

MÉTODOS Y SISTEMAS PARA PRODUCIR COMPUESTOS ORGÁNICOS EN UN ENTORNO SUBTERRÁNEO

CAMPO TÉCNICO

- 5 La presente descripción se relaciona con métodos para producir compuestos orgánicos en un entorno subterráneo y sistemas para la práctica de los mismos. Un beneficio de los métodos descritos en la presente descripción puede incluir el uso de dióxido de carbono almacenado en un entorno subterráneo para producir uno o más compuestos orgánicos útiles como combustible y materias primas para otras aplicaciones. Otro beneficio de los métodos y sistemas descritos
- 10 en la presente descripción puede incluir la reducción del exceso de dióxido de carbono del entorno.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

- Se estima que la población mundial es de 7700 millones y crece rápidamente. Todas estas personas
- 15 tienen al menos una cosa en común. Todos inhalan oxígeno y exhalan dióxido de carbono. Además, tienden a aumentar el apetito mundial por la demanda de energía y energía. Esta situación ha creado una fuerte demanda de combustibles fósiles, tales como el petróleo y el gas, y un exceso de dióxido de carbono por la quema del petróleo y el gas, lo que muchos llaman una crisis del calentamiento global.
- 20 Por el lado de los combustibles fósiles, los productores de petróleo y gas están encontrando formas de aumentar la producción de los pozos de hidrocarburos, incluidos tratamientos como la fracturación hidrolítica, la adición de productos químicos para mejorar el flujo de hidrocarburos y la recuperación de petróleo mejorada por microbios. La recuperación microbiana mejorada de petróleo (MEOR) es una tecnología de extracción de petróleo terciaria que manipula la actividad de las
- 25 poblaciones microbianas para mejorar las propiedades de flujo del yacimiento, lo que puede aumentar la producción del pozo o controlar la acidificación. Sin embargo, todos los métodos conocidos actuales simplemente mejoran la capacidad de los productores de petróleo y gas para extraer hidrocarburos de los pozos. Ninguno de ellos produce más hidrocarburos en el pozo y por lo tanto ninguno de ellos es sostenible.
- 30 Por el lado del calentamiento global, la industria está desesperada por prevenir que el dióxido de carbono ingrese a la atmósfera. La Captura, Utilización y Almacenamiento de Carbono (CCUS) es un campo exigente que ayuda a reducir las emisiones de dióxido de carbono. La Captura, Utilización

y Almacenamiento de Carbono incluye métodos y tecnologías para eliminar el CO₂ de los gases de combustión o directamente de la atmósfera, seguido de su utilización y almacenamiento en un sitio seguro donde no ingrese a la atmósfera, que normalmente es subterráneo, tal como en una formación geológica u otro entorno subterráneo.

- 5 Sin embargo, los métodos actualmente conocidos simplemente eliminan el dióxido de carbono de la atmósfera almacenándolo bajo tierra o mediante aplicaciones de utilización de la superficie, que requieren la construcción de infraestructuras intensivas en capital a gran escala.
- Existe la necesidad de producir hidrocarburos para energía y materias primas. Existe la necesidad de eliminar el exceso de dióxido de carbono de la atmósfera. Existe la necesidad de convertir el dióxido
- 10 de carbono en oxígeno y otras materias primas útiles de una manera económica y eficiente. Existe la necesidad de métodos que puedan integrar los procesos de captura, utilización y almacenamiento de dióxido de carbono.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

- 15 Las modalidades en la presente descripción están dirigidas a métodos para producir compuestos orgánicos en un entorno subterráneo y sistemas relacionados para la práctica de los mismos. En una modalidad, se describe un método para producir al menos un compuesto orgánico en un entorno subterráneo. En varias modalidades, el método incluye proporcionar una materia prima de dióxido de carbono, un cultivo microbiano y un medio de cultivo microbiano; y convertir una porción de la
- 20 materia prima de dióxido de carbono en al menos un compuesto orgánico al añadir la materia prima de dióxido de carbono, el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano al entorno subterráneo. En ciertas modalidades, la materia prima de dióxido de carbono contiene de aproximadamente 1.0 por ciento en volumen hasta 100 por ciento en volumen de dióxido de carbono basado en el volumen total de la materia prima de dióxido de carbono.
- 25 En ciertas modalidades, el entorno subterráneo incluye un pozo, una formación de pozo que contiene un hidrocarburo, una caverna natural, una formación subterránea, un tanque de almacenamiento subterráneo o una de sus combinaciones.
- En varias modalidades, el cultivo microbiano incluye al menos una población bacteriana nativa de la formación subterránea, al menos una población bacteriana exógena, al menos una población
- 30 bacteriana anaerobia, al menos una población bacteriana modificada genéticamente o una de sus combinaciones. En ciertas modalidades, el cultivo microbiano incluye una bacteria *Geobacter*, una bacteria *Clostridium* o una de sus combinaciones. En ciertas modalidades, el cultivo microbiano

- incluye una bacteria *Bacillus*, una bacteria *Geobacillus*, una bacteria *Petrobacter*, una bacteria *Desulfotomaculum*, una bacteria *Bacteroides*, una bacteria *Thermoanaerobacter*, una bacteria *Thermococcus*, una bacteria *Thermotogales*, una bacteria *Petrotoga*, una bacteria *Thermotoga*, una bacteria *Desulfotomaculum*, una bacteria *Caminicella*, una bacteria *Geosporobacter*, o una de sus combinaciones.
- 5 En ciertas modalidades, el cultivo microbiano incluye una bacteria metanotrófica, una bacteria metanogénica, una arqueobacteria, una bacteria quimiotrófica, una bacteria oxidante de hierro, una bacteria oxidante de azufre, una bacteria extremófila, una bacteria termófila, una bacteria halófila, una bacteria productora de hidrógeno, una bacteria productora de tensioactivo, una bacteria acetogénica o una de sus combinaciones.
- 10 En ciertas modalidades, el medio de cultivo microbiano es un líquido acuoso que incluye de aproximadamente el 1 por ciento en peso hasta el 50 por ciento en peso de al menos un material de base biológica, basado en el peso total del medio de cultivo microbiano. El material a base de alcohol incluye glucosa, fructosa, glicerol, sacarosa, maltodextrina, cloruro de sodio, extracto de levadura, extracto de malta, peptona de caseína, acetato de sodio, lactato de sodio, licor de maceración del
- 15 maíz, cáscara de sandía, mazorca de maíz o sus combinaciones.
- En varias modalidades, el al menos un compuesto orgánico incluye un alcano C_1 a C_{12} , un alcohol C_1 a C_4 , un ácido orgánico C_1 a C_3 , un hidrocarburo C_1 a C_{120} o sus combinaciones. En ciertas modalidades, el al menos un compuesto orgánico incluye un alcano, metano, butano, pentano, hexano, heptano, octano, nonano, decano, dodecano, tetradecano, octadecano, un alqueno, un
- 20 alcohol, metanol, etanol, propanol, butanodiol, un ácido orgánico, ácido acético, ácido oxálico, una olefina, etileno, un biotensioactivo o una de sus combinaciones.
- En ciertas modalidades, el método incluye recolectar al menos un compuesto orgánico del entorno subterráneo después de un período de tiempo suficiente para que el cultivo microbiano convierta la porción de la materia prima de dióxido de carbono en al menos un compuesto orgánico. En ciertas
- 25 modalidades, el método incluye añadir una segunda porción de materia prima de dióxido de carbono al entorno subterráneo.
- En ciertas modalidades, el método incluye añadir la materia prima de dióxido de carbono, el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano al entorno subterráneo, simultáneamente o en cualquier orden. En ciertas modalidades, el método incluye inyectar o bombear al menos una de las materias
- 30 primas de dióxido de carbono, el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano en el entorno subterráneo, simultáneamente o en cualquier orden. En ciertas modalidades, el método incluye inyectar el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano juntos en el entorno subterráneo en

un volumen combinado a una tasa de inyección y una presión de inyección suficientes para convertir la porción de materia prima de dióxido de carbono en al menos un compuesto orgánico. En ciertas modalidades, el método incluye formar una mezcla de cultivo al mezclar el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano juntos; y añadir la mezcla de cultivo y la materia prima de dióxido de carbono al entorno subterráneo, simultáneamente o en cualquier orden.

