

# Bioteecnología en MOVIMIENTO

REVISTA DE DIVULGACIÓN DEL INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNAM

## Los problemas ambientales y su solución



Disponible en [www.ibt.unam.mx](http://www.ibt.unam.mx)

Microorganismos al rescate del medio ambiente

Biogás y energías renovables

Bioelectricidad

Descontaminación de metales pesados

Superbacterias contra el dañino cromo hexavalente

Fitorremediación

La biorremediación en la era post-genómica

Metagenómica y medio ambiente



Instituto de Biotecnología

# Microorganismos al rescate del medio ambiente

Dr. Francisco J. Cervantes

La biotecnología ambiental aprovecha la capacidad metabólica de los microorganismos, aplicados en sistemas de ingeniería, para resolver problemas ambientales, como el tratamiento de aguas residuales, remediación de acuíferos y suelos contaminados por hidrocarburos, metales pesados o plaguicidas, así como para la generación de energías renovables a partir de desechos industriales.

A través de la historia, los microorganismos han jugado un papel importantísimo en el medio ambiente. Por ejemplo, desde hace más de un siglo, los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales forman parte fundamental de las plantas depuradoras que eliminan los contaminantes de efluentes vertidos por las poblaciones humanas y por las industrias. Los primeros sistemas biológicos, desarrollados a principios del siglo XX, fueron los sistemas aerobios, los cuales requieren del oxígeno presente en el aire para que los microorganismos degraden los contaminantes presentes en las aguas residuales. Posteriormente, los sistemas operados sin aireación (que no requieren de oxígeno para desarrollarse, anaerobios) surgieron como alternativa de tratamiento de aguas residuales a mediados del siglo pasado, aunque su auge ocurrió a principios de la década de los 70's. El desarrollo de los sistemas anaerobios de tratamiento de aguas residuales permitió que la depuración de efluentes industriales pudiera lograrse de una forma más económica, ya que estos sistemas demandan menos energía para ser operados. De hecho, ac-



tualmente existen sistemas de tratamiento de aguas residuales anaerobios que tratan efluentes industriales y que generan una cantidad importante de metano, el cual puede ser utilizado como fuente de energía renovable. La producción de metano también se ha extendido mediante la aplicación de procesos anaerobios para tratar desechos sólidos, como lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, desechos orgánicos presentes en rellenos sanitarios, excretas porcinas, entre otros residuos.



Para lograr procesos más sustentables, en los últimos años se ha cambiado el paradigma de considerar a los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales como simples sistemas de depuración de efluentes, tornando la visión hacia la recuperación de recursos, dentro del concepto llamado “biorefinería”. Una biorefinería integra procesos biológicos y químicos que permitan la recuperación de recursos de valor agregado a partir de desechos industriales. En este contexto, el recurso primordial a recuperar es el agua tratada, la cual podrá cubrir múltiples necesidades, mediante su reutilización en sanitarios, lavado de instalaciones y en procesos industriales en los que no se requiere de agua potable; por ejemplo, en la producción de textiles y papel. Adicionalmente, en los siste-



mas de tratamiento anaerobios, es posible obtener una cantidad importante de biogás, no solamente para satisfacer las demandas energéticas durante la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), sino también, para ser considerada para otros fines. Por ejemplo, el mega proyecto de la PTAR Atotonilco, diseñada para tratar el 60% de las aguas residuales que se generan en la Ciudad de México, está concebido para cubrir el 80% del consumo energético de la misma PTAR mediante la utilización del biogás que se genera durante la digestión de los lodos que se producen en la planta de tratamiento. Pero no sólo se puede obtener agua limpia y energía de procesos biotecnológicos para tratar aguas residuales, también es posible obtener subproductos de valor agregado. Un ejemplo importante es la recuperación de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, de efluentes que los presentan en alta concentración, como los descargados de granjas porcinas o procesadoras de pescado. Al respecto, se han desarrollado procesos químicos que, combinados con los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales, permiten recuperar estos nutrientes para ser aplicados en la agricultura. Estas son parte de las estrategias que se buscan dentro de la economía circular emergente. Además, muchos efluentes industriales, como los derivados de actividades mineras y metalúrgicas, contienen una alta concentración de metales preciosos y afortunadamente diversos procesos biotecnológicos están emergiendo con el fin de recuperarlos para su aplicación en procesos industriales que hemos estudiado en nuestro laboratorio (1).

