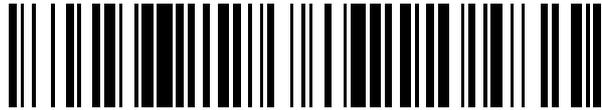


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 770 336**

51 Int. Cl.:

C12M 1/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.04.2010 PCT/US2010/030269**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.10.2010 WO10120611**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.04.2010 E 10719437 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2019 EP 2419502**

54 Título: **Método de entrega eficiente de energía fotónica a los cultivos en un medio líquido**

30 Prioridad:

17.04.2009 US 425716

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

01.07.2020

73 Titular/es:

**STATERRA LLC (100.0%)
15326 188th Avenue NE
Woodinville, WA 98072, US**

72 Inventor/es:

**GREEN, JARED, P. y
BROOKS, ERIC, R.**

74 Agente/Representante:

URÍZAR BARANDIARAN, Miguel Ángel

ES 2 770 336 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método de entrega eficiente de energía fotónica a los cultivos en un medio líquido

ANTECEDENTES

Campo técnico

5 **[0001]** La presente patente hace referencia a un método para la distribución uniforme de la energía fotónica en un cultivo en un medio fluido que subsana los problemas de turbidez de un cultivo denso y de acumulación de biopelícula.

Descripción de la técnica relacionada

10 **[0002]** El rápido crecimiento de alta densidad de los microorganismos fotosintéticos es esencial en muchas aplicaciones industriales. Dichas aplicaciones incluyen, sin límite, suministrar biomasa empleada para extraer biocombustible, suministrar biomasa empleada para producir metano mediante la digestión anaeróbica de la biomasa, producir
15 alimentos o nutracéuticos especializados, como EPA y DHA para animales y seres humanos, producir alimentos y un entorno de crecimiento para la acuicultura, y consumir y secuestrar productos de desecho industrial como el CO₂. Proporcionar un crecimiento más rápido y producir cultivos de alta densidad es esencial para alcanzar la escala operacional necesaria para las necesidades ambientales e industriales actuales. De forma ideal, mejorar la rapidez del crecimiento y aumentar la densidad de un cultivo requeriría un menor espacio productivo y, por consiguiente, reduciría los costes de las instalaciones asociadas.

20 **[0003]** Control efectivo de la luz. Para maximizar el crecimiento de organismos fotosintéticos, debe haber luz con una intensidad adecuada, una frecuencia adecuada y sin calor excesivo. Una excesiva intensidad de la luz puede limitar el crecimiento induciendo la fotorrespiración o blanqueando los pigmentos necesarios para el crecimiento celular eficiente. Además, un exceso de intensidad de la luz o frecuencia de la luz en el cultivo puede resultar en un calentamiento, lo cual puede limitar el crecimiento del cultivo. Estos problemas son ya aparentes en sistemas de producción basados únicamente en la luz solar directa como conductor de la fotosíntesis, como en estanques y canales. La luz solar está sujeta a una extrema variabilidad diurna y estacional. Además, los cultivos basados en la luz solar directa están sujetos al calentamiento periódico provenientes de intensidades lumínicas y espectros no inmediatamente utilizables por el cultivo.

25 **[0004]** La capacidad de controlar de forma efectiva la luz durante 24 horas al día permite un crecimiento más rápido de la biomasa y de los metabolitos secundarios, así como el consumo constante de CO₂. Esto permite un uso más eficiente de las instalaciones, reduciendo la huella para un nivel de producción dado. Con todo, el uso de luz artificial tiene un coste que debe minimizarse para una satisfactoria aplicación industrial.

30 **[0005]** Obstáculos para la transmisión de la luz. Los dos principales obstáculos que reducen la transmisión uniforme de luz a un cultivo son la turbidez y la biopelícula.

[0006] La turbidez se da cuando un cultivo se acerca a una densidad en la que algunos de los organismos impiden que la luz alcance a los otros. Garantizar la transmisión de la cantidad de luz adecuada a cada organismo es más difícil a medida que aumenta la densidad de los organismos de un cultivo. La turbidez de un cultivo hace que algunos organismos reciban menos luz de la que pueden utilizar y provoca la absorción no productiva de luz por parte de otros
35 organismos. La absorción del exceso de luz supone un desperdicio energético y contribuye al calentamiento.

[0007] La formación de una biopelícula es un problema muy extendido que tiene lugar cuando un microorganismo se adhiere a una superficie. La mayoría de los microorganismos, incluidas las especies de los tres dominios, esto es, bacterias, eucariotas y arqueas, llevan a cabo procesos que resultan en la adhesión a las superficies y a otros

microorganismos. En aplicaciones industriales, las biopelículas suelen obturar y corroer las tuberías y las superficies. En los fotobiorreactores, puede formarse una biopelícula sobre una superficie transmisora de, reduciendo así la intensidad y cambiando los espectros de la luz transmitida.

5 **[0008]** Las técnicas actuales que abordan la turbidez utilizan biorreactores tubulares que iluminan el cultivo a medida que este fluye por las tuberías de un diámetro suficientemente pequeño. Con todo, a medida que el diámetro de las tuberías se reduce, la fricción y la presión incremental, haciendo necesarias unas bombas más potentes para circular el cultivo por las tuberías. Además, la gran superficie de la tubería relativa a la cantidad de cultivo expuesto a la luz aumenta la aparición de la biopelícula. Algunos sistemas tubulares existentes interrumpen de forma periódica la producción y meten ganchos desatascadores por las tuberías para eliminar la biopelícula de la superficie interior de las
10 mismas. Otros sistemas incluyen aumentar la velocidad de flujo e incorporar microesferas en el flujo para aumentar la turbulencia y, así, reducir la biopelícula. Aumentar la velocidad de circulación hace necesarias tuberías más largas para garantizar que el cultivo reciba suficiente luz. Todas estas soluciones aumentan la potencia necesaria para mantener el flujo, incrementando los costes de producción.

15 **[0009]** Otra técnica empleada para abordar la turbidez en los cultivos incluye la exposición del cultivo a la fuente de luz como flujo extenso y poco profundo. En general, en dichos sistemas la biopelícula no supone un problema porque no hay ninguna superficie entre el cultivo y la fuente de luz. Pero la dispersión de la luz en un objetivo tan amplio impide el control detallado de la intensidad transmitida y hace necesarias cantidades significativas de energía para producir la cantidad de luz precisa. Los costes energéticos no son un factor cuando se emplea la radiación de la luz solar directa, pero el proceso está sujeto a la variabilidad de la propia radiación solar. Cuando se emplea luz artificial el exceso de
20 gasto energético para la amplia difusión de la luz aumenta considerablemente los costes de producción.

[0010] Se describe una tercera técnica en Eckelberry et al., U.S. Patent Application No. 2009/0029445. La técnica consiste en utilizar un biorreactor cerrado, basándose en una fuente eficiente de luz artificial, como unos LED. Los efectos de la turbidez se reducen al proporcionar paletas que producen circulación. Con todo, dicho sistema sigue estando sujeto a la formación de biopelícula en las fuentes de luz.

25 **[0011]** El presente documento aborda los costes añadidos derivados del uso de luz artificial, reduciendo la cantidad de luz necesaria para maximizar el crecimiento y evitar la obstrucción de las fuentes de luz por parte de la biopelícula. La distribución uniforme y eficiente de la luz en el cultivo y la optimización de los espectros y la intensidad de la luz en base a los organismos concretos cultivados, el objetivo de su cultivo y su estadio de crecimiento permiten maximizar el crecimiento de los organismos fotosintéticos.

30 **[0012]** El documento WO 2008/135276 revela un método de montaje para la distribución tridimensional de la luz en un medio líquido como una suspensión de algas y/o para la producción de biomasa.

BREVE RESUMEN

[0013] medios de un medio de transferencia de energía fluente que evita el contacto directo entre un medio de cultivo y una superficie de transmisión de la luz de una fuente de energía fotónica. El medio de transferencia de energía recibe la
35 luz de una fuente de energía fotónica a medida que fluye hacia el medio de cultivo. A medida que el medio de transferencia de energía fluye hacia el medio de cultivo, se deshace en muchas burbujas o gotas y en el proceso proporciona superficies que dispersan la luz ampliamente por el cultivo. Esta multiplicidad de vías lumínicas y la proximidad de los organismos a las fuentes de luz proximales también reducen la vulnerabilidad al auto-oscurecimiento en cultivos muy densos. Se evita la formación de biopelícula porque la superficie de transmisión de la luz de la fuente de
40 energía fotónica está aislada del contacto directo con el cultivo. El medio de transferencia de energía fluente hacia el

ES 2 770 336 T3

medio de cultivo actúa como una serie de lentes que se reabastecen constantemente como consecuencia del flujo y, por ende, no son susceptibles de que se forme biopelícula sobre ellas.

5 **[0014]** Un método aquí descrito incluye la prevención de la formación de biopelícula y la subsanación de la turbidez durante la transmisión de energía fotónica a un cultivo o conjunto de organismos en un medio de cultivo fluido. El método incluye la distribución de energía fotónica en el medio de cultivo fluido mediante un medio de transferencia de energía fluido. El medio de transferencia de energía fluido puede ser, al menos, un gas o un líquido. La distribución de energía fotónica incluye la introducción de la energía fotónica en el medio de cultivo fluido desde una primera ubicación y la introducción del medio de transferencia de energía en el medio de cultivo fluido desde, al menos, una segunda ubicación alejada de la primera. La energía fotónica se distribuye en el medio de cultivo a través del medio de
10 transferencia de energía introducido desde cualquier ubicación mediante, al menos, uno de los siguientes métodos: transmisión, reflexión, refracción o difracción. De forma ideal, la energía fotónica se produce empleando una fuente de energía fotónica separada del medio de cultivo por el medio de transferencia de energía.

15 **[0015]** En la presente se describe un método para evitar la formación de biopelícula durante la transmisión de luz a un cultivo o conjunto de organismos en un medio de cultivo fluido. El método incluye la introducción de un medio de transferencia de energía fluido en un medio de cultivo mediante una interfaz y la distribución de la luz en el medio de transferencia de energía fluido a medida que se introduce en el medio de cultivo. El método incluye además la producción de la luz empleando una fuente de luz separada del medio de cultivo por, al menos, uno de los siguientes elementos: la interfaz, el medio de transferencia de energía y una combinación de la interfaz y el medio de transferencia de energía. La fuente de luz incluye, al menos, uno de los siguientes elementos: luz artificial, luz solar y una
20 combinación de luz artificial y luz solar. Además, puede conseguirse producir la luz a nivel local en la interfaz mediante una fuente de luz artificial controlable que incluya, al menos, uno de los siguientes elementos: una fuente en estado sólido, una fuente de descarga de gas y una fuente incandescente. El método también incluye la transmisión de luz producida a nivel local o capturada remotamente a la interfaz mediante, al menos, uno de los siguientes elementos: un medio de fibra óptica, un tubo de luz y una guía de ondas.

25 **[0016]** El método incluye además el ajuste del contenido espectral de la fuente de luz, ajuste el cual está determinado por, al menos, una de las siguientes razones: las necesidades fototróficas del cultivo, la energía desperdiciada de la producción de frecuencias lumínicas particulares y el impacto de las frecuencias lumínicas específicas en un entorno adaptado al crecimiento de organismos fototróficos. El ajuste del contenido espectral de la fuente de luz puede incluir, al menos, una de las siguientes acciones: seleccionar la fuente de luz para el contenido espectral, combinar diversas
30 fuentes lumínicas seleccionadas para producir un contenido espectral objetivo, filtrar la fuente de luz, cambiar las longitudes de onda de la fuente de luz y llevar a cabo el control electrónico de la fuente de luz.

35 **[0017]** Además, el ajuste del contenido espectral de la fuente de luz puede incluir el aislamiento de frecuencias lumínicas específicas reduciéndolas a un primer conjunto de frecuencias, con al menos un segundo conjunto que contenga una porción de las restantes frecuencias lumínicas, transmitiendo el primer conjunto de frecuencias al medio de cultivo y al menos un segundo conjunto de frecuencias a, al menos, otro proceso. En otra realización, el método incluye el suministro de un conjunto de fuentes de luz con diversas fuentes de luz configuradas para proporcionar frecuencias lumínicas específicas y el ajuste del contenido espectral de las fuentes de luz mediante el control selectivo de las fuentes de luz en el conjunto de las fuentes de luz.

40 **[0018]** El método incluye la introducción de un nutriente líquido o gaseoso en el medio de transferencia de energía. La velocidad de introducción del medio de transferencia de energía fluido es ajustable para optimizar la transmisión de energía fotónica al medio de cultivo, y el ajuste viene determinado por las necesidades fototróficas del cultivo.

ES 2 770 336 T3

[0019] Alternativamente, el método ajusta un tamaño o forma, o un tamaño y una forma, de una abertura de la interfaz para optimizar la transmisión de energía fotónica al medio de cultivo, el ajuste viene determinado por, al menos, uno de los siguientes factores: viscosidad, turbidez, forma y tamaño de un entorno y necesidades fototróficas de la especie objetivo en el medio de cultivo. El entorno puede adaptarse para el crecimiento de organismos fototróficos. Además, las propiedades del medio de transferencia energética incluyen, al menos uno de los siguientes valores: índice de refracción, gravedad específica, tensión de superficie, viscosidad, transmisividad, pérdida de reflexión y coeficiente de absorción para mejorar el acoplamiento de la energía fotónica de la fuente de luz hacia el cultivo. El medio de transferencia de energía puede introducirse de forma continua para permitir la medición de los parámetros del cultivo.

[0020] El método también incluye el control de una velocidad de introducción del medio de transferencia de energía en el cultivo. La velocidad de introducción del medio de transferencia de energía puede ser estática durante un período de tiempo seleccionado o predeterminado.

[0021] En la presente se describe un proceso para proporcionar energía fotónica a un medio de cultivo que incluye la inyección de un medio fluido de transmisión de energía en el medio de cultivo desde una unidad de transmisión de fluido y la transmisión de energía fotónica al medio de cultivo desde un dispositivo de transmisión de energía fotónica a través del fluido. Preferentemente, el medio de cultivo está separado de una fuente de energía fotónica en el dispositivo de transmisión de energía fotónica por el medio de transferencia de energía fluido.

[0022] En la presente se describe un método que incluye la introducción de un fluido de transferencia de energía enriquecido con nutrientes en un medio de cultivo; el suministro de luz al medio de cultivo desde una fuente de luz a través del fluido de transferencia de energía enriquecido con nutrientes; y la utilización del fluido de transferencia de energía enriquecido con nutrientes para separar la fuente de luz del medio de cultivo. De forma ideal, el suministro de luz desde la fuente de luz incluye el uso de una fuente de energía fotónica que proporciona la luz seleccionada de entre el grupo formado por luz artificial, luz solar y una combinación de luz artificial y luz solar.

