

Biogas Tool

Cálculo de costos y beneficios de la
producción de biogás en México 2018-2019





BIOGAS TOOL

Guía de usuario

I. Contenido

INTRODUCCIÓN	5
1. CARACTERÍSTICAS DEL BIOGAS TOOL	5
2. PERFIL DE USUARIO DEL BIOGAS TOOL	7
3. ESTRUCTURA DEL BIOGAS TOOL	8
4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS TRES TECNOLOGÍAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	10
A. LAGUNA ANAEROBIA (LA)	10
B. DIGESTORES COMPLETAMENTE MEZCLADOS (CSTR)	11
C. REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)	13
5. PROS Y CONTRAS DE CADA TECNOLOGÍA	15
6. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE COSTEO Y ENTRADA DE DATOS	16
¿QUÉ INCLUYE CADA TECNOLOGÍA?	17
¿CÓMO USAR EL BIOGAS TOOL?	19
<i>Consideraciones generales</i>	19
<i>Instrucciones:</i>	21

Descripción

Este documento define el propósito del Biogas Tool [Herramienta de Biogás] para México, proporcionando una breve descripción de los cálculos y estimaciones, así como una explicación general para su utilización. Este documento se encuentra disponible en inglés y en español.

INTRODUCCIÓN

La Herramienta de Biogás puede utilizarse para obtener una pre-evaluación técnica y económica de proyectos para generar y aprovechar biogás en México. Sus resultados pueden ser usados para determinar la necesidad de realizar estudios posteriores de ingeniería que determinen una evaluación con mayor detalle técnico y económico.

La herramienta es útil, principalmente en el contexto mexicano, porque considera las condiciones económicas relevantes, tales como los costos de equipos, construcción, energía, tasas de interés, inflación y otras características nacionales. Adicionalmente, la herramienta contiene la “Base de datos de sustratos potenciales para generación de biogás en México” [Feedstock Database for biogas in Mexico] con la información de los sustratos mexicanos más relevantes para co-digestión en proyectos de biogás.

1. CARACTERÍSTICAS DEL BIOGAS TOOL

La “Base de datos de sustratos potenciales para generación de biogás en México” [Feedstock Database for biogas in Mexico] contiene 20 sustratos caracterizados por el Clúster de Biocombustibles Gaseosos del Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía (CEMIE-Bio), iniciativa de la Secretaría de Energía (SENER) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). El usuario puede incluir un número flexible entre veinte sustratos en la pre-evaluación de proyectos de biogás o bien determinar un sustrato nuevo si se cuenta con todas sus características. El usuario tiene capacidad de cambiar datos de caracterización para los veinte sustratos incluidos. Si no se introducen tales datos, el Biogas Tool utilizará los datos precargados de la “Base de datos de sustratos potenciales para generación de biogás en México”. El Biogas Tool puede considerar hasta 21 sustratos en procesos de codigestión.

Una vez que se introducen los datos de los sustratos, el Biogas Tool calcula las características fisicoquímicas de la mezcla (Balance de Materia) considerando la caracterización de cada uno de ellos. Posteriormente, la herramienta sugiere la tecnología de digestión anaerobia más apropiada; sin embargo, el usuario es libre de seleccionar la opción recomendada u otra entre las alternativas posibles. A continuación, la herramienta calcula, de manera conceptual, las operaciones unitarias de la digestión anaerobia; además, se muestra el diagrama de bloques; si es estrictamente necesario para el tipo de sustrato, puede considerarse incluir un pretratamiento para mejorar el funcionamiento del proceso principal.

Luego de introducir los datos de los sustratos y seleccionar la tecnología de digestión anaerobia, la herramienta solicita la selección del uso de biogás: cogeneración de calor y energía, producción de calor, generación de

energía eléctrica, quemado de biogás o venta de biogás. De acuerdo con lo anterior, la herramienta calcula el rendimiento de biogás, la generación de biomasa y digestato (fertilizante), la producción potencial de energía eléctrica y calor (según sea el caso), así como los beneficios económicos relacionados con el uso de biogás. Además, se calculan los beneficios colaterales (Mitigación de Gases de Efecto Invernadero y producción de biofertilizante).

La herramienta tiene importantes atributos, como la facilidad de utilizar botones para la facilidad de navegación a través de la herramienta, así como su transparencia y flexibilidad. El usuario puede revisar la memoria de cálculo para el diseño conceptual y la evaluación de costos. Es posible modificar las fórmulas y algoritmos de cálculo en la herramienta. Incluso, es posible añadir otros cálculos que el usuario pueda manejar de manera adecuada.

Adicionalmente al ajuste de la caracterización de sustratos, es posible modificar otros valores, como costos de la energía, costos del equipo, reactivos químicos, costos de suelo, transporte y evacuación de residuos sólidos; asimismo, es posible modificar datos del proyecto, tales como el horizonte del proyecto, tasas de interés anual, retorno de la inversión mínimo, tasa de retorno mínima aceptable. Los parámetros de diseño pueden también modificarse, aunque es recomendable que el usuario conozca a profundidad la Ingeniería de Digestión Anaerobia y Biogás.

Debido a tal flexibilidad, el uso de la herramienta es responsabilidad del usuario, incluyendo cualquier modificación de esta (fórmulas o algoritmos de cálculo)

2. PERFIL DE USUARIO DEL BIOGAS TOOL

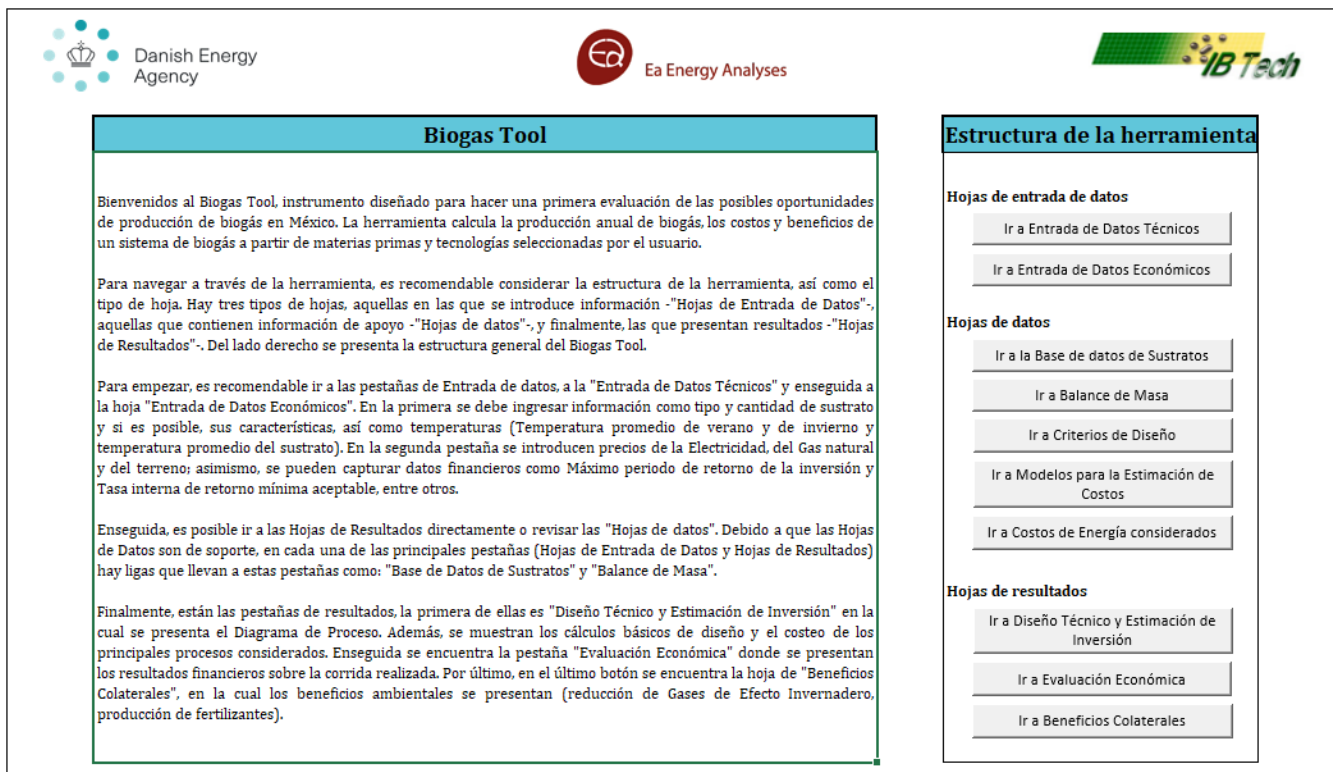
Se espera que los usuarios cuenten con el siguiente perfil:

- Usuarios técnicos o no técnicos que deben preparar presupuestos para los tomadores de decisión en proyectos de biogás.
- Consultores involucrados en el desarrollo de proyectos de biogás.
- Tomadores de decisiones del sector público (a nivel federal, estatal o municipal) o privado.
- Personas que generan residuos potencialmente aprovechables para una planta de biogás.
- Operadores de plants de biogás.