En ciertas modalidades, el método incluye añadir la materia prima de dióxido de carbono a un primer entorno subterráneo, en donde el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano se añaden a un segundo entorno subterráneo, y en donde el primer entorno subterráneo se conecta al segundo entorno subterráneo.

Ciertos métodos incorporados en la presente descripción incluyen recolectar una primera muestra de un entorno subterráneo en un primer punto de tiempo; analizar la primera muestra para obtener información sobre el microbioma de la primera muestra; y seleccionar el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano en base a la información del microbioma de la primera muestra. Ciertas modalidades incluyen seleccionar el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano en base a al menos una propiedad del entorno subterráneo, en donde al menos una propiedad incluye temperatura, presión, permeabilidad, porosidad, salinidad, acidez o sus combinaciones. Ciertas modalidades incluyen recolectar una segunda muestra del entorno subterráneo en un segundo punto de tiempo; analizar la segunda muestra para obtener información del microbioma de una segunda muestra; seleccionar una dosis de ajuste en base a la información del microbioma de la segunda muestra, en donde la dosis de ajuste incluye un segundo cultivo microbiano, un segundo medio de cultivo microbiano o una de sus combinaciones; e inyectar la dosis de ajuste en el entorno subterráneo. En ciertas modalidades, el método incluye medir una cantidad de al menos un compuesto orgánico producido por al menos uno del primer cultivo microbiano y el segundo cultivo microbiano.

En ciertas modalidades, el método incluye introducir al menos uno de un aparato de electrólisis y una materia prima de hidrógeno en el entorno subterráneo, en donde la materia prima de hidrógeno contiene de aproximadamente 1.0 por ciento en volumen a aproximadamente 80 por ciento en volumen de hidrógeno basado en un volumen total de la materia prima de gas.

En la presente descripción se describen sistemas para producir al menos un compuesto orgánico en un entorno subterráneo. Ciertas modalidades de sistemas incluyen un recipiente de cultivo microbiano conectado a un puerto de inyección de microbios y un recipiente de medio de cultivo microbiano conectado a un puerto de inyección de medio de cultivo microbiano. Ciertas modalidades

de sistemas incluyen un recipiente de mezcla de cultivo conectado a un puerto de mezcla de cultivo. Diversas modalidades de sistemas incluyen una tubería de suministro conectada a al menos uno del puerto de inyección de microbios, el puerto de inyección de medio de cultivo microbiano, el puerto de mezcla de cultivo y una estación de bombeo; y una tubería de inyección conectada a la estación de bombeo, en donde una porción de la tubería de inyección está conectada al entorno subterráneo. En la presente descripción se describen métodos para aumentar la producción de un hidrocarburo a partir de un pozo. Las modalidades de tales métodos incluyen la recolección de una muestra del entorno de un pozo en un punto de tiempo; analizar la muestra para obtener información sobre el microbioma de la muestra; seleccionar un cultivo microbiano y un medio de cultivo microbiano en base a la información del microbioma de la muestra, en donde la información del microbioma de la muestra comprende una adaptación del cultivo microbiano a al menos una propiedad del entorno del pozo, una resistencia del cultivo microbiano a al menos una propiedad del entorno del pozo, al menos una propiedad del entorno del pozo, o una de sus combinaciones; en donde al menos una propiedad incluye temperatura, presión, permeabilidad, porosidad, salinidad, acidez o una de sus combinaciones; proporcionar una materia prima de biotensioactivo; convertir una porción de la materia prima de biotensioactivo en al menos un biotensioactivo y degradar al menos un hidrocarburo de petróleo, al menos una parafina, o sus combinaciones presentes en el entorno del pozo mediante la adición de la materia prima de biotensioactivo, el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano a el entorno del pozo; en donde el cultivo microbiano comprende una bacteria productora de tensioactivo, una bacteria que degrada hidrocarburos de petróleo, una bacteria que degrada parafina, *Gordina sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Bacillus subtilis*, una bacteria que degrada las rocas, *Rhodothermus marinus*, o sus combinaciones; y aumentar la producción del hidrocarburo del pozo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

A menos que se indique de cualquier otra manera, todas las medidas están en unidades métricas estándar.

A menos que se indique de cualquier otra manera, todas las instancias de las palabras "un", "un" o "el" pueden referirse a una o más de las palabras que modifican.

A menos que se indique de cualquier otra manera, la frase "al menos uno" significa uno o más de un objeto. Por ejemplo, "al menos uno del primer cultivo microbiano y el segundo cultivo microbiano" significa el primer cultivo microbiano, o más de uno del primer cultivo microbiano, o del segundo

cultivo microbiano, o más de uno del segundo cultivo microbiano, o cualquiera de sus combinaciones.

A menos que se indique de cualquier otra manera, el término "aproximadamente" se refiere a $\pm 10\%$ del número no porcentual que se describe, redondeado al entero más próximo. Por ejemplo, unos
5 100 mm, incluiría de 90 a 110 mm. A menos que se indique de cualquier otra manera, el término "aproximadamente" se refiere a $\pm 5\%$ de un porcentaje. Por ejemplo, alrededor del 50 por ciento en peso incluiría del 45 al 55 por ciento en peso. Cuando el término "aproximadamente" se analiza en términos de un intervalo, entonces el término se refiere a la cantidad apropiada menor que el límite inferior y mayor que el límite superior. Por ejemplo, de aproximadamente 50 por ciento en peso a
10 100 por ciento en peso incluiría de 45 por ciento en peso a 100 por ciento en peso.

A menos que se indique de cualquier otra manera, las propiedades (altura, ancho, longitud, relación, etc.) tal como se describió en la presente descripción se entiende que son medidas promediadas.

A menos que se indique de cualquier otra manera, los términos "proveer", "proporcionar" o "proveer" se refieren al suministro, producción, compra, fabricación, ensamblaje, formación, selección,
15 configuración, conversión, introducción, adición o incorporación de cualquier elemento, cantidad, componente, reactivo, cantidad, medición o análisis de cualquier método o sistema de cualquier modalidad en la presente descripción.

A menos que se indique de cualquier otra manera, el término "materia prima de dióxido de carbono" se refiere a un gas que contiene un nivel mejorado de dióxido de carbono que es mayor que el nivel
20 atmosférico de dióxido de carbono.