[0023] Se describe un método para evitar la formación de biopelícula durante la transferencia de energía fotónica entre un dispositivo fotónico y un medio de cultivo fluido. El método incluye la introducción de un medio de transferencia de energía fluido en el medio de cultivo fluido a través de una interfaz y la transmisión de energía fotónica a través del medio de transferencia de energía fluido a medida que el medio de transferencia de energía fluido es introducido en el medio de cultivo fluido. Además, el método puede incluir la recepción de energía fotónica en el dispositivo fotónico a partir del medio de cultivo a través del medio de transferencia de energía. El método puede incluir también la recepción de energía fotónica en el medio de cultivo a partir del dispositivo fotónico.

[0024] El método también incluye la recepción de energía fotónica en el dispositivo fotónico a partir del medio de cultivo a través del medio de transferencia de energía y la recepción de energía fotónica en el medio de cultivo a partir del dispositivo de energía fotónica. De forma ideal, el dispositivo fotónico está separado del medio de cultivo por, al menos, uno de los siguientes elementos: la interfaz, el medio de transferencia de energía y una combinación de la interfaz y el medio de transferencia de energía. Además, un cultivo o conjunto de organismos del medio de cultivo transmiten energía fotónica a través del medio de transferencia de energía mediante, al menos, uno de los siguientes métodos: transmisión, reflexión, refracción, difracción y luminiscencia.

[0025] El dispositivo fotónico puede ser, al menos, uno de los siguientes: un fotorreceptor, un fotoemisor, una combinación del fotorreceptor y el fotoemisor, una lente y una guía de ondas. Además, el dispositivo fotónico puede ser un instrumento fotométrico para medir, al menos, uno de los siguientes valores: espectro, intensidad, reflexión, refracción, difracción, coeficiente de absorción, coeficiente de transmisión, cambio de longitud de onda, duración temporal, cantidad de energía radiante y luminiscencia.

ES 2 770 336 T3

[0026] El método puede incluir la modificación de las propiedades del medio de transferencia de energía para incluir, al menos, uno de los siguientes valores: índice de refracción, gravedad específica, tensión de superficie, viscosidad, transmisividad, pérdida de reflexión y coeficiente de absorción para mejorar el acoplamiento de la energía fotónica entre el dispositivo fotónico y el medio de cultivo. Además, el medio de transferencia de energía puede introducirse de forma continua para permitir que el dispositivo fotónico mida sin que se forme biopelícula, al menos, uno de los siguientes parámetros: parámetro de cultivo, parámetro del medio de cultivo, parámetro del entorno de crecimiento del cultivo y parámetro de control del proceso. El dispositivo fotónico también puede proporcionar energía fotónica para las necesidades fototróficas de un conjunto de organismos o un cultivo en el medio de cultivo.

[0027] El control espectral de la fuente de luz puede implementarse filtrando o aislando ciertas frecuencias seleccionadas de luz solar para que pueda contener solo las longitudes de onda que puedan ser absorbidas por los organismos objetivo. Las frecuencias de luz que no sean útiles para los organismos objetivos pueden ser dirigidas a otros procesos, como la conversión a energía eléctrica por parte de células fotovoltaicas o la producción de energía mecánica a partir de un motor térmico.

[0028] La energía solar filtrada o aislada puede combinarse con una fuente de luz artificial para proporcionar una fuente de luz durante 24 horas. La energía solar filtrada puede capturarse de forma remota y transmitirse al entorno de crecimiento a través de una guía de ondas mientras haya luz solar disponible. Para mejorar la eficiencia, la fuente de luz artificial puede tener un control del contenido espectral y puede producirse localmente para el entorno de crecimiento.

[0029] Como podrá apreciarse a partir del anterior resumen, los métodos revelados facilitan la transmisión eficiente de luz a un cultivo denso de gran turbidez en un medio fluido, solucionando los problemas de formación de biopelícula de la fuente luz y la distribución desigual de luz a los cultivos en el medio de cultivo. Es menos probable que la luz se refleje de vuelta a la fuente o que se convierta en calor de desecho cuando se distribuye de forma uniforme mediante los mecanismos de transmisión, reflexión, refracción y difracción disponibles desde un conjunto de distribución creado por un medio de transferencia de energía fluente. Cubrir la fuente de luz original con un medio de transferencia de energía fluido evita que la fuente de luz entre en contacto con el cultivo, permitiendo que quede exenta de la formación de biopelícula. Además, la luz transmitida mediante este método permite el control detallado de los espectros y la intensidad, reduciendo los costes energéticos al producir y transmitir únicamente energía fotónica productiva para el crecimiento del organismo objetivo.

[0030] El sistema novedoso para la transmisión de luz aquí descrito proporciona un control muy preciso de la luz transmitida. El sistema reduce el coste de la luz artificial y permite optimizar el contenido espectral de la luz para el crecimiento de organismos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS DISTINTAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

[0031] Los anteriores y otros rasgos y ventajas de la presente divulgación podrán apreciarse mejor cuando se comprendan mejor a partir de la siguiente descripción y los dibujos adjuntos, donde:

La Figura 1 es un diagrama de flujo de un proceso de transmisión de energía fotónica a un cultivo sin formación de biopelícula en una fuente de luz;

La Figura 2 es una vista transversal lateral de un sistema de transmisión y distribución de luz hacia un cultivo, de acuerdo con la presente divulgación;

La Figura 3 es una vista superior de diversas unidades de luz fluida, de acuerdo con la presente divulgación;

ES 2 770 336 T3

La Figura 4 es una vista isométrica ampliada de una unidad de luz fluida de la Figura 3;

La Figura 5 es una vista isométrica ampliada que muestra una fuente de luz localizada en la unidad de luz fluida de la Figura 4; la Figura 6 es una vista isométrica ampliada de una fuente de luz localizada con espectro controlado en la unidad de luz fluida de la Figura 4;

5 Las Figuras 7 y 7A son vistas transversales ampliadas de las aberturas de una placa de interfaz,

La Figura 8 es un diagrama de flujo de un proceso alternativo para la transmisión de energía fotónica a un cultivo;

La Figura 9 es una vista isométrica ampliada de otra realización que muestra una fuente de luz localizada y un control de flujo del medio de transferencia de energía en la unidad de luz fluida de la Figura 4;

10 La Figura 10 es un diagrama de una abertura controlada, la Figura 11 es una vista isométrica ampliada de la unidad de luz fluida de la Figura 4 que lleva unido instrumental de medición;

La Figura 12 es una vista transversal superior del instrumental de medición de la Figura 11;

La Figura 13 es una vista isométrica ampliada que muestra un generador de distribución remota en la unidad de luz fluida de la Figura 4;

15 La Figura 14 es una vista transversal de un sistema para proporcionar luz a un cultivo en un entorno de crecimiento poco profundo;

La Figura 15 son una planta de producción para proporcionar luz a un cultivo y

La Figura 16 es una vista isométrica de diversas unidades de luz fluida para proporcionar luz a diversos cultivos.

20 **[0032]** A menos que el contexto así lo requiera, en la especificación y reivindicaciones que siguen, el término "comprender" y sus variantes, como "comprende" y "comprendiendo," se interpretarán en sentido abierto e incluso, esto es, como "incluyendo, sin límite". A menos que el contexto así lo requiera, en esta especificación y las reivindicaciones que siguen, las palabras "luz" y "energía fotónica" y sus variantes, se interpretarán de forma intercambiable.

25 **[0033]** En los dibujos, los números de referencia idénticos identifican rasgos o elementos similares. El tamaño y las posiciones relativas de los rasgos de los dibujos no están necesariamente reproducidos a escala. Por ejemplo, las formas de diversos rasgos no están reproducidas a escala, y algunos de estos rasgos están ampliados y colocados para mejorar la legibilidad del dibujo.

30 **[0034]** La presente divulgación divulga un medio de transferencia de energía que consta de un gas, idealmente, una mezcla de CO₂, que actúa como un nutriente para los cultivos fotosintéticos, y aire filtrado. La energía fotónica se proporciona mediante un conjunto seleccionado de luces LED. El entorno en el que fluye esta mezcla de gas es un biorreactor que utiliza un medio de cultivo fluido, un medio independiente de circulación, y que está adaptado para el crecimiento de organismos fotosintéticos. Con todo, debe entenderse que el medio de transferencia de energía podría constar de un líquido. Además, los nutrientes del medio de transferencia de energía podrían omitirse o transmitirse como fertilizante líquido. El entorno hacia el que fluye el medio de transferencia de energía podría ser un estanque o un canal adaptado para el crecimiento de organismos fotosintéticos. Además, se proporciona un método para la transmisión de luz. Funcionará en el entorno que proporciona los otros elementos esenciales para el crecimiento del
35 cultivo.

ES 2 770 336 T3

[0035] Además, el método de transmisión de energía fotónica hacia el cultivo mediante un medio de transferencia de energía fuente es independiente de la fuente de energía fotónica. Esta energía podría proporcionarse mediante luz artificial generada localmente, esto es, cerca del punto de entrada a través de una interfaz hacia el medio de cultivo, o mediante una fuente de luz remota transmitida a la interfaz por uno o más de los siguientes métodos: medio de fibra óptica, tubo de luz o guía de luz. "Luz artificial" se define aquí como energía fotónica generada por una fuente de luz controlable que incluye, al menos, uno de los siguientes elementos: luces en estado sólido (incluidos los LED y la tecnología electroluminiscente), lámparas de descarga de gas (incluidos los halogenuros metálicos y los fluorescentes) y luz incandescente. La luz generada remotamente puede incluir radiación solar, luz artificial o una combinación de radiación solar y luz artificial.

[0036] Independientemente de la fuente de energía fotónica, el método aquí revelado transmite la energía fotónica al medio de cultivo empleando el medio de transferencia de energía fuente, y evitando así los problemas de formación de biopelícula y de auto-oscurecimiento originados a partir de la elevada turbidez por parte de otros organismos.

[0037] Mientras que los LED son una fuente preferida de luz artificial, debe entenderse que el método de la presente divulgación puede implementarse con todas las formas de luz. Con respecto, inicialmente, a la Figura 1 se muestra una secuencia de operaciones de acuerdo con un método de la presente divulgación. A continuación se describen varias implementaciones del método y el aparato de transmisión de energía, estas se han seleccionado como ejemplos no exclusivos de la variedad de formas de este método de transmisión de luz.

[0038] En un primer ejemplo, se acciona un sistema de "apertura pasiva" en un biorreactor muy sencillo, mientras en un segundo ejemplo un "medio de transferencia de energía optimizado" optimiza las propiedades de acoplamiento del medio de transferencia de energía para proporcionar una transmisión de luz eficiente. Un tercer ejemplo de "control de flujo" utiliza reguladores de flujo para optimizar la transmisión del medio de transferencia de energía al cultivo fluido. El cuarto ejemplo de "control espectral" controla los espectros fotónicos de la luz para conservar los costes energéticos y adaptar el sistema a las necesidades de distintos microorganismos, y en un quinto ejemplo de "apertura de instrumental" el medio de transferencia de energía fuente se utiliza para proteger las piezas operativas del instrumental de medición óptica, que monitoriza y controla la transmisión de la luz. Un sexto ejemplo de "conjunto de distribución" optimiza un medio de transferencia de energía como conducto de transmisión para acoplar la luz al medio de cultivo y un medio de transferencia de energía diferente como conjunto de distribución para la luz que ya ha entrado en el medio de cultivo. En cada uno de estos ejemplos, el siguiente medio de transferencia de energía se emplea para transmitir de forma más eficiente la energía fotónica a los cultivos en el medio de cultivo.

[0039] Con respecto, inicialmente, a la Figura 1, se ilustra una vista general de un proceso de acuerdo con la presente divulgación. En el bloque 10, el proceso incluye la introducción de un medio de transferencia de energía en un medio de cultivo mediante una interfaz. El medio de transferencia de energía puede ser fluido y se introduce de forma continua en el medio de cultivo. Pueden proporcionársele al medio de cultivo nutrientes en forma líquida o gaseosa mediante el medio de transferencia de energía. El medio de cultivo de esta realización es un entorno de crecimiento para organismos fotosintéticos que incluye algas y cianobacterias.

[0040] en el bloque 12, el proceso incluye el suministro de luz desde una fuente de luz separada del medio de cultivo por el medio de transferencia de energía para evitar la formación de biopelícula en la fuente de luz. El medio de cultivo puede estar separado de la fuente de energía fotónica por la interfaz, el medio de transferencia de energía o una combinación de la interfaz y el medio de transferencia de energía.

[0041] De forma ideal, la fuente de energía fotónica proporciona luz desde una fuente de luz artificial local como un LED, una fuente en estado sólido, una fuente de descarga de gas, una fuente incandescente o una combinación de

ES 2 770 336 T3

todos los anteriores. Preferentemente, la fuente de luz es controlable. Sin embargo, la fuente de energía fotónica está también adaptada para emitir energía fotónica remotamente capturada como luz solar o una combinación de luz artificial y luz solar. La energía fotónica remotamente capturada es transportada mediante un medio de fibra óptica, un tubo de luz o una guía de luz.

- 5 **[0042]** En el bloque 14, la luz se distribuye por el medio de transferencia de energía mientras, simultáneamente, se introduce el medio de transferencia de energía en el medio de cultivo. Las propiedades del medio de transferencia de energía se seleccionan de entre, al menos, uno de los siguientes valores: índice de refracción, gravedad específica, tensión de superficie, viscosidad, transmisividad, pérdida de reflexión y coeficiente de absorción para mejorar la transmisión de la energía fotónica desde el dispositivo fotónico hasta el medio de cultivo.
- 10 **[0043]** El medio de transferencia de energía puede introducirse en el medio de cultivo sin haber sido iluminado previamente. Las burbujas formadas entonces dispersarán la luz introducida a través de una abertura distinta protegida por un medio de transferencia de energía fluente o introducida a partir de otra fuente. En el bloque 16, se ajusta una velocidad de introducción del medio de transferencia de energía para optimizar la transmisión de energía fotónica al medio de cultivo. La velocidad de ajuste depende de las necesidades fototróficas del cultivo y de los porcentajes
15 relativos de nutrientes en el medio de transferencia de energía. El medio de transferencia de energía se introduce de forma continua para permitir las mediciones de ciertos parámetros del cultivo. El medio de transferencia de energía puede ser estático durante un período de tiempo predeterminado o selectivo para detectar ópticamente las características del cultivo. Minimizar el período de tiempo durante el cual el medio de transferencia de energía no está fluyendo evita la formación de biopelícula en la fuente de energía fotónica.
- 20 **[0044]** En el siguiente paso ilustrado en el bloque 18, el proceso permite opcionalmente ajustar un tamaño o una forma o un tamaño y una forma de la abertura de la interfaz para optimizar la transmisión de energía fotónica al medio de cultivo. Los factores evaluados para determinar la cantidad de ajuste incluyen: viscosidad, turbidez, velocidad de movimiento del medio de cultivo, forma y tamaño del entorno y necesidades fototróficas de la especie objetivo del medio de cultivo. El proceso ilustrado en la Figura 1 se ejecuta en un entorno adaptado para el crecimiento de organismos
25 fototróficos.
- [0045]** En el siguiente paso ilustrado en el bloque 20, el proceso permite opcionalmente ajustar un contenido espectral de la fuente de luz. Los ajustes pueden incluir la selección de la fuente de luz para un contenido espectral en particular, la combinación de diversas fuentes de luz seleccionadas para producir un contenido espectral objetivo, el filtrado de la fuente de luz y el control electrónico de la fuente de luz. Además, pueden realizarse ajustes para optimizar el contenido
30 espectral destinado a cubrir las necesidades fototróficas del cultivo, separar el uso de energía desperdiciada de la producción de frecuencias de luz específicas, y el impacto de las frecuencias de luz específicas en un entorno adaptado al crecimiento de organismos fototróficos.
- [0046]** La siguiente descripción general y la descripción más específica que aparecen a continuación corresponden a la realización de "abertura pasiva" de un sistema de transmisión de luz 200 y se presentan junto con las Figuras 27A. La
35 Figura 2 ilustra el sistema de transmisión de luz 200 representativo que implementa el método general arriba descrito. Un biorreactor 202 proporciona un espacio de producción 203 adaptado para contener el medio de cultivo y distribuir eficientemente la energía fotónica a través del medio de cultivo en el espacio de producción 203. Dentro de o unido al biorreactor 202 hay al menos una unidad de luz fluida 206 y una unidad de aire comprimido 204. Una placa de la interfaz 208 tiene un tamaño y una forma que le permiten unirse a la unidad de luz fluida 206 y separar el contenido de
40 la unidad de luz fluida 206 del medio de cultivo. Una junta de estanqueidad entre la placa de la interfaz 208 y la unidad de luz fluida 206 impide la descarga del medio de transferencia de energía y la energía fotónica desde lugares distintos de los orificios 222 de la placa de la interfaz 208.

