

La Iniciativa Global de Metano (GMI) es una asociación voluntaria, internacional y multilateral que tiene como objetivo reducir las emisiones de metano e impulsar la reducción, recuperación y el uso del metano como fuente de energía limpia. El metano (CH₄) es un potente gas de efecto invernadero (GEI); es el segundo GEI de origen humano más abundante y representa aproximadamente el 20 por ciento de las emisiones globales. El [Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático \(IPCC\)](#) ha identificado las estrategias de reducción de metano como oportunidades cruciales para abordar el cambio climático (IPCC, 2021). Reducir las emisiones de metano asociadas con el tratamiento de aguas residuales puede desempeñar un papel importante en el logro de los objetivos globales de mitigación del cambio climático ([Evaluación Global del Metano: Beneficios y Costos de la Mitigación de las Emisiones de Metano](#), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Coalición Clima y el Aire Limpio [2021]).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) tienen el potencial de liberar metano, el cual se genera mediante la descomposición anaeróbica de materia orgánica y se emite durante la recolección, el tratamiento y la gestión de líquidos y sólidos de aguas residuales. La mayoría de los países desarrollados utilizan sistemas de tratamiento de aguas residuales aeróbicos que emiten pequeñas cantidades de metano desde el flujo de tratamiento de líquidos. Sin embargo, en algunos países en desarrollo, los sistemas de tratamiento de líquidos tienden a ser descentralizados, menos avanzados tecnológicamente y anaeróbicos (por ejemplo, letrinas, fosas sépticas, tanques Imhoff y estanques de sedimentación); esto resulta en mayores tasas de emisión de metano. Independientemente del proceso de tratamiento de líquidos (aeróbico o anaeróbico), la gestión de biosólidos puede generar emisiones significativas de metano. Esta hoja informativa analiza los puntos y procesos más probables de generación y liberación de metano en tres tipos de sistemas de PTAR, examina la gestión de biosólidos y su potencial de generación y emisión de metano, y ofrece sugerencias para la reducción, captura y uso de metano.

Generación y Emisión de Metano en Sistemas de Recolección y Tratamiento de Aguas Residuales

El metano puede generarse tanto en los sistemas de recolección de aguas residuales como en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Las siguientes secciones ofrecen una visión general de estas fuentes de emisión.

Sistema de Recolección de Aguas Residuales

Las aguas residuales se generan y transportan a la PTAR a través de una red de tuberías que conduce a condiciones anóxicas (es decir, deficientes en oxígeno) y anaeróbicas en el sistema de recolección que potencialmente pueden generar metano en las aguas residuales antes de que ingresen a la PTAR. Cuando las aguas residuales sin tratar se agitan a través del bombeo, cambios en el perfil hidráulico o la entrada a la PTAR, se puede emitir el metano disuelto. Por lo tanto, las obras de cabecera, donde las líneas de alcantarillado ingresan a la instalación de la PTAR, son un área de preocupación por las emisiones de gases de alcantarillado, incluido el metano. Recientemente, se han desarrollado modelos predictivos para evaluar las emisiones de metano de las alcantarillas (Sistema de Predicción de Activos de Transporte [CAPS, por sus siglas en inglés], 2020); estos modelos pueden ayudar a desarrollar y evaluar estrategias de mitigación de metano para actividades de pretratamiento. Sin embargo, cada sistema de aguas residuales debe evaluarse holísticamente para las oportunidades de mitigación de metano.



Distribución de una PTAR con un sistema de tratamiento CAS y digestión anaerobia de lodos primarios y secundarios.

Sistema Convencional de Tratamiento de Lodos Activados (CAS, por sus siglas en inglés)

Tratamiento de Corrientes de Líquidos. En la mayoría de los sistemas convencionales de tratamiento de lodos activados, el tratamiento es principalmente aeróbico, con pocas emisiones asociadas al tratamiento de la corriente de líquidos. Además de las obras de cabecera, los clarificadores primarios pueden ser una fuente potencial menor de emisiones de metano. Los procesos posteriores de tratamiento de líquidos, como los de las lagunas de aireación, los clarificadores secundarios y las unidades de desinfección, generan emisiones mínimas de metano. La Figura 1 muestra el diagrama de flujo del proceso para el tratamiento de corrientes de líquidos en un sistema convencional de tratamiento de lodos activados.