Las emisiones de dióxido de carbono resultantes del uso de combustibles fósiles continúan aumentando a escala mundial. La reducción de los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera es clave para mitigar o revertir el cambio climático. Una forma convencional de reducir el dióxido de carbono en la atmósfera es secuestrar el dióxido de carbono bajo tierra a través de procesos de
25 recuperación mejorada de petróleo (EOR). Por ejemplo, cada año se inyectan millones de toneladas de dióxido de carbono en los yacimientos de petróleo y gas. Las fuentes naturales de dióxido de carbono se usan comúnmente en las operaciones de EOR, pero también se puede usar el dióxido de carbono de fuentes industriales. La captura y almacenamiento de carbono (CCS) es una tecnología destacada para la eliminación de dióxido de carbono industrial de la atmósfera. El dióxido de carbono
30 que se captura de la refinación y otros procesos industriales se puede transportar y almacenar en entornos subterráneos, tales como antiguos campos de petróleo y gas, formaciones subterráneas, vetas de carbón no explotables, cavernas naturales, yacimientos salinos profundos y tanques de

almacenamiento subterráneos. Se ha estimado que más de 20 billones de toneladas de dióxido de carbono pueden almacenarse potencialmente en formaciones geológicas. CCS es una forma efectiva y asequible de reducir las emisiones de dióxido de carbono, en comparación con otros métodos disponibles. Sin embargo, el dióxido de carbono simplemente se almacena bajo tierra hasta que se

5 escapa. Por lo tanto, este método no es una solución sostenible al exceso de dióxido de carbono en la atmósfera. Además, hay pocos incentivos financieros para que las industrias bombeen dióxido de carbono a entornos subterráneos, a menos que las regulaciones ambientales las obliguen a hacerlo o se les pague como parte de su modelo comercial. Podría decirse que el calentamiento global es una crisis porque es más lucrativo producir dióxido de carbono que deshacerse de él.

10 Existe la necesidad de métodos que puedan aprovechar la abundancia de dióxido de carbono industrial para su uso en aplicaciones y productos que sean beneficiosos para el entorno y la industria. Se han desarrollado métodos convencionales para usar microbios para aumentar la producción de petróleo y gas de entornos subterráneos. Por lo general, las tecnologías hacen uso de la actividad microbiana para mejorar la producción de petróleo y gas de entornos subterráneos, por ejemplo, al

15 disminuir la viscosidad de los petróleos pesados para una fácil recuperación. Históricamente, sin embargo, estos métodos han sido una curiosidad y no han sido ampliamente adoptados.

Los métodos para aumentar la producción de petróleo y gas mediante el uso de actividad microbiana deben abordar una serie de problemas prácticos. La preparación de microorganismos adecuados que sean altamente activos en las condiciones específicas del yacimiento debe tener en cuenta la

20 composición y las propiedades del petróleo crudo. Sin embargo, la mayoría de los microorganismos que pueden adaptarse a las condiciones del campo pueden tener poco efecto sobre la composición y las propiedades de los crudos. Las aplicaciones industriales requieren nuevas cepas de microorganismos que sean tolerantes a altas temperaturas y concentraciones salinas, y que también sean capaces de sintetizar los tensioactivos, polisacáridos, biocombustibles, carbohidratos de cadena

25 larga y otros compuestos deseados. Otro desafío es establecer técnicas para crear condiciones de yacimiento apropiadas que favorezcan el crecimiento y la actividad de microorganismos específicos. Esto requiere una mayor exploración de formas de introducir nutrientes adicionales, incluidos compuestos de nitrógeno y fósforo. Otro desafío es el desarrollo de métodos rentables para la reducción de sulfato. Las condiciones del yacimiento son nichos ecológicos para las bacterias

30 reductoras de sulfato. A menudo es necesario controlar la generación de sulfuro de hidrógeno, porque crea los problemas de un entorno agresivo tóxico, corrosión, mayor contenido de azufre en el petróleo crudo, productos tóxicos y otras consecuencias indeseables.

A pesar de estos desafíos, junto con la mayor demanda de combustibles fósiles, existe un énfasis creciente en maximizar la producción de los recursos existentes y desarrollar fuentes sostenibles de combustible, al mismo tiempo que se minimizan los impactos ambientales. Además, los desarrollos recientes en tecnologías rentables de secuenciación genética de alto rendimiento han llevado a una

5 mayor comprensión de las comunidades microbianas nativas de entornos subterráneos. Hay un inventario cada vez mayor de datos de población microbiana de entornos subterráneos, lo que conduce a un uso más amplio de microbios en la eliminación de hidrocarburos de entornos subterráneos. Sin embargo, ninguno de los métodos conocidos convierte el dióxido de carbono en oxígeno o cualquier materia prima útil. En cambio, los métodos convencionales se enfocan en retirar

10 hidrocarburos de manera completa y rentable de entornos subterráneos mediante el uso de microbios.

Las modalidades de la presente descripción pueden proporcionar métodos que eliminan el exceso de dióxido de carbono de la atmósfera almacenándolo en un entorno subterráneo y mediante el uso de microbios convertir el dióxido de carbono de nuevo en oxígeno o en una materia prima útil en el entorno subterráneo. Es decir, las modalidades de la presente descripción pueden combinar el

15 potencial de eliminación de dióxido de carbono de los métodos convencionales de secuestro de dióxido de carbono con tecnología microbiana para convertir el dióxido de carbono en oxígeno o en al menos un compuesto orgánico. Por ejemplo, tales métodos podrían crear pozos de hidrocarburos renovables mediante el bombeo de dióxido de carbono existente en entornos subterráneos junto con microbios diseñados para transformar ese dióxido de carbono en compuestos orgánicos valiosos, tal

20 como los hidrocarburos.

Un beneficio de las modalidades de la presente descripción es que los métodos pueden hacer que sea económicamente rentable para una compañía de petróleo o gas natural eliminar el dióxido de carbono del entorno. Una modalidad del método y su eficiencia económica pueden ilustrarse mediante un ejemplo. Una compañía petrolera descubre petróleo en un entorno subterráneo. La compañía

25 petrolera paga para comprar el entorno subterráneo y paga para proporcionar la infraestructura necesaria para extraer el petróleo del entorno subterráneo mediante el uso de sus procedimientos operativos estándar. Una vez que la compañía petrolera ha extraído la mayor cantidad posible de petróleo del entorno subterráneo, todo lo que queda es un espacio subterráneo gigantesco que típicamente se rellena con agua o similar para evitar sumideros y esorrentía ambiental una vez que

30 la compañía petrolera se muda a otro sitio. Generalmente, la tierra subterránea se considera sin valor, difícil de vender y quizás una responsabilidad ambiental.

Sin embargo, si se usaran los métodos de la presente descripción, entonces la compañía petrolera, o un contratista de la misma, podría llenar el entorno subterráneo con dióxido de carbono, un cultivo microbiano y un medio de cultivo microbiano efectivo, tales como cáscaras de maíz y cáscaras de melón desechadas. Luego, con el tiempo, los microbios podrían convertir el dióxido de carbono del entorno subterráneo en al menos un compuesto orgánico, tal como etanol u octano. La compañía petrolera podría luego regresar y usar gran parte de su antigua infraestructura para eliminar, refinar y vender al menos un compuesto orgánico. Este proceso puede repetirse indefinidamente, dando al entorno subterráneo un valor sostenible como biorreactor. Los métodos descritos en la presente descripción pueden eliminar el dióxido de carbono del entorno y proporcionar un compuesto orgánico valioso capaz de venderse comercialmente. Desde un punto de vista ambiental, las modalidades de los métodos descritos en la presente descripción pueden proporcionar pozos de petróleo y gas rellenables que consumen un exceso de dióxido de carbono y biorresiduos.