ES 2 770 336 T3

[0047] La placa de la interfaz 208 va unida a la unidad de luz fluida 206. En una realización, la placa de la interfaz 208 es una placa Plexiglas de 3/16 pulgadas de grosor en la que se perforan 108 orificios 222 de 1/16 pulgada de diámetro. Pueden utilizarse otros materiales, como metal y otros plásticos, para la placa de la interfaz 208. Estos orificios permiten que fluya el medio de transferencia de energía, en este caso, la mezcla de aire/CO₂, bajo una presión de 7psi, hacia el medio de cultivo, por ejemplo. Esta inyección del medio de transferencia de energía impide que el cultivo entre en contacto con una fuente fotónica 205 en la unidad de luz fluida 206, evitando así que se forme biopelícula en la fuente de energía fotónica 205. La placa de la interfaz 208 puede estar formada como componente integrante de la unidad de luz fluida 206 o como un componente separado. Además, o alternativamente, las unidades de luz fluida 206 pueden fabricarse como componentes fijos del biorreactor 202.

[0048] La Figura 3 ilustra una vista superior de tres unidades de luz fluida 206 espaciadas alrededor de la unidad de aire comprimido 204, que puede estar situada o ir fijada de forma segura a una parte inferior del biorreactor 202. El número y la disposición de las unidades de luz fluida 206 puede variar para cubrir las necesidades del medio de cultivo y ajustarse al tamaño del biorreactor 202. La unidad de aire comprimido 204 puede omitirse.

[0049] La Figura 4 ilustra la unidad de luz fluida 206. Preferentemente, cada unidad de luz fluida 206 es una vasija tarada de 5 pulgadas de diámetro a la que se bombea una mezcla del gas nutriente y aire ambiente filtrado, esto es, el medio de transferencia de energía a través de una tubería flexible 214. La bomba 216 empuja la mezcla en la unidad de luz fluida 206 a través de una tubería flexible 214 (véase la Figura 2). Puede haber un conducto flexible 215 que atraviese la tubería flexible 214 para acoplar los componentes eléctricos incorporados en la unidad de luz fluida 206 con controladores o fuentes de energía externos al espacio de producción 203, como un controlador de procesos 230 en la Figura 6. El conducto flexible 215 puede aislar los conectores conductores del medio de transferencia de energía. El conducto flexible 215 puede ser un tubo de luz que proporcione energía fotónica a la unidad de luz fluida 206.

[0050] En el cultivo de ciertos microorganismos, el medio de transferencia de energía puede incluir CO₂, N₂, o NH₃. La presión de esta mezcla gaseosa se mantiene a 7psi con una concentración de CO₂ al 5 % o inferior. Esta concentración mantiene un nivel de pH de entre 8 y 9, aceptable para la mayoría de las algas verdes y doradas cultivadas con fines comerciales. Un nivel mayor de CO₂ (pH 10) sería aceptable para las cianobacterias, como la spirulina platensis. El aire puede filtrarse antes de introducirse en la unidad de luz fluida 206 a través de un filtro de cartucho de resina de 5µm o un filtro de pliegues o de centrifugador.

[0051] La Figura 5 muestra un conjunto de lámparas LED 207 que puede utilizarse como fuente de energía fotónica 205 para producir un total de 10 vatios de energía dentro de la unidad de luz fluida 206. La fuente de energía fotónica 205 se incorpora a la unidad de luz fluida 206 y la placa de la interfaz 208 y puede fijarse de forma segura a una base 209 de la unidad de luz fluida 206 para evitar su movimiento. El conducto 215 puede acoplar los LED 207 a una fuente de alimentación o unos circuitos de control (no mostrados). Estas lámparas LED 207 están seleccionadas para producir luz en las regiones del espectro que son críticas para el crecimiento del cultivo objetivo.

[0052] Según se ilustra en la Figura 6, la fuente de energía fotónica 205 puede incluir más de una disposición de luces LED 207 para optimizar el espectro de la luz para cada cultivo específico. Por ejemplo, la fuente de energía fotónica 205 puede constar de una fuente de luz roja 226 y una fuente de luz azul 228. El conducto flexible 215 acopla el controlador de procesos 230 con la fuente de luz azul 228. Un segundo conducto flexible 232 acopla el controlador de procesos 230 a la fuente de luz roja 226.

[0053] Para muchos organismos producidos a nivel comercial, los espectros críticos incluyen rojo, concentrado en 680 nm, y azul, concentrado en 465 nm. Para maximizar el crecimiento de biomasa, es aceptable una relación 2:1 de luz azul a roja. Si el objetivo de producción fuera aumentar el contenido de lípidos, podría utilizarse una mayor proporción

ES 2 770 336 T3

de luz roja. El espectro selectivo ahorra costes energéticos y evita que los espectros no productivos provoquen un calentamiento potencialmente dañino del cultivo. Las fuentes de luz 226, 228 pueden generar otros colores y espectros de luz según las necesidades del medio de cultivo.

5 **[0054]** La Figura 7 muestra cómo se forman burbujas 212 en la abertura o el orificio específicos 222 formados en la placa de la interfaz, y transmiten, reflejan, refractan, difractan y dispersan la luz desde la fuente de energía fotónica 205 hacia el medio de cultivo. La unidad de luz fluida 206 y la fuente de energía fotónica 205 transmiten luz al medio de cultivo. A medida que el medio de transferencia de energía penetra en el medio de cultivo fluido,

10 Crea una columna ascendente de burbujas 212 (véase la Figura 2). Las burbujas 212a, cuando están todavía en la abertura o el orificio 222, actúan como lentes que se rellenan con frecuencia y reflejan y refractan la luz, según se ve por la cantidad de rayos de luz 256. Los rayos de luz 256 se originan en la fuente de energía fotónica 205 y viajan por el medio de transferencia de energía a medida que este último forma una burbuja individual 212a. La burbuja 212a actúa como límite entre la fuente de energía fotónica 205 y el medio de cultivo. La formación continua de burbujas 212a evita la formación de biopelícula en la fuente de energía fotónica 205. El límite formado por la burbuja 212a permite distribuir los rayos de luz 256 debido a los distintos índices de refracción del medio de transferencia de energía y el cultivo.

15 **[0055]** Las burbujas 212 son ventajosas porque dispersan la luz hacia el cultivo desde muchas direcciones por transmisión, reflexión, refracción y difracción y liberan energía fotónica al estar muy próximas a un gran número de organismos en el cultivo. Junto con la circulación 210 proporcionada en el entorno del cultivo, esto aumenta en gran medida la proporción de células expuestas a la energía fotónica y, por ende, reduce el efecto de la turbidez sin precisar el impedimento de circulación de bajo consumo inherente a un biorreactor tubular.

20 **[0056]** La Figura 7A ilustra además la formación de burbujas 212a a través de la placa de la interfaz 208. Las burbujas 212a se forman a través de la placa de la interfaz 208, que posee múltiples aberturas u orificios a intervalos regulares 222 con un tamaño que garantiza que las burbujas 212 que emergen hacia el medio de cultivo no sean tan pequeñas como para causar la destrucción de células por cavitación. A medida que se inyecta el medio de transferencia de energía en el medio de cultivo desde la unidad de luz fluida 206, las burbujas 212 tienen forma gaseosa o de gotitas. Cada burbuja 212a actúa como una lente de reabastecimiento que proporciona energía fotónica al medio de cultivo. A medida que se forma cada burbuja 212a, se forma una nueva lente de reabastecimiento de forma que el cultivo está constantemente abastecido de energía proveniente de la fuente de energía fotónica 205.

30 **[0057]** Los tamaños de los orificios 222 de la placa de la interfaz 208 son esenciales para la formación de burbujas 212 con una forma óptima. Las burbujas 212 formadas desde una abertura de menor tamaño pueden producir turbulencias (principalmente, cavitación inercial) que pueden destruir hasta un 20 % de los organismos del cultivo. La cavitación inercial es el proceso por el cual un vacío o una burbuja en un medio fluido se destruyen rápidamente a causa de una menor presión de vapor y luego se vuelven a expandir rápidamente. La destrucción de las burbujas y su posterior explosión produce una onda expansiva local que puede romper las paredes de las células.

35 **[0058]** El efecto destructivo de la cavitación sugiere que deben evitarse las asperezas o los bordes puntiagudos a lo largo de la abertura. En una realización, los orificios de 1/16 pulgada 222 producen burbujas 212 de hasta una pulgada de diámetro y se evita así la destrucción de células por cavitación. Pueden utilizarse burbujas de mayor tamaño 212, pero estas son empíricamente menos eficientes a la hora de distribuir la luz de forma uniforme. Gracias a la barrera que proporciona por el medio de transferencia de energía, ninguna parte del medio de cultivo está en contacto con o expuesta a la fuente de energía fotónica 205. El tamaño y la velocidad de emisión de burbujas 212 y 212a son ajustables en base a la transmisión de energía fotónica óptima, la viscosidad, la turbidez y las características del organismo que crece en el medio de cultivo.

ES 2 770 336 T3

[0059] De forma ideal, la luz se generará localmente mediante luces LED 207. La tecnología LED ofrece actualmente uno de los más eficientes métodos de conversión de energía eléctrica a fotónica que existen, con la ventaja añadida de concentrar la producción de energía fotónica en un ancho de banda espectral estrecho variando la longitud de onda dominante con los químicos específicos utilizados en su construcción. Puede utilizarse una combinación de composiciones químicas LED, cada una de ellas produciendo energía fotónica en una banda espectral concentrada distinta, para adaptar la producción de energía fotónica y que sea una producción a medida, de forma que una mayoría de los espectros producidos sean útiles para el cultivo objetivo y los objetivos de producción, y no desperdiciar energía en frecuencias no utilizadas.

[0060] Además de su eficiencia de conversión fotónica y su especificidad espectral, los LED 207 son físicamente pequeños, ofrecen configuraciones de montaje flexibles, ciclos de vida duraderos, y un control electrónico específico de la intensidad y la modulación. La eficiencia de conversión y el menor tamaño físico permiten la generación local de luz, que es menos factible con alternativas más voluminosas, a mayor temperatura y de espectro amplio, como las lámparas de halógeno metálico. La generación local de luz evita la pérdida de energía que se produce al acoplar y transmitir luz generada remotamente a la interfaz 208. Los LED 207 también tienen tiempos de encendido/apagado muy rápidos y un control de intensidad, lo que permite restringir de forma muy ajustada el uso energético a tiempos en los que la energía fotónica sea más útil. Esto permite un ajuste más preciso de la producción de luz, a medida del estadio de crecimiento concreto o de los objetivos de producción.

[0061] Este sencillo sistema de transmisión de energía fotónica es económico en cuanto a su producción y útil en un amplio abanico de aplicaciones existentes, como estanques y canales para el suministro eficiente de la luz suplementaria y en biorreactores para los cuales dicho sistema sea la fuente primaria de luz.

[0062] En las Figuras 27A, la unidad de luz fluida 206 de este sistema de transmisión de luz 200 se implementa en un fotobiorreactor, que puede ser el biorreactor 202. Con todo, el sistema de transmisión de luz 200 puede implementarse en cualquier entorno adaptado para el crecimiento de organismos fototróficos objetivo. Los organismos objetivo incluyen varias especies de algas y cianobacterias producidas para acuicultura y suplementos alimenticios para seres humanos. Estas especies incluyen, sin límite, *dunaliella*, *chlorella*, *nannochloropsis* y *spirulina platensis*.

[0063] Las técnicas para la provisión de las condiciones no fotónicas necesarias para el crecimiento de estas especies son conocidas en la técnica e incluyen: mantener el oxígeno a niveles bajos según requieran las especies concretas, mantener una temperatura uniforme para evitar la fotorrespiración, evitando así las especies zónicas, mantener una adecuada circulación para garantizar la exposición uniforme de todos los organismos del cultivo, evitar los metales pesados que pueden ser asimilados rápidamente por algunos organismos, proporcionar CO₂ o bicarbonato sódico a niveles suficientes para complementar cualquier cantidad obtenida de la atmósfera, y mantener un pH adecuado para la especie. Pueden consultarse las descripciones completas en publicaciones como Barbosa, M.J.G.V., "Microalgal Photobioreactors: Scale up and Optimization", Doctoral Thesis, Wageningen University, The Netherlands, 2003, p. 161; Richmond, Amos, Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology, Blackwell Science, Ltd., London, 2004; and Vonshak, Avigad, *Spirulina Platensis (Arthrospira): Physiology, CellBiology, and Biotechnology*, CRC Press, 1997.

[0064] Como se muestra en la Figura 2, el biorreactor 202 consta de un cilindro de 18 pulgadas de diámetro por cinco pies de alto. En el medio del biorreactor 202, se ilustran la unidad de aire comprimido 204 y una columna central para proporcionar nutrientes a las unidades de luz fluida 206. Esta unidad de aire comprimido 204 permite un flujo uniforme sin zonas de no circulación aisladas y se selecciona para minimizar la energía necesaria para producir una velocidad de circulación adecuada. Un par de bombas peristálticas sincronizadas, en este caso, una bomba de recolección 219 y una bomba de nutrientes 220, introducen una corriente de nutrientes y garantizan la recolección de iguales volúmenes de

ES 2 770 336 T3

cultivo. Preferentemente, la corriente de burbujas 212 y la unidad de aire comprimido 204 producen un patrón de circulación toroidal vertical que hace pasar el cultivo a través de las placas de la interfaz 208 en el fondo del biorreactor 202, luego hacia arriba por el centro, y hacia abajo por los laterales del biorreactor 202, esto es, a través del espacio de producción 203. Preferentemente, la velocidad de circulación es de al menos un pie por segundo para evitar la precipitación y debería ser lo suficientemente lenta como para evitar los daños en las células y el desperdicio de energía. La unidad de aire comprimido 204 es suplementaria a la circulación proporcionada por la columna ascendente de burbujas 212, permitiendo así el control independiente del alimento nutriente/luz y la velocidad total de circulación.

