

**XIV CONGRESO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**

**AIDIS – CHILE**

**Santiago, Octubre de 2001**

**EVALUACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN  
DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO DE LA  
FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS  
(FORSU)**

*G. Miranda, P. Poirrier y R. Chamy*

Escuela de Ingeniería Bioquímica, Universidad Católica de Valparaíso.

General Cruz # 34, Valparaíso, Chile.

e-mail : german.miranda.g@mail.ucv.cl

**RESUMEN**

Cuando se trata de degradar residuos sólidos orgánicos, la mejor opción es la digestión anaerobia, aunque en la realidad el sistema mas utilizado es el relleno sanitario seguido en menor medida por el compostaje. En el presente trabajo se presenta la digestión anaerobia como una alternativa atractiva de tratamiento para la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos comparándola con métodos mas tradicionales, presentándose la evaluación técnico-económica de una planta de tratamiento a gran escala para la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) de las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Quilpué, cuyo costo de tratamiento resulta ser de 0,19 UF/tonelada. Este sistema involucra una serie de ventajas técnico-económicas como el hecho de generar combustible a partir de desechos y un residuo estabilizado con características de mejorador de suelo y en algunos casos de fertilizante, y desde el punto de vista social evitar los problemas que conlleva la implementación de un relleno sanitario y mejorar la imagen país en lo que a gestión ambiental se refiere.

XIV Congreso DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

**AIDIS – CHILE**

**Santiago, Octubre de 2001**

**EVALUACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN  
DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO DE LA  
FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS  
(FORSU)**

*G. Miranda, P. Poirrier y R. Chamy*

Escuela de Ingeniería Bioquímica, Universidad Católica de Valparaíso.

General Cruz # 34, Valparaíso, Chile.

e-mail : german.miranda.g@mail.ucv.cl

**INTRODUCCIÓN**

El crecimiento de la población, así como el desarrollo industrial, la urbanización y otros procesos y efectos del desarrollo experimentado por las ciudades de Chile, vienen produciendo un incremento considerable en la cantidad y variedad de los residuos sólidos generados en las actividades desarrolladas por la población del país.

Los problemas ocasionados por un inadecuado manejo de estos residuos están afectando, tanto a las grandes ciudades y sus zonas marginales, como a las pequeñas poblaciones rurales. En muchos municipios el manejo empírico del servicio de aseo urbano, con una evidente falta de criterios técnicos, económicos y sociales, ha ocasionado que este servicio carezca de una adecuada planificación y organización, lo cual se ha traducido en altos costos de funcionamiento que las mismas municipalidades han tenido que subsidiar consumiendo buena parte de su presupuesto.

Consecuencia de lo anterior, es el déficit económico permanente que existe en un gran número de servicios de aseo y, las inadecuadas prácticas de disposición final de las basuras, las cuales por la falta de recursos, interés o conocimientos técnicos se descargan inapropiadamente dentro o fuera de las áreas urbanas, dando origen a un sinnúmero de basureros dispersos, los que generan, entre otros, un problema social y de salud pública.

El problema social tiene su base en las personas que se dedican a segregar y comercializar los residuos, quienes realizan estas actividades en condiciones riesgosas y precarias, inaceptables en una sociedad moderna. El peligro para la salud pública surge en los mismos basureros, los que además de

causar malos olores y problemas estéticos, son cuna y hábitat de moscas, ratas y otros vectores de enfermedades y fuentes de contaminación del aire o de fuentes superficiales o subterráneas de agua.

El servicio ordinario de aseo urbano consta fundamentalmente de las actividades de barrido, almacenamiento, recolección, transporte y disposición sanitaria final de los residuos sólidos. Por ser la última de las actividades, y debido a la escasez de recursos económicos, la disposición final es el punto crítico de los servicios de aseo urbano del país.

## **ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS DISPONIBLES**

Para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) existen diversas tecnologías las cuales, de acuerdo a su naturaleza, se pueden clasificar en disposición controlada o relleno sanitario, procesos termoquímicos y procesos bioquímicos.