O cualquier otra persona que desea realizar la preevaluación de proyectos de biogás a partir de residuos y continuar con la ulterior evaluación de prefactibilidad.

3. ESTRUCTURA DEL BIOGAS TOOL

Al abrir el Biogas Tool, se presenta la hoja de información general (Pestaña General), en la cual se explica el objetivo y la operación de la herramienta de manera general. En esta pestaña se presenta la estructura de la herramienta y una recomendación sobre la navegación a través de ella. Existen tres tipos de hojas: hojas de entrada de datos, hojas de datos y hojas de resultados. Los 10 botones se presentan dentro de cada categoría, para tener una idea adecuada de lo que se puede encontrar en cada pestaña.



The screenshot displays the 'Biogas Tool' interface. On the left, there is a text box titled 'Biogas Tool' containing introductory text and navigation instructions. On the right, a sidebar titled 'Estructura de la herramienta' lists navigation buttons categorized into three groups: 'Hojas de entrada de datos', 'Hojas de datos', and 'Hojas de resultados'.

Biogas Tool

Bienvenidos al Biogas Tool, instrumento diseñado para hacer una primera evaluación de las posibles oportunidades de producción de biogás en México. La herramienta calcula la producción anual de biogás, los costos y beneficios de un sistema de biogás a partir de materias primas y tecnologías seleccionadas por el usuario.

Para navegar a través de la herramienta, es recomendable considerar la estructura de la herramienta, así como el tipo de hoja. Hay tres tipos de hojas, aquellas en las que se introduce información -"Hojas de Entrada de Datos"-, aquellas que contienen información de apoyo -"Hojas de datos"-, y finalmente, las que presentan resultados -"Hojas de Resultados"-. Del lado derecho se presenta la estructura general del Biogas Tool.

Para empezar, es recomendable ir a las pestañas de Entrada de datos, a la "Entrada de Datos Técnicos" y enseguida a la hoja "Entrada de Datos Económicos". En la primera se debe ingresar información como tipo y cantidad de sustrato y si es posible, sus características, así como temperaturas (Temperatura promedio de verano y de invierno y temperatura promedio del sustrato). En la segunda pestaña se introducen precios de la Electricidad, del Gas natural y del terreno; asimismo, se pueden capturar datos financieros como Máximo periodo de retorno de la inversión y Tasa interna de retorno mínima aceptable, entre otros.

Enseguida, es posible ir a las Hojas de Resultados directamente o revisar las "Hojas de datos". Debido a que las Hojas de Datos son de soporte, en cada una de las principales pestañas (Hojas de Entrada de Datos y Hojas de Resultados) hay ligas que llevan a estas pestañas como: "Base de Datos de Sustratos" y "Balance de Masa".

Finalmente, están las pestañas de resultados, la primera de ellas es "Diseño Técnico y Estimación de Inversión" en la cual se presenta el Diagrama de Proceso. Además, se muestran los cálculos básicos de diseño y el costeo de los principales procesos considerados. Enseguida se encuentra la pestaña "Evaluación Económica" donde se presentan los resultados financieros sobre la corrida realizada. Por último, en el último botón se encuentra la hoja de "Beneficios Colaterales", en la cual los beneficios ambientales se presentan (reducción de Gases de Efecto Invernadero, producción de fertilizantes).

Estructura de la herramienta

Hojas de entrada de datos

- Ir a Entrada de Datos Técnicos
- Ir a Entrada de Datos Económicos

Hojas de datos

- Ir a la Base de datos de Sustratos
- Ir a Balance de Masa
- Ir a Criterios de Diseño
- Ir a Modelos para la Estimación de Costos
- Ir a Costos de Energía considerados

Hojas de resultados

- Ir a Diseño Técnico y Estimación de Inversión
- Ir a Evaluación Económica
- Ir a Beneficios Colaterales

Como se ha descrito antes, existen tres clases de hojas, de acuerdo con su función:

- I. **Hojas de datos de entrada.** La navegación comienza con estas hojas donde se introducen los datos necesarios para la simulación del proceso.
 - a. Entrada de Datos Técnicos
 - b. Entrada de Datos Económicos

- II. **Hojas de datos.** Estas hojas son de soporte, ya que muestran toda la información considerada para la simulación.
 - a. Base de Datos de sustratos
 - b. Balance de Masa

-
- c. Criterios de Diseño
 - d. Modelos para la Estimación de Costos
 - e. Costos de Energía considerados
- III. **Páginas de resultados.** Son las hojas principales, ya que presentan los resultados de la simulación.
- a. Diseño Técnico y Estimación de Inversión
 - b. Evaluación económica
 - c. Beneficios colaterales

4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS TRES TECNOLOGÍAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

A. LAGUNA ANAEROBIA (LA)

Una laguna anaerobia consiste en una depresión en el suelo que está cubierta de una membrana impermeable. En la laguna, microorganismos anaerobios procesan, degradan y estabilizan la materia orgánica de los residuos sólidos o líquidos alimentados, produciendo metano. Las lagunas anaerobias no son calentadas y únicamente son mezcladas de manera parcial, por lo que son consideradas como procesos anaerobios de baja tasa. La profundidad típica de una laguna se establece entre 2.4 y 6 metros; sin embargo, se recomiendan profundidades entre 5 o 6 metros. Estas alturas favorecen una menor área y que la temperatura del líquido se mantenga fácilmente. El volumen de la laguna es suficiente para permitir la sedimentación de los sólidos, para conseguir un tiempo de retención apropiado (siempre mayor a 30 días) y lograr la descomposición casi completa de la fracción orgánica soluble del sustrato.



Laguna Anaerobia (LA)

Rastro Frigorífico y Servicios Integrales del Bajío, S.A. de C.V. León; en León, Guanajuato

El líquido residual crudo entra a la laguna por la parte inferior y se mezcla parcialmente con los sólidos con el apoyo de un mezclador o una corriente de recirculación bombeada a intervalos regulares y programados. El efluente se descarga por la parte opuesta a la zona de entrada del influente. El efluente contiene nutrientes valiosos y no es correcto descargarlo directamente a cuerpos de agua puesto que no cumple con las normas mexicanas.

La laguna anaerobia se coloca, generalmente, después de un cribado que impide la entrada de sólidos medianos y gruesos. Para recolectar el biogás generado se requiere una cubierta flexible instalada encima de la laguna y anclada a los bordes.

El diseño de las lagunas anaerobias se realiza normalmente con base en la carga orgánica y el tiempo de retención hidráulico obtenidos de plantas piloto y la experiencia de operación de plantas similares. A continuación, se muestran los valores típicos de las principales magnitudes:

Carga orgánica: Los valores típicos se encuentran entre 0.04 and 0.3 $\text{kg}_{\text{DQO}}/\text{m}^3/\text{d}$, dependiendo de la temperatura del sustrato.

Tiempo de retención hidráulica (TRH): Los tiempos de retención se encuentran entre 40 a 60 días, también siendo dependientes de la temperatura.

Dimensiones de la laguna: Regularmente, la superficie requerida varía entre 0.2 y 0.8 hectáreas. Se recomienda hacer las lagunas tan profundas como sea posible debido a que, a mayor profundidad, se reducen las pérdidas de calor.

Adicionalmente a los parámetros de diseño que se han mencionado, la operación de las lagunas depende de la temperatura y las condiciones en el pH. El rango de temperatura óptima está entre 25°C y 35°C, mientras que para el pH el rango se encuentra entre 6.6 y 7.6. En principio, no se recomienda la codigestión en las lagunas anaerobias, salvo que en la mezcla el sustrato principal sea altamente biodegradable.