Tratamiento de Corrientes de Sólidos. El tratamiento de corrientes de sólidos suele ser la principal fuente de emisiones de metano, pero la cantidad de emisiones varía según la gestión de los sólidos. El almacenamiento de lodos puede promover condiciones anaeróbicas y generar metano si el tiempo de retención no se gestiona adecuadamente. El metano generado en los tanques de almacenamiento de residuos luego puede ser liberado mediante procesos posteriores (por ejemplo, espesamiento/deshidratación) que mezclan o agitan los lodos. La cantidad de metano emitida por estos procesos también es variable; los espesadores de banda por gravedad o las prensas de placas y marcos están expuestos a la atmósfera, lo que aumenta el potencial de emisiones. Las prensas de tornillo o centrifugas contienen los lodos en un equipo cerrado, que retiene el gas metano de forma más efectiva. El transporte abierto de lodos entre estos procesos también puede ser una fuente de emisiones si los lodos son anaeróbicos. La Figura 2 muestra los elementos asociados con el tratamiento de corrientes de sólidos y su potencial asociado de emisiones de metano.

Figura 1. Diagrama de Flujo del Proceso para el Tratamiento Típico de Corrientes de Líquidos de Lodos Activados

El potencial de generación y emisión de metano se indica mediante las barras de color sobre cada paso del proceso (tonos de verde más oscuro indican un mayor potencial). Esta escala cualitativa de emisiones se utiliza en las siguientes figuras.

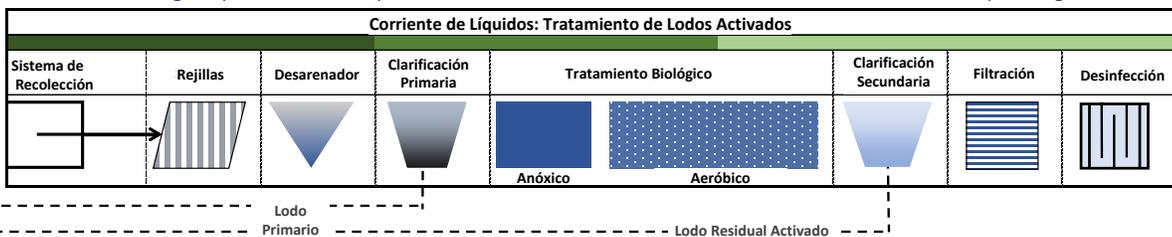
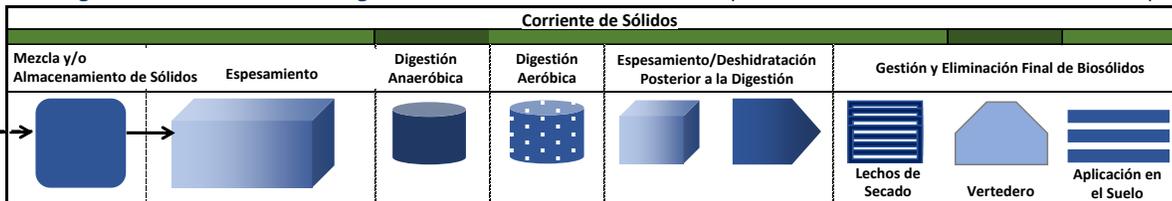


Figura 2. Diagrama de Flujo del Proceso para el Tratamiento Típico de Corrientes de Sólidos

En la figura se muestran tanto la digestión aeróbica como la anaeróbica, pero solo se utilizará una de ellas en cada proceso de PTAR.



