.44E-05	
1,1,1-trichloroethane		8.19E+01	3.74E+01	8.48E-05	50%	3.23E-05	
Vinyl Chloride		2.34E+02	2.40E+01	1.29E-04	50%	6.44E-05	
1,2-dichloroethane		2.34E+02	1.57E+01	1.25E-04	50%	6.23E-05	