

Producción de Biogás con Residuos Sólidos Urbanos. Factibilidad y Aprovechamiento en una Ciudad de 60.000 Habitantes

Mariana Bernard, Diego M. Ferreyra, Hernán G. Asís, Fabián Dopazo, Paulo J. Gianoglio
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo GISENER. Avenida de la Universidad 501
(2400) San Francisco. Provincia de Córdoba. ARGENTINA. Tel. (03564) 421147/435402. <http://www.frfsco.utn.edu.ar/>
email: mbernard@frfsco.utn.edu.ar

Resumen - En este trabajo se cuantifica el biogás que podría obtenerse a partir de los residuos sólidos urbanos generados en San Francisco, una ciudad de 60 000 habitantes del interior de Argentina. Se describe el proceso de digestión anaeróbica involucrado en la producción del biogás, para el cual se requiere mantener ciertas condiciones dentro de los reactores. Con la implementación de una propuesta de este tipo se eliminarían en el vertedero de la ciudad las emisiones de metano que se producen naturalmente con la fermentación aeróbica descontrolada de los residuos sólidos. Resulta de interés reducir o eliminar las emisiones de este gas, ya que es uno de los de mayor incidencia sobre el efecto invernadero. Para el aprovechamiento del biogás que se obtendría se considera particularmente la alternativa de utilizarlo para generación de energía eléctrica.

Palabras clave: Biogás, Residuos sólidos urbanos, Fuentes de energía renovables

Biogas Production from Municipal Solid Waste. Feasibility and Exploitation in a Town with 60 000 Inhabitants

Abstract - In this work, the potential production of biogas is quantified for the municipal solid waste generated in San Francisco, a town with 60 000 inhabitants in the interior of Argentina. The anaerobic digestion process involved in biogas production, for which certain conditions are to be kept inside the reactors, is described. By implementing this proposal, methane emissions in the municipal garbage dump produced naturally by the uncontrolled aerobic fermentation of solid waste would be eliminated. It is particularly desirable to reduce or eliminate said emissions, since methane is one of the major greenhouse gases. For the exploitation of the biogas to be obtained, electricity generation is particularly considered.

Keywords: Biogas, Municipal solid waste, Renewable energy resources

INTRODUCCIÓN

La investigación sobre medios alternativos de generación de energía es un tema en amplio desarrollo que atañe a diversos sectores de estudio de múltiples disciplinas. Entre las diversas opciones conocidas, la producción de biogás a partir de la recolección y fermentación de residuos sólidos urbanos (RSU) constituye una propuesta interesante para la realidad de muchas ciudades de mediano tamaño.

En la ciudad de San Francisco, provincia de Córdoba, el uso a gran escala de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables es prácticamente inexistente. En cuanto a los RSU generados en esta ciudad, aún resta implementar numerosos pasos en lo que hace a la recolección diferenciada de residuos para su posterior disposición y aprovechamiento. La ausencia de tales instancias implica que se extienda en el tiempo un

problema sanitario y ecológico de relevancia, como así también un desperdicio de recursos de gran magnitud.

En el presente trabajo se pretende demostrar que, dada la realidad urbana actual de San Francisco, es posible y deseable la producción de biogás a partir de los RSU generados. También se desea evaluar el potencial de aprovechamiento para la generación de energía eléctrica a partir del biogás producido.

Cabe destacar que el presente estudio se centra exclusivamente en el análisis de la factibilidad de producción de biogás en las condiciones citadas. La recopilación de datos y el análisis de las posibilidades de producción de biogás se realizaron sobre la base de publicaciones específicas, cuyos resultados se extrapolaron a la realidad socioeconómica de la ciudad. Las conclusiones que se obtienen de esta etapa sirven como base para avanzar posteriormente con la evaluación de la generación de energía eléctrica a partir

del biogás producido.

Esta etapa sirve entonces como inicio y sustento de una segunda, no incluida en este trabajo, que se centrará en la evaluación de las diferentes posibilidades de conversión del biogás en energía eléctrica y en la determinación de la magnitud de las potencias que pueden alcanzarse.

Es importante destacar que esta propuesta se complementaría con un estudio profundo sobre muchos otros aspectos que surgirían de a la separación de los residuos, como son la recuperación de metales, plásticos, vidrios y otros tipos de materiales de elevado valor en el ámbito del reciclado.