### Nuevas capacidades metabólicas

Desde hace ya varias décadas, se reconoce que los microorganismos cuentan con los procesos enzimáticos para degradar contaminantes, como los plaguicidas, o aquellos derivados del petróleo, detergentes, entre otros, en procesos aeróbicos y anaeróbicos. Además, estas capacidades metabólicas se han extendido. Sabemos que los microorganismos pueden utilizar una amplia gama de aceptores finales de electrones en su cadena respiratoria (diferentes del oxígeno). Estos aceptores de electrones incluyen formas oxidadas de diferentes metales y metaloides, como Fe(III), Mn(IV), U(VI), As(V), entre otros. Además, pueden respirar también empleando solventes polihalogenados, como el percloroetileno, el cual es cancerígeno y ampliamente usado solvente desengrasante en procesos industriales, así como colorantes “azo” (que contienen un enlace químico del tipo azo:  $-R-N=N-R$ ), que también son cancerígenos y son ampliamente utilizados en el sector textil para teñir telas. Durante los últimos



años los investigadores han mostrado evidencias de que microorganismos presentes en la PTAR también pueden degradar contaminantes emergentes, como fármacos, plaguicidas, desinfectantes, entre muchos otros, que son descargados en efluentes municipales e industriales.

## Consumo de gases de efecto invernadero

Los efectos del cambio climático son cada día más dramáticos, como lo muestra la publicación de que el 2018 ha sido el año más caluroso desde la época preindustrial, por lo que la generación de gases de efecto invernadero, que contribuyen a este calentamiento global, es cada vez más preocupante. Uno de los gases con mayor contribución al calentamiento global es el metano, el cual es emitido por actividades antropogénicas, como el empleo del “fracking” (ruptura de yacimientos) para extraer gas natural o bien por la ganadería intensiva. Sin embargo, también existen fuentes naturales de metano, como los pantanos, humedales y sedimentos marinos. Afortunadamente, existen microorganismos que consumen el metano (microorganismos metanotróficos) y que juegan un papel importantísimo para mitigar estas emanaciones naturales. Por ejemplo, se

sabe que el 90% del metano que se genera en ambientes marinos es consumido por microorganismos metanotróficos antes de que sea liberado a la atmósfera. La oxidación del metano por este tipo de microorganismos ocurre tanto en condiciones aerobias, como anaerobias. Como lo hemos demostrado en algunos de nuestros trabajos (2), en condiciones anaerobias, el metano puede ser oxidado por microorganismos utilizando aceptores de electrones como sulfato, hierro férrico y sustancias húmicas (compuestos químicos producidos a partir de los residuos vegetales y animales a través de reacciones químicas). Además, nuestro grupo de investigación comunicó recientemente que las sustancias húmicas, no sólo propician la oxidación del metano, sino que también contribuye a que el CO<sub>2</sub> que se genera del proceso de metanotrofia, sea secuestrado en forma de distintos minerales en los sedimentos de humedales donde ocurren estos procesos (3). Por todas estas razones, es importante enfatizar la labor colosal que llevan a cabo los microorganismos para evitar que gases de efecto invernadero sean emitidos a la atmósfera y sobre todo trabajar por la preservación de las condiciones en las que los microorganismos pueden hacer el trabajo que favorece a los habitantes del planeta.