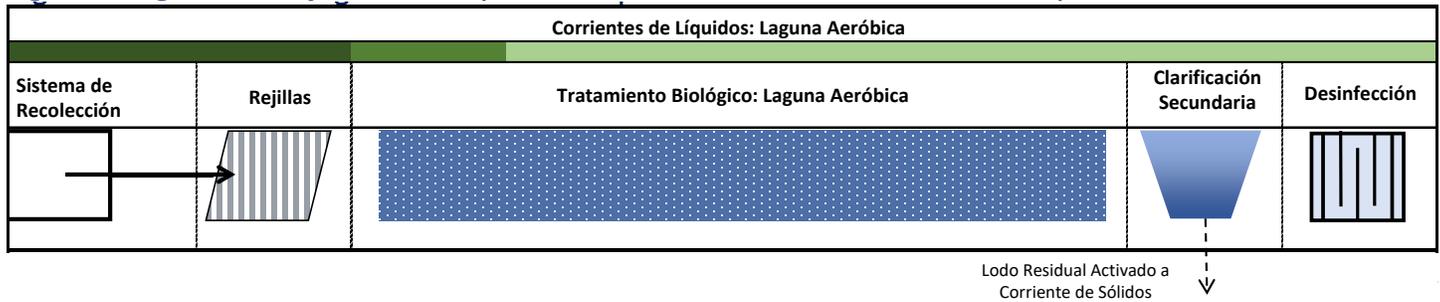
Los principales procesos de generación y liberación de metano durante el tratamiento de sólidos son (1) la digestión anaeróbica y la contención inadecuada (por ejemplo, válvulas, tuberías y otros equipos con fugas) y (2) la combustión incompleta del metano durante la quema. Las antorchas de gas, un componente necesario de un sistema de digestión, también pueden ser una fuente importante de metano no quemado si su tamaño es inadecuado, presentan corrosión o un mantenimiento deficiente. Un sistema de digestión bien diseñado ofrece una oportunidad para mitigar el metano si el metano generado se *captura y quema* eficientemente para un uso beneficioso (por ejemplo, para generar calor o electricidad).

Sistema de Tratamiento con Lagunas Aeróbicas/Aireadas: Corrientes de Líquidos y Sólidos

Las lagunas aeróbicas para el tratamiento de líquidos son mucho más sencillas que los sistemas anaeróbicos y se basan en procesos con bajo potencial de generación y liberación de metano. Las zonas con mayor potencial de emisiones de metano en un sistema de laguna aeróbica se encuentran en las obras de cabecera (véase el sistema de recolección/pantallas en la Figura 3) y en la entrada de la laguna de tratamiento, donde la agitación de las aguas residuales puede liberar metano disuelto en el líquido. Además, una laguna aeróbica genera un menor volumen de biosólidos que los sistemas aeróbicos típicos; por lo tanto, se requiere tratamiento de los sólidos con menos frecuencia. El manejo de sólidos en estas plantas de tratamiento de aguas residuales generalmente implica

espesamiento, deshidratación y disposición final. El potencial de generación de metano a partir de la corriente de sólidos de las lagunas aeróbicas es similar o ligeramente menor que el de los sistemas convencionales de tratamiento de lodos activados (véase la Figura 2), ya que los lodos están altamente aireados.

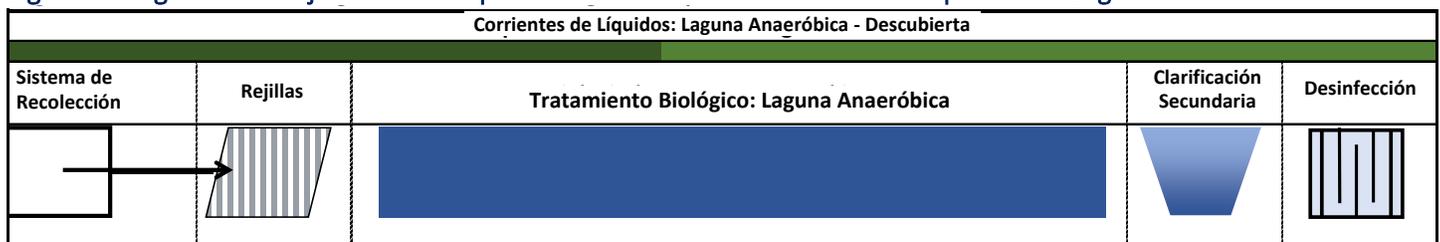
Figura 3. Diagrama de Flujo del Proceso para el Tratamiento Aeróbico de Corriente de Líquidos