El relleno sanitario es una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni luego del cierre del mismo. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos percolados y gases producidos en el relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

Las ventajas de este sistema son que la inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para implementar cualquier otro método de tratamiento, posee bajos costos de operación y mantenimiento, es un método completo y definitivo, permite generar empleo de mano de obra no calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo, es posible recuperar gas metano en grandes rellenos sanitarios que reciben más de 200 ton/día, lo que constituye una fuente alternativa de energía, su lugar de emplazamiento puede estar tan cerca al área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, reduciéndose así los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad, recuperar terrenos que hayan sido considerados improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de un parque, área recreativa, campo deportivo, etc. Un relleno sanitario puede comenzar a funcionar en corto tiempo como método de eliminación, se considera flexible, ya que no precisa de instalaciones permanentes y fijas, y también debido a que es apto para recibir mayores cantidades adicionales de desechos con poco incremento de personal.

Sin embargo, los rellenos sanitarios poseen desventajas que cada día son mas significativas como por ejemplo el hecho de que la adquisición del terreno constituye la primera barrera para la construcción de un relleno sanitario, debido a la oposición que se suscita por parte del público, ocasionada en general por factores tales como:

? La falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario.

? Asociar el término "relleno sanitario" al de un "botadero de basuras a cielo abierto".

? La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales.

Entre sus desventajas también se puede considerar que el rápido proceso de urbanización encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, debiéndose ubicar el relleno sanitario en sitios cada vez mas alejados de las rutas de recolección, lo cual aumenta los costos de transporte y la supervisión constante de la construcción para mantener un alto nivel de calidad de las operaciones.

En cuanto a los sistemas de procesamiento térmico estos pueden clasificarse sobre la base de sus requisitos de oxígeno. Así, por ejemplo, la gasificación es la combustión parcial de los residuos sólidos bajo condiciones subestequiométricas para generar un gas combustible que contiene monóxido de carbono, hidrógeno e hidrocarburos gaseosos; mientras que la pirólisis es el procesamiento térmico de residuos en ausencia completa de oxígeno. En la Tabla 1 se aprecian algunas características de estos procesos.

**Tabla 1:** Resumen de los procesos termoquímicos utilizados en el tratamiento de los residuos sólidos urbanos.

<b>Tratamiento</b>	<b>Condiciones</b>
Combustión estequiométrica	Presencia estequiométrica de oxígeno para oxidar C, H y S
Combustión con aire en exceso	Oxígeno en exceso por la heterogeneidad del residuo
Hidrogenación	Inyección de agua a presión elevada (300 atm) y 400 °C, además de monóxido de carbono
Hidrólisis	Empleo de ácidos a temperaturas elevadas
Oxidación	Disolución de compuestos orgánicos mediante oxígeno y agentes oxidantes a alta presión y 220 -300 °C
Pirólisis	Ausencia total de oxígeno y temperaturas de 600 - 800 °C

Dentro de los procesos bioquímicos se pueden mencionar los procesos aerobios, en los cuales los microorganismos encargados de degradar el residuo necesitan oxígeno y los procesos anaerobios, donde la degradación se realiza en ausencia de oxígeno. Entre estos dos procesos es particularmente atractivo el de digestión anaerobia ya que, al igual que el compostaje, se puede lograr un subproducto de utilidad como mejorador de suelo o incluso como fertilizante y, a diferencia del compostaje, se logra producir biogás (compuesto principalmente por una mezcla de metano y dióxido de carbono) el cual posee un valor agregado considerable ya que puede ser utilizado como combustible.

De esta manera, de las tecnologías descritas el proceso de digestión anaerobia presenta ventajas significativas como sistema alternativo a los rellenos sanitarios, por lo que se seleccionó para llevar a cabo una evaluación técnico-económica de la implementación de un sistema de tratamiento a gran escala para la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.