Contacto: FCervantes@iingen.unam.mx

El Dr. Francisco J. Cervantes trabaja en el Laboratorio de Investigación en Procesos Avanzados de Tratamiento de Aguas (LIPATA), de la Unidad Académica Juriquilla del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

### Referencias

1. Pat-Espadas, A. M., Cervantes, F. J. (2018), Microbial synthesis of metallic nanoparticles from industrial wastes and their environmental applications. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 93: 3091-3112.
2. Valenzuela E.I., Prieto-Davó A., López-Lozano N.E., Hernández-Eligio A., Vega-Alvarado L., Juárez K., García-González A.S., López M.G., Cervantes F.J. (2017), Anaerobic methane oxidation driven by microbial reduction of natural organic matter in a tropical wetland. *Applied and Environmental Microbiology*, 83, e00645-17.
3. Valenzuela E.I., Avendaño K.A., Balagurusamy N., Arriaga S., Nieto-Delgado C., Thalasso F., Cervantes F.J. (2019), Electron shuttling mediated by humic substances fuels anaerobic methane oxidation and carbon burial in wetland sediments. *Science of the Total Environment*, 650: 2674-2684.



---

# Biogás

ENERGÍA RENOVABLE QUE  
SE OBTIENE DE RESIDUOS

---

Dr. Guillermo Quijano y Dr. Germán Buitrón

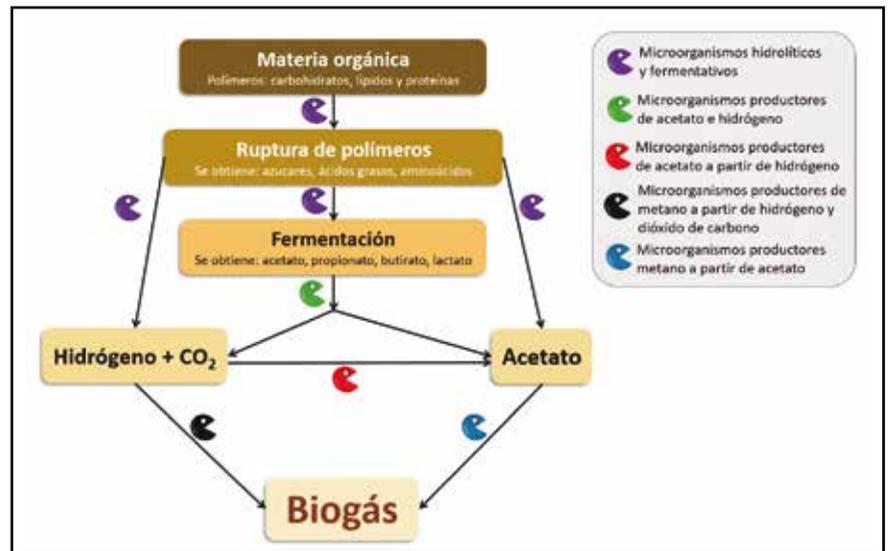
## Biogás y el contexto energético actual

El panorama global energético basado en los combustibles fósiles está caracterizado por un continuo crecimiento en la demanda de energía, mientras que las reservas internacionales se están agotando debido a su origen no renovable. Por otra parte, la extracción, refinación y quema de combustibles fósiles, son actividades que emiten contaminantes atmosféricos tales como: dióxido de azufre, monóxido de carbono y dióxido de carbono, entre otros, contribuyendo al calentamiento global y otros fenómenos adversos para el ambiente y la salud humana como la lluvia ácida y la formación de esmog (de los vocablos ingleses smoke –humo- y fog –niebla-).

Este contexto energético ha motivado el desarrollo de sistemas para aprovechar la energía eólica, la solar e incluso la energía generada a partir del movimiento de las corrientes marítimas. Entre toda la gama de posibilidades, también se puede obtener energía renovable a partir de la materia orgánica contenida en: 1) aguas residuales (municipales e industriales); 2) residuos sólidos urbanos (incluidos los residuos orgánicos generados en casa y en restaurantes), y 3) estiércol producido en explotaciones intensivas de ganado. La materia orgánica contenida en todos estos residuos está compuesta fundamentalmente por carbohidratos, lípidos y proteínas, y puede ser convertida biológicamente en un gas combustible que contiene aproximadamente 60% de metano y el resto dióxido de carbono, que es conocido como *biogás*.