Los métodos más efectivos para proteger el entorno son aquellos métodos que la gente realmente usa. Cuanto más rentables sean esos métodos; más probable es que la gente los use. Uno de los beneficios de los métodos descritos en la presente descripción es la rentabilidad mediante el uso de un sistema de biorreactor pasivo. En el ejemplo anterior, la compañía petrolera ya pagó por el terreno, pagó por toda la infraestructura necesaria para bombear materiales dentro y fuera del pozo, y se benefició de la extracción, refinación y venta del petróleo. No hubo ninguna etapa adicional que pudiera poner en riesgo la pérdida de una valiosa producción de hidrocarburos. No se ha incurrido en ningún costo nuevo hasta este punto del proceso. El pozo de petróleo o el entorno subterráneo ahora se pueden rellenar al bombear una materia prima de dióxido de carbono, un cultivo microbiano y un medio de cultivo microbiano en el pozo a un costo reducido como etapa final o casi final. Luego, mientras la compañía petrolera avanza hacia el siguiente sitio de perforación, los microbios pueden convertir la materia prima de dióxido de carbono y el medio de cultivo microbiano en al menos un compuesto orgánico. Algún tiempo después, la compañía petrolera, o un contratista de la misma, puede devolver y extraer los compuestos orgánicos y venderlos para obtener una ganancia. En este ejemplo, la gran mayoría de los gastos se realizaron para extraer el petróleo para la venta. Rellenar el pozo requeriría poco más que un exceso de dióxido de carbono, biorresiduos y tiempo, todos los cuales están fácilmente disponibles. Las modalidades de los métodos actualmente descritos pueden hacer que sea rentable eliminar el dióxido de carbono de la atmósfera y generar pasivamente compuestos orgánicos valiosos mientras los microbios hacen el trabajo, en una escala previamente inimaginable.

¿Qué pasaría con la crisis del calentamiento global si se volviera más rentable, o tan rentable, convertir el dióxido de carbono en compuestos orgánicos valiosos como lo hizo para generar el dióxido de carbono en primer lugar? Los métodos divulgados actualmente podrían transformar a los productores de energía de compañías de calentamiento global a compañías de enfriamiento global.

- 5 Las modalidades de la presente descripción pueden proporcionar métodos para producir al menos un compuesto orgánico en un entorno subterráneo al proporcionar una materia prima de dióxido de carbono, un medio de cultivo microbiano y un cultivo microbiano en un entorno subterráneo, en donde el cultivo microbiano convierte una porción del dióxido de carbono materia prima en al menos un compuesto orgánico. Las modalidades en la presente descripción pueden proporcionar un
- 10 beneficio del uso del gas dióxido de carbono almacenado como un recurso abundante para la producción de uno o más compuestos orgánicos útiles como combustibles y para otras aplicaciones.
- Modalidades de Métodos de Producción de Compuestos Orgánicos

- Los métodos incorporados como se describe en la presente descripción pueden incluir la producción de al menos un compuesto orgánico en un entorno subterráneo. En varias modalidades en la presente
- 15 descripción, el método incluye proporcionar una materia prima de dióxido de carbono, un cultivo microbiano y un medio de cultivo microbiano; y convertir una porción de la materia prima de dióxido de carbono en al menos un compuesto orgánico. En una modalidad, la materia prima de dióxido de carbono, el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano se añaden al entorno subterráneo.
- En una modalidad, el método incluye añadir simultáneamente la materia prima de dióxido de
- 20 carbono, el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano al entorno subterráneo. En una modalidad, el método incluye añadir la materia prima de dióxido de carbono, el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano al entorno subterráneo en cualquier orden. En una modalidad, el método incluye inyectar o bombear al menos una de las materias primas de dióxido de carbono, el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano al entorno subterráneo simultáneamente. En
- 25 una modalidad, el método incluye inyectar o bombear al menos una de las materias primas de dióxido de carbono, el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano al entorno subterráneo en cualquier orden. En una modalidad, el método incluye formar una mezcla de cultivo al mezclar juntos el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano; y añadir la mezcla de cultivo y la materia prima de dióxido de carbono al entorno subterráneo simultáneamente. En una modalidad, el método
- 30 incluye formar una mezcla de cultivo al mezclar juntos el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano; y añadir la mezcla de cultivo y la materia prima de dióxido de carbono al entorno subterráneo en cualquier orden. En una modalidad, el método incluye inyectar el cultivo microbiano

y el medio de cultivo microbiano juntos en el entorno subterráneo en un volumen combinado a una tasa de inyección y una presión de inyección suficientes para convertir una porción de una materia prima de dióxido de carbono en al menos un compuesto orgánico.

En una modalidad, la materia prima de dióxido de carbono se añade a un primer entorno subterráneo y el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano se añaden a un segundo entorno subterráneo, en donde el primer entorno subterráneo está conectado al segundo entorno subterráneo. Un beneficio de dicha modalidad puede proporcionar el uso de entornos subterráneos que tengan conexiones de fluidos o gases, incluidos, entre otros, pozos adyacentes.

En una modalidad, el método incluye recolectar al menos un compuesto orgánico del entorno subterráneo después de un período de tiempo suficiente para que el cultivo microbiano convierta una porción de la materia prima de dióxido de carbono en al menos un compuesto orgánico. En una modalidad, un período de tiempo suficiente puede incluir de aproximadamente un 1 año a aproximadamente 20 años, incluye de aproximadamente 5 años a aproximadamente 15 años.

En una modalidad, el método puede beneficiarse de la determinación de qué microbios y/o medios de crecimiento microbiano son naturales u óptimos para un entorno subterráneo. En una modalidad, el método incluye recolectar una primera muestra del entorno subterráneo en un primer punto de tiempo; analizar la primera muestra para obtener información sobre el microbioma de la primera muestra; y seleccionar el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano en base a la información del microbioma de la primera muestra. En una modalidad, el método incluye recolectar una segunda muestra del entorno subterráneo en un segundo punto de tiempo, analizar la segunda muestra para obtener información del microbioma de la segunda muestra y seleccionar una dosis de ajuste basada en la información del microbioma de la segunda muestra. En algunas modalidades, la dosis de ajuste incluye un segundo cultivo microbiano, un segundo medio de cultivo microbiano o una de sus combinaciones. En una modalidad, el método incluye inyectar la dosis de ajuste en el entorno subterráneo.

En varias modalidades, la información del microbioma puede incluir, entre otros, información sobre la población microbiana; un censo de microorganismos actualmente presentes, vivos y no vivos; caracterizaciones de microorganismos; información sobre material genético y biológico; información derivada o determinada a partir de material genético; fragmentos de material genético u otro material biológico, incluidos ADN, ARN, proteínas o carbohidratos; y perfiles de metabolitos. Tales modalidades pueden proporcionar el beneficio de seleccionar un cultivo microbiano y un

medio de cultivo microbiano para promover la supervivencia y el crecimiento del cultivo microbiano en el entorno subterráneo y la producción de uno o más compuestos orgánicos.