B. DIGESTORES COMPLETAMENTE MEZCLADOS (CSTR)

Los digestores completamente mezclados (CSTR -por sus siglas en inglés-) son digestores anaerobios de alta tasa y cuentan con agitación y regularmente son de una sola etapa; se construyen en acero o concreto. Este reactor es mezclado, generalmente sin interrupción, pero puede ser operado por lotes. Debido al mezclado, se recomienda que el contenido de sólidos totales en la mezcla de sustratos no exceda el 15% para mantener condiciones de digestión anaerobia húmeda. El tiempo de retención se ubica en el rango entre 15 a 30 días, dependiendo del tipo de sustrato y su temperatura. Con sustratos que incluyan grasas y proteínas u otros materiales lentamente biodegradables, el tiempo de retención podría ser mayor a 30 días. Pese a que es una tecnología con tiempos de residencia largos (mayores a las tecnologías de digestión seca) esta tecnología tiene la ventaja de la simplicidad de operación. Este tipo de digestor es recomendado para la codigestión de sustratos orgánicos.



Digestor Completamente Mezclado (CSTR)

PTAR Sistema Ecológico (CCM-Heineken); in Toluca, Estado de México

Las etapas de acondicionamiento para esta tecnología incluyen trituración y homogenización de los sustratos; en algunas ocasiones se requiere la remoción de sólidos gruesos inertes. Para mantener el contenido total de sólidos menor al 15%, se necesita usar sustratos con bajo contenido de sólidos como el lodo residual de plantas de tratamiento, o bien se necesita adicionar agua, lo que incrementa el volumen del digestor, lo que a su vez incrementa los costos de inversión.

La temperatura es un importante parámetro por considerar para el diseño de un digestor. Normalmente, los digestores CSTR son clasificados como mesofílicos operando a temperaturas entre 30 y 45°C o bien termofílicos cuando se manejan temperaturas entre 50-60°C. La elección de la temperatura de operación puede estar en función de la disponibilidad y origen del sustrato, la logística del sitio del proyecto, los costos de calentamiento y el uso final del digestato. Los sistemas termofílicos pueden proveer una eficiencia adicional de destrucción de patógenos en comparación con los sistemas mesofílicos. Sin embargo, esta eficiencia adicional implica la necesidad de utilizar mayor energía para calentar y mantener el digestor entre 52 y 55°C, la temperatura termofílica óptima.

Sistemas de calentamiento. Los digestores deben mantenerse a alta temperatura de manera constante para asegurar un rendimiento óptimo de gas y una operación estable. Los requerimientos de calor pueden ser cubiertos por la cogeneración o sistema de calentamiento de gas suplementario (especialmente durante el arranque), lo cual provee agua caliente al digestor. El agua caliente transmite calor al líquido del digestor por el uso de un intercambiador de calor.

Sistemas de mezclado. Existen tres formas de mezclar los digestores CSTR: biogás comprimido, agitación mecánica o agitación hidráulica.

A continuación, se muestran los criterios de diseño para los digestores completamente mezclados:

Carga orgánica: Depende del sustrato, así como de la temperatura y del proceso. Los valores típicos se encuentran en el intervalo de 1 a 5 $\text{kg}_{\text{SV}}/\text{m}^3\text{d}$

Tiempo de retención hidráulica (TRH): Como se ha mencionado previamente, el tiempo típico se encuentra entre 15 y 30 días, considerando que, dependiendo de las condiciones podría ser mayor a 30 días.

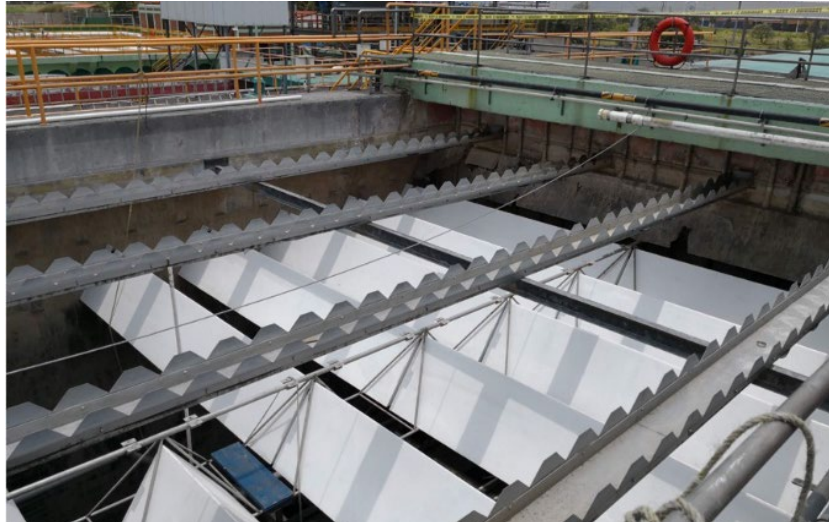
C. REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)

El reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB, por sus siglas en inglés) es un reactor utilizado ampliamente para tratar descargas industriales de las destilerías, plantas de cerveza, plantas alimenticias de proceso y aguas residuales de alta concentración orgánica. El sustrato líquido entra al reactor desde el fondo y asciende a través de la cama de lodos granulares que se encuentra suspendida, donde los compuestos orgánicos son degradados de forma anaerobia. El efluente clarificado se extrae del fondo del tanque. El reactor UASB incluye un separador sólido-líquido, un sistema de distribución de influente y un sistema de extracción de efluentes.

El contacto entre el lodo y el sustrato se garantiza por medio del sistema de distribución del influente, la tasa de ascenso del sustrato y el movimiento libre de burbujas de biogás, lo que permite una mezcla adecuada sin necesidad de asistencia mecánica. En este reactor se aceptan cargas mayores que en los reactores de lodo floculento. Adicionalmente, los separadores (campanas) permiten que el gas se retire del sistema, evitando sacar lodo en el efluente tratado. Los reactores UASB pueden construirse de concreto o de algún otro material hermético como acero inoxidable o acero al carbón recubierto de materiales resistentes a la corrosión en tanques apertados, en sección circular o rectangular.

Los parámetros críticos en el diseño del reactor UASB son el pH, la temperatura, la demanda química de oxígeno (DQO), la carga orgánica volumétrica, el tiempo de retención hidráulica y la velocidad interior de ascenso. La temperatura y el pH son parámetros importantes para el diseño de un digestor anaerobio de tipo UASB, laguna anaerobia o reactor CSTR, como se ha mencionado en las descripciones de los procesos previos.

Carga de DQO: Los influentes deben contar con una concentración superior a 600 $\text{mg}_{\text{DQO}}/\text{L}$, porque en concentraciones menores, la digestión anaerobia no es la más adecuada. Las concentraciones óptimas son mayores a 2 000 $\text{mg}_{\text{DQO}}/\text{L}$ y no se conoce un límite superior.



Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)

Carga orgánica volumétrica: Depende del sustrato, así como de la temperatura y del proceso. Típicamente, varía entre 4 y 12 $\text{kg}_{\text{DQO}}/\text{m}^3\cdot\text{d}$.

Tiempo de retención hidráulica (TRH): Típicamente, 5 días o menos.

Velocidad ascendente: La velocidad ascendente se debe mantener entre 0.7 y 1 m/h para conservar la cama de lodos suspendidos y al mismo tiempo no debe ser muy grande para prevenir el lavado del reactor (evacuación de lodo que sucede debido a las altas velocidades ascendentes).

Usualmente, no se requiere sedimentación primaria antes del reactor UASB; además, la codigestión es recomendable siempre y cuando los SST sean mantenidos debajo de 2 000 mg/L y que los sólidos sean fácilmente biodegradables.