El proceso de conversión de la materia orgánica en biogás es conocido como digestión anaerobia e involucra a toda una comunidad de microorganismos que actúa de forma coordinada y secuencial en ausencia de oxígeno (Figura 1). La digestión anaerobia, es, por lo tanto, una tecnología biológica para la generación de energía renovable. Hoy en día, el biogás se utiliza de forma masiva en países como Alemania, Austria, Dinamarca, España, Estados Unidos, Francia e Italia para la generación de energía eléctrica y térmica. Esto se consigue quemando el biogás en motores de ciclo combinado, los cuales generan potencia eléctrica y energía térmica al mismo tiempo. En el mercado existe toda una variedad de motores que pueden ser operados a diferentes flujos de biogás y pueden usarse en instalaciones de gestión de los residuos antes mencionados.

El biogás resultante además de contener metano y dióxido de carbono puede contener contaminantes que dañan los motores que producen energía eléctrica y térmica; esto depende de la composición química de la materia orgánica usada para la producción del biogás. El ácido sulfhídrico es uno de los principales contaminantes ya



que se encuentra en cualquier biogás generado a partir de residuos que contengan azufre (elemento presente en proteínas, sulfato o sulfito), lo cual es muy común. En presencia de agua y aire el ácido sulfhídrico se convierte en ácido sulfúrico, que es un ácido muy fuerte, y produce corrosión. Por lo tanto, es indispensable removerlo del biogás para su aprovechamiento. La remoción del dióxido de carbono o enriquecimiento del biogás también es deseable porque constituye una alternativa para ampliar las aplicaciones del biogás. En el proceso de enriquecimiento, el dióxido de carbono se remueve hasta alcanzar concentraciones de metano superiores al 95%. Este gas resultante se conoce como biometano y tiene características equivalentes al del gas natural en términos de composición química y poder calorífico. El biometano se puede inyectar en redes de gas natural y ser valorizado sin necesidad de quemarlo en un motor de ciclo combinado. Actualmente, el biometano se produce de forma cotidiana en países europeos y se utiliza para fines domésticos (gas para cocinar o calentar agua), así

Figura 1. Proceso de digestión anaerobia y tipos de microorganismos involucrados en la producción de biogás.

Figura 2. Esquema general de generación de biogás y sus usos de acuerdo con el proceso de purificación o enriquecimiento aplicado.