[0065] La unidad de luz fluida 206, la fuente de energía fotónica 205, y la unidad de aire comprimido 204 pueden fabricarse como componentes que formen parte integral del biorreactor 202 o pueden fabricarse e instalarse por separado. Preferentemente, el biorreactor 202 se fabrica con una tapa (no mostrada) para sellar el biorreactor durante la producción del cultivo. La tapa puede fabricarse con o sin aislamiento. Cuando la tapa se sella, el sistema de transmisión de luz 200 funciona independientemente de las limitaciones de luz solar diurnas, estacionales y geográficas. Así pues, el sistema de transmisión de luz 200 tiene un mayor índice de producción debido a la producción 24 horas gracias a una cantidad fija de equipos. Ventajosamente, las algas consumen continuamente CO₂ de desecho en una instalación de producción de 24 horas.

[0066] La unidad de aire comprimido 204 se utiliza para circular el cultivo y va fijada a la zona intermedia del fondo del biorreactor 202. La unidad de aire comprimido 204, empleando aire filtrado, es ajustable para alcanzar la tasa de flujo promedio de cultivo mínima necesaria para evitar la sedimentación de los organismos objetivo o de los detritos de los organismos. Esta tasa varía según la especie y el estadio de crecimiento.

[0067] Las bombas peristálticas sincronizadas 219, 220 mantienen un volumen constante de líquido mezclado en el biorreactor 202 y se controlan por medio de sensores en cuanto al pH y la densidad de la biomasa. Esta disposición funciona en un ciclo de funcionamiento continuo, pero podría funcionar fácilmente como un sistema de lote o semilote sin modificar la naturaleza esencial del sistema de transmisión de energía aquí descrito. Las bombas peristálticas 219, 220 se utilizan para minimizar los daños a los organismos del cultivo.

[0068] La bomba peristáltica 220 libera continuamente nutrientes líquidos por diversos tubos 224 que se abren a través de un manguito justo por encima de cada placa de la interfaz 208. Esta disposición tiene por finalidad garantizar la mezcla rápida y total de los nutrientes en el medio de cultivo. Estos nutrientes pueden ser un fertilizante de alta calidad, como el F2 o un líquido producido en estadios intermedios de un digestor anaeróbico. El suministro y la composición de nutrientes líquidos es conocido en la técnica y puede utilizarse cualquier composición adecuada.

[0069] El control de temperatura se alcanza controlando la temperatura del entorno que rodea el biorreactor 202. Esta es una solución económica cuando hay muchos biorreactores 202 de este tipo en un único edificio. El crecimiento de hasta 8 duplicaciones diarias, en ciertas especies de microorganismos, se ha demostrado mediante el funcionamiento continuo de la realización arriba descrita. Aunque no es necesario proporcionar períodos discretos de luz y oscuridad para producir altas tasas de crecimiento, la presente divulgación puede funcionar imitando un ciclo diurno. En esta implementación, los costes energéticos se reducen utilizando energía fotónica de frecuencias seleccionadas, generando la energía fotónica localmente y utilizando luces LED.

[0070] El enfriamiento del biorreactor 202 para mantenerlo en un rango óptimo para el crecimiento de cultivos es en general innecesario. La necesidad se ve minimizada reduciendo el calentamiento a partir de la absorción del exceso de espectros e intensidades de luz, como suele suceder con el uso de radiación solar sin filtrar. Además, la cantidad de luz artificial necesaria se reduce porque la luz se distribuye uniformemente entre los organismos del cultivo. Como el cultivo fluye a través de una cámara del biorreactor 202, se emplea menos energía para producir circulación que en sistemas

ES 2 770 336 T3

que utilizan altas velocidades de flujo o tuberías angostas para combatir la formación de biopelícula o el auto-oscurcimiento en un cultivo denso. Además, una porción del ímpetu de circulación es proporcionada por la flotabilidad de la corriente de burbujas proveniente de la unidad de aire comprimido 204 y las unidades de luz fluida 206 que proporcionan los nutrientes gaseosos inorgánicos y la luz.

5 **[0071]** Al reducir los costes energéticos, las ventajas de una producción 24 horas se vuelven económicamente factibles. Estas ventajas incluyen la independencia de las limitaciones de la luz solar diurnas, estacionales y geográficas, el mayor índice de producción a partir de una cantidad fija de equipos y una huella menor. Además, la capacidad de consumo de CO₂ de desecho que tienen las algas u otros organismos autotróficos puede permanecer continuamente en línea, y, dada la pequeña huella de los biorreactores con respecto a los estanques, permanecer local con respecto a su fuente.

10 **[0072]** La forma concreta del biorreactor 202 y los componentes son ajustables y pueden modularizarse para alcanzar una fabricación y un mantenimiento eficientes. Además, muchos biorreactores 202 pueden funcionar en paralelo para cubrir las necesidades industriales y ambientales.

[0073] Además, la masa de burbujas 212 resultante del medio de transferencia de energía en forma de gas proporciona una superficie de distribución ventajosa para dispersar la luz en las densidades de cultivo bajas de los estadios tempranos de crecimiento. El aire se utiliza como componente primario del medio de transferencia de energía en la realización de "abertura pasiva" puesto que es sencillo, económico en cuanto a su producción y útil para un amplio abanico de aplicaciones existentes.

[0074] Con respecto a la Figura 8, se ilustra una vista general de un proceso alternativo de acuerdo con la presente divulgación. En el bloque 100, el proceso proporciona un biorreactor adaptado para contener un medio de cultivo fluido. Preferentemente, el biorreactor tiene un diámetro de dieciocho pulgadas y una altura de cinco pies. Con todo, pueden adaptarse biorreactores de distintos tamaños y materiales para contener y cultivar de forma adecuada el medio de cultivo.

[0075] En el bloque 102, el proceso proporciona un recipiente en el biorreactor adaptado para introducir energía fotónica a través de un medio de transferencia de energía. El recipiente puede estar hecho con cualquier material resistente y duradero que no se deteriore con el medio de cultivo. En una realización preferida, el recipiente es una vasija circular tarada con un diámetro de cinco pulgadas. Sin embargo, el tamaño y la forma del recipiente dependen del tamaño del biorreactor seleccionado y de las características específicas del medio de transferencia de energía y del medio de cultivo.

[0076] Una placa de la interfaz se acopla con el recipiente en el bloque 104 y presenta diversos orificios a través de los cuales salen el medio de transferencia de energía y la energía fotónica en forma de burbujas. El recipiente y la placa de la interfaz pueden estar hechos de hilos espirales complementarios para que la placa de la interfaz se fije de forma segura al recipiente. Con todo, pueden utilizarse otros métodos adecuados para acoplar la placa de la interfaz al recipiente, como tornillos, abrazaderas, pegamento o similares. El recipiente y la placa de la interfaz pueden fabricarse como un componente o como componentes individuales para su subsiguiente montaje. Preferentemente, se forma un sello de estanqueidad entre la placa de la interfaz y el recipiente. El sello de estanqueidad impida la liberación del medio de transferencia de energía y la energía fotónica desde otros lugares que no sean los orificios de la placa de la interfaz.

[0077] El tamaño y la forma de los diversos orificios dictan el tamaño de la burbujas y, por lo tanto, la cantidad de medio de transferencia de energía y energía fotónica inyectados en el medio de cultivo. Los orificios pueden ser cilíndricos de forma que un borde interior del cilindro sea del mismo diámetro que un borde exterior. Sin embargo, los bordes interior y exterior pueden tener distintos diámetros para controlar más eficientemente la forma de las burbujas producidas y evitar

ES 2 770 336 T3

la cavitación en un borde afilado. Pueden utilizarse otros materiales, como metal y otros plásticos, para fabricar la placa de la interfaz.

5 **[0078]** La palabra "burbuja" tiene por finalidad cubrir la inyección de energía fotónica en el medio de cultivo mediante un medio de transferencia de energía líquido o gaseoso. En el caso de una inyección de energía fotónica sin un medio de transferencia de energía líquido, "burbuja" puede significar gota. La formación de burbujas demasiado pequeñas cerca del cultivo puede producir turbulencias destructivas.

10 **[0079]** La combinación de recipiente y placa de la interfaz se encuentra de forma segura en el fondo del biorreactor. El recipiente puede estar tarado o asegurado con tornillos, abrazaderas o cualquier otro dispositivo de fijación adecuado. Cuando se coloca en la el fondo del biorreactor, las burbujas se forman y se separan de la placa de la interfaz, viajando de forma vertical a través del medio de cultivo. La posición del recipiente puede modificarse para cambiar la trayectoria de las burbujas. Por ejemplo, el recipiente podría estar sobre una base motorizada para permitir el posicionamiento selectivo del recipiente y la placa de la interfaz unida. Al cambiar el camino, las burbujas viajan y pueden modificar, ventajosamente, la circulación del medio de cultivo fluido y, así, distribuir más uniformemente la energía fotónica.

15 **[0080]** En el bloque 106, el proceso proporciona una unidad de aire comprimido para circular el medio de cultivo fluido y el medio de transferencia de energía. Preferentemente, la unidad de aire comprimido es de tres pulgadas de diámetro y circula el cultivo a una velocidad de al menos un pie por segundo para evitar la precipitación. Puede usarse cualquier dispositivo que proporcione circulación, como paletas o aspas rotatorias, hélices y bombas peristálticas además de o en lugar de la unidad de aire comprimido.

20 **[0081]** Las burbujas de la unidad de aire comprimido y las burbujas del medio de transferencia de energía circulan el medio de cultivo. Preferentemente, la circulación producida es verticalmente toroidal. Un patrón de circulación toroidal vertical lleva el medio de cultivo fluido hacia la placa de la interfaz ya la introduce en la columna de burbujas ascendente que proporciona las superficies para distribuir (reflejar, refractar y distraer) la energía fotónica de forma uniforme entre las células. Esta disposición produce de forma eficiente una velocidad de circulación adecuada para evitar la precipitación y no presenta zonas no circuladas aisladas en el medio de cultivo fluido. La velocidad de circulación debería ser lo suficientemente lenta como para evitar daños en las células y limitar el consumo energético innecesario.

30 **[0082]** Ventajosamente, la circulación aumenta la proporción de organismos en el cultivo expuestos a la energía fotónica. En esta circunstancia, la energía fotónica es menos susceptible de ser reflejada desde o absorbida por una capa limitada de organismos expuestos a la fuente de energía fotónica. Además, la energía fotónica es menos susceptible de convertirse en calor de desecho causado por la sobreexposición a una proporción limitada de organismos. Además, dado que el origen de la luz no está en el cultivo, la probabilidad de oclusión por biopelícula se reduce grandemente. Los espectros y la intensidad de la energía fotónica transmitida pueden controlarse muy estrechamente, reduciéndose así los costes energéticos y evitándose los problemas que limitan el crecimiento, como la fotorrespiración y el calor excesivo.

35 **[0083]** Se reduce la cantidad de energía fotónica necesaria para cultivar de forma efectiva el cultivo dada la gran proximidad de la distribución de la luz a los organismos. Utilizar solo los espectros y la intensidad de la luz necesarios minimiza el calentamiento del cultivo y, por ende, alcanza la temperatura óptima para el crecimiento más sencillo del cultivo. En ciertas circunstancias, la necesidad de enfriar el cultivo puede evitarse completamente.

40 **[0084]** Los bloques 108, 110, 112, y 114 representan la parte del proceso que mezcla, circula, acopla y/o distribuye el medio de transferencia de energía y la energía fotónica hacia el cultivo. Más específicamente, la energía fotónica se transmite al medio de cultivo fluido mediante el medio de transferencia de energía gaseoso o líquido controlado a

ES 2 770 336 T3

medida que el gas o el líquido controlado sale por la placa de la interfaz. En el bloque 108, el proceso circula el medio de cultivo fluido contenido en el biorreactor. La circulación puede llevarse a cabo mediante cualquier combinación de las burbujas que salen de la unidad de aire comprimido, las burbujas del medio de transferencia de energía y cualquier otro dispositivo de circulación adecuado.

5 **[0085]** En el bloque 110, el proceso bombea nutrientes hacia el medio de cultivo fluido. Las bombas internas o externas al biorreactor proporcionan los nutrientes. En una realización preferida, las bombas de nutrientes son peristálticas.

[0086] En el bloque 112, el proceso puede bombear aire filtrado y medio de transferencia de energía hacia la unidad de luz fluida. El medio de transferencia de energía puede contener CO₂, N₂ u otros nutrientes gaseosos. El biorreactor puede fabricarse con las bombas como componente interno o como rasgo externo unido al recipiente mediante tuberías
10 flexibles.

[0087] En el bloque 114, el proceso proporciona energía fotónica a la unidad de luz fluida. La energía fotónica es energía en alguna parte del espectro lumínico visible (380 nm-700 nm) que resulta útil a los organismos autotróficos.

[0088] La fuente de la energía fotónica proporcionada a la unidad de luz fluida puede ser totalmente artificial, solar o una combinación de ambas. Dado que el medio de transferencia de energía forma una barrera, ninguna parte del medio de cultivo fluido está en contacto con ni expuesta a la fuente de energía fotónica. La fuente de energía fotónica que transmite luz a la unidad de luz fluida puede ser un conjunto de lámparas LED 207. Utilizar lámparas LED 207 de frecuencias seleccionadas en las regiones críticas azul y roja del espectro reduce los costes energéticos, puesto que no se desperdicia energía alguna en frecuencias que no son utilizadas por los organismos fototróficos. Las fuentes artificiales incluyen una fuente en estado sólido, una fuente de descarga de gas, una fuente incandescente o cualquier
15 otra fuente de energía fotónica controlable. La energía fotónica puede producirse o capturarse remotamente y transmitirse al recipiente mediante fibra óptica, tubos de luz, guías de onda u otros medios de transmisión.

[0089] Opcionalmente, el medio de transferencia de energía se introduce en el medio de cultivo sin haber sido iluminado previamente. Las burbujas formadas entonces pueden dispersar la luz introducida a través de una abertura distinta protegida por un medio de transferencia de energía fluente o introducida a partir de otra fuente de energía fotónica.
25 Debe entenderse que el proceso de distribución de energía nutriente puede funcionar 24 horas al día independientemente de las limitaciones de la luz solar diurnas, estacionales y geográficas. Ventajosamente, en una planta de producción que funcionen 24 horas, los organismos fototróficos pueden consumir continuamente CO₂ de desecho.