5. PROS Y CONTRAS DE CADA TECNOLOGÍA

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Laguna Anaerobia (LA)	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo de inversión • Operación simple • Estabilización razonable de residuos orgánicos a un costo operativo muy bajo • No se requiere energía adicional (no se calientan ni se mezclan) • Menos costosos de operar 	<ul style="list-style-type: none"> • Variable y regularmente baja tasa de producción de biogás. • Requieren una superficie relativamente grande • Las condiciones ambientales impactan directamente la operación (p. ej. fluctuaciones de temperatura) • La remoción de sedimentos puede ser difícil
Digestor Completamente Mezclado (CSTR)	<ul style="list-style-type: none"> • Alta eficiencia de la digestión anaerobia • Alta producción de biogás • Operación continua o por lotes • Buen control de temperatura y buen control, en general • Fácilmente automatizable • Mezclado casi perfecto • Extensamente modelado (comportamiento predecible) • Conveniente para un amplio número de sustratos y para codigestión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayores costos de inversión y de operación que para una LA • Alto desgaste de los impulsores si se utiliza agitación mecánica • Menor conversión por unidad de volumen comparado con un reactor UASB y menor eficiencia de conversión de la DQO a metano • Partes internas móviles • Requerimiento forzoso de diseño, construcción y operación realizados por expertos • Requiere energía para calentamiento y agitación
Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)	<ul style="list-style-type: none"> • Alta eficiencia anaeróbica (debido a una alta conversión de DQO a biogás) • Operación continua • Puede soportar altas cargas orgánicas e hidráulicas • Baja demanda de superficie • Puede construirse soterrado • Para construirlo es posible utilizar materiales disponibles la localidad • No se requiere calentamiento del reactor 	<ul style="list-style-type: none"> • El tratamiento podría ser inestable con cargas hidráulicas u orgánicas que sean variables • Largo tiempo de arranque para que trabaje a plena capacidad • No adecuado para regiones frías • Requerimiento forzoso de diseño, construcción y operación realizados por expertos • Mayores costos de capital en comparación con una LA, pero inferiores a los requeridos por un reactor CSTR • No se recomienda para tratar influentes con altas concentraciones de sólidos suspendidos

6. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE COSTEO Y ENTRADA DE DATOS

Para estimar los costos, se consideraron tres tamaños de reactores para cada una de las tres tecnologías (laguna anaerobia, digestor completamente mezclado y reactor anaerobio de flujo ascendente), de forma que se realizara un método de estimación de escala.

- **Laguna Anaerobia (LA):** Tamaños de reactor de 250, 2 000 y 15 000 m³.
- **Digestor Completamente Mezclado (CSTR):** Volúmenes de digestores considerados: 200, 1 000 y 5 000 m³
- **Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB):** 50, 500 y 3 000 m³ fueron los volúmenes considerados.

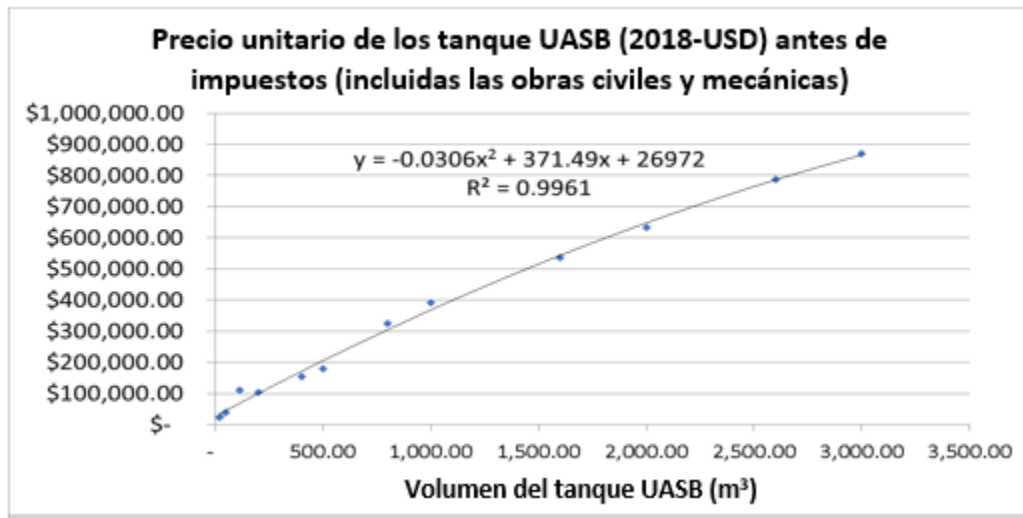
Sin embargo, debido a que el volumen de los digestores y el biogás obtenido no son necesariamente, proporcionales al flujo másico del sustrato (ya que dependen de la concentración de materia orgánica en el sustrato), se consideraron cotizaciones de proyectos previamente ejecutados. Asimismo, se obtuvieron cotizaciones para equipos críticos como el gasholder, quemadores, tanques y cogeneradores. Las cotizaciones correspondieron; así como otras cotizaciones para los equipos principales de cada tecnología.

Los costos de la obra civil y mecánica fueron estimados con los precios de materiales vigentes al final del año 2018.

En relación con la tubería y equipos auxiliares, el costo fue estimado como un porcentaje del costo del equipo y sistemas principales con base en la experiencia práctica de cada tecnología.

Con las estimaciones de los tamaños predeterminados se hicieron modelos para permitir la interpolación o extrapolación de los tamaños de procesos que no habían sido cotizados por separado.

Para algunos elementos, debido al amplio rango de tamaños se obtuvieron más de una función matemática. Además, los modelos se restringieron para que el costo del sistema más pequeño fuera considerado siempre como el valor más bajo disponible (límite inferior de la estimación de costos)



Ejemplo de modelo empleado para el costeo

Los modelos correlacionan el costo con los parámetros de selección más importantes para cada equipo o proceso. El parámetro pudo ser el flujo másico, el flujo volumétrico, el volumen, el contenido energético u otros.

¿QUÉ INCLUYE CADA TECNOLOGÍA?

Acondicionamiento y pretratamiento

Si se requiere, de acuerdo con las características físicas del sustrato, se pueden concebir sistemas de acondicionamiento o pretratamiento, independientemente de la tecnología de digestión anaerobia a simular. Por lo que, las operaciones de acondicionamiento y pretratamiento se presentan antes de los procesos de digestión anaerobia.

Si el sustrato es líquido, entonces el proceso más recomendado será el reactor UASB o la laguna anaerobia (sustratos líquidos: lixiviados de rellenos sanitarios, suero de leche, vinaza, corriente roja de centros de sacrificio y el nejayote). El reactor UASB es generalmente más eficiente y asequible que el digestor de alta tasa. Por otro lado, la laguna anaerobia es la opción de menor costo de todas y no tiene restricciones en las concentraciones de sólidos. El pretratamiento para los sustratos líquidos incluiría cribado grueso y fino, ajuste de pH y homogenización. Para estos casos, en la estimación de costos se incluye el polipasto, los contenedores de sólidos, la tolva y las bombas.

Por otra parte, si el sustrato es sólido o contiene alguno de los siguiente en la mezcla: fracción orgánica de los residuos sólidos (FORSU), desechos de alimentos (de restaurantes), residuos de mercados, residuos de nopal, lirio acuático (jacinto de agua), y corriente verde de centros de sacrificio; el pretratamiento preconcebido incluye trituración, homogenización y ajuste del pH previo al digestor CSTR o a la LA.

Para la corriente roja de centros de sacrificio, que se debe digerir preferentemente en un reactor UASB, se requiere el uso de una unidad de separación de grasas por flotación con aire disuelto (*dissolved air flotation - DAF*) antes del reactor UASB. El costo de esta operación unitaria incluye la obra civil y mecánica, así como el compresor y los equipos auxiliares.

Manejo de biogás

La única diferencia entre cada uno de los procesos es la operación de la digestión anaerobia, con otras pequeñas diferencias en algunos casos. De esa manera, las operaciones relacionadas con el tratamiento y acondicionamiento de biogás son similares para las tres tecnologías principales. Las instalaciones para el manejo de biogás incluyen gas holder, quemador y desulfuración si es necesario.

Gas holder: Incluye entradas y salidas, membranas impermeables al gas, panel de control y conexiones.

Quemador de biogás: Incluye accesorios (sistema de válvulas de alivio y presión con arrestaflama, válvula antirretorno, trampas de sedimentos, válvulas reguladoras de presión, etc.).

Desulfuración: La tecnología de desulfuración depende del flujo másico del azufre a ser removido. El sistema puede ser de microaireación en el digestor, filtro de óxido férrico, filtro biológico y lavador alcalino de gases con filtro biológico. El costo de esta etapa incluye obras civil, mecánica, así como accesorios y equipo.

Deshidratación de lodos

Si no es posible aprovechar el digestato para fines agrícolas (aprovechando así sus nutrientes como biofertilizante) entonces es necesario retirar agua del digestato para poder manejarlo. Esto puede ser obtenido en lagunas de sedimentación o en operaciones unitarias para el desaguado o secado.