El presente trabajo se desarrolló en el ámbito del grupo GISENER, conformado por docentes y estudiantes de las carreras de Ingeniería de la Facultad Regional San Francisco de la Universidad Tecnológica Nacional. Este grupo está orientado a la investigación en la generación y uso de la energía en sus diversas formas.

DESARROLLO

Antecedentes y descripción del proceso

La generación de biogás es un proceso natural que tiene lugar en la degradación de la materia orgánica y que, dependiendo de las condiciones de almacenamiento y descomposición de los residuos, adquiere significativa importancia desde el punto de vista energético. El biogás es un combustible que se obtiene de manera biológica por la fermentación anaeróbica de la materia orgánica, y cuyos componentes principales son metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).

Todo residuo orgánico, o fuente de biomasa, atraviesa en estado anaeróbico distintas etapas que culminan en la producción de CH_4 , entre otros gases. Las emisiones de CH_4 tienen múltiples fuentes, entre ellas las actividades agrícolas, pero un 60 % del gas generado tiene origen antropogénico. Este gas es transportado a la estratósfera por las corrientes de aire y allí se convierte en una de las causas más importantes del pernicioso calentamiento global. Estudios de la EPA (Environmental Protection Agency, Agencia de Protección Ambiental) determinan que el CH_4 tiene un coeficiente de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) de 53 a 20 años y de 21 a 100 años. El GWP representa la capacidad de una sustancia para contribuir al calentamiento global en comparación con el CO_2 , cuyo valor de referencia es igual a 1.

Si bien la concentración del CH_4 en la estratósfera es mucho menor que la del CO_2 , su elevado potencial contaminante lo convierte en la segunda fuente más importante de calentamiento global.

Desde hace tiempo, según las fuentes consultadas,

la concentración de metano en la estratósfera se está incrementando peligrosamente. El aprovechamiento a nivel global de este gas generaría una contribución a la reducción de esta problemática, además de un beneficio económico al utilizar energía proveniente de fuentes disponibles y renovables.

A excepción de algunos países del norte de Europa, el uso de biogás tiene aún una escasa aplicación a gran escala y en los países en vía de desarrollo sólo se extiende a algunas poblaciones rurales o asentamientos pequeños.

Actualmente, la difusión de nuevas fuentes de tecnología más accesibles y limpias para la generación de biogás hacen que esta experiencia se comience a reproducir y aplicar en distintos puntos del país, principalmente en granjas, escuelas y pequeñas poblaciones.

Factores para la selección de la biomasa

Las fuentes de biomasa disponibles en la actividad humana son diversas, tantas como tipos de materia orgánica se hallen disponibles para su degradación. Entre ellas, las que adquieren mayor importancia son los desechos orgánicos provenientes de la agricultura, los desechos de granjas de animales y los residuos domésticos.

Los residuos agrícolas y agroindustriales se descomponen por vía natural de manera aeróbica al ser abandonados sobre la superficie de los campos, o en acúmulos a cielo abierto. Asimismo, los desechos de los animales de granja generan una contribución importante en la acumulación de metano atmosférico, y sus residuos son librados a la descomposición natural, sin aprovechar la energía que estos naturalmente proporcionarían.

En cuanto a los residuos domésticos orgánicos, se plantea una problemática considerablemente compleja, ya que su disposición y aprovechamiento están netamente vinculados a la actividad socioeconómica de las poblaciones, y su utilización requiere de la colaboración y el compromiso de la población y sus gobernantes.

Para la evaluación de la presente propuesta se investigaron datos concretos acerca de la posibilidad de conversión de los desechos en biogás y sus potenciales energéticos, así como la disponibilidad de los recursos y la cantidad de desechos generados por las distintas fuentes en un área cercana a la ciudad.

La explotación agrícola de la tierra en esta región pampeana, por el tipo de cultivo realizado y las condiciones de cosecha y siembra posterior, no genera grandes cantidades de materia orgánica útil para la generación de biogás en gran volumen. Por otra parte, si bien

la ciudad se sitúa en una zona de gran importancia ganadera, los tambos de la región se hallan muy dispersos unos de otros, lo cual dificultaría la posibilidad de trabajar en una planta comunitaria de biogás que plantearía las condiciones ideales para incrementar la producción y distribución de este combustible a gran escala.