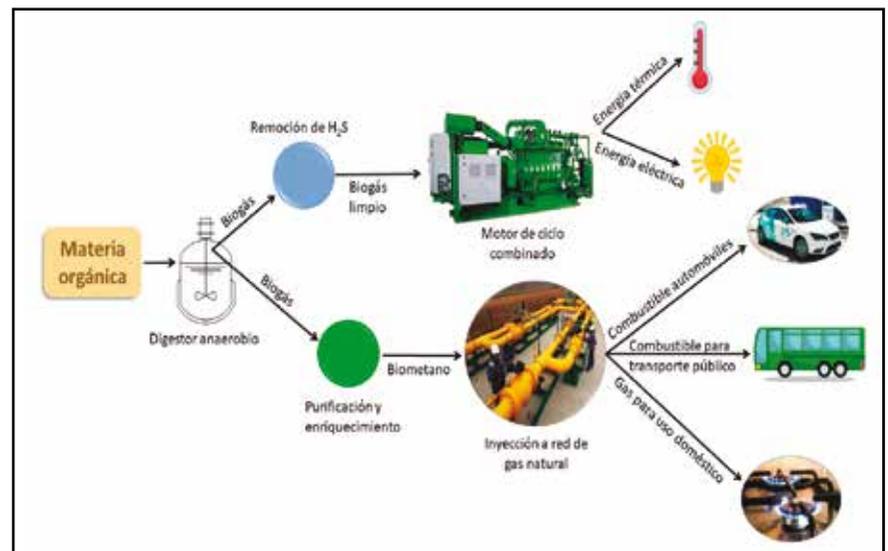
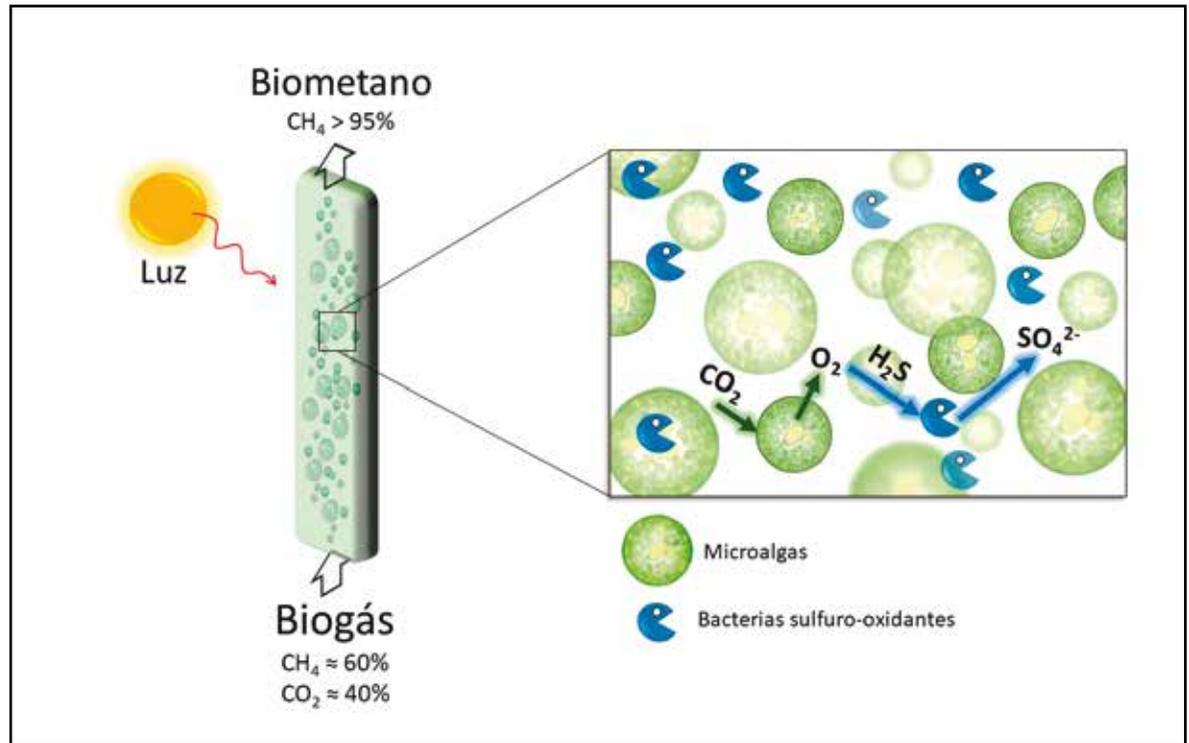


Figura 3. Representación esquemática del proceso de purificación y enriquecimiento de biogás con sistemas de microalgas y bacterias. Las microalgas consumen dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y producen oxígeno ( $\text{O}_2$ ) por fotosíntesis, mientras que las bacterias consumen el oxígeno para convertir el ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) a sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Los tamaños relativos de microalgas y bacterias en el esquema son para fines ilustrativos y no están a escala real.



El Dr. Guillermo Quijano es Ingeniero Bioquímico Industrial y Maestro en Biotecnología por la UAM. En 2010 obtuvo el grado de Doctor en Biotecnología y Bioingeniería en el Cinvestav-IPN. De 2010 a 2016 realizó sus actividades de investigación en España y Francia. En 2016 se incorporó al Instituto de Ingeniería de la UNAM. Es miembro del SNI.