Una laguna de sedimentación se considera sólo en caso de haber considerado una laguna anaerobia en el proceso. Se incluye el costo de la excavación y la cobertura.

Para todas las tecnologías se requiere desaguado de lodos, como un filtro prensa o un separador centrífugo, dependiendo de la cantidad de lodo que se deshidratará. La estimación contempla el costo de la bomba de purga para el lodo anaerobio, el contenedor de sólidos y el compresor de aire.

Cogeneración de energía eléctrica y calor

El proceso puede desarrollarse con un motor de combustión interna o una microturbina, de acuerdo con la cantidad de biogás generado y el contenido de metano. La estimación del costo incluye obras civil y mecánica.

Tecnología de digestión anaerobia

LAGUNA ANAEROBIA (LA)

El proceso que tiene como etapa principal una laguna anaerobia, incluye el costo de la laguna: excavación, liner, geomembrana y cubierta para recolectar biogás. Asimismo, incluye la obra civil, mecánica y eléctrica pertinente.

DIGESTOR COMPLETAMENTE MEZCLADO (CSTR)

El proceso que incluye el digestor de alta tasa considera costos de tanques, obra civil, mecánica, eléctrica, instrumental y de los equipos requeridos. Como los equipos principales son el mezclador y el intercambiador de calor, se incluye obra civil y mecánica para su instalación.

REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)

La estimación del costo del sistema UASB incluye el propio costo del tanque, la caja de distribución primaria, la bomba de recirculación, el polipasto de la bomba, las cajas de recepción y el sistema de captura de biogás. Se incluye, asimismo, la obra civil, eléctrica y mecánica.

¿CÓMO USAR EL BIOGAS TOOL?

Consideraciones generales

Esta Guía de Usuario le mostrará todos los elementos del Biogas Tool para facilitar la utilización.

Se debe considerar que en todas las hojas del Biogas Tool se muestra y la información general del proyecto (nombre del proyecto, escenario, responsable, fecha y ubicación).

Proyecto:		Fecha:	
Escenario:		Lugar:	
Responsable:			

Si el usuario desea, puede ingresar su propia información o datos particulares del proyecto en las celdas azules a lo largo del Biogas Tool. Las celdas amarillas solo muestran los datos predefinidos o calculados (no se pueden modificar).

Usuario	Predefinido

Los botones de navegación permiten al usuario avanzar y retroceder entre las diferentes hojas del Biogas Tool.

Ir a Diseño Técnico y Estimación de Inversión

Antes de entrar de lleno con las instrucciones, es importante mencionar que, en el lado derecho de cada una de las páginas principales se encuentran los botones de navegación. Además, se recomienda seguir la secuencia de navegación dentro de las pestañas principales: Entrada de Datos y Resultados. También se muestran las secciones de soporte: Hojas de Datos

en cada una de las páginas principales del lado derecho están los botones de navegación. Además, se sugiere la secuencia de navegación dentro de las pestañas principales: Entrada de datos y Resultados. También se muestran las secciones de soporte: páginas de datos, las cuales son opcionales de seguir.

Biogas Tool
Entrada de Datos Técnicos

Proyecto: _____ Fecha: _____
Escenario: _____ Lugar: _____
Responsable: _____

Tipo y Cantidad de Sustrato

Ingrese el tipo y la calidad de las materias primas a utilizar en la primera tabla. Asimismo, si se tienen los datos, agregue las caracterización de los sustratos en las columnas siguientes.

Tipo	Cantidad (Ton/año)	Materia seca ST (%)		Densidad	Sólidos volátiles SV/ST		Potencial de metano				Contenido de metano		Contenido de grasa		Biodegradabilidad				
		ton/m ³		ton/m ³	SV/ST	m ³ gas/ton sustrato		GJ/ton		% /100		% en sólidos totales		(1-5)					
		Usuario	Predéf.	Usuario	Predéf.	Usuario	Predéf.	Usuario	Predéf.	Usuario	Predéf.	Usuario	Predéf.	Usuario	Predéf.				
Estiércol de aves	21,900.00		29.90		0.35		0.65		175.00		35.50		6.30		0.60		0.00		3.00

Además, cada una de las secciones de soporte contienen botones para volver a la sección que se estaba revisando o a la Pestaña General.

Biogas Tool
Base de datos de Sustratos

Proyecto: _____ Datos: _____
Escenario: _____ Lugar: _____
Responsable: _____

Finalmente, también hay botones que permiten ir más fácilmente a las secciones dentro de una página.

Biogas Tool
Evaluación económica

Proyecto: _____ Fecha: _____
Escenario: _____ Lugar: _____
Responsable: _____

Costos de inversión (CAPEX)

Laguna Anaerobia (LA)

OPEX | INGRESOS | ANÁLISIS FINANCIERO

Instrucciones:

- i. Seleccione el nombre del sustrato a evaluar de la lista. Si el sustrato de interés no se encuentra en la lista, seleccione "Otro" e ingrese la información necesaria como: materia seca, densidad, sólidos volátiles, potencial de metano, contenido de grasa y biodegradabilidad. Ingrese la cantidad de sustrato a evaluar. Cuando se evalúa un sustrato líquido (únicamente), se debe considerar una cantidad de 50 ton/d (aproximadamente), de lo contrario el costeo muestra error por el tamaño tan pequeño de los equipos.

Tipo	Cantidad (Ton/año)	Materia seca	
		ST (%)	
		Usuario	Predef.
Estiércol de aves	21,900.00		29.90
Residuos de alimentos (restaurantes)	10,000.00		24.50

Tipo	Cantidad (Ton/año)
Estiércol de aves	21,900.00
Estiércol de aves	10,000.00
Estiércol de cerdo	
Estiércol vacuno (carne)	
Estiércol vacuno (leche)	
FORSU (Fracción Orgánica de Residuos)	
Lodo de PTAR	
Residuos de alimentos (restaurantes)	
Residuos de mercados	

- ii. Si está interesado en revisar las características del sustrato, seleccione el botón para acceder a la base de datos de los sustratos. No es necesario acceder a esta sección para continuar con la simulación.

Danish Energy Agency		Ea Energy Analyses		IB Tech										
Regresar a la Pestaña General		Biogas Tool				Regresar a la Entrada de Datos Técnicos								
Base de datos de Sustratos														
Proyecto:		Datos:												
Escenario:		Lugar:												
Responsable:														
Sustrato	Materia seca ST (%)	Sólidos volátiles SV/ST	Potencial de biogás Nm ³ CH ₄ /ton SV	Potencial de biogás m ³ CH ₄ /ton biomasa	Potencial de biogás GJ/ton	Contenido de metano en el biogás %/100	Contenido de H ₂ S en el biogás %	Biodegradabilidad (1-5)	Grasa % en sólidos totales	Relación C/N	Densidad ton/m ³	Relación SST/ST	Relación DQO/SV	N total kg _N /ton _{ST}
Estiércol de aves	29.90	0.65	175.00	35.50	6.30	0.68	0.35	3.00	0.00	9.50	0.35			16.00
Estiércol de cerdo	32.00	0.64	300.00	31.50	10.80	0.58	0.99	3.00	3.23	10.00	1.13			70.00
Estiércol vacuno (carne)	55.00	0.64	270.00	20.80	9.70	0.58	1.00	3.00	0.00	10.00	1.13			10.10
Estiércol vacuno (leche)	10.00	0.85	136.00	13.90	4.90	0.55	0.40	2.00	3.23	13.00	0.97			90.00
FORSU (Fracción Orgánica de Residuos)	29.70	0.75	400.00	90.00	14.40	0.65	0.09	5.00	17.50	12.70	1.00			5.40
Lodo de PTAR	7.00	0.70	400.00	11.20	14.40	0.63	0.50	2.00	1.90	15.00	1.05			20.00
Residuos de alimentos (restaurantes)	24.50	0.89	400.00	90.00	14.40	0.57	0.04	5.00	13.50	17.50	0.80			15.00
Residuos de mercados	25.00	0.90	367.00	82.50	13.20	0.60	0.99	4.00	17.50	28.00	0.63			110.00

- iii. Revise las características de la mezcla de sustratos en el resumen. Se puede observar el balance de masa completo si se selecciona un botón; de igual manera, no es necesario para continuar con la revisión del proceso principal.