Finalmente, las investigaciones realizadas sobre las experiencias en diversas regiones poblacionales que implementan este tipo de sistema a nivel mundial plantean la necesidad de evaluar la disponibilidad de la generación de biogás en el ámbito de la ciudad misma utilizando los desechos orgánicos de la población y proponiendo para esto una posibilidad real de aprovechamiento ecológico de los desechos y reducción de la contaminación que generan los actuales basurales a cielo abierto. Esta opción es la seleccionada para la realización de los cálculos iniciales que entregarán los datos necesarios para el estudio de la eficiencia de conversión de biogás en energía eléctrica.

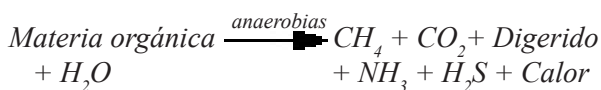
El proceso de obtención de biogás

El proceso de digestión anaeróbica es ampliamente utilizado en la industria del tratamiento de desechos orgánicos dada su elevada eficacia y bajo costo de mantenimiento. Se lo utiliza principalmente para el tratamiento de residuos de la industria alimenticia, aguas residuales y otros desechos con alto contenido orgánico.

La digestión anaeróbica consiste en la descomposición de la materia orgánica por medio de microorganismos en ausencia de oxígeno, que, como producto de tal degradación, generan metano, dióxido de carbono y otros compuestos.

Con esta metodología, en condiciones adecuadas, puede obtenerse un gas con alto contenido de metano y un sólido residual que puede ser utilizado como fertilizante agrícola.

La conversión de materia orgánica en metano se describe de la manera siguiente:



En la digestión anaeróbica intervienen cuatro etapas del metabolismo bacteriano que conlleva la producción de biogás. La primera de ellas, hidrólisis, convierte los biopolímeros complejos como proteínas, lípidos o hidratos de carbono en moléculas más sencillas, por acción de bacterias hidrolíticas anaeróbicas. Estos hidrolizados pueden atravesar la membrana celular de los microorganismos para ser, a su vez, convertidos en ácidos orgánicos de cadena corta, alcoholes y diversos gases por medio del proceso de la segunda etapa: la

acidogénesis. En estas dos primeras etapas se alcanza una producción de biogás de entre un 20 % y un 25 %.

En la tercera etapa de la digestión los productos finales del proceso de acidogénesis se convierten en acetato por medio de la deshidrogenación acetogénica. Finalmente, en la cuarta y última etapa, el acetato producido a partir de los gases hidrógeno y dióxido de carbono, se convierten en metano por medio de bacterias metanogénicas.

Los agentes biológicos de la digestión anaeróbica son principalmente bacterias, aunque también intervienen algunos hongos y protozoos flagelados. Los microorganismos que intervienen en este proceso requieren de un medio con pH cercano a la neutralidad para una actividad óptima. Estas condiciones deben ser monitoreadas y ajustadas convenientemente en las diversas etapas de la degradación. En la Fig. 1 se muestra un esquema de las diversas etapas descriptas.

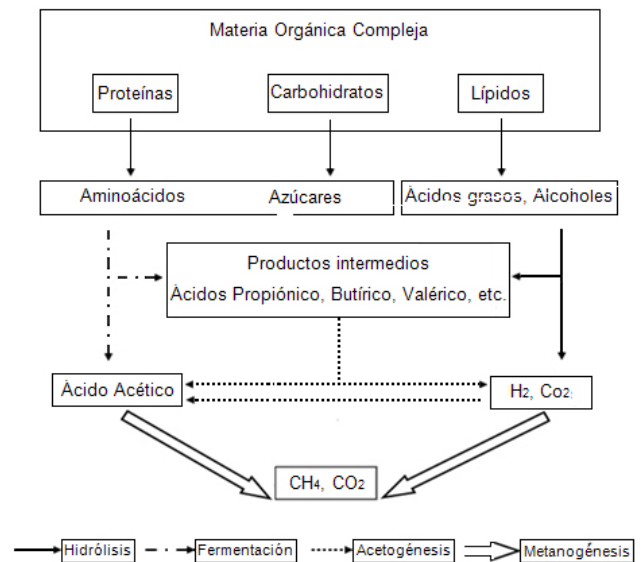
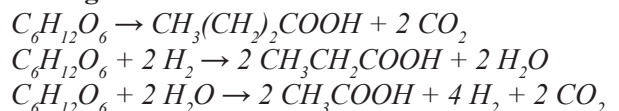