[0090] El bloque 116 describe el proceso de formación de burbujas en el medio de cultivo fluido. Como el proceso proporciona el medio de transferencia de energía, esto es, una mezcla de aire filtrado/gas nutriente, y la energía fotónica a la unidad de luz fluida, la presión acumulada en dicha unidad de luz fluida hace que el medio de transferencia de energía pase por los orificios de la placa de la interfaz. Las burbujas del medio de transferencia de energía ascenderán por el medio de cultivo fluido debido a la diferencia de densidad de los materiales. El movimiento de las burbujas genera movimiento en el medio de cultivo fluido y mejora la distribución de la energía fotónica por el medio de
30 cultivo fluido.

[0091] El bloque 118 describe el proceso de detección de un cambio en el volumen de pH del medio de cultivo fluido. Los sensores puede proporcionar información a las bombas y los dispositivos que se encuentran dentro de y alrededor del biorreactor para regular los parámetros del entorno de crecimiento. El bloque 120 permite realizar la recolección en el medio fluido cuando los organismos del medio de cultivo se encuentran en el estado deseado.

[0092] Este método aborda los problemas de la turbidez distribuyendo la luz por el cultivo a medida que este circula. La formación de biopelícula se evita proporcionando luz al cultivo sin que la fuente de energía fotónica esté en contacto directo con el cultivo. Ventajosamente, este método reduce el consumo energético y hace que la producción de organismos fotosintéticos sea económicamente factible.

5 Medio de transferencia de energía optimizado

[0093] En el ejemplo del "medio de transferencia de energía optimizado", la eficiencia de la transferencia de luz mejora al controlar las características de acoplamiento del propio medio de transferencia de energía. Un gran desajuste entre los índices de refracción de la fuente de energía fotónica, el medio de transferencia de energía y el medio de cultivo provoca pérdidas que incluyen: reflectancia que vuelve a la fuente de energía fotónica, reflectancia que vuelve a la abertura y dispersión de luz dentro del medio de transferencia de energía. Estas pérdidas pueden reducirse seleccionando un índice de refracción del medio de transferencia de energía muy similar a la fuente de energía fotónica y el medio de cultivo, o un índice intermedio que suavice el gradiente entre los índices de la fuente de energía fotónica y el medio de cultivo.

[0094] Alternativamente, en ciertas circunstancias, un desajuste intencional del índice de refracción podría utilizarse para aumentar la dispersión de la luz a medida que cruza el límite entre los dos medios, resultando en la exposición de más organismos a la luz proyectada y, por consiguiente, una mayor eficiencia del uso energético. El desajuste deliberado se utilizaría cuando la densidad de cultivo fuera baja y, por lo tanto, fuera susceptible de transmitir energía fotónica a través del medio de cultivo sin tropezar con los organismos receptivos.

[0095] A demás del control del índice de refracción, las propiedades de la lente inherente, la burbuja 212a, formada en el límite del medio de transferencia de energía y el medio de cultivo puede modificarse controlando la inmiscibilidad entre los medios (véanse las Figuras 7 y 7A). La inmiscibilidad depende en gran medida de las diferencias entre el medio de transferencia de energía y el medio de cultivo en propiedades como la gravedad específica, la viscosidad y la tensión de superficie. Algunos controles para ajustar la inmiscibilidad incluyen la incorporación al medio de transferencia de energía de un tensoactivo para cambiar la tensión de superficie o un emulgente para modificar la viscosidad.

[0096] Acoplar las deficiencias puede consumir hasta un 40 % de la energía fotónica inyectada en el medio de cultivo. Para el medio de cultivo utilizado en la mayoría de las aplicaciones comerciales, puede alcanzarse una razonable aproximación a la asimilación de los índices de refracción empleando agua filtrada como medio de transferencia de energía. Así, el uso de agua filtrada como medio de transferencia de energía es ventajoso para reducir las deficiencias del acoplamiento. La velocidad de flujo del agua hacia el medio de cultivo puede variar grandemente siempre que el flujo sea suficiente para mantener una barrera entre el medio de cultivo y la fuente de energía fotónica.

[0097] La lente fija de los LED 207 en la fuente de energía fotónica 205 se incrusta en la corriente del agua filtrada antes de que el agua penetre en el medio de cultivo. El agua filtrada actúa como una lente de abastecimiento temporal para la transmisión de luz. Sin embargo, en muchas aplicaciones comerciales en estanques o canales, el coste y la limitada disponibilidad del agua filtrada contrarrestaría al menos parte del ahorro por un acoplamiento más eficiente, haciendo que el medio de transferencia de energía gaseoso sea una elección más económica.

[0098] El control de las propiedades del medio de transferencia de energía puede utilizarse también para mejorar la exactitud y la efectividad. Por ejemplo, puede medirse la luz con una mayor relación señal-a-ruido asimilando los índices de refracción, minimizando así los reflejos generados por transmisión a través de los límites del medio y reduciendo la dispersión dentro del propio medio de transferencia de energía. Además, la estabilidad de la superficie de la lente formada por el límite entre el medio de transferencia de energía y el medio de cultivo puede mejorarse controlando la

inmiscibilidad del medio de transferencia de energía con respecto al medio de cultivo. Dicha estabilidad significa que la lente es menos vulnerable a la distorsión de superficie creada por la turbulencia proveniente del medio de cultivo circulante. Ambas intervenciones permitirán reducir el ruido del sistema originado por la luz parásita resultando en una mayor exactitud y estabilidad de las mediciones.

5 **[0099]** Para aplicaciones de medición, el medio de transferencia de energía puede estar formado por un 1,5 % de goma xantana y agua filtrada. Esta combinación proporciona una lente/ventana muy estable a través de la cual puede proyectarse o recibirse la luz. En esta realización, el objetivo no es dispersar una gran cantidad de luz en el cultivo, sino más bien adquirir datos a través de las mediciones. Así, el medio de transferencia de energía se inyecta en el medio de cultivo a una velocidad lo suficientemente lenta como para mantener una ventana estable y una barrera protectora entre
10 el instrumental y el medio de cultivo. En un ejemplo, un tamaño de abertura necesario para exponer un fotodiodo estándar precisa una velocidad de inyección de 1 cm por minuto.

Control de flujo del medio de transferencia de energía

[0100] En el ejemplo de "control de flujo", el ajuste para las condiciones variables en las propiedades del medio de transferencia de energía, el cultivo y el entorno del cultivo hace necesario mantener un flujo controlado del medio de
15 transferencia de energía. Controlar el flujo del medio de transferencia de energía es importante para controlar la transmisión de energía fotónica al medio de cultivo. Según se describe más arriba, en la realización del "medio de transferencia de energía optimizado", para optimizar diferentes condiciones es necesario cambiar propiedades del medio de transferencia de energía como la viscosidad o la tensión de superficie. Ajustar la viscosidad o la tensión de superficie puede hacer variar el flujo del medio de transferencia de energía hacia el medio de cultivo. Además, las
20 variaciones en las propiedades del cultivo debido a la densidad de las células o los tipos de organismos pueden modificar la facilidad con la que fluye el medio de transferencia de energía entrante.

[0101] Los cambios ambientales, como la temperatura ambiente o la profundidad de la unidad de luz fluida en el medio de cultivo pueden afectar al flujo del medio de transferencia de energía. El flujo para una unidad de luz fluida en concreto también puede verse afectado por su posición en la línea de suministro cuando una sola línea de suministro
25 abastecen a varias unidades. Además, el flujo del medio de transferencia de energía puede ser modificado deliberadamente por el operario en respuesta al coste de los materiales en el medio de transferencia de energía o a las necesidades del cultivo. Cada uno de estos factores produce una variación en el flujo del medio de transferencia de energía que se debe controlar para mantener un buen control de la transmisión de la energía fotónica.

[0102] El flujo del medio de transferencia de energía puede controlarse antes de entrar en la unidad de luz fluida 206,
30 según se muestra en la Figura 9, o en cada orificio o abertura individual, según se muestra en la Figura 10.

[0103] La Figura 9 ilustra la unidad de luz fluida 206 donde el flujo del medio de transferencia de energía se controla mediante un controlador de flujo electrónico 234. El controlador de flujo electrónico 234 puede ir fijado a la tubería 214 conectada a la unidad de luz fluida 206 para controlar la velocidad de inductor del medio de transferencia de energía. El segundo conducto 232 puede transmitir el impulso de control de flujo electrónico proveniente del controlador de
35 procesos 230 a través de las tuberías 214. Alternativamente, el controlador de flujo electrónico 234 puede ir fijado al espacio de producción 203 del biorreactor 202.

[0104] El flujo del medio de transferencia de energía hacia la unidad de luz fluida 206 y hacia el medio de cultivo puede reajustarse para optimizar el acoplamiento de la energía fotónica en el cultivo. El controlador de flujo electrónico 234 modula la presión y la duración del flujo del medio de transferencia de energía. Además, el controlador de flujo

ES 2 770 336 T3

electrónico 234 puede estar sincronizado con otros controladores de flujo electrónico a lo largo de la línea de suministro para optimizar la transmisión del medio de transferencia de energía hacia cada biorreactor (véase la Figura 16).

[0105] Según se ilustra en la Figura 10, un método para controlar el flujo hacia el medio de cultivo incluye el uso de tecnología de válvula piezoeléctrica o MEMS para hacer que cada abertura 302 de la interfaz sea activa y controlable.

5 Las unidades de luz fluida 206 descritas con respecto a las Figuras 29 puede modificarse para incluir aberturas controlables, como las ilustradas en la Figura 10. Esto aumenta la eficiencia al sincronizar la modulación de la fuente de luz con el estado momentáneo del medio de transferencia de energía. Además, la abertura controlable 302 proporciona un medio de control de la presión y la duración del flujo del medio de transferencia de energía y los espectros, la intensidad y la duración de la luz proporcionada. Los sensores 304 pueden proporcionar información sobre cuándo se
10 forma y se libera una burbuja de la placa de la interfaz 208.

[0106] La abertura única 302, que puede utilizarse en un conjunto de aberturas de diversas formas y tamaños en la unidad de luz fluida 206, puede controlarse por separado mediante el sensor 304 para liberar el medio de transferencia de energía con el fin de optimizar el acoplamiento de la luz con la formación de la burbuja. La abertura controlable 302 permite al operario ejercer un estrecho control localizado de hasta una abertura individual o un pequeño grupo de
15 aberturas. En cuanto al control de una abertura individual, sería posible controlar cuidadosamente la velocidad del flujo de transferencia de energía desde una burbuja o gota por equis segundos hasta muchas burbujas o gotas por segundo.

[0107] La abertura 302 puede ser un orificio formado en una interfaz 306, que puede ser similar a la interfaz 208 ilustrada en la Figura 46. El sensor 304 puede colocarse sobre una superficie interna 307 de la abertura 302 de forma que el sensor 304 no se vea obstruido por la interfaz 306. En una superficie interna opuesta 308 una abertura 312 en la
20 interfaz 306 permite que el medio de transferencia de energía penetre en la abertura 302. El medio de transferencia de energía puede fluir por una tubería flexible 314 donde el flujo se controla mediante un regulador de flujo 310, que puede ser una válvula piezoeléctrica o MEMS. Los LED 305 pueden encenderse y apagarse lo suficientemente rápido como para que sea valioso conocer el estado de formación de la burbuja o la gota, de forma que la fuente de energía fotónica solo se active cuando la burbuja o la gota se encuentren en un estado que acople de forma efectiva la luz en el medio
25 de cultivo. Por consiguiente, la cantidad de tiempo que se transmite la luz puede ajustarse ventajosamente a aplicaciones y estadios de crecimiento específicos. Dicho control puede minimizar el desperdicio energético causado por la reflectancia, que varía con la densidad del cultivo, de vuelta a la fuente de energía fotónica.

[0108] Se instala un único regulador de flujo 310 controlado electrónicamente en cada unidad de luz fluida 206, manteniendo un flujo constante del medio de transferencia de energía a través del grupo de aberturas 302 desde la
30 unidad de luz fluida 206 hacia el medio de cultivo. El regulador de flujo 310 puede ser de tecnología de válvula piezoeléctrica o MEMS para ofrecer un control muy rápido y preciso del flujo.

[0109] El control electrónico del regulador de flujo 310 se alcanza mediante un ordenador normal, como un controlador de procesos 330, utilizado para el control de procesos industriales simples. El controlador de procesos 330 puede controlar y procesar la información que va del sensor 304 a la fuente de luz de los LED 305, y hacia el regulador de flujo
35 310. El sensor 304 puede proporcionar información sobre la presión dinámica, los cambios en la reflectancia de la luz para determinar una velocidad de flujo óptima y la temporización de los LED 305 para sincronizar el flujo y el suministro de luz. El sensor 304 puede ser útil para proporcionar una mayor eficiencia de acoplamiento del medio de transferencia de energía en el medio de cultivo. Además, este controlador de procesos 330 permite que un operario establezca los parámetros de flujo en base a una velocidad deseada de consumo del medio de transferencia de energía, los cambios
40 en la composición del medio de transferencia de energía proporcionado, el coste o la disponibilidad del medio de transferencia de energía, el estadio de crecimiento de los organismos cultivados, la métrica del proceso y los objetivos de producción.

ES 2 770 336 T3

[0110] Una vez programado, el regulador de flujo 310 realiza ajustes automáticos que se adaptan a distintas influencias en la velocidad de flujo. Dichas influencias incluyen la posición de una línea de suministro multipunto, los cambios en la temperatura ambiente, la profundidad de la unidad de luz fluida 206 en el medio de cultivo, y la variable densidad del cultivo en el medio de cultivo. Los reguladores de flujo controlados electrónicamente 310 están ya disponibles como
5 piezas estándar de equipos de control de procesos industriales y no se describirán en detalle. El uso de estos reguladores de flujo programables 310 para medir la transmisión del medio de transferencia de energía permite la optimización efectiva de la transmisión de la luz a los cultivos en el medio de cultivo.

[0111] Las combinaciones de los ejemplos descritos proporcionan ventajas adicionales. Por ejemplo, el flujo controlado y el medio de transferencia de energía optimizado pueden usarse en combinación para producir superficies de lente de
10 abastecimiento de distintos tamaños y frecuencias de actualización, variando los tiempos de desintegración tras soltarse de la abertura, y aumentar las longitudes de extensión en el medio de cultivo mientras siguen sujetas a la abertura. El control de la lente inherente formada en el límite del medio de transferencia de energía inyectado y el medio de cultivo permite proyectar energía fotónica con alta eficiencia en el medio de cultivo en ángulos de radiación que van desde un enfoque estrecho para un mayor alcance dentro del medio de cultivo hasta una amplia dispersión para la iluminación del
15 campo cercano. Además, al seleccionar cuidadosamente los parámetros de inyección y las propiedades del medio, este control puede alcanzarse en un amplio abanico de tamaños de abertura, lo cual proporciona flexibilidad en las posiciones de las fuentes de energía fotónicas 205 que llevarán a un acoplamiento de energía eficiente.

Control espectral

[0112] En el ejemplo de "control espectral", la conservación de la energía fotónica, la reducción de la carga de calor y la
20 optimización de la producción de biomasa o varios metabolitos se logra mediante un control estrecho del contenido espectral de la luz distribuida en un cultivo.

[0113] Las referencias en esta especificación al "contenido espectral" para definir las cualidades de la fuente de luz que dependen de la frecuencia es un término inclusivo para mediciones más específicas que incluyen espectros, intensidad espectral, densidad espectral, densidad espectral energética y distribución espectral. "Contenido espectral" también
25 puede utilizarse para hacer referencia a las cualidades de la luz que dependen de la frecuencia en lugar de términos más específicos como "distribución espectral" y "densidad espectral" para evitar la confusión con los conceptos de distribución de la luz y densidad del cultivo.

[0114] Una región general de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) se define como dentro del espectro visible de la luz en el rango de 400 a 700 nm. Los organismos fototróficos solo pueden utilizar de forma efectiva un rango limitado
30 de frecuencias de luz dentro de la región PAR. Proporcionar un contenido espectral con énfasis en la luz azul es ventajoso porque es el rango de absorción más elevado para los fotopigmentos principales, esto es, clorofila a, clorofila b y carotenoides. Un crecimiento sano precisa una transmisión de cierto contenido espectral más allá de la región azul para soportar importantes carotenoides y pigmentos accesorios, como las clorofilas c, d y e, que tienen unos picos de absorción de longitud de onda levemente más largos. Además, los pigmentos clorofilas a y b que poseen picos de
35 absorción primarios en la región azul también tienen picos de absorción secundarios en la región roja del espectro. Proporcionar estos pigmentos con una mayor proporción de luz roja puede ser beneficioso cuando los organismos están desarrollando lípidos.

[0115] Adaptar el contenido espectral también es útil cuando se tiene por objetivo una combinación probiótica de organismos como es el caso del cultivo de cianobacterias con algas. Las cianobacterias precisan cierto contenido
40 espectral adicional en el medio de la región PAR para llevar a cabo los requisitos de energía fotónica de las ficolibinas (por ejemplo, ficocianina y ficoeritrina).

[0116] La transmisión de energía fotónica con contenido espectral no productivamente absorbido y utilizado por los organismos objetivo tiene los efectos nocivos de la carga de calor en el entorno de crecimiento y hace que los organismos objetivo desvíen energía del crecimiento productivo a los mecanismos de protección para resguardarse ante la radiación fotónica potencialmente destructiva. Por ello es ventajoso transmitir solo energía fotónica con contenido espectral útil para los organismos en su estado actual de crecimiento. También es óptimo limitar la producción de energía fotónica a partir de una fuente artificial para incluir el contenido espectral útil para el organismo objetivo y evitar desperdiciar energía para generar energía fotónica sin valor productivo.

[0117] Hay varias formas de controlar el contenido espectral de la luz transmitida a los organismos objetivo. La primera es seleccionar una fuente de luz artificial diseñada para producir el contenido espectral deseado. Una segunda forma es combinar un grupo de fuentes de luz artificial individuales con contenido espectral diverso para formar un conjunto que produzca colectivamente el contenido espectral deseado. El refinado adicional y el ajuste dinámico del contenido espectral pueden obtenerse mediante el control electrónico de las fuentes de luz individuales dentro del conjunto. Otra forma es filtrar una fuente de luz de espectro amplio para limitar el contenido espectral transmitido a un conjunto útil de frecuencias objetivo. Otra consiste en emplear tecnologías como los puntos cuánticos, las sales de halogenuro metálico y los fósforos para cambiar o convertir las longitudes de onda no productivas en contenido espectral productivo para el crecimiento de organismos.

[0118] El despliegue de tecnologías de control del contenido espectral para el crecimiento de cultivos en un entorno de producción eficiente se ve limitado por las restricciones impuestas por la biopelícula y la turbidez del cultivo denso. La formación de biopelícula en la fuente de luz no solo desperdicia energía, impidiendo el uso de luz artificial en aplicaciones sensibles a los costes, sino que cambia el contenido espectral transmitido a cultivos en el medio de cultivo como resultado de la absorción selectiva por parte de los organismos adheridos que forman la biopelícula. Las deficiencias en la transmisión de luz pueden fácilmente hacer necesaria diez veces más energía fotónica para alcanzar una tasa similar de crecimiento de los organismos producidos en un sistema sin estas pérdidas. La mayor demanda de transmisión de energía fotónica limita el uso de la mayoría de las tecnologías de control del contenido espectral a aplicaciones que no son particularmente sensibles a los costes. En algunos casos, mitigar los efectos de la biopelícula y la turbidez ha dictado una topología del entorno de crecimiento que introduce un conjunto distinto y, a menudo, mayor de deficiencias de producción. Un ejemplo es una zona amplia y poco profunda de un estanque o canal. El estanque o el canal precisará un filtro para zonas amplias para proporcionar control espectral probablemente prohibitivo en términos de costes para la mayoría de aplicaciones.

[0119] El método aquí descrito transmite luz al conjunto de organismos del medio de cultivo a través del medio de transferencia de energía fluente que separa la fuente de luz del medio de cultivo. A medida que el medio de transferencia de energía fluye hacia el medio de cultivo, se deshace en muchas burbujas o gotas para formar un conjunto de distribución que dispersa la luz ampliamente por el medio de cultivo. El método de transmisión de luz descrito evita la formación de biopelícula en la fuente de luz y proporciona una distribución uniforme de la luz en el turbio cultivo denso. Solucionar estos problemas aumenta drásticamente la eficiencia de transmisión de la luz y abre aplicaciones sensibles a los costes al uso de la luz artificial y el despliegue de tecnologías de control del contenido espectral.

[0120] Las fuentes de luz artificial ofrecen un amplio abanico de métodos de control espectral. Un grupo de fuentes de luz artificial individuales con diverso contenido espectral puede combinarse para formar un conjunto de fuentes de luz que produzca colectivamente el contenido espectral deseado. Puede emplearse el control electrónico para cambiar la contribución de las fuentes de luz individuales dentro del conjunto y proporcionar un ajuste dinámico del contenido espectral en respuesta a las cambiantes necesidades fototróficas del organismo objetivo. El contenido espectral también

ES 2 770 336 T3

puede ajustarse en respuesta a los costes energéticos en distintas horas del día. La producción artificial de energía fotónica en la región azul es muy eficiente. Durante las horas de mayor coste energético, puede producirse predominantemente o exclusivamente luz azul que puede transmitirse al cultivo objetivo. Pueden proporcionarse o aumentarse los espectros rojo y de relleno menos eficientes durante las horas de menor coste energético. La tecnología LED proporciona una fuente de luz artificial eficiente con limitado contenido espectral por composición química. Los LED con distinta composición química pueden combinarse para crear un conjunto de fuentes de luz artificial con contenido espectral diverso.

[0121] En relación a la Figura 6, un ejemplo de "control espectral" muestra el conjunto de luces LED 207 desplegado como fuente de energía fotónica 205 y el aire filtrado se emplea como medio de transferencia de energía en la unidad de luz fluida 206. El conjunto de LED 207 posee dos canales de accionamiento controlados de forma independiente que están separados del medio de transferencia de energía por los conductos 215 y 232. El conducto 215 fija las luces LED 228 azules al controlador de procesos 230 y proporciona el canal de accionamiento controlado de forma independiente. De forma ideal, los LED 228 azules poseen un resultado espectral concentrado en 465 nm. El segundo conducto 232 fija los LED 226 rojos, idealmente concentrados en 660 nm, al controlador de procesos 230, proporcionando el otro canal de accionamiento controlado de forma independiente.

[0122] Los LED 226, 228 se seleccionan de forma que cuando ambos canales estén totalmente accionados, haya una energía radiante total de 10 vatios con un ratio de energía radiante de 2: 1, azul a rojo. El control independiente de la intensidad y la duración del encendido/apagado para cada canal de color se implementan mediante un ordenador industrial, un controlador de procesos 230, típico de las aplicaciones de control de procesos industriales simples. La energía radiante total y el ratio de azul a rojo se ajustan para reducir el uso de energía durante períodos de mayor coste energético. Además, la métrica de procesos continua se emplea como base para el ajuste de la distribución espectral para mantener la actividad metabólica sana del cultivo o para alcanzar objetivos de producción específicos, como un aumento de la luz roja para fomentar la producción de lípidos.

[0123] Ciertas fuentes de luz artificial como las lámparas de descarga de gas de halogenuros metálicos, proporcionan fuentes muy eficientes de energía fotónica pero no poseen el espectro ajustado de los LED. Una gran parte del contenido espectral se encuentra en áreas que no son ni útiles ni dañinas para los organismos objetivo. La luz de dichas fuentes puede filtrarse mediante filtros dicróicos controlables reflejando el calor y los espectros no productivos hacia otro proceso, como células fotovoltaicas o motores térmicos.

[0124] Otra forma de controlar el contenido espectral de la fuente de luz es filtrar o aislar un conjunto de frecuencias de una fuente de espectros más amplia. El filtrado o el aislamiento se utilizan para limitar el contenido espectral de la luz transmitida para que solo contenga longitudes de onda que puedan ser absorbidas y utilizadas por parte de los organismos objetivo. Una fuente de energía fotónica de espectro amplio particularmente útil es la radiación solar. Cuando hay radiación solar, se puede utilizar una combinación de espejos dicróicos u otra tecnología de separación lumínica para aislar un primer conjunto de frecuencias para producir la fuente de luz que solo contenga longitudes de onda útiles para el crecimiento del organismo objetivo. La fuente de luz formada por el primer conjunto puede acoplarse a continuación a la guía de ondas y distribuirse entre los organismos en un entorno de crecimiento remoto. Las frecuencias restantes aisladas de un primer conjunto forman un segundo conjunto que contiene energía no productiva para el crecimiento de los organismos objetivo. La energía contenida en el segundo conjunto puede dirigirse a otros procesos como la conversión a energía eléctrica por parte de células fotovoltaicas o la producción de energía mecánica por parte de un motor térmico.

[0125] Este método para transmitir energía solar filtrada a medida de las necesidades del conjunto objetivo de organismos y utilizar la energía solar restante para un proceso secundario optimiza el crecimiento del cultivo a partir de

la energía solar y compensa parte de los costes operacionales mediante la generación de energía útil. Puede alcanzarse un aumento adicional en la tasa de crecimiento del cultivo mediante la producción 24 horas. La implementación de una fuente de energía fotónica híbrida puede constar de luz solar filtrada y una fuente de luz artificial que proporcione una fuente de luz las 24 horas optimizada para una producción eficiente de organismos fototróficos. La energía solar filtrada puede captularse de forma remota y transmitirse al entorno de crecimiento a través de una guía de ondas mientras haya luz solar disponible. Para mejorar la eficiencia, la fuente de luz artificial puede tener un control del contenido espectral y puede producirse localmente para el entorno de crecimiento.

[0126] Muchas de las ventajas obtenidas con el control espectral de la luz transmitida a un conjunto de organismos fototróficos son conocidas en la industria. Estas incluyen la conservación de la energía fotónica, la reducción de la carga de calor en el entorno de cultivo y la optimización de la producción de biomasa o varios metabolitos. El método de transmisión de luz descrito mejora la eficiencia hasta tal punto que la producción artificial de luz y el despliegue de tecnologías para el control del contenido espectral pasan a estar disponibles para un amplio abanico de aplicaciones.

Abertura en el instrumental

[0127] En el ejemplo de "abertura en el instrumental", la transmisión de energía fotónica a través del medio de transferencia de energía fluido puede utilizarse también para medir importantes parámetros relacionados con el crecimiento de cultivos. Según ilustran las Figuras 11 y 12, la luz puede proyectarse desde una abertura 244 en un brazo del instrumental 248, a través del medio de cultivo, hacia un fotorreceptor 246 situado en otra abertura 242 en un brazo del instrumental adyacente 250. Los brazos del instrumental 248, 250 pueden fijarse al exterior de la unidad de luz fluida 206 de forma que a medida que el medio de cultivo pasa por la unidad de luz fluida 206 el fotorreceptor 246 pueda medir parámetros selectivos del medio de cultivo.

[0128] El fotorreceptor 246 puede medir la absorción selectiva de ciertas frecuencias. Por ejemplo, las frecuencias verdes son empleadas relativamente mal por los microorganismos actualmente en producción comercial. El fotorreceptor 246 puede detectar aumentos en la cantidad de luz verde recibida, lo cual proporciona una medida de la densidad creciente de organismos en el cultivo.

[0129] Por el contrario, la luz en la región azul es más probable que sea absorbida por la clorofila a, la clorofila b o los pigmentos carotenoides. La absorción diferencial de la luz verde y la luz azul sirve para medir, grosso modo y de forma barata, la actividad fotosintética. El control más elaborado de las frecuencias proyectadas y la medición cuidadosa de las frecuencias recibidas pueden controlarse para medir de forma selectiva la actividad de diversos pigmentos fotosintéticos. La absorción selectiva de las frecuencias o de los cambios de frecuencia resultantes de la fluorescencia son parámetros mensurables. Estas medidas de densidad del cultivo y actividad fotosintética permiten una asignación más eficiente de los espectros y la intensidad de la luz según el estadio de crecimiento y los organismos cultivados.

[0130] Con todo, tanto la fuente de energía fotónica como el fotorreceptor 246 en dichas mediciones están sujetos a la formación de biopelícula si se encuentran directamente expuestos al medio de cultivo. Un método actual, que puede utilizarse para evitar los efectos nocivos de la formación de biopelícula en el instrumental de medición, implica la recogida periódica de muestras separadas del cultivo que contengan el medio de cultivo seguida de una limpieza del instrumental entre las muestras. Esto evita de forma efectiva la formación de biopelícula, al permitir solo una breve exposición del instrumental, pero requiere gran trabajo y no es cómodo para la toma de muestras frecuente o a la automatización.

[0131] Ventajosamente, el medio de transferencia de energía fuente que separa el medio de cultivo de la fuente de energía fotónica en el lugar de la proyección (esto es, en la placa de la interfaz 208) y del fotorreceptor 246 en la

ES 2 770 336 T3

ubicación receptora soluciona el problema de la formación de biopelícula y permite una monitorización continua, automatizada y en línea de la sensibilidad del control de procesos. Más concretamente, el medio de transferencia de energía puede pasar por los brazos 248, 250 y formar lentes de abastecimiento 241, 243 en las aberturas 242, 244, respectivamente. En la realización ilustrada en las Figuras 11 y 12, la abertura de proyección 244 y la abertura de recepción 242 pueden colocarse a unos 5 cm de separación. Esta distancia es un compromiso que permite que pase suficiente cultivo entre ambas aberturas 242, 244 para permitir la medición en un estadio temprano de crecimiento y además permite que pase suficiente luz a través de un cultivo denso permitiendo la medición en fases posteriores de crecimiento. La distancia exacta podría modificarse para adaptarlo a las distintas condiciones de circulación.

[0132] Un LED concentrado a 465 nm proyecta una luz de proyección azul 252 y otro LED concentrado a 530 nm proyecta una luz de proyección verde 254. El fotorreceptor 246 puede ser un fotodiodo estándar o cualquier otro fotorreceptor adecuado. El medio de transferencia de energía puede pasar por los brazos 248, 250 para salir por ambas aberturas 244, 242 para crear una interfaz entre las luces de proyección 252, 254, el fotorreceptor 246 y el medio de cultivo. En una realización, el agua filtrada puede fluir a través de los brazos para evitar la formación de biopelícula en las aberturas 242, 244. Las aberturas de proyección y recepción 242, 244 van montadas sobre brazos 248, 250 que pueden extenderse desde el lateral de la unidad de luz fluida 206 en paralelo a la placa de la interfaz 208. Esta ubicación permite la medición sin el ruido ni las turbulencias originados por las burbujas o las gotas del medio de transferencia de energía que ascienden hacia el medio de cultivo.

[0133] Pueden seleccionarse varios colores para que las fuentes de luz 252, 254 cubran las necesidades de un entorno en particular. Otros tipos de instrumental pueden sustituir al fotorreceptor 246, por ejemplo, una cámara o un dispositivo de instrumentación para infrarrojos. Por ejemplo, el instrumental puede configurarse para tomar muestras continuamente de la densidad u observar los cambios en los parámetros fotosintéticos.

[0134] Alternativamente, puede proporcionarse un único brazo que incorpore instrumental para la toma de mediciones por reflexión del medio de cultivo. El brazo único tiene más de una abertura, de forma que múltiples componentes del brazo interactúan con el cultivo. Juntas, estas realizaciones del medio de transferencia de energía fluente proporcionan un amplio abanico de mecanismos de control para optimizar la transmisión de la luz. Las mediciones específicas tomadas para optimizar el acoplamiento de la energía fotónica dependerán de las variables del sistema, como las necesidades de los organismos cultivados, las propiedades del medio de cultivo, la densidad del cultivo en el medio de cultivo, la incorporación de nutrientes al medio de transferencia de energía, la forma y el tamaño del entorno adaptado para el crecimiento de cultivos, la velocidad y el método de circulación del medio de cultivo y los objetivos de producción.

Conjunto de distribución

[0135] Según se describe arriba, el medio de transferencia de energía cumple varias funciones que incluyen, sin límite: el suministro de un conducto para la transmisión de energía fotónica al medio de cultivo, la protección de la fuente de energía fotónica 205 ante los efectos de la biopelícula, la distribución de la luz por el cultivo mediante su actuación como una fuente de lentes, como burbujas 212a que se autoabastecen y, por lo tanto, no están sujetas a la formación de biopelícula, y la distribución de luz por el cultivo mediante su rotura para dar lugar a muchas burbujas 212 o gotas que dispersan la energía fotónica incidente, donde "dispersar" significa, al menos, uno de los siguientes conceptos: reflexión, refracción y o difracción de la luz incidente (véanse las Figuras 7, 7A y 13). Esta dispersión reduce la vulnerabilidad al auto-oscurecimiento en un cultivo muy denso. En esta función, el medio de transferencia de energía proporciona un "conjunto de distribución" hacia el que se proyecta la energía fotónica para dispersar la luz.

ES 2 770 336 T3

[0136] En el ejemplo del "conjunto de distribución", se optimiza un medio de transferencia de energía para proporcionar un conjunto de distribución de energía fotónica y se optimiza un medio de transferencia de energía distinto para proporcionar un conducto de transmisión desde la fuente de energía fotónica 205 hasta el medio de cultivo. Según se describe más arriba, es ventajoso en ciertas circunstancias proporcionar el medio de transferencia de energía con propiedades de acoplamiento de luz optimizadas. También es ventajoso proporcionar el "conjunto de distribución" que dispersa la energía fotónica cuando esta penetra en el medio de cultivo. Un medio de transferencia de energía gaseoso inyectado en el medio de cultivo, que produzca burbujas ascendentes, puede funcionar como conjunto de distribución efectivo. Sin embargo, el medio de transferencia de energía gaseoso no proporciona necesariamente el conducto de transmisión de luz más eficiente desde la fuente de energía fotónica hacia el medio de cultivo. Puede utilizarse un medio de transferencia de energía adicional para proporcionar un conjunto de burbujas que dispersan y distribuyen uniformemente la luz incidente dentro del medio de cultivo. Estos medios de transferencia de energía introducen y distribuyen, conjuntamente, la energía fotónica por el cultivo, pero pueden optimizarse por separado.

[0137] La Figura 13 ilustra el "conjunto de distribución". La unidad de luz fluida 206, según se describe más arriba, puede proporcionar el medio de transferencia de energía que proporcione el conjunto de burbujas que disperse y distribuya la luz por el medio de cultivo. La unidad de luz fluida 206 puede llevar unida una placa de la interfaz 208 con orificios 222, que puede proteger la fuente de energía fotónica 205 del medio de cultivo. Según se describe más arriba, las tuberías 214 se fijan a la unidad de luz fluida 206 para introducir el medio de transferencia de energía en la unidad de luz fluida 206. El conducto 215 puede pasar a través de las tuberías 214 para acoplar la fuente de energía fotónica 205 al controlador de procesos 230 (véase la Figura 6).

[0138] El ejemplo de la Figura 13 pretende reflejar un contenedor relativamente profundo, como el biorreactor 202 descrito más arriba. El aire filtrado penetra en el cultivo por una tubería con forma de anillo 236 que posee una línea de orificios muy cercanos unos a otros 238 y de 1/16 pulgadas de diámetro. Esta tubería con forma de anillo 236 encaja en la unidad de luz fluida 206 con la interfaz a través de la cual fluye el medio de transferencia de energía que acopla la energía fotónica. La tubería con forma de anillo 236 puede colocarse aproximadamente dos pulgadas por debajo de la placa de la interfaz 208 y depende de la velocidad de flujo del medio de transferencia de energía. Esto permite que se forme el conjunto de burbujas y ascienda hacia el lugar por el que pasa el medio de transferencia de energía encargado de introducir en ese momento la energía fotónica, optimizando así la capacidad del "conjunto de distribución" para dispersar y distribuir la luz a través del cultivo pasante.

[0139] Una tubería de suministro 240 se acopla a la tubería con forma de anillo 236 y proporciona el medio de transferencia de energía que distribuye la energía fotónica. La tubería de suministro 240 puede proporcionar aire filtrado a la tubería con forma de anillo 236 de forma que se formen las burbujas en los orificios 238 perforados alrededor de la tubería con forma de anillo 236. El aire filtrado puede incluir nutrientes. La Figura 14 muestra realizaciones alternativas diseñadas para su colocación en un canal relativamente poco profundo. El aire filtrado se utiliza como medio de transferencia de energía para funcionar como un conjunto de distribución 402 introducido en el medio de cultivo a través de una tubería de abertura 404 que posee orificios muy cercanos unos a otros 422 de 1/16 pulgadas de diámetro. Esta tubería de abertura 404 está situada ortogonalmente con respecto al flujo del medio de transferencia de energía que introduce la energía fotónica proveniente de una fuente de energía fotónica 405 en una unidad de distribución de luz 406. Puede introducirse un medio de transferencia de energía líquido o gaseoso en la unidad de distribución de luz 406 para acoplar la energía fotónica en el cultivo. La unidad de distribución de luz 406 incluye una abertura 414 donde el medio de transferencia de energía acopla la energía fotónica. Utilizar un medio de transferencia de energía líquido causará menos reflexión de vuelta a la fuente de energía fotónica 405, menos dispersión interna antes de penetrar en el medio de cultivo, y la posibilidad de permitir un mayor ángulo de abertura y de aceptación.

ES 2 770 336 T3

[0140] La tubería de abertura 404 debe ubicarse lo más cerca posible de un fondo 410 del entorno poco profundo sin que se obstruya a causa de los sedimentos, y aproximadamente a dos pulgadas aguas abajo de la abertura de energía fotónica 414. La distancia aguas abajo desde la abertura de energía fotónica 414 puede ajustarse según la velocidad de flujo del medio de cultivo en el canal. Esto permite que se forme el conjunto 402 de burbujas pequeñas 412 y ascienda hacia el lugar por el que se introduce la energía fotónica, optimizando así la capacidad del "conjunto de distribución" para dispersar y distribuir la luz a través del cultivo pasante. La dinámica de la formación de burbujas 412 cambia drásticamente según la velocidad de circulación, la especie cultivada y la cambiante densidad del cultivo.

[0141] El ejemplo descrito puede combinarse para cubrir las necesidades del cultivo específico o de las especies de algas específicas que se estén cultivando. Las diversas realizaciones ilustradas de la unidad de luz fluida 206 pueden modificarse para adaptarse a los distintos tamaños y formas de biorreactores, canales, estanques y demás entornos de crecimiento.

[0142] La Figura 15 ilustra una planta de producción 500 con diversos biorreactores 502a, 502b y 502c configurados para utilizar una realización de la presente divulgación. Los biorreactores 502 pueden ser de cualquier tamaño o forma según la capacidad de la planta de producción 500 y el cultivo que se esté cultivando. Cada biorreactor 502 proporciona un espacio de producción 503 adaptado para contener el medio de cultivo y distribuir eficientemente la energía fotónica a través del medio de cultivo en el espacio de producción 503.

[0143] Tres unidades de luz fluida 506 se ubican en una superficie del fondo 505 de cada biorreactor 502 y pueden incluir cualquiera de los rasgos arriba descritos con respecto a las unidades de luz fluida 206 de las Figuras 27A y 913. Más específicamente, cada unidad de luz fluida 506 incluye una fuente de energía fotónica (no mostrada) separada del medio de cultivo en el espacio de producción 503 por una interfaz

508. La separación de la fuente de energía fotónica del medio de cultivo evita la formación de biopelícula.

[0144] Se coloca una unidad de aire comprimido 504 centrada sobre un eje central de cada biorreactor 502 y por encima de las unidades de luz fluida 506. Se fija un tubo hueco 510 a la unidad de aire comprimido 504 para proporcionar los circuitos de control y/o el medio de transferencia de energía a la unidad de luz fluida 506 y la unidad de aire comprimido 504. Una primera tubería 512 puede proporcionar aire filtrado y una segunda tubería 514 puede proporcionar gas nutriente a la unidad de aire comprimido 504 y a las unidades de luz fluida 506. Una tercera tubería 516 puede proporcionar un fluido nutriente a las unidades de luz fluida 506. Pueden incorporarse otras tuberías en la planta de producción 500 para acoplar un controlador de procesos externo (no mostrado) a las unidades de luz fluida 506 y a la unidad de aire comprimido 504.

[0145] La unidad de aire comprimido 504 puede tener un manguito 522 que se extienda desde una parte inferior de la unidad de aire comprimido 504 y vaya superpuesto a cada unidad de luz fluida 506. El manguito 522 puede tener diversos orificios en una superficie superior que liberen aire filtrado, gas nutriente u otro fluido proporcionado por las tuberías 512 y 514. Esta disposición tiene por finalidad garantizar la mezcla rápida y total de los nutrientes en el medio de cultivo. A medida que se libere el aire o el gas nutriente en el medio de cultivo, se formarán burbujas que se alejarán de las unidades de luz fluida 506. Las burbujas de aire comprimido permiten distribuir la energía fotónica acoplada por el medio de cultivo mediante las unidades de luz fluida 506.

[0146] Un conector 530 se extiende desde la unidad de aire comprimido 504 hasta un dispositivo 524 que distribuye el medio de transferencia de energía hacia las unidades de luz fluida 506 y puede distribuir los circuitos de control hacia la fuentes de energía fotónicas dentro de las unidades de luz fluida 506. Las unidades de luz fluida 506 se fijan al dispositivo de distribución 524 mediante otro conector 526.

ES 2 770 336 T3

[0147] Un par de bombas peristálticas sincronizadas, en este caso, una bomba de recolección 519 y una bomba de nutrientes 520, introducen nutrientes y recolectan el cultivo a volúmenes iguales para mantener un volumen uniforme y la densidad de la biomasa. Las bombas 519, 520 pueden estar controladas por sensores (no mostrados) para controlar de forma más precisa los parámetros del cultivo en el biorreactor 502. Las tuberías adicionales 532 y 534 conectan las bombas 519 y 520 con un suministro de nutrientes o contenedor de recolección (no mostrados). Las tuberías 532 y 534 pueden conectarse con otros biorreactores 502b y 502c de la planta de producción 500. Cada biorreactor 502 puede poseer un conjunto individual de bombas 519 y 520, las tuberías asociadas que conectan las bombas 519 y 520 al biorreactor 502, y los demás componentes mencionados con respecto al biorreactor 502a. Los rasgos y el tamaño de los biorreactores 502 pueden ser diversos para ajustarse a las necesidades de producción de cada planta. Este sistema puede fabricarse como componentes modulares para plantas de producción individualizadas y para una mayor facilidad de mantenimiento. Además, varios biorreactores pueden funcionar en paralelo para cubrir las necesidades industriales y ambientales.

[0148] La Figura 16 muestra un grupo de unidades de luz fluida 606 conectadas individualmente a una línea de suministro 614 o a una tubería de comunicación central mediante tuberías de conexión 612. Cada unidad de luz fluida 606 puede incorporarse a un biorreactor o a otro entorno de crecimiento, no mostrados en aras de la claridad de la ilustración. La línea de suministro 614 proporciona el medio de transferencia de energía a las tuberías de conexión 612 y a cada unidad de luz fluida 606. Un regulador de flujo 608 controla el flujo del medio de transferencia de energía hacia la unidad de luz fluida 606 para cubrir las necesidades del medio de cultivo. Un sensor (no mostrado) puede detectar cambios en los parámetros del medio de cultivo y transmitir señales de control al regulador de flujo 608 para ajustar la entrada del medio de transferencia de energía según sea oportuno.

[0149] Cada unidad de luz fluida 606 posee un regulador de flujo específico 608 para compensar la presión diferencial a lo largo de la línea de suministro 614. Las condiciones del entorno de crecimiento local pueden influir en las propiedades de flujo, como densidad del cultivo, profundidad de la unidad de luz fluida y temperatura. Sin los reguladores de flujo 608 las unidades de luz fluida 606 más alejadas de una fuente principal del medio de transferencia de energía recibirían flujos significativamente menores que las unidades de luz fluida 606 ubicadas cerca de la fuente principal.

[0150] Los ejemplos descritos son ventajosos debido a la independencia de las limitaciones de la luz solar diurnas, estacionales y geográficas, el mayor índice de producción a partir de una cantidad fija de equipos y una huella menor. Las realizaciones presentan una mayor tasa de producción gracias a la producción 24 horas. Además, la capacidad de las algas u otros organismos autotróficos de consumir CO₂ de desecho puede permanecer en línea de forma continua.

[0151] Aunque la transmisión eficiente de la luz es particularmente importante para los organismos autotróficos, el sistema aquí descrito puede utilizarse para cultivar organismos mixotróficos. Además, el control y la distribución de luz pueden utilizarse para limitar el crecimiento de organismos competidores no deseados.

REIVINDICACIONES

1. Un método para transmitir de forma efectiva luz a un cultivo o conjunto de organismos en un medio de cultivo fluido; dicho método comprende: el acoplamiento de la energía fotónica entre un dispositivo fotónico (205) y el medio de cultivo fluido, dicho acoplamiento incluye:
 - 5 la exposición del dispositivo fotónico (205) a un medio de transferencia de energía de base líquida; y la introducción del medio de transferencia de energía de base líquida en el medio de cultivo fluido a través de una interfaz (208) con al menos una abertura (222; 302), dicha introducción incluye la transferencia de energía fotónica entre el dispositivo fotónico (205) y el medio de cultivo fluido.
2. El método de la reivindicación 1 donde la transferencia de la energía fotónica incluye el suministro de una fuente de energía fotónica, la fuente estará separada del medio de cultivo fluido mediante el medio de transferencia de energía de base líquida.
3. El método de la reivindicación 2, que comprende, además, el suministro de la fuente de energía fotónica en el dispositivo fotónico (205).
4. El método de la reivindicación 1 donde el dispositivo fotónico (205) incluye un fotoemisor y un fotorreceptor.
5. El método de la reivindicación 4, que comprende, además, la recepción de la energía fotónica del medio de cultivo con el fotorreceptor.
6. El método de la reivindicación 5, que comprende, además, la modulación de una velocidad de flujo del medio de transferencia de energía de base líquida en respuesta a la recepción de la energía fotónica.
7. El método de la reivindicación 1 wherein donde la introducción del medio de transferencia de energía de base líquida incluye la introducción continua del medio de transferencia de energía de base líquida.
8. El método de la reivindicación 7 donde la introducción continua del medio de transferencia de energía de base líquida incluye la formación de una lente de abastecimiento (212a) en un límite del medio de transferencia de energía de base líquida y el medio de cultivo fluido.
9. El método de la reivindicación 8 donde la formación de la lente de abastecimiento (212a) incluye la formación de una lente estática con el medio de transferencia de energía de base líquida mediante la modulación de la introducción del medio de transferencia de energía de base líquida durante un período de tiempo.
10. El método de la reivindicación 1, que comprende, además:
 - 30 el suministro de un espectro de energía fotónica específico mediante un conjunto de fuentes de energía fotónica proporcionadas en el dispositivo fotónico (205); y un ajuste del contenido espectral de la energía fotónica mediante el control selectivo de las fuentes de energía fotónicas.
11. El método de la reivindicación 1, donde dicho dispositivo fotónico (205) es un dispositivo fotométrico.
12. El método de la reivindicación 11, que comprende, además, la medición de una característica del medio de cultivo fluido mediante la recepción de información de entrada en el dispositivo fotométrico a través del medio de transferencia de energía de base líquida.
13. El método de la reivindicación 11, donde, la introducción del medio de transferencia de energía de base líquida incluye la introducción de un nutriente para el cultivo o el conjunto de organismos con el medio de transferencia de energía de base líquida.
14. El método de la reivindicación 11, que comprende, además, la monitorización de un estado de acoplamiento entre el dispositivo fotométrico y el medio de cultivo y el ajuste de, al menos, uno de los elementos expuestos e introducidos en respuesta a la monitorización del estado de acoplamiento.

15. El método de la reivindicación 14, que comprende, además, el suministro de una fuente controlable de energía fotónica, donde el ajuste de los elementos expuestos incluye la modulación de la fuente controlable de energía fotónica.

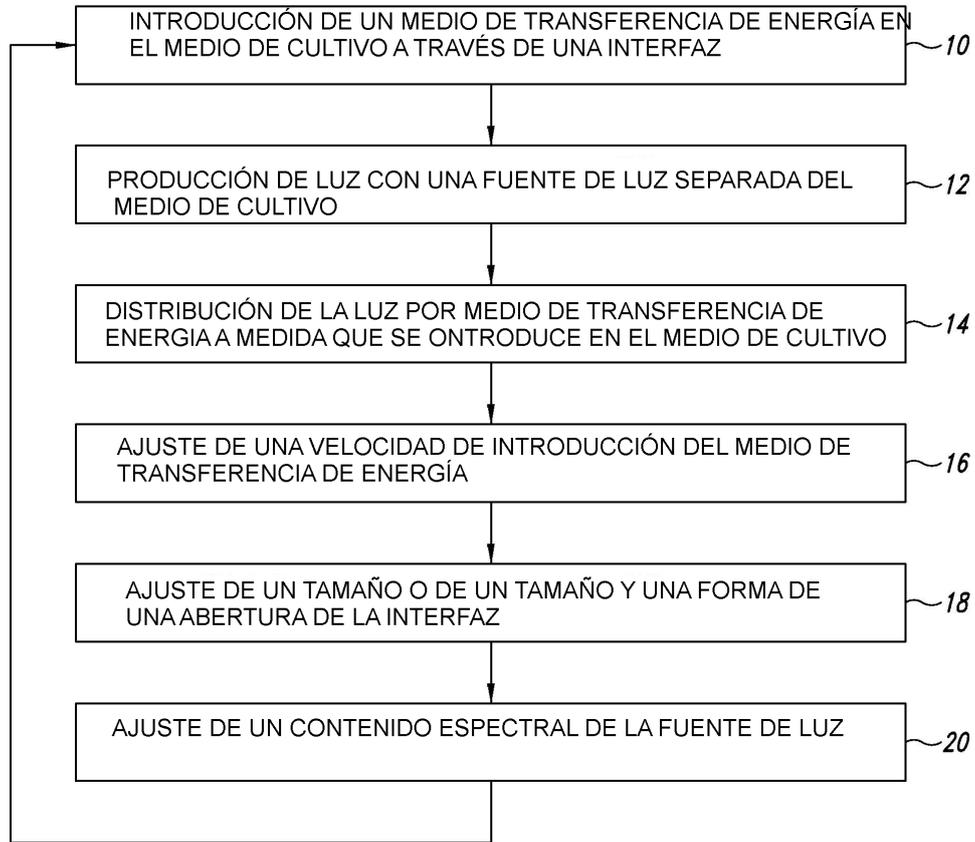


FIG. 1

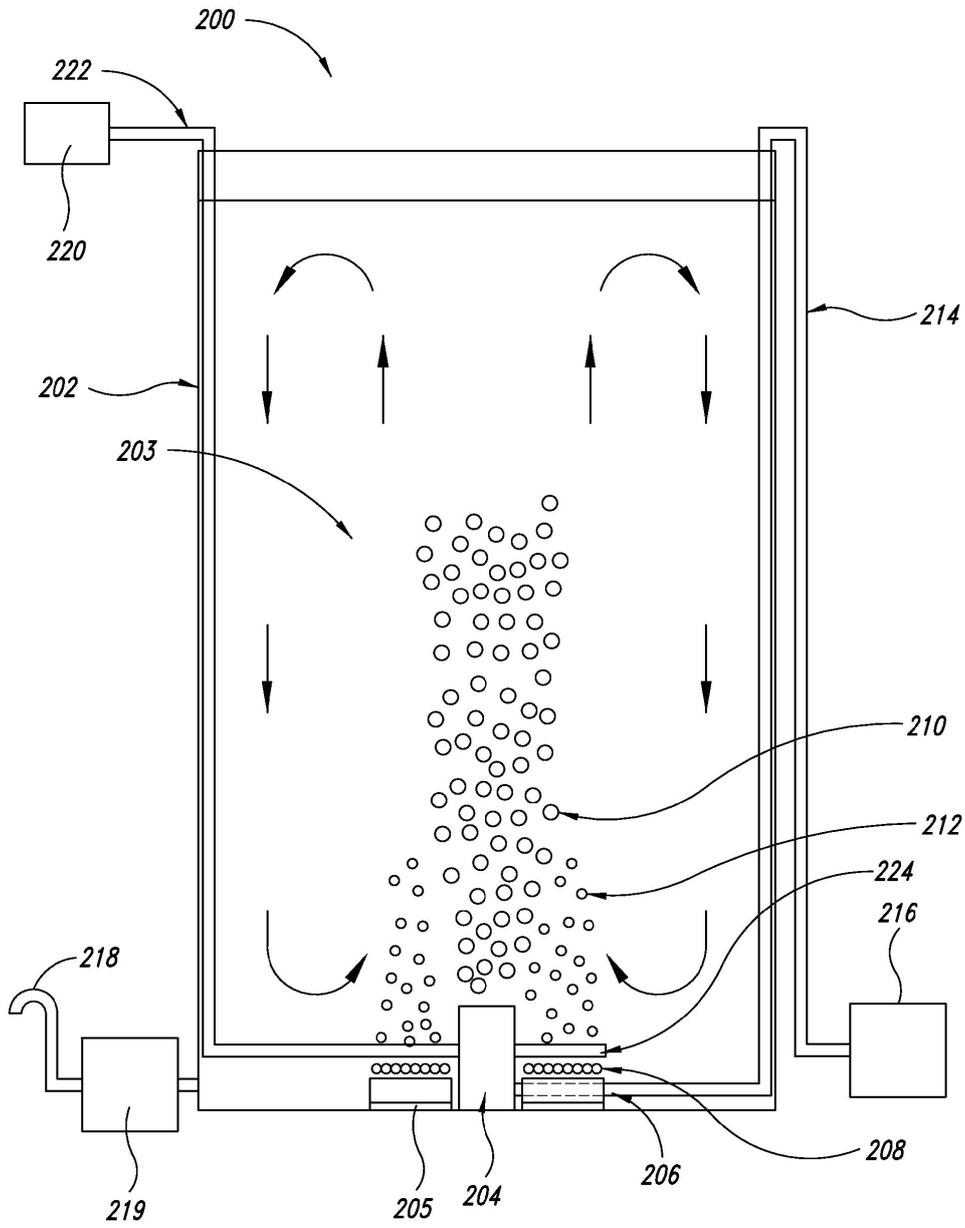


FIG. 2

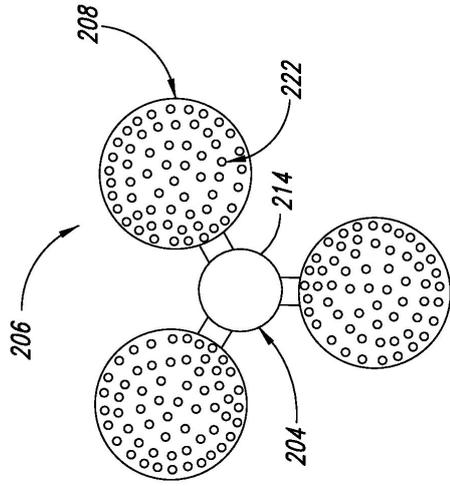


FIG. 3

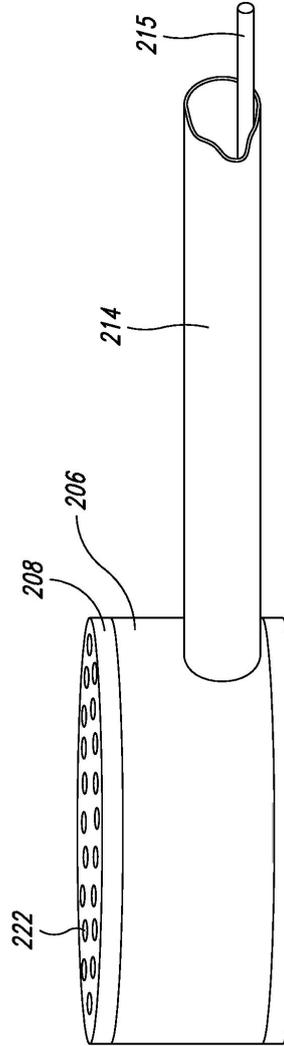


FIG. 4

400

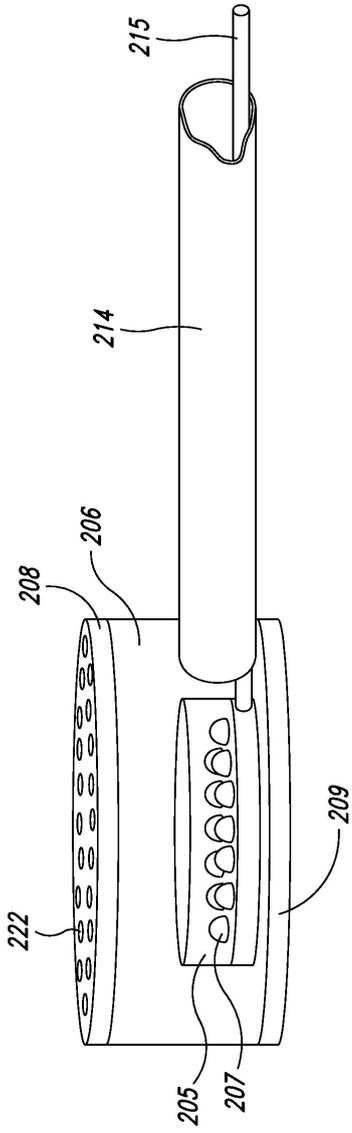


FIG. 5

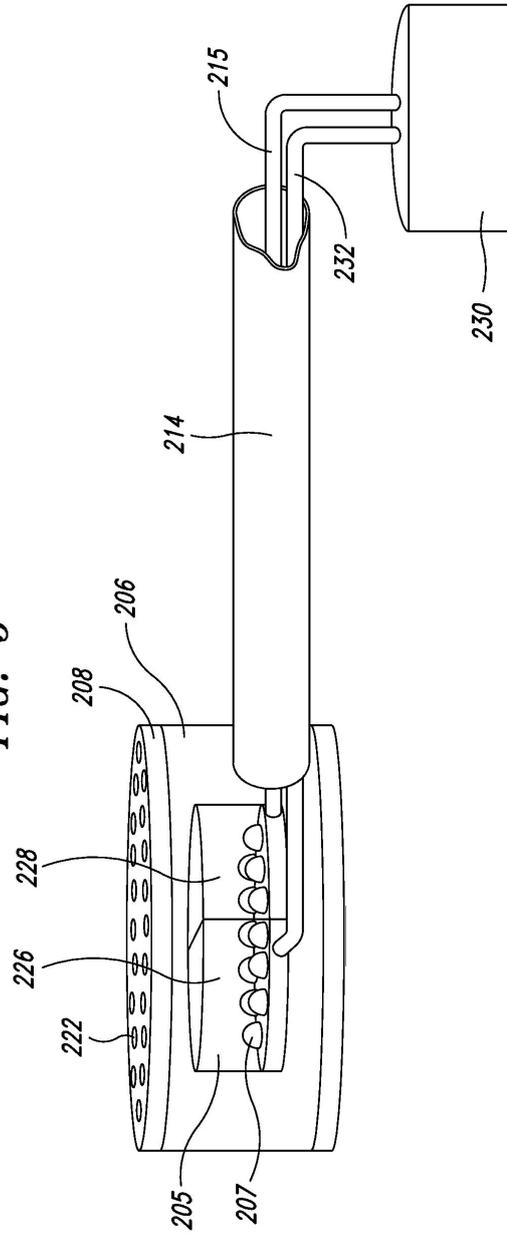