Características del sustrato a ser utilizado							
Tipo	Q total (Ton/a)	Materia seca ST (%)	Sólidos volátiles SV/ST	Potencial de biogás m ³ CH ₄ /t SV	Potencial de biogás m ³ CH ₄ /t biom	GJ/ton	Contenido de grasa % en sólidos totales
Mezcla de sustratos	31,900.00	28.21	0.72	251.22	52.58	9.04	3.68

Regresar a la Pestaña General	Balance de Masa															Regresar a la Entrada de Datos Técnicos				
Sustrato	Cantidad (ton/a)	Materia seca ST (%)	Densidad (Ton/m ³)	Flujo (m ³ /a)	Flujo másico de sólidos (ton/a)	Sólidos volátiles (SV/ST)	Flujo másico de sólidos volátiles (ton/a)	Potencial de metano (m ³ /t _{VS})	Producción de metano al año (m ³ /a)	Potencial de metano (m ³ /a/ton _{SS})	Producción de metano al año (m ³ /a)	Potencial de metano (GJ/ton _{SS})	Contenido de metano en el biogás (%/100)	Contenido de azufre en el biogás (%/100)	Energía generada al año (GJ/a)	Contenido de grasa (en % of ST)	Flujo másico de grasa (ton _{grasa} /a)	Flujo másico de DQO (ton _{DQO} /a)	Flujo másico de SST (ton _{SST} /a)	Contenido de N kg _N /ton _{SS}
Estiércol de aves	21.900.000	29.900	0.350	62.571.429	6.548.100	0.650	4.256.265	175.000	744.846.375	35.500	777.450.000	6.300	0.675	0.350	26.814.470	0.000	0.000			16.000
Residuos de alimentos (restaurant)	10.000.000	24.500	0.800	12.500.000	2.450.000	0.890	2.180.500	400.000	872.200.000	90.000	900.000.000	14.400	0.565	0.040	31.399.200	13.500	330.750			15.000
Co-sustrato	31.900.000	28.207	0.425	75.071.429	8.998.100	0.718	6.436.765	251.220	1.617.046.375	52.595	1.677.450.000	9.044	0.641	0.252	58.213.670	3.676	330.750	0.000	0.000	15.687

- iv. Tome nota de la validación de parámetros, ya que puede ser importante para la viabilidad técnica de un proyecto. Si algún parámetro no es adecuado o se encuentra fuera del rango recomendado, se muestra una sugerencia para que los datos sean cambiados. Sin embargo, la herramienta permite continuar con el dimensionamiento, aunque se haga una advertencia sobre un valor. Además, es importante mencionar que los asteriscos indican ausencia; es decir, que no hay sustrato a recomendar para incrementar la biodegradabilidad.

Validación de parámetros

La herramienta realiza una primera evaluación de la materia prima seleccionada y realiza comentarios sobre los parámetros clave relevantes para la elección de la tecnología.

No es necesario que la validación de los parámetros sea positiva para poder avanzar con la revisión de los resultados. Es solo una recomendación para obtener los mejores resultados.

Parámetro	Validación	Comentarios
Producción de biogás	✓	
Contenido de sólidos	✗	The solids content is not recommended for wet digestion. It is suggested to increase the proportion of wet substrate, otherwise sizing and costing will be out of reality
Biodegradabilidad	✓	
G & A	✓	

- v. Lea las tecnologías recomendadas para el sustrato evaluado (en cualquier caso, se recomiendan lagunas anaerobias); puede recomendarse Digestor Completamente Mezclado (CSTR) o Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB), los cuales son mutuamente excluyentes. UASB se selecciona para sustratos líquidos (los seis mencionados donde se explica cada tecnología); mientras que CSTR es sugerido para el resto de los sustratos y para codigestión.
- vi. Seleccione la tecnología a ser evaluada, independientemente de la recomendación. La celda amarilla muestra las tecnologías recomendadas, mientras que en la celda azul se puede seleccionar la tecnología a evaluar.

Selección de tecnología

De acuerdo con la caracterización de los sustratos, la (s) tecnología (s) de digestión recomendada (s) para la producción de biogás es (son):

Digestor Completamente Mezclado (CSTR) o Laguna Anaerobia (LA)

Seleccione la tecnología en ser analizada por la herramienta




Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)

- vii. Además de la capacidad de seleccionar la tecnología de digestión anaerobia, el usuario también puede seleccionar la utilización que se le dará al biogás: Producción de calor -caldera-, Generación de electricidad, Cogeneración de calor y energía, Quemado de biogás y Venta de biogás crudo.

Seleccione el uso del biogás

Cogeneración de calor y energía

- viii. Después de ingresar los datos técnicos, haga clic en el botón “Ir a Entrada de datos económicos” para ingresar los suministros y los costos de energía, si es que se tienen. En esta pestaña es posible introducir otros parámetros económicos como los relacionados con la evaluación del proyecto. Si no se tienen los valores, las celdas de “Usuario” se dejan en blanco; de esta manera, el simulador selecciona los valores predefinidos.


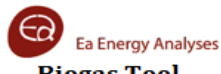

 Danish Energy Agency		 Ea Energy Analyses			
Biogas Tool					
Entrada de Datos Económicos					
Proyecto:		Fecha:			
Escenario:		Lugar:			
Responsable:					

Costos de suministros y energéticos					
Nota: El tipo de cambio peso-dólar utilizado es noviembre de 2018					
Costo del terreno					
Concepto	Costo unitario (USD/m²)				
	Usuario	Predefinido			
Terreno		\$50.00			
Costos de reactivos					
Concepto	Costo unitario (USD/kg)				
	Usuario	Predefinido			
Costo por disposición de sólidos * Con el proyecto del sistema anaerobio y biogás					
Concepto		Costo unitario (USD)			
		Usuario	Predefinido		
Transportación (por m ³) (divido por 14 m ³ -capacidad)			\$1.69		
Disposición (por tonelada)			\$12.11		
Costos por disposición de sólidos * Sin el proyecto del sistema anaerobio y biogás					
Concepto		Costo unitario (USD)			
		Usuario	Predefinido		
Transportación (por m ³) (divido por 14 m ³ -capacidad)			\$1.69		
Disposición (por tonelada)			\$12.11		

- ix. En la hoja de Entrada de Datos Económicos:
- El tipo de combustible que se reemplazará por cogeneración y el estado mexicano donde se ubica la planta
 - El Estado Mexicano para la estimación del costo de electricidad
- x. Los ajustes de los costos pueden incluir:
- Costo del terreno
 - Costo por disposición de sólidos con el proyecto de biogás
 - Costo por disposición de sólidos sin el proyecto de biogás
 - Costos de reactivos químicos

- e. Costos del combustible
- f. Costo del fertilizante
- g. Costos de interconexión y Certificados de Energía Limpia (CEL)
- h. Tiempo de evaluación del proyecto, inflación, máximo periodo de retorno y tasa de retorno mínima aceptable (TREMA) para la evaluación financiera.

xi. Después de ingresar los datos económicos, se sugiere ir a la primera pestaña de resultados: Diseño Técnico y Estimación de Inversión

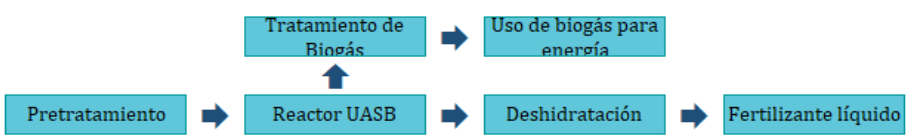




Biogas Tool

Diseño Técnico y Estimación de Inversión

Proyecto:	Fecha:
Escenario:	Lugar:
Responsable:	

Diagrama de Proceso



Tren de tratamiento basado en el sustrato:

Solid feedstock → Solids separation → Trituration → pH adjustment → Homogenization

Procesos requeridos según el uso del biogás seleccionado:

Cogeneración de calor y energía: Tratamiento de biogás → Cogenerador & Quemador

Si el uso de biogás es para la producción de calor en una caldera o si solo se quema, no es necesario el tratamiento del biogás. Sin embargo, todas la tuberías deben ser de acero inoxidable.

Cálculos

XXX	Cálculo o liga	XXX	Dato
	(Vacío en gris)= No aplica para la tecnología a ser evaluada		

*** Nota** Revise toda la hoja hasta la presentación de costos. Aunque aparezcan muchas celdas en gris, no significa que los cálculos hayan terminado.