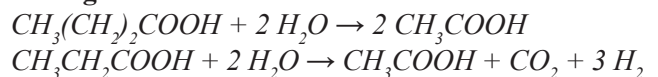
Fig. 1 - Degradación anaeróbica de la materia orgánica
(Fuente: Pavlostathis and Giraldo-Gómez, 1991)

El siguiente es un resumen de las reacciones que se producen en las tres últimas etapas descriptas:

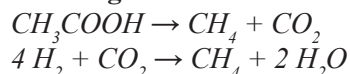
Acidogénesis:



Acetogénesis:



Metanogénesis:



Selección del reactor

Dado que el objetivo último de este estudio es evaluar la generación de energía eléctrica a partir de biogás, el estudio de la producción de metano se realiza como etapa netamente analítica. Como punto de partida, se analizaron diversos datos sustentados en mediciones reales. Se seleccionó como referencia principal un estudio para el cual las condiciones ambientales analizadas y las características de la materia prima utilizada se asemejan bastante a las planteadas en el presente trabajo.

Este estudio evaluó la degradación de residuos orgánicos en diversas condiciones mediante la utilización de distintos reactores, hallándose que el uso de un reactor anaeróbico discontinuo que funcione en un rango de temperaturas termofílicas disminuye el tiempo de permanencia del residuo dentro del reactor, acelerando así la producción de biogás. Este resultado es compartido y validado en distintos puntos de experimentación y obtención de biogás.

De la misma manera se encontró que el proceso anaeróbico genera ciertas ventajas económicas, ya que en un único reactor se lleva a cabo el proceso completo con un alto rendimiento de conversión, una obtención de un residuo digerido con propiedades fertilizantes y una disminución notable del tiempo necesario para el arranque y la estabilización del digestor.

El tiempo de retención hidráulico es el período de permanencia del residuo dentro del reactor y viene dado por la relación entre su volumen de trabajo y la tasa de eliminación del residuo tratado. Este período debe contemplarse para la correcta selección del tamaño del reactor y las fases diarias de carga y descarga en el reactor semicontinuo. Dadas estas características, se ha seleccionado un tiempo de retención hidráulico de 15 días, tiempo necesario para la degradación biológica anaeróbica completa. El proceso seleccionado se realizará en un digestor de alto contenido de sólidos a temperatura promedio de 55 °C, asegurando así una máxima producción de biogás y un alto nivel de destrucción de patógenos. Esta digestión seca permite una reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) de entre 70 % y 90 % generando así un biogás que contendrá un porcentaje de metano de entre 50 % y 70 %.

Cálculo de la producción de biogás en un reactor discontinuo

En la ciudad de San Francisco se generan en promedio unas 50 t de basura por día, de las cuales aproximadamente un 40 % están constituidas por desechos de materia orgánica.

Para el proyecto en estudio, se evaluará la conversión de estos desechos orgánicos en un reactor tanque

discontinuo que se alimentará con RSU en una concentración del 20 % de los sólidos totales (ST).

La búsqueda de información y los relevamientos realizados en la ciudad por empresas y organismos relacionados al sistema de tratamiento de residuos permite estimar que la composición de la fracción orgánica coincide con la evaluada en diversas ciudades estudiadas, en las cuales el nivel socioeconómico de la población pudiera ser comparado a la de la ciudad de San Francisco.

En función de esto se considera que la fracción orgánica de los RSU depositados en las instalaciones del basural de la ciudad puede describirse con suficiente precisión según la composición porcentual que se describe en la Tabla 1.