En una modalidad, el método incluye medir una cantidad de al menos un compuesto orgánico producido por al menos uno del primer cultivo microbiano y el segundo cultivo microbiano. En una
5 modalidad, el método incluye medir una cantidad de materia prima de dióxido de carbono en el entorno subterráneo consumido por al menos uno del primer cultivo microbiano y el segundo cultivo microbiano.

En una modalidad, una materia prima de dióxido de carbono se puede inyectar o bombear a una formación subterránea mediante el uso de un equipo de inyección o bombeo que también se puede
10 usar para inyectar o bombear dióxido de carbono a una formación subterránea con el fin de aumentar la producción de petróleo. Un beneficio de tal modalidad puede ser un uso rentable de equipos de inyección o bombeo para la producción de uno o más compuestos orgánicos en un entorno subterráneo, y con el fin de aumentar la producción de petróleo. Tal modalidad puede proporcionar el beneficio de un uso rentable de una formación subterránea con el fin de producir petróleo y para
15 la producción de uno o más compuestos orgánicos.

Una materia prima de dióxido de carbono en varias modalidades puede incluir gas de dióxido de carbono de emisiones industriales, dióxido de carbono de una fuente natural, dióxido de carbono capturado de la atmósfera, gas de dióxido de carbono almacenado o inyectado en un entorno subterráneo, o sus combinaciones. Tales modalidades pueden proporcionar el beneficio de producir
20 uno o más compuestos orgánicos útiles mediante el uso de una materia prima de dióxido de carbono que incluye dióxido de carbono de emisiones industriales. Tales modalidades pueden proporcionar el beneficio de un uso efectivo de dióxido de carbono de fuentes industriales para la producción de compuestos orgánicos, en el sentido de que los ingresos de la venta de más compuestos orgánicos producidos pueden usarse para compensar el costo de capturar y transportar el dióxido de carbono
25 producido industrialmente a la formación subterránea.

En algunas modalidades, la materia prima de dióxido de carbono contiene de aproximadamente 1.0 por ciento en volumen a 100 por ciento en volumen de dióxido de carbono en base al volumen total de la materia prima de dióxido de carbono. En una modalidad, la materia prima de dióxido de carbono contiene de aproximadamente un 2.0 por ciento en volumen a aproximadamente un 95 por
30 ciento en volumen de dióxido de carbono o más basado en el volumen total de la materia prima de dióxido de carbono. En una modalidad, la materia prima de dióxido de carbono contiene de aproximadamente un 5.0 por ciento en volumen a aproximadamente un 90 por ciento en volumen de

dióxido de carbono o más basado en el volumen total de la materia prima de dióxido de carbono. En una modalidad, el método incluye añadir una segunda porción de materia prima de dióxido de carbono al entorno subterráneo.

Una modalidad del método para producir al menos un compuesto orgánico en un entorno subterráneo puede beneficiarse de una etapa de convertir o facilitar activamente la reacción de la materia prima de dióxido de carbono en al menos un material orgánico. En una modalidad, el método incluye introducir al menos uno de un aparato de electrólisis y/o una materia prima de hidrógeno en el entorno subterráneo. En una modalidad, la materia prima de hidrógeno contiene de aproximadamente 1.0 por ciento en volumen a aproximadamente 80 por ciento en volumen de hidrógeno en base al volumen total de la materia prima de hidrógeno o la materia prima de gas. En una modalidad, la materia prima de hidrógeno contiene de aproximadamente un 2 por ciento en volumen a aproximadamente un 8 por ciento en volumen de hidrógeno basado en un volumen total de la materia prima de hidrógeno. En una modalidad, la materia prima de hidrógeno contiene de aproximadamente un 4 por ciento en volumen a aproximadamente un 6 por ciento en volumen de hidrógeno basado en un volumen total de la materia prima de hidrógeno. Un beneficio de tal modalidad puede incluir la promoción del crecimiento del cultivo microbiano y/o el aumento de la tasa de conversión de la materia prima de dióxido de carbono en al menos un compuesto orgánico en la formación subterránea.

Un entorno subterráneo en varias modalidades puede incluir un pozo, una formación de pozo que contiene un hidrocarburo, una caverna natural, una formación subterránea, un tanque de almacenamiento subterráneo o una de sus combinaciones. En una modalidad, el método incluye seleccionar el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano basándose en al menos una propiedad del entorno subterráneo. En algunas modalidades, al menos una propiedad del entorno subterráneo incluye temperatura, presión, permeabilidad, porosidad, salinidad, acidez o sus combinaciones. En ciertas modalidades, el método incluye seleccionar el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano en base a una adaptación del cultivo microbiano a al menos una propiedad del entorno subterráneo, seleccionar el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano en base a la resistencia del microbio cultivo a por lo menos una propiedad del entorno subterráneo, o una de sus combinaciones.

Las modalidades de cultivos microbianos en la presente descripción pueden incluir al menos una población bacteriana nativa de la formación subterránea. Un beneficio de tales modalidades puede incluir la selección de al menos una población bacteriana que se adapte de forma nativa para crecer

en la formación subterránea. En otras modalidades, el cultivo microbiano puede incluir al menos una población bacteriana exógena o una combinación de al menos una población bacteriana nativa y al menos una población bacteriana exógena. En algunas modalidades, el cultivo microbiano puede incluir al menos una población de bacterias anaerobias, al menos una población de bacterias modificadas genéticamente o una de sus combinaciones. En una modalidad, al menos una población de bacterias anaerobias puede incluir una bacteria *Geobacter*, una bacteria *Clostridium*, o una de sus combinaciones. En ciertas modalidades, el cultivo microbiano incluye una bacteria *Bacillus*, una bacteria *Geobacillus*, una bacteria *Petrobacter*, una bacteria *Desulfotomaculum*, una bacteria *Bacteroides*, una bacteria *Termoanaerobacter*, una bacteria *Thermococcus*, una bacteria *Thermotogales*, una bacteria *Petrotoga*, una bacteria *Thermotoga*, una bacteria *Desulfotomaculum*, una bacteria *Caminicella*, una bacteria *Geosporobacter* o una de sus combinaciones. En ciertas modalidades, el cultivo microbiano incluye una bacteria metanotrófica, una bacteria metanogénica, una arqueobacteria, una bacteria quimiotrófica, una bacteria oxidante de hierro, una bacteria oxidante de azufre, una bacteria extremófila, una bacteria termófila, una bacteria halófila, una bacteria productora de hidrógeno, una bacteria productora de tensioactivo, una bacteria acetogénica o una de sus combinaciones.

En varias modalidades, el al menos un cultivo microbiano puede seleccionarse en base a una o más propiedades del entorno subterráneo. En tales modalidades, una o más propiedades del entorno subterráneo pueden incluir temperatura, presión, permeabilidad, porosidad, salinidad, acidez o sus combinaciones. Tales modalidades pueden proporcionar el beneficio de seleccionar al menos una población bacteriana que esté adaptada para crecer y convertir una porción de la materia prima de dióxido de carbono en al menos un compuesto orgánico en el entorno subterráneo.

Las modalidades de los medios de crecimiento microbiano en la presente descripción pueden incluir un líquido acuoso. En varias modalidades, los materiales que se pueden incluir en dicho líquido acuoso se pueden seleccionar para soportar el crecimiento de los microorganismos deseados. Tal líquido acuoso puede incluir materiales orgánicos, incluidos, entre otros, materiales tales como extracto de levadura, extractos de origen animal tales como extracto de carne de res y triptona, agar y vitaminas. Tal líquido acuoso también puede incluir materiales inorgánicos, incluidos, entre otros, sales de amonio, sales de carbonato, nitratos, fosfatos, cloruro de sodio y minerales. Los ejemplos de medios de crecimiento microbiano que contienen materiales orgánicos e inorgánicos incluyen, entre otros, agar nutritivo y caldo Lysogeny Bertani (LB).