Parámetro	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad
Tipo de sustrato:	Mezcla de sustratos	t/a		
		31,900.00	t/d	87.40

xii. Además, en el lado derecho de la página se puede seleccionar “Ir a la Lista de Equipos y Costos” para ver el costeo de los equipos y procesos principales.



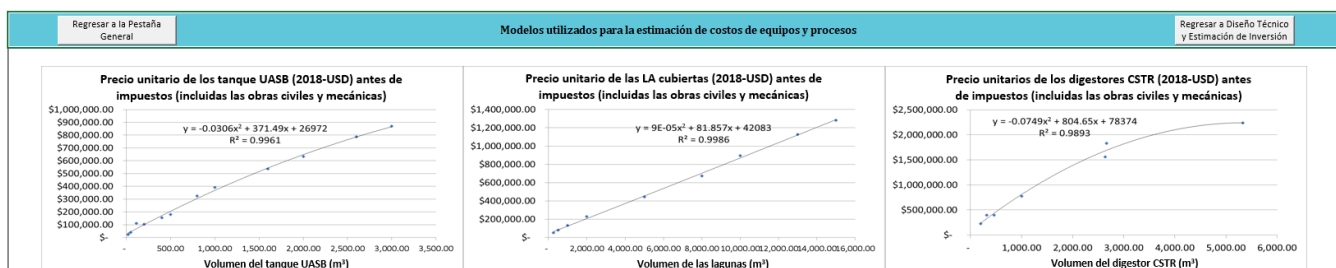
Lista de equipos y costos

Descripción		Unidad	Capacidad	Unidad	Capacidad	Costo (USD-2018)	
Pretratamiento (AMBAS TECNOLOGÍAS)							
Sustrato líquido							
Sustrato sólido	Molienda	Incluye obra civil y mecánica.	kg/h	1,141.55		\$23,113.59	
	Neutralización	Incluye obra civil y mecánica.	m ³	17.14	m ³ /h	8.57	\$12,947.16
Proceso principal							
Laguna anaerobia (LA)		Incluye excavación, revestimiento, geomembrana y cubierta para recolección de biogás.	m ³	8.817.49	SRT (d)	42.87	\$770,853.30
Almacenamiento, quemador y tratamiento de biogás							
Laguna Anaerobia (LA)	Gas holder	Incluye capas externas e internas, membrana y placa de interfaz herméticas y conexiones.	m ³	2,000.00	RT (h)	6.00	\$189,689.00
	Quemador de biogás	Incluye accesorios (sistema de alivio de vacío y presión con arretasflamas, válvula de retención, trampa de condensados)	m ³ /h	259.38			\$217,851.75
	Desulfurización	Filtro Biológico	Incluye obra civil y mecánica	kg H ₂ S/d	16.86		\$301,706.12

xiii. Opcionalmente, se encuentran las secciones: Criterios de Diseño para el Pretratamiento, Criterios de Diseño para las Principales Tecnologías y los Modelos para la Estimación de Inversión

Opcional

- Ver los Criterios de Diseño para el Pretratamiento
- Ver los Criterios de Diseño para las Principales Tecnologías
- Ver los Modelos para la Estimación de Inversión



- xiv. Esta hoja (Diseño Técnico y Estimación de Inversión) incluye la memoria de cálculo del proceso, el cual se presenta debajo del Diagrama de proceso, la cual incluye lo siguiente:
- Propiedades de la materia prima
 - Propiedades del biogás
 - Ajuste de pH
 - Digestión anaerobia con las tecnologías recomendadas
 - Generación de lodo
 - Producción de biogás
 - Desulfurización del biogás
 - Tratamiento del lodo
 - Cogeneración
 - Cálculo de ahorros por generación de energía eléctrica
 - Estimación de la superficie del terreno
- xv. Después de revisar a memoria de cálculo y el costeo, se sugiere continuar con la segunda pestaña de resultados: Evaluación Económica. Esta hoja presenta el CAPEX, el OPEX y el Análisis Financiero.

Proyecto:		Fecha:			
Escenario:		Lugar:			
Responsable:					
Costos de inversión (CAPEX)					
		OPEX	INGRESOS		
		ANÁLISIS FINANCIERO			
Laguna Anaerobia (LA)					
Estimación de Costos de Inversión					
Concepto (incluye obra civil, mecánica y de tubería)		Estimación por el Biogas Tool		Estimación por el usuario	Estimado utilizado
		USD	USD	USD	USD
Molienda	¿Desea incluir este concepto en el costeo?	Sí	\$23,113.59		\$23,113.59
Neutralización	¿Desea incluir este concepto en el costeo?	Sí	\$12,947.16		\$12,947.16
Laguna Anaerobia (LA)	¿Desea incluir este concepto en el costeo?	Sí	\$770,853.30		\$770,853.30
Gas Holder	¿Desea incluir este concepto en el costeo?	Sí	\$189,689.00		\$189,689.00
Queimador de biogás	¿Desea incluir este concepto en el costeo?	Sí	\$217,851.75		\$217,851.75
Desulfurización	¿Desea incluir este concepto en el costeo?	Sí	\$301,706.12		\$301,706.12
Laguna de sedimentación	¿Desea incluir este concepto en el costeo?	Sí	\$75,770.13		\$75,770.13
Centrifuga de lodos	¿Desea incluir este concepto en el costeo?	Sí	\$581,773.44		\$581,773.44
CHP de Combustión Interna	¿Desea incluir este concepto en el costeo?	Sí	\$1,202,651.33		\$1,202,651.33
COSTO TOTAL DE LA INVERSIÓN (ESTIMACIÓN POR LA HERRAMIENTA DE BIOGÁS)					\$3,376,355.83
COSTO TOTAL DE LA INVERSIÓN QUE SE UTILIZARÁ EN LA EVALUACIÓN FINANCIERA					\$3,376,355.83
COSTO DE LA INGENIERÍA DE PROCESOS Y GESTIÓN DE PROYECTOS (ESTIMACIÓN POR LA HERRAMIENTA DE BIOGÁS)					\$135,054.23
COSTO DE LA INGENIERÍA DE PROCESOS Y GESTIÓN DE PROYECTOS (ESTIMACIÓN POR EL USUARIO)					\$135,054.23
COSTO DE LA INGENIERÍA DE PROCESOS Y GESTIÓN DE PROYECTOS QUE SE UTILIZARÁ EN LA EVALUACIÓN FINANCIERA					\$135,054.23
COSTO DE LA PUESTA EN MARCHA Y DE SERVICIO (ESTIMACIÓN POR LA HERRAMIENTA DE BIOGÁS)					\$15,420.20
COSTO DE LA PUESTA EN MARCHA Y DE SERVICIO (ESTIMACIÓN POR EL USUARIO)					\$15,420.20
COSTO DE LA PUESTA EN MARCHA Y DE SERVICIO QUE SE UTILIZARÁ EN LA EVALUACIÓN FINANCIERA					\$15,420.20
TERRENO	Terreno disponible - por el usuario - (m ²)	\$23,000.00	COSTO DEL TERRENO (ESTIMACIÓN POR LA HERRAMIENTA DE BIOGÁS)		\$1,150,000.00
			COSTO DEL TERRENO (ESTIMACIÓN POR EL USUARIO)		\$1,150,000.00
BENEFICIOS FISCALES					
OTROS					
CAPEX					\$4,676,830.26

- xvi. Los costos de inversión (CAPEX) y los costos de operación (OPEX) se muestran en diferentes secciones para las dos tecnologías que se muestran (Laguna Anaerobia [LA] y Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente [UASB] o Digestor Completamente Mezclado [CSTR]).