Elementos	Porcentaje
Papel y cartón	15 % a 40 %
Vegetales y materiales putrescibles	20 % a 65 %
Plásticos	2 % a 6 %
Metales	1 % a 5 %
Vidrio	1 % a 10 %
Caucho y cuero	1 % a 5 %
Inertes (tierra y arena)	1 % a 30 %

Tabla 1 - Composición típica de los residuos sólidos urbanos (Forster-Carneiro, 2005; Sbarato, 2009)

Los parámetros de análisis de laboratorio de la materia orgánica en estado primario, previo a su dilución, arroja los siguientes resultados:

Materia prima	
Parámetro	Valor
Densidad	328 kg/m ³
Humedad	52,6 %
Sólidos totales	47,4 %
DQO	803 mg/g
Materia orgánica	69,3 %

Tabla 2 - Análisis de laboratorio típico de materia orgánica en estado primario (Forster-Carneiro, 2005)

RSU (20 % de concentración)	
Parámetro	Valor
Sólidos totales (ST)	819 g/kg
Sólidos volátiles (SV)	433.5 g/kg
Sólidos totales solubles	13,1 g/kg
Sólidos volátiles solubles	12,1 g/kg
DQO	57,6 g/l
COD	52,2 g/l
Carbono	10,4 %

Tabla 3 - Composición típica de materia orgánica en estado primario (Forster-Carneiro, 2005)

La cantidad de metano producida requiere un cálculo en el que intervienen parámetros propios del tipo de residuo, porcentaje de dilución y temperatura de reacción. Se expone a continuación el cálculo analítico de producción de biogás considerando condiciones de trabajo óptimas que generan resultados ideales, y que se verán afectados en la práctica por diversos factores. En virtud del objetivo de la presente investigación, el análisis posterior no acredita condiciones reales de investigación, sino un cálculo aproximado del combustible disponible para la generación eficiente de energía.

Con la generación de residuos de la ciudad promediada en 50 000 kg diarios, se considera conservadoramente una proporción de residuos orgánicos del 40 % del total (Sbarato, 2009, y estimaciones de funcionarios locales), y se calcula:

$$50\ 000\ \text{kg} \times 0,4 = 20\ 000\ \text{kg org./día}$$

Dada la concentración necesaria del 20 % (Forster-Carneiro, 2005) para la alimentación de materia orgánica dentro del reactor, debe diluirse el residuo de la siguiente manera:

$$Q_{\text{alim.}} = 20000 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{100}{20} = 100\ 000 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Considerando una proporción de sólidos totales (ST) de 819 g/kg (Tabla 3), los sólidos totales obtenidos dentro del reactor diariamente luego de su alimentación se calculan de la siguiente manera:

$$ST = 0,819 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \times 100\ 000 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 81\ 900 \frac{\text{kg ST}}{\text{día}}$$

Teniendo en cuenta la composición inicial de los RSU, se considera el porcentaje de sólidos volátiles (SV) como el 52,93 % de los ST (Tabla 3), con lo cual:

$$SV = 0,5293 \times 81\ 900 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \cong 43\ 350 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Usando como base los resultados del estudio tomado como comparativo para el proceso de degradación (Forster-Carneiro, 2005), se considera un porcentaje de reducción de los sólidos volátiles del 79,4 % dado los parámetros medidos en laboratorio:

$$\% \text{ reducción} = 43\ 350 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0,794 \cong 34\ 500 \frac{\text{kg SV}}{\text{día}}$$

El proceso de conversión anaeróbica genera una conversión en metano que se estima habitualmente en 0,15 m³/kg SV (Elías, 2009), o sea:

$$Q_{\text{biogas}} = 34\ 500 \frac{\text{kg SV}}{\text{día}} \times 0,15 \frac{\text{m}^3}{\text{kg SV}} \cong 5\ 200 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

El porcentaje de metano promedio obtenido para

la generación de biogás en este tipo de reactores es de aproximadamente 60 % (Calvo, 2002), con lo cual:

$$5\ 200 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{día}} \times 0,60 \cong 3\ 000 \frac{\text{m}^3 \text{ CH}_4}{\text{día}}$$

Este volumen de metano producido por día, considerando su poder calorífico (Perry, 2001) por metro cúbico de metano a presión atmosférica y 25 °C, genera la siguiente energía calórica:

$$3000 \frac{\text{m}^3 \text{ CH}_4}{\text{día}} \times 8708,4 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{ CH}_4} \cong 27 \times 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{día}}$$

La energía calórica disponible por hora es entonces equivalente a 1 125 000 kcal/h. A su vez, si esta energía pudiera aprovecharse íntegramente, en condiciones ideales, equivaldría a una potencia de unos 1300 kJ/s. Este valor, lejos de ser el que se obtendría en condiciones reales, proporciona una base teórica para determinar la viabilidad del estudio. Si se estima una eficiencia global del 25 % para el proceso de conversión de esta energía calórica en mecánica y luego en eléctrica, se podría pensar en obtener una potencia eléctrica del orden de los 300 kW. En función de este valor de potencia obtenido es que se continuará esta investigación con el fin de encontrar la opción más adecuada para alcanzar el valor de potencia eléctrica más elevado posible con una mínima complejidad de implementación y mantenimiento.