El Dr. Germán Buitrón es Ingeniero Químico egresado de la Facultad de Química de la UNAM, cursó la maestría y el doctorado en Ingeniería del tratamiento de aguas en el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Toulouse, Francia. Actualmente es Subdirector de Unidades Foráneas del Instituto de Ingeniería y Jefe de la Unidad Académica Juriquilla donde se encuentra el Laboratorio de Investigación en Procesos Avanzados de Tratamiento de Aguas. Es miembro del SNI.

como combustible para automóviles y transporte público. La Figura 2 presenta un esquema general de la producción de biogás y sus usos.

### Purificación y enriquecimiento de biogás

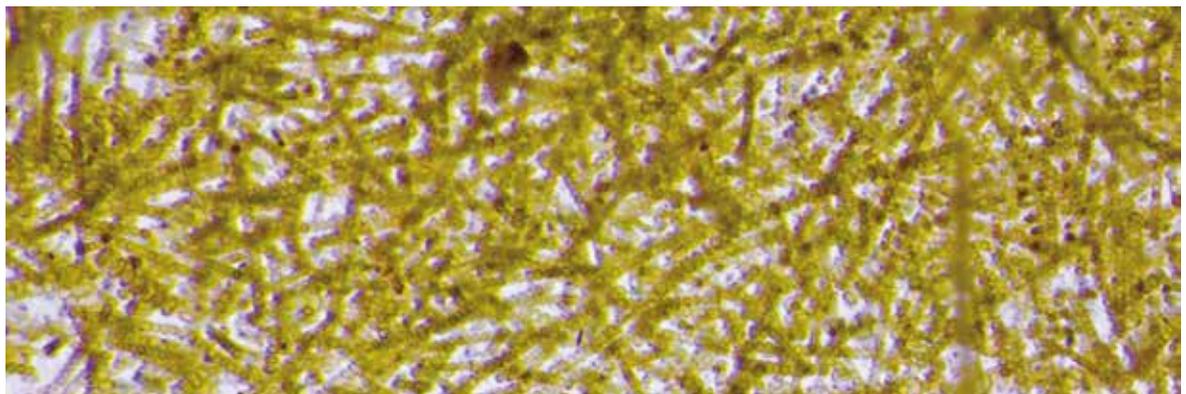
Hoy en día existen procesos fisicoquímicos para la purificación y enriquecimiento del biogás, destacando la adsorción con carbón activado y la absorción en soluciones alcalinas. Sin embargo, el costo de estos tratamientos es muy elevado debido a su alta demanda energética y gran consumo de reactivos químicos y de agua, lo cual reduce además la sustentabilidad de estas tecnologías. En busca de alternativas sustentables, la Unidad Académica Juriquilla del Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) desarrolla tecnologías de purificación y enriquecimiento de biogás basadas en la acción de microorganismos. Estas tecnologías emplean microalgas y bacterias para remover el dióxido

de carbono y el ácido sulfhídrico de manera simultánea, como lo muestra la Figura 3. Las microalgas consumen el dióxido de carbono y producen oxígeno por procesos de fotosíntesis, mientras que bacterias sulfuro-oxidantes utilizan el oxígeno generado por las microalgas para oxidar el ácido sulfhídrico a sulfato. De esta forma se purifica y enriquece el biogás en una misma unidad de tratamiento (lo cual reduce los costos), y el proceso desarrollado por el II-UNAM, es amigable con el ambiente. Además, los sistemas de microalgas y bacterias han demostrado ser altamente eficientes y robustos.

Puedes encontrar más información sobre lo que hacemos en la Unidad Académica Juriquilla del Instituto de Ingeniería sobre producción, purificación y enriquecimiento de biogás en nuestra página web:

[www.iingen.unam.mx/es-mx/SitiosWeb/Laboratorios/LIPATA/Paginas/default.aspx](http://www.iingen.unam.mx/es-mx/SitiosWeb/Laboratorios/LIPATA/Paginas/default.aspx)

Contacto: GQuijanoG@iingen.unam.mx



Microalgas