Las modalidades de medios de crecimiento microbiano que incluyen un líquido acuoso pueden incluir de aproximadamente el 1 por ciento en peso hasta el 50 por ciento en peso de al menos un material de base biológica, basado en el peso total del medio de cultivo microbiano. En una modalidad, el líquido acuoso incluye desde aproximadamente el 10 por ciento en peso a aproximadamente 40 por ciento en peso de al menos un material de base biológica. En una modalidad, el líquido acuoso incluye de aproximadamente el 20 por ciento en peso a aproximadamente el 30 por ciento en peso de al menos un material de base biológica. En una modalidad, el líquido acuoso incluye de aproximadamente el 1 por ciento en peso a aproximadamente el 5 por ciento en peso de al menos un material de base biológica. Las modalidades de tal líquido acuoso pueden incluir una solución o suspensión acuosa que contiene al menos un material de base biológica. En una modalidad, el al menos un material de base biológica incluye glucosa, fructosa, glicerol, sacarosa, maltodextrina, cloruro de sodio, un extracto de levadura, un extracto de malta, una peptona de caseína, acetato de sodio, lactato de sodio, un licor de maceración del maíz, una cáscara de sandía, una mazorca de maíz, melaza, un material seco de base biológica o sus combinaciones. Un beneficio de tal modalidad puede incluir el uso de un material de base biológica abundante y efectivo en el medio de cultivo microbiano. Las modalidades de medios de crecimiento microbiano que incluyen un líquido acuoso en la presente descripción pueden proporcionar el beneficio de promover el crecimiento del cultivo microbiano en el entorno subterráneo. Otro beneficio de tal modalidad puede ser un medio de cultivo microbiano ventajoso para inyectar o bombear el medio de cultivo microbiano en una formación subterránea.

El al menos un compuesto orgánico en varias modalidades puede incluir un alcano C_1 a C_{12} , un alcohol C_1 a C_4 , un ácido orgánico C_1 a C_3 , un hidrocarburo C_1 a C_{120} o una de sus combinaciones. Los ejemplos de hidrocarburos adecuados incluyen un alcano, metano, butano, pentano, hexano, heptano, octano, nonano, decano, dodecano, tetradecano, octadecano y sus combinaciones. En algunas modalidades, el al menos un compuesto orgánico puede incluir un alqueno, un alcohol, metanol, etanol, propanol, butanodiol, un ácido orgánico, ácido acético, ácido oxálico, una olefina, etileno, un biotensioactivo o una de sus combinaciones.

Un beneficio del al menos un compuesto orgánico en varias modalidades puede incluir la provisión de al menos un compuesto orgánico útil como combustible o para otras aplicaciones útiles.

Los métodos realizados descritos en la presente descripción pueden incluir métodos para aumentar la producción de un hidrocarburo de un pozo. En tal modalidad, el método puede incluir la recolección de una muestra del entorno de un pozo en un punto de tiempo; analizar la muestra para

obtener información sobre el microbioma de la muestra; seleccionar un cultivo microbiano y un medio de cultivo microbiano en base a la información del microbioma de la muestra, en donde la información del microbioma de la muestra comprende una adaptación del cultivo microbiano a al menos una propiedad del entorno del pozo, una resistencia del cultivo microbiano a al menos una propiedad del entorno del pozo, al menos una propiedad del entorno del pozo, o una de sus combinaciones; en donde al menos una propiedad incluye temperatura, presión, permeabilidad, porosidad, salinidad, acidez o sus combinaciones; proporcionar una materia prima de biotensioactivo; convertir una porción de la materia prima de biotensioactivo en al menos un biotensioactivo y degradar al menos un hidrocarburo de petróleo, al menos una parafina, o una de sus combinaciones presentes en el entorno del pozo mediante la adición de la materia prima de biotensioactivo, el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano a el entorno del pozo; en donde el cultivo microbiano comprende una bacteria productora de tensioactivo, una bacteria que degrada hidrocarburos de petróleo, una bacteria que degrada parafina, *Gordina sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Bacillus subtilis*, una bacteria que degrada rocas, *Rhodothermus marinus*, o sus combinaciones; y aumentar la producción del hidrocarburo del pozo.

Los métodos incorporados para aumentar la producción de un hidrocarburo de un pozo como se describe en la presente descripción, incluidas las modalidades que producen al menos un biotensioactivo en un entorno de pozo, pueden proporcionar el beneficio de mejorar los procesos de Recuperación de Petróleo Mejorada Microbianamente (MEOR). Las modalidades que proporcionan una bacteria degradante de hidrocarburos de petróleo, una bacteria degradante de parafina o sus combinaciones pueden proporcionar el beneficio de degradar hidrocarburos de cadena larga, incluidos los hidrocarburos cerosos, lo que puede provocar una disminución de la viscosidad y un aumento de la movilidad del aceite presente en el entorno del pozo, al ayudar así a aumentar la producción de un hidrocarburo del pozo. Las modalidades que proporcionan una bacteria degradadora de rocas pueden proporcionar el beneficio de degradar rocas a base de silicio presentes en el entorno del pozo, al aumentar así la porosidad de las rocas y ayudar a aumentar la recuperación de hidrocarburos.

Sistemas de Varias Modalidades

Las modalidades de los sistemas descritos en la presente descripción pueden incluir un sistema para producir al menos un compuesto orgánico en un entorno subterráneo. En una modalidad, el sistema incluye un recipiente de cultivo microbiano conectado a un puerto de inyección de microbios y un recipiente de medio de cultivo microbiano conectado a un puerto de inyección de medio de cultivo

microbiano. En una modalidad, el sistema incluye un recipiente de mezcla de cultivo microbiano conectado a un puerto de mezcla de cultivo. En una modalidad, el sistema incluye una tubería de suministro conectada a al menos un puerto de inyección de microbios, un puerto de inyección de medio de cultivo microbiano y un puerto de mezcla de cultivo. En varias modalidades, la tubería de suministro y una tubería de inyección están conectadas a una estación de bombeo, en donde una porción de la tubería de inyección está conectada al entorno subterráneo. En una modalidad, una materia prima de dióxido de carbono se puede inyectar o bombear a una formación subterránea mediante el uso de una tubería de suministro, una tubería de inyección, una estación de bombeo o una de sus combinaciones, en donde la tubería de suministro, la tubería de inyección, la estación de bombeo o una combinación del mismo también se puede usar para inyectar o bombear dióxido de carbono en una formación subterránea con el fin de aumentar la producción de petróleo en un proceso EOR. Una modalidad de este tipo puede proporcionar el beneficio de un uso efectivo de equipos para la producción de uno o más compuestos orgánicos en un entorno subterráneo, así como también para aumentar la producción de petróleo. Tal modalidad puede proporcionar el beneficio de un uso rentable de una formación subterránea con el fin de producir petróleo y para la producción de uno o más compuestos orgánicos.