- xvii. Tenga en cuenta que los proyectos que superen los 0.5 MWh/h de capacidad instalada tienen que solicitar el permiso a la Comisión Reguladora de Energía (CRE) de México.
- xviii. El usuario puede seleccionar las operaciones unitarias (conceptos) que se incluirán en la estimación del CAPEX. Es posible modificar el precio unitario por usuario para:
 - a. Suministros
 - b. Inversión total
 - c. Ingeniería del proceso
 - d. Arranque
 - e. Terreno
 - f. Impuestos y otros gastos aplicables
- xix. El usuario podrá modificar los costos mensuales del OPEX:
 - a. Personal
 - b. Administración
 - c. Mantenimiento
 - d. Laboratorio
 - e. Reactivos químicos
 - f. Biosólidos
 - g. Energía
 - h. Tratamiento de biogás
 - i. Otros costos aplicables

Costos de Operación (OPEX)			
INGRESOS			
CAPEX			
Laguna Anaerobia (LA)			
Concepto	Costo mensual (USD) por el Biogas Tool	Costo mensual (USD) por el usuario	Costo mensual (USD) para usar en la evaluación financiera
Costos de personal	\$2,197.03		\$2,197.03
Costos administrativos			
Concepto	Costo mensual (USD) por el Biogas Tool	Costo mensual (USD) por el usuario	Costo mensual (USD) para usar en la evaluación financiera
Costos de seguro			\$0.00
Servicios de línea telefónica	\$750.00		\$750.00
Servicios de limpieza	\$100.00		\$100.00
Equipos de protección personal	\$75.00		\$75.00
SUBTOTAL DE COSTOS ADMINISTRATIVOS			\$925.00
Costos de mantenimiento			
Concepto	Costo mensual (USD) por el Biogas Tool	Costo mensual (USD) por el usuario	Costo mensual (USD) para usar en la evaluación financiera
Vehículos	\$200.00		\$200.00
Edificios	\$105.51		\$105.51
Estructuras y tanques de concreto	\$844.09		\$844.09
Estructuras y tanques de acero	\$467.77		\$467.77
Tuberías	\$80.19		\$80.19
Equipo eléctrico (CCM, paneles)	\$337.64		\$337.64
Equipo electromecánico	\$2,250.90		\$2,250.90
SUBTOTAL DE COSTOS DE MANTENIMIENTO			\$4,286.09




- xx. El usuario puede ver y modificar los ingresos y ahorros económicos del proyecto de biogás, como:
 - a. Venta del digestato
 - b. Ahorros por electricidad
 - c. Venta de Certificados de Energías Limpias
 - d. Ahorros por calor

- e. Ahorros por transporte
- f. Ahorros por disposición de residuos

- xxi. En la última parte de esta pestaña se encuentra el Análisis Financiero. El usuario puede ver el flujo de efectivo del proyecto de biogás dentro de la ventana de tiempo establecida en la hoja de entrada de datos económicos.
- xxii. Se muestra el periodo de recuperación de la tasa interna de retorno (TIR) final y el valor actual neto (VAN) para evaluar el caso de negocio.

Análisis financiero							
Laguna Anaerobia (LA)							
CONCEPTO		UNIDAD		CANTIDAD			
Inversión		USD		\$4.676.830,26			
Ahorros		USD/año		\$1.356.581,25			
Gastos corrientes anuales		USD/año		\$707.361,89			
Tasa anual de incremento del precio de la electricidad		%		4,83%			
Tasa anual de incremento de los costos operativos		%		4,83%			
Intereses bancarios anuales sobre ahorros netos		%		0,00%			
Intereses bancarios anuales sobre préstamos		%		5,00%			
Número de años en los que se paga la deuda				8,00			
Valor de rescate				0,00			
Ahorros vs. Intereses de la inversión en el banco							
Año	Ahorros	OPEX	Pago de intereses al banco	Ahorros netos	Ahorro neto acumulado con intereses bancarios	CAPEX	Saldos insolutos
0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$4.676.830,26	\$4.676.830,26
1,00	\$1.422.104,13	\$741.527,47	\$233.841,51	\$446.735,15	\$446.735,15	\$0,00	\$4.092.226,48
2,00	\$1.490.791,76	\$777.343,24	\$204.611,32	\$508.837,19	\$955.572,34	\$0,00	\$3.507.622,70
3,00	\$1.562.797,00	\$814.888,92	\$175.381,13	\$572.526,94	\$1.528.099,29	\$0,00	\$2.923.018,91
4,00	\$1.638.280,10	\$854.248,06	\$146.150,95	\$637.881,09	\$2.165.980,38	\$0,00	\$2.338.415,13
5,00	\$1.717.409,02	\$895.508,24	\$116.920,76	\$704.980,03	\$2.870.960,41	\$0,00	\$1.753.811,35
6,00	\$1.800.359,88	\$938.761,28	\$87.690,57	\$773.908,03	\$3.644.868,44	\$0,00	\$1.169.207,57
7,00	\$1.887.317,26	\$984.103,45	\$58.460,38	\$844.753,43	\$4.489.621,87	\$0,00	\$584.603,78
8,00	\$1.978.474,69	\$1.031.635,65	\$29.230,19	\$917.608,85	\$5.407.230,71	\$0,00	\$0,00
9,00	\$2.074.035,01	\$1.081.463,65	\$0,00	\$992.571,36	\$6.399.802,07	\$0,00	\$0,00
10,00	\$2.174.210,90	\$1.133.698,35	\$0,00	\$1.040.512,56	\$7.440.314,63	\$0,00	\$0,00
11,00	\$2.279.225,29	\$1.188.455,98	\$0,00	\$1.090.769,31	\$8.531.083,94	\$0,00	\$0,00
12,00	\$2.389.311,87	\$1.245.858,40	\$0,00	\$1.143.453,47	\$9.674.537,41	\$0,00	\$0,00
13,00	\$2.504.715,64	\$1.306.033,36	\$0,00	\$1.198.682,27	\$10.873.219,69	\$0,00	\$0,00
14,00	\$2.625.693,40	\$1.369.114,77	\$0,00	\$1.256.578,63	\$12.129.798,31	\$0,00	\$0,00
15,00	\$2.752.514,39	\$1.435.243,02	\$0,00	\$1.317.271,37	\$13.447.069,69	\$0,00	\$0,00
Tiempo en que se recupera la inversión						7,20	años
Iteración de la tasa i (Cambiar la celda M330 -azul- hasta que la celda P330 -amarilla- (NPV) sea cero)						0,1774	-\$969.462,21
rmin							-60,00%

- xxiii. Finalmente, se puede ir a la última pestaña de resultados: Beneficios colaterales. Se presentan los beneficios ambientales del proyecto de biogás para cada tecnología comparada. Puede ser la Laguna Anaerobia (LA) y el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB) o la Laguna Anaerobia (LA) y el Digestor Completamente Mezclado (CSTR).
- xxiv. Los beneficios colaterales incluyen las estimaciones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) evitados y las estimaciones de biofertilizantes a obtener. La estimación de los GEI se presenta para ambas tecnologías en columnas paralelas e incluye la mitigación debida por evitar desechar los residuos en los rellenos sanitarios, por la energía limpia y por el reemplazo del combustible y finalmente, se presenta el total de los GEI mitigados. Se considera el uso del biogás seleccionado en la entrada de datos.

 Danish Energy Agency		 Ea Energy Analyses		 IB Tech	
Biogas Tool					
Beneficios Colaterales					
Proyecto:		Fecha:			
Escenario:		Lugar:			
Responsable:					

Estimaciones de gases de efecto invernadero y fertilizantes					
Resultados					
Escenario del uso del biogás					
Cogeneración de calor y energía					
Gases de Efecto Invernadero					
Laguna Anaerobia			CSTR		
Mitigación de GEI debido a la evasión de residuos desechados en:	48.899.48	ton CO2 eq/año	Mitigación de GEI debido a la eliminación de residuos en relleno	59.766.03	ton CO2 eq/año
Mitigación de GEI por energía limpia	2.717.49	ton CO2 eq/año	Mitigación de GEI por energía limpia	3.321.37	ton CO2 eq/año
Mitigación de GEI debido al reemplazo de combustible	2.975.84	ton CO2 eq/año	Mitigación de GEI debido al reemplazo de combustible	3.757.56	ton CO2 eq/año
Mitigación total de GEI	54.592.81	ton CO2 eq/año	Mitigación total de GEI	66.844.97	ton CO2 eq/año

xxv. El biofertilizante del digestato se calcula con una fórmula equivalente de urea, para obtener el total anual de tonelada de urea equivalente.

Cálculos de biofertilizantes					
Contenido de N en el sustrato o mezcla de sustratos	kg _s /ton _{TS}	15.69			
Flujo másico de sólidos	ton _{TS} /año	8.998.10			
Flujo másico de nitrógeno	kgN/año	141.148.88	kgN/d	386.71	
Contenido de N en la urea	kgN/kg_urea	0.47			
Urea equivalente (molécula)	ton/año	302.46			
% pureza del fertilizante	%	0.44			
Urea equivalente (fertilizante)	ton/año	687.41			