Sistema de Tratamiento de Lagunas Anaeróbicas: Corrientes de Líquidos y Sólidos

En las lagunas anaeróbicas, las aguas residuales generalmente se filtran para eliminar los inertes (p. ej., basura, rocas, etc.) antes de entrar en las lagunas. Las comunidades y países con menor acceso a capital suelen utilizar sistemas de lagunas que descomponen la materia orgánica mediante procesos que requieren poco o ningún aporte energético y son económicos, sencillos y eficaces. Sin embargo, la mayoría de las lagunas anaeróbicas no cuentan con una cubierta que recolecte y almacene el metano generado. Por consiguiente, las lagunas pueden ser una fuente de emisiones de metano. Al igual que en los sistemas de tratamiento mencionados anteriormente, este sistema de recolección descarga parte del metano disuelto a la laguna, mientras que la descomposición anaeróbica dentro de la laguna genera metano disuelto adicional que se libera a la atmósfera. Turbulencia en el punto de descarga del efluente también puede liberar metano disuelto, lo que resulta en emisiones de metano al final del proceso. La Figura 4 muestra el flujo del proceso de aguas residuales a través de un sistema de laguna de tratamiento anaeróbico; no muestra un método para la remoción de lodos, ya que estos sistemas producen una cantidad considerablemente menor de sólidos que otros sistemas de tratamiento. Una ventaja operativa de una laguna anaeróbica es que los lodos se retiran, en promedio, cada 5 años. Sin embargo, la extracción y gestión periódica de lodos puede ser una fuente de emisiones de metano (como se muestra en el diagrama de flujo del proceso para el tratamiento de la corriente de sólidos, Figura 2).

Figura 4. Diagrama de Flujo del Proceso para el Tratamiento de Corriente de Líquidos con Lagunas Anaeróbicas



Gestión de Biosólidos

Los biosólidos generados por una PTAR generalmente se gestionan y eliminan fuera de la PTAR, y su manejo también brinda la oportunidad de reducir las emisiones de metano. La eliminación de biosólidos en rellenos sanitarios y/o vertederos es común, pero la disposición final de cualquier tipo de material orgánico en un relleno sanitario y/o vertedero puede contribuir considerablemente a las emisiones de metano. Los esfuerzos globales para desviar el material orgánico de los rellenos sanitarios y/o vertederos se deben en gran medida al deseo de reducir las emisiones de metano asociadas con este enfoque de gestión de residuos. La aplicación de biosólidos al suelo es muy común y está estrictamente regulada en los países desarrollados. Los biosólidos generalmente se incorporan a las capas superiores del suelo para que las bacterias puedan descomponer el material orgánico aeróbicamente. Si bien esta práctica beneficia la recuperación de nutrientes del suelo y las tierras agrícolas, las condiciones climáticas locales (por ejemplo, las lluvias que saturan los suelos) pueden contribuir a condiciones anaeróbicas que generan y liberan metano.

Oportunidades y Desafíos para la Mitigación y el Uso del Metano

El potencial de generación de emisiones de metano y el grado de reducción, captura y aprovechamiento de las emisiones dependen de cada planta de tratamiento de aguas residuales, en función del sistema de recolección, los procesos de tratamiento, la población atendida, las características de los residuos y la gestión de los biosólidos. La Tabla 1 identifica algunas de las oportunidades y desafíos para la mitigación del metano en cada tipo de sistema de tratamiento.



Los procesos de tratamiento anaeróbico transforman la materia orgánica en biogás ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) y generan aproximadamente un 10 % por volumen de lodos (biomasa). El tratamiento aeróbico de biosólidos requiere un consumo energético considerable y no genera biogás para su uso beneficioso. Generalmente, se recomienda optar por procesos anaeróbicos (es decir, reactores de manta anaeróbica de lodos de flujo ascendente [UASB, por sus siglas en inglés] o digestores anaeróbicos [DA]) en lugar de procesos aeróbicos para tratar la mayor parte de los sólidos orgánicos.

Desde un punto de vista energético y económico, en particular, los sistemas anaeróbicos requieren menos inversión que los aeróbicos, pueden aumentar la viabilidad y la rentabilidad de las PTAR y son capaces de reducir y reemplazar el consumo de energía generada por combustibles fósiles (por ejemplo, si se captura biogás para la producción de electricidad o combustible). Se debe realizar un análisis costo-beneficio detallado para comparar la viabilidad técnica y económica del tratamiento aeróbico con el anaeróbico, ya que los resultados financieros dependen en gran medida del caudal de entrada del flujo de residuos y de la carga orgánica.

Tabla 1: Oportunidades y Desafíos para la Mitigación y Captura de Metano en Diversos Tipos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