EJEMPLOS

Ejemplo 1

En un método para producir al menos un compuesto orgánico en un entorno subterráneo, se recoge una primera muestra del entorno subterráneo en un primer punto de tiempo. La primera muestra se analiza para obtener una primera muestra de información del microbioma. Según la información del microbioma de la primera muestra, un cultivo microbiano nativo del entorno subterráneo, incluido un cultivo de *Geobacter*, y un medio de cultivo microbiano adecuado. El cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano se seleccionan además en base a al menos una propiedad del entorno subterráneo (temperatura, presión, permeabilidad, porosidad, salinidad, acidez o sus combinaciones). En el entorno subterráneo se proporciona una materia prima de dióxido de carbono que contiene un 80 por ciento en volumen de dióxido de carbono. Se proporciona un cultivo microbiano seleccionado en un recipiente de cultivo microbiano, y se proporciona un medio de cultivo microbiano seleccionado en un recipiente de medio de cultivo microbiano. El cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano se inyectan simultáneamente, respectivamente a través de un puerto de inyección de microbios y un puerto de inyección de medio de cultivo microbiano,

en una tubería de suministro. La tubería de suministro y una tubería de inyección están conectadas a una estación de bombeo; la tubería de inyección está conectada al entorno subterráneo. El cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano se bombean a través de la tubería de suministro y la tubería de inyección al entorno subterráneo. En un segundo punto de tiempo, se recolecta una segunda muestra del entorno subterráneo y se analiza para obtener información sobre el microbioma de una segunda muestra. En función de la información del microbioma de la segunda muestra, se selecciona una dosis de ajuste, que incluye un segundo cultivo microbiano y un segundo medio de cultivo microbiano. La dosis de ajuste se inyecta en el entorno subterráneo. La cantidad del al menos un compuesto orgánico producido por el cultivo microbiano se mide periódicamente. Después de un período de tiempo suficiente para que el cultivo microbiano convierta una porción de la materia prima de dióxido de carbono en al menos un compuesto orgánico, el al menos un compuesto orgánico se recolecta del entorno subterráneo.

Ejemplo 2

En un método de producción de al menos un compuesto orgánico en un entorno subterráneo, previo a la aplicación de tecnologías MEOR, los proyectos son evaluados para determinar la compatibilidad del petróleo crudo y las propiedades del yacimiento con MEOR, tomando en cuenta las propiedades fisicoquímicas del petróleo crudo, rendimiento de la producción del yacimiento y propiedades del yacimiento, incluida la temperatura. En la etapa preliminar, las muestras de fluidos del yacimiento se recolectan y se prueban para verificar su compatibilidad con los sistemas MEOR. La primera etapa es la identificación de las bacterias autóctonas consumidoras de hidrocarburos, que ya están adaptadas a las condiciones del yacimiento in situ; tras lo cual se diseña y desarrolla la mejor estrategia de actuación para cada proyecto. Los métodos MEOR para mejorar la recuperación de petróleo de formaciones subterráneas se describen en Yarbrough HF, Coty VE. Microbially enhanced oil recovery from the Upper Cretaceous Nacatoch formation, Union County Arkansas. Proceedings of International Conference on Microbial Enhancement of Oil Recovery, USA; 1983, p. 149-153; y en Portwood JT (Company Alpha Environmental Midcontinent, Inc.). A commercial microbial enhanced oil recovery technology: Evaluation of 322 projects. Proceedings of the SPE Production Operations Symposium; 2-4 Abril, Oklahoma City, Oklahoma: SPE; 2007, p. 693-709, que se incorporan aquí por referencia en su totalidad.

Las técnicas MEOR se aplican en pozos individuales de la siguiente manera: (1) del pozo que se está tratando o (2) del pozo objetivo y los pozos adyacentes del mismo yacimiento. La solución MEOR se inyecta en pozos adyacentes de la misma manera que se inyecta agua en el yacimiento. El volumen

del biomaterial MEOR a inyectar se calcula en función del volumen de poros del yacimiento objetivo. La solución se mezcla y se bombea a través del pozo de inyección, seguido de la inyección de agua para llevar la solución biológica a las zonas saturadas de petróleo. Luego, el pozo tratado se cierra por el período de tiempo requerido (normalmente de 24 horas a 7 días), luego de lo cual se reanuda la producción de petróleo. Este procedimiento se repite cada 3-6 meses para permitir que los microorganismos se muevan más profundamente en el depósito a las zonas saturadas de petróleo.

MODALIDADES ILUSTRATIVAS

Modalidad 1. Un método para producir al menos un compuesto orgánico en un entorno subterráneo que comprende:

proporcionar una materia prima de dióxido de carbono, un cultivo microbiano y un medio de cultivo microbiano; y

convertir una porción de la materia prima de dióxido de carbono en al menos un compuesto orgánico mediante la adición de la materia prima de dióxido de carbono, el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano al entorno subterráneo,

en donde la materia prima de dióxido de carbono contiene de aproximadamente 1.0 por ciento en volumen a 100 por ciento en volumen de dióxido de carbono basado en el volumen total de la materia prima de dióxido de carbono.

Modalidad 2. El método de la Modalidad 1, en donde el entorno subterráneo incluye un pozo, una formación de pozo que contiene un hidrocarburo, una caverna natural, una formación subterránea, un tanque de almacenamiento subterráneo o una de sus combinaciones.

Modalidad 3. El método de cualquiera de las Modalidades 1-2 anteriores, en donde el cultivo microbiano incluye al menos una población bacteriana nativa de la formación subterránea, al menos una población bacteriana exógena, al menos una población bacteriana anaerobia, al menos una población bacteriana modificada genéticamente, o una de sus combinaciones.

Modalidad 4. El método de cualquiera de las Modalidades 1-3 anteriores, en donde el cultivo microbiano incluye una bacteria *Geobacter*, una bacteria *Clostridium*, una bacteria *Bacillus*, una bacteria *Geobacillus*, una bacteria *Petrobacter*, una bacteria *Desulfotomaculum*, una bacteria *Bacteroides*, una bacteria *Thermoanaerobacter*, una bacteria *Thermococcus*, una bacteria *Thermotogales*, una bacteria *Petrotoga*, una bacteria *Thermotoga*, una bacteria *Desulfotomaculum*, una bacteria *Caminicella*, una bacteria *Geosporobacter*, o una de sus combinaciones; o el cultivo microbiano incluye una bacteria metanotrófica, una bacteria metanogénica, una arqueobacteria, una

bacteria quimiotrófica, una bacteria oxidante de hierro, una bacteria oxidante de azufre, una bacteria extremófila, una bacteria termófila, una bacteria halófila, una bacteria productora de hidrógeno, una bacteria productora de tensioactivo, una bacteria acetogénica, o una de sus combinaciones.

5 Modalidad 5. El método de cualquiera de las Modalidades 1-4 anteriores, en donde el medio de cultivo microbiano es un líquido acuoso que incluye de aproximadamente el 1 por ciento en peso a el 50 por ciento en peso de al menos un material de base biológica, basado en el peso total del medio de cultivo microbiano.

10 Modalidad 6. El método de cualquiera de las Modalidades 5 anteriores, en donde al menos un material de base biológica incluye glucosa, fructosa, glicerol, sacarosa, maltodextrina, cloruro de sodio, un extracto de levadura, un extracto de malta, una peptona de caseína, acetato de sodio, lactato de sodio, un licor de maceración del maíz, una cáscara de sandía, una mazorca de maíz, melaza, un material seco de base biológica o sus combinaciones.