Esta potencia de 300 kW resulta bastante pequeña en comparación con la demanda eléctrica de la ciudad, que cuenta con una central de generación de punta con una capacidad superior a los 30 MVA. Sin embargo se presenta como un valor muy razonable si se lo considera para la alimentación de las instalaciones del basural, donde se prevé la posible implementación de los reactores necesarios, y también de otras instalaciones municipales ubicadas en un predio colindante. En la medida en que la Empresa Provincial de Energía de Córdoba regule las condiciones para la generación distribuida en el punto de conexión previsto, el excedente de energía podría inyectarse a la red, con las consiguientes ventajas técnicas y económicas.

Cabe reiterar lo que se anticipó en la introducción: para potenciar la factibilidad de esta propuesta y asegurar su viabilidad económica, amén de su impacto ambiental positivo, resultaría necesario complementarla con otros estudios que se enfoquen en el aprovechamiento del material recuperable incluido en los RSU.

CONCLUSIONES

La cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU) que se genera en San Francisco (Córdoba, Argentina),

ciudad de unos 60 000 habitantes, representa una interesante posibilidad de generación de biogás para la producción de energía eléctrica. Si bien se requiere de una recolección diferenciada de los residuos y de un tratamiento eficiente en su disposición, la fermentación de la fracción orgánica de dichos residuos puede generar una potencia calorífica del orden de los 1300 kJ/s, que podría traducirse en la generación de energía eléctrica con una potencia de unos 300 kW.

Esta posibilidad, que debe complementarse con el estudio de la recuperación de materiales potencialmente reciclables incluidos en los RSU, implica la necesidad de concientizar a la población y a sus autoridades acerca del uso y aprovechamiento de las energías disponibles, así como la puesta en práctica de diversos proyectos de tratamiento y reutilización de los residuos sólidos urbanos. Por caso, la importancia de la separación de los residuos en origen resultaría una de las acciones más eficaces para garantizar el éxito de esta propuesta y de cualquier otra relacionada con el aprovechamiento del potencial de los RSU.

Se considera que la puesta en marcha de este tipo de iniciativas debería surgir desde la educación formal y ser sostenida desde el ámbito político, cultural y educacional. En virtud del tamaño de la ciudad y de la creciente concientización ecológica que se está generando en niños y adolescentes, se considera que este cambio de actitud es posible.

La implementación de este tipo de acciones puede

contribuir a paliar parcialmente la problemática energética por contribuir a reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Sin embargo su impacto fundamental radicaría en brindar una solución a los problemas ambientales asociados a la disposición y acumulación de residuos, incluido el efecto invernadero.

AGRADECIMIENTOS

A Federico Scocco y Sergio Bosio, de ASHIRASA.
A Miguel Ángel González Chana y Sergio Barrale, de la Municipalidad de la Ciudad de San Francisco
Al personal de la Biblioteca de la UTN Facultad Regional San Francisco.

REFERENCIAS

Forster-Carneiro, T., "Digestión anaeróbica termofílica seca de RSU: estudio de la variable del proceso de arranque y estabilización del biorreactor", tesis en Ing. Química (Doctorado), Univ. de Cádiz, Cádiz (España) pp. 47 y 107, (2005).

Sbarato D., "La agenda ambiental local", 1^{era} edición, Encuentro Grupo Editor, Argentina, (2009).

Sbarato D., "Aspectos generales de la problemática de los residuos sólidos urbanos", 1^{era} edición, Encuentro Grupo Editor, Argentina, (2009).

Xavier E., "Reciclaje de residuos industriales", 2^{da} edición, Díaz de Santos, España, (2009).

Seoánez Calvo M., "Tratado de la contaminación atmosférica: problemas, tratamientos y gestión", 1^{era} edición, Mundiprensa, España, (2002).

Perry R., "Manual del Ingeniero Químico", Tomo I, 4^{ta} edición, McGraw-Hill, España, (2001).