Corriente de Líquidos		Corriente de Sólidos	
Oportunidades	Desafíos	Oportunidades	Desafíos
Sistema Convencional de Tratamiento de Lodos Activados (CAS, por sus siglas en inglés)			
<p>Reducir el potencial de generación de metano dentro del sistema de recolección reducirá la principal fuente de emisiones de metano asociada al tratamiento de flujos de líquidos.</p> <p>Un plan y un protocolo de análisis periódicos pueden ayudar a identificar una línea base de emisiones y, con el tiempo, identificar tendencias en las emisiones de metano (en aumento o disminución) y puntos específicos de mayor emisión, lo que puede informar estrategias de mitigación.</p>	<p>La evidencia científica para estimar la generación de metano en el sistema de recolección es incipiente y existen pocas soluciones basadas en datos.</p> <p>Las pruebas requieren tiempo del personal y la recopilación de datos adecuada y precisa en tanques abiertos resulta difícil.</p>	<p>Los reactores de manta anaeróbica de lodos de flujo ascendente (UASB) y los digestores anaeróbicos (DA) correctamente construidos contienen sólidos y generan metano en un sistema contenido para su captura y uso. El metano capturado puede generar electricidad en motores de cogeneración; alternatively, el biogás puede enriquecerse en biometano, comprimirse y utilizarse en vehículos de gas natural, cilindros o gasoductos.</p> <p>Añadir codigestión de residuos orgánicos adicionales a los digestores existentes puede aumentar la producción controlada y el uso del metano, así como la viabilidad económica de la PTAR. Las nuevas instalaciones pueden diseñarse para incluir la codigestión.</p> <p>La operación y el mantenimiento adecuados de bombas, tuberías, válvulas y otros equipos asociados con el sistema de tratamiento de sólidos pueden reducir las emisiones fugitivas de metano asociadas con fugas.</p>	<p>En las instalaciones sin digestores (en particular, las plantas más pequeñas), los costos de construcción para permitir, añadir y operar digestores pueden ser una carga.</p> <p>Para la codigestión, identificar materias primas limpias y abundantes, así como contratos de tratamiento a largo plazo (es decir, con industrias o municipios), puede ser difícil de negociar.</p> <p>El tiempo del personal para realizar evaluaciones exhaustivas y el dinero para realizar reparaciones pueden ser limitados y difíciles de conseguir en algunas instalaciones.</p>
Laguna Aireada			
<p>El sistema de recolección y las oportunidades de prueba son los mismos que para el CAS.</p>	<p>La evidencia científica y los desafíos de las pruebas son los mismos que para el CAS.</p>	<p>Las oportunidades de construcción adecuada de UASB/DA son las mismas que las del CAS.</p> <p>Las oportunidades de operación y mantenimiento adecuadas son las mismas que las del CAS.</p>	<p>Los desafíos en términos de costos son los mismos que para el CAS.</p> <p>Los lodos de lagunas aireadas se prestan menos a la digestión anaeróbica, lo que reduce la eficiencia del proceso.</p> <p>Los desafíos en términos de tiempo de personal y costos de reparación son los mismos que para el CAS.</p>
Laguna Anaeróbica			
<p>El sistema de recolección y las oportunidades de prueba son las mismas que para el CAS.</p> <p>Cubrir la laguna anaeróbica puede mitigar las emisiones y convertirla eficazmente en un digestor.</p> <p>Instalar dispositivos de desgasificación sencillos en el punto de descarga del</p>	<p>La evidencia científica y los desafíos de las pruebas son los mismos que para el CAS.</p> <p>El costo de la cubierta, la recolección de metano y el sistema de uso/quema representan el principal desafío para la mayoría de las instalaciones.</p> <p>A menos que también se capturen otras fuentes de metano, la cantidad de metano</p>	<p>La oportunidad mediante la correcta construcción de los digestores anaeróbicos (DA) es la misma que para el CAS.</p> <p>Las oportunidades de operación y mantenimiento adecuadas son las mismas que para el CAS.</p>	<p>Los desafíos en términos de costos son los mismos que para el CAS.</p> <p>La actividad microbiana en la laguna es similar a la de la DA y reduce el alimento para los sistemas microbianos de la DA; esto resulta en una tasa potencialmente menor de</p>

<p>efluente permite capturar el metano disuelto en el flujo de residuos; el metano puede utilizarse de forma beneficiosa o dirigirse a una antorcha para reducir las emisiones. La laguna anaeróbica puede convertirse o reemplazarse por una laguna/sistema aeróbico.</p>	<p>generada por los sistemas de desgasificación de lagunas anaeróbicas podría no justificar el costo del equipo necesario para su uso beneficioso. Los sistemas aireados consumen mucha energía y requieren más equipo que las lagunas anaeróbicas, lo que aumenta los costos de capital y de operación.</p>		<p>generación de metano disponible para captura y uso beneficioso. Los desafíos en términos de tiempo de personal y costos de reparación son los mismos que para el CAS.</p>
--	--	--	--