15 Modalidad 7. El método de cualquiera de las Modalidades 1-6 anteriores, en donde al menos un compuesto orgánico incluye un alcano C_1 a C_{12} , un alcohol C_1 a C_4 , un ácido orgánico C_1 a C_3 , un hidrocarburo C_1 a C_{120} o una de sus combinaciones.

20 Modalidad 8. El método de cualquiera de las Modalidades 1-7 anteriores, en donde al menos un compuesto orgánico incluye un alcano, metano, butano, pentano, hexano, heptano, octano, nonano, decano, dodecano, tetradecano, octadecano, un alqueno, un alcohol, metanol, etanol, propanol, butanodiol, un ácido orgánico, ácido acético, ácido oxálico, una olefina, etileno, un biotensioactivo o una de sus combinaciones.

25 Modalidad 9. El método de cualquiera de las Modalidades anteriores 1-8, que comprende además, recolectar el al menos un compuesto orgánico del entorno subterráneo después de un período de tiempo suficiente para que el cultivo microbiano convierta la porción de la materia prima de dióxido de carbono en al menos un compuesto orgánico; o añadir una segunda porción de materia prima de dióxido de carbono al entorno subterráneo.

30 Modalidad 10. El método de cualquiera de las Modalidades anteriores 1-9, que comprende además, recoger una primera muestra del entorno subterráneo en un primer punto de tiempo; analizar la primera muestra para obtener información sobre el microbioma de la primera muestra; y seleccionar el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano en base a la información del microbioma de la primera muestra.

Modalidad 11. El método de cualquiera de las Modalidades anteriores 1-10, que comprende además,

seleccionar el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano en base a al menos una propiedad del entorno subterráneo, en donde la al menos una propiedad incluye temperatura, presión, permeabilidad, porosidad, salinidad, acidez o sus combinaciones.

Modalidad 12. El método de la Modalidad 11, que comprende además,

- 5 recolectar una segunda muestra del entorno subterráneo en un segundo punto de tiempo; analizar la segunda muestra para obtener información del microbioma de una segunda muestra; seleccionar una dosis de ajuste en base a la información del microbioma de la segunda muestra, en donde la dosis de ajuste incluye un segundo cultivo microbiano, un segundo medio de cultivo microbiano o una de sus combinaciones; e
- 10 inyectar la dosis de ajuste en el entorno subterráneo.

Modalidad 13. El método de la Modalidad 12, que comprende además,

medir una cantidad del al menos un compuesto orgánico producido por al menos uno del primer cultivo microbiano y el segundo cultivo microbiano.

Modalidad 14. El método de cualquiera de las Modalidades 1-13 anteriores, que comprende además,

- 15 añadir la materia prima de dióxido de carbono, el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano al entorno subterráneo, simultáneamente o en cualquier orden; o inyectar o bombear al menos una de las materias primas de dióxido de carbono, el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano en el entorno subterráneo, simultáneamente o en cualquier orden.

Modalidad 15. El método de cualquiera de las Modalidades 1-14 anteriores, que comprende además,

- 20 formar una mezcla de cultivo al mezclar juntos el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano; y
- añadir la mezcla de cultivo y la materia prima de dióxido de carbono al entorno subterráneo, simultáneamente o en cualquier orden.

Modalidad 16. El método de cualquiera de las Modalidades 1-15 anteriores, en donde la materia

- 25 prima de dióxido de carbono se añade a un primer entorno subterráneo, en donde el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano se añaden a un segundo entorno subterráneo, y donde el primer entorno subterráneo está conectado a el segundo entorno subterráneo.

Modalidad 17. El método de cualquiera de las Modalidades 1-16 anteriores, que comprende además,

- inyectar el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano juntos al entorno subterráneo en un
- 30 volumen combinado a una tasa de inyección y una presión de inyección suficientes para convertir la porción de materia prima de dióxido de carbono en el al menos un compuesto orgánico.

Modalidad 18. El método de cualquiera de las Modalidades 1-17 anteriores, que comprende además,

introducir al menos uno de un aparato de electrólisis y una materia prima de hidrógeno en el entorno subterráneo, en donde la materia prima de hidrógeno contiene de aproximadamente 1.0 por ciento en volumen a aproximadamente 80 por ciento en volumen, basado en un volumen total de la materia prima de gas.

5 Modalidad 18A. El método de cualquiera de las Modalidades 1-17 anteriores, que comprende además,

a. introducir al menos uno de un aparato de electrólisis y una materia prima de hidrógeno en el entorno subterráneo, en donde la materia prima de hidrógeno contiene de aproximadamente 1 por ciento en volumen a aproximadamente 80 por ciento en volumen de hidrógeno basado en un volumen total de la materia prima de hidrógeno.

10 Modalidad 18B. El método de cualquiera de las Modalidades 1-17 anteriores, que comprende además, introducir al menos uno de un aparato de electrólisis y una materia prima de gas en el entorno subterráneo, en donde la materia prima de gas contiene de aproximadamente 1 por ciento en volumen a aproximadamente 80 por ciento en volumen de hidrógeno basado en una volumen total de la materia prima de gas.

15 Modalidad 19. Un sistema para producir al menos un compuesto orgánico en un entorno subterráneo que comprende:

un recipiente de cultivo microbiano conectado a un puerto de inyección de microbios y un recipiente de medio de cultivo microbiano conectado a un puerto de inyección de medio de cultivo microbiano,

20 o un recipiente de mezcla de cultivo conectado a un puerto de mezcla de cultivo;

una tubería de suministro conectada a al menos uno de entre el puerto de inyección de microbios, el puerto de inyección de medio de cultivo microbiano, el puerto de mezcla de cultivo y una estación de bombeo; y una tubería de inyección conectada a la estación de bombeo, en donde una porción de la tubería de inyección está conectada al entorno subterráneo.

25 Modalidad 20. Un método para aumentar la producción de un hidrocarburo de un pozo que comprende:

recolectar una muestra del entorno de un pozo en un punto de tiempo;

analizar la muestra para obtener información sobre el microbioma de la muestra;

seleccionar un cultivo microbiano y un medio de cultivo microbiano en base a la información del

30 microbioma de la muestra, en donde la información del microbioma de la muestra comprende una adaptación del cultivo microbiano a al menos una propiedad del entorno del pozo, una resistencia

del cultivo microbiano a al menos una propiedad del entorno del pozo, al menos una propiedad del entorno del pozo, o una de sus combinaciones;

en donde la al menos una propiedad incluye temperatura, presión, permeabilidad, porosidad, salinidad, acidez o sus combinaciones;

5 proporcionar una materia prima de biotensioactivo;

convertir una porción de la materia prima de biotensioactivo en al menos un biotensioactivo y degradar al menos un hidrocarburo de petróleo, al menos una parafina, o una de sus combinaciones presente en el entorno del pozo mediante la adición de la materia prima de biotensioactivo, el cultivo microbiano y el medio de cultivo microbiano a el entorno del pozo; en donde el cultivo microbiano

10 comprende una bacteria productora de tensioactivo, una bacteria que degrada hidrocarburos de petróleo, una bacteria que degrada parafina, *Gordina sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Bacillus subtilis*, una bacteria que degrada rocas, *Rhodothermus marinus*, o sus combinaciones; y aumentar la producción del hidrocarburo del pozo.

15