## **EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA ANAEROBIA**

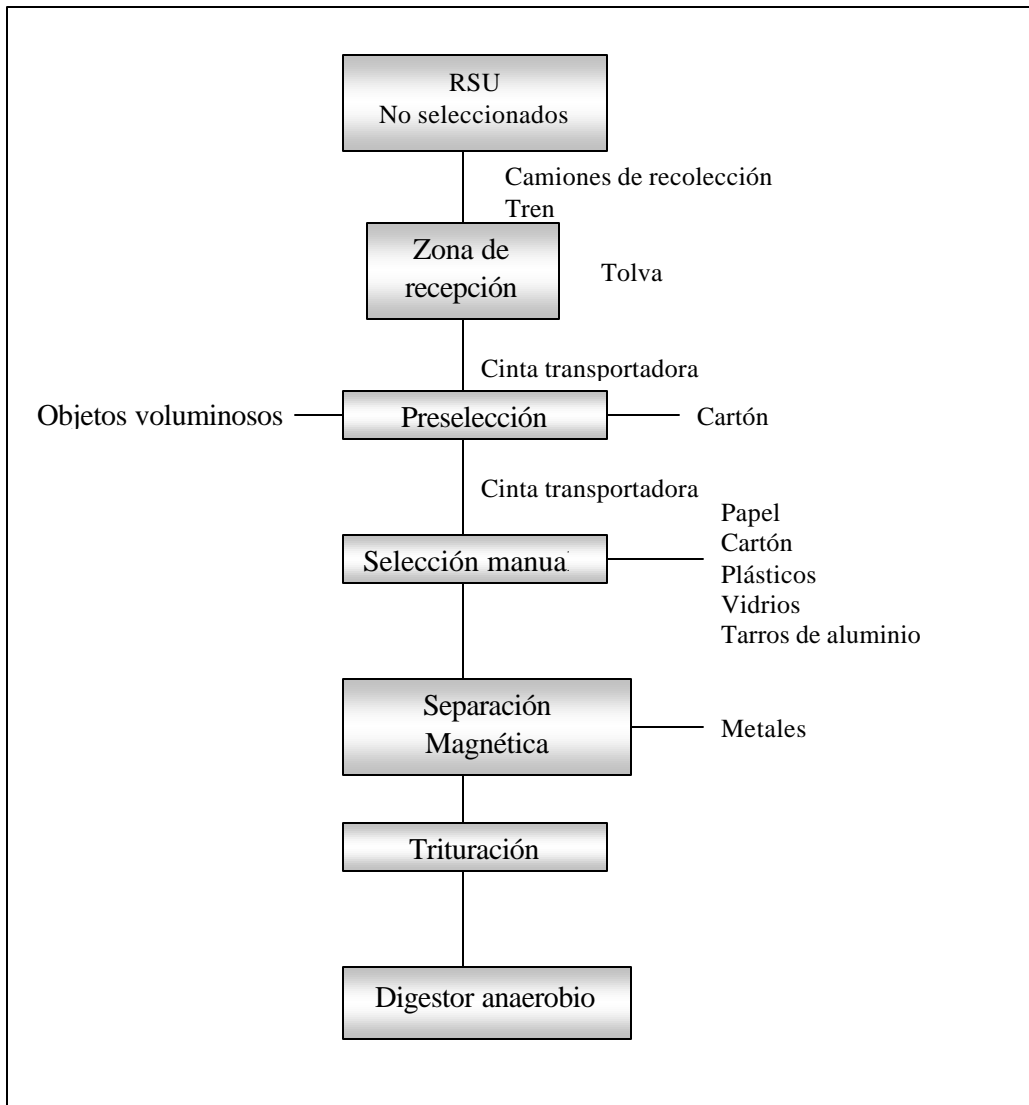
La planta supone como mercado las necesidades de tratamiento de la población del Gran Valparaíso, la cual se estima, para el año 2020, en 1.075.000 habitantes para el Gran Valparaíso, con un aporte de un 65% de las comunas de Viña del Mar y Valparaíso. El diseño inicial considera la planta para una población de 800 mil habitantes, tratando la totalidad de los residuos generados por las comunas de Valparaíso, Viña del Mar y algunas zonas de la comuna de Quilpue. En cuanto a la generación de residuos esta se estima en 0,9 [kg/habitante-día], mientras que la recolectada alcanzaría el 95% de la generada.

El proceso planteado consiste en las siguientes etapas: en primer lugar los residuos sólidos urbanos recolectados son transportados por medio de camiones, o se puede evaluar el uso de trenes, a la planta de tratamiento, en donde son descargados en tolvas que dan a una transportadora de cinta. En este punto se seleccionan manualmente materiales plásticos, cartones, papeles, metales, textiles y cualquier otro elemento contundente que no sea material orgánico con condiciones de ser degradado en el reactor materiales. La planta dispondrá de 3 líneas paralelas durante la selección manual, una por cada módulo de reactor para la fase hidrolítica del sistema anaerobio.

Al final de cada cinta se plantea la instalación de un separador de metales y los residuos que continúan son llevados hasta un molino de martillos donde serán triturados para disminuir el tamaño de las partículas que entran al reactor, y de esta manera, aumentar su relación superficie/volumen, con el fin de mejorar el contacto con los microorganismos involucrados en la etapa hidrolítica. Los residuos triturados ingresan a los reactores mediante un elevador de capachos con tolva de descarga.

El residuo sólido será evacuado mediante un transportador helicoidal con carcasa perforada para permitir la percolación del lixiviado, que mediante una canaleta se llevará a un pozo para su posterior recirculación al reactor, pasando antes por un intercambiador de calor, manteniendo las condiciones de operación (humedad y temperatura) requeridas en el interior del reactor. El 10% del sólido se recirculará al reactor para mantener una población deseada de microorganismos, mientras que los sólidos remanentes serán llevados a un filtro banda para ser desaguados y llevados a su posterior disposición o refinamiento para su uso como fertilizante. El gas producido en el reactor anaerobio será evacuado y utilizado como combustible para calentar agua en el intercambiador de calor y el restante se podrá vender.

La planta diseñada considera las etapas descritas en la Figura 1. En la Figura 2 se presenta en detalle la fase de postratamiento de los residuos tratados anaeróbicamente.



**Figura 1.** Etapas involucradas en el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos considerando tecnología anaerobia.

En relación a la fase biológica del procesos, diversas consideraciones técnicas respaldan que, para el tipo de residuo en cuestión y trabajando con elevadas concentraciones de sólidos, el tratamiento anaerobio de dos fases, en donde se optimizan las etapas de la digestión anaerobia hidrolizando en un primer reactor el desecho y luego tratando el material solubilizado en un reactor UASB, es el que permite obtener mejores resultados.



**Tabla 2.** Inversión Inicial para la Planta de tratamiento de la FORSU.

<b>COSTO</b>	<b>VALOR (UF)</b>
COSTO EQUIPOS INSTALADOS	60.493,26
COSTO INSTALACIÓN CAÑERÍAS	5250,04
COSTO INSTRUMENTACIÓN DE EQUIPOS	4.688,5
COSTO INSTALACIÓN ELÉCTRICA	1.111,69
COSTO EDIFICACIÓN	664
COSTO INDUMENTARIA DE TRABAJO	510
<b>TOTAL COSTOS</b>	<b>72.717,5</b>

Cabe destacar que la construcción de los reactores, tanto el de hidrólisis como el metanogénico inciden fuertemente en el valor de la inversión inicial de la planta de tratamiento.

El biogás no utilizado en las necesidades de la planta será comercializado. El valor del gas es de 1,25 \$US por millón de calorías. Se ha calculado que el flujo de biogás disponible para la comercialización es de 73.148 [kg biogás/día]. El biogás tiene un valor combustible de 22.000 [kJ/m<sup>3</sup>], el ingreso por ventas de biogás será de:

$$\text{Ingresos} = 167,383 \frac{\text{UF}}{\text{día}}$$

Si además consideramos que el flujo diario de entrada a la planta sería de 684 toneladas por día aproximadamente se obtendría un ingreso diario de 0.25 UF por tonelada de residuo a tratar solo por concepto de venta de biogás cabe destacar que no se consideraron los ingresos por venta del residuo estabilizado como mejorador de suelos

## **CONCLUSIONES**

Los métodos biológicos de tratamiento de residuos sólidos urbanos son considerablemente mas atractivos que los tradicionales como disposición o incineración lo que los transforma en una tecnología atrayente a la hora de considerar alternativas de tratamiento de los residuos antes mencionados.

La tecnología anaerobia es una buena alternativa para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos debido a las ventajas que presenta frente a técnicas convencionales como el relleno sanitario y frente a otros métodos biológicos como el compostaje.

La implementación de una planta de tratamiento anaerobio de la FORSU acarrearía una serie de beneficios, cuantificables y no-cuantificables, que hacen atractiva esta tecnología para solucionar los problemas que ocasiona le generación de residuos sólidos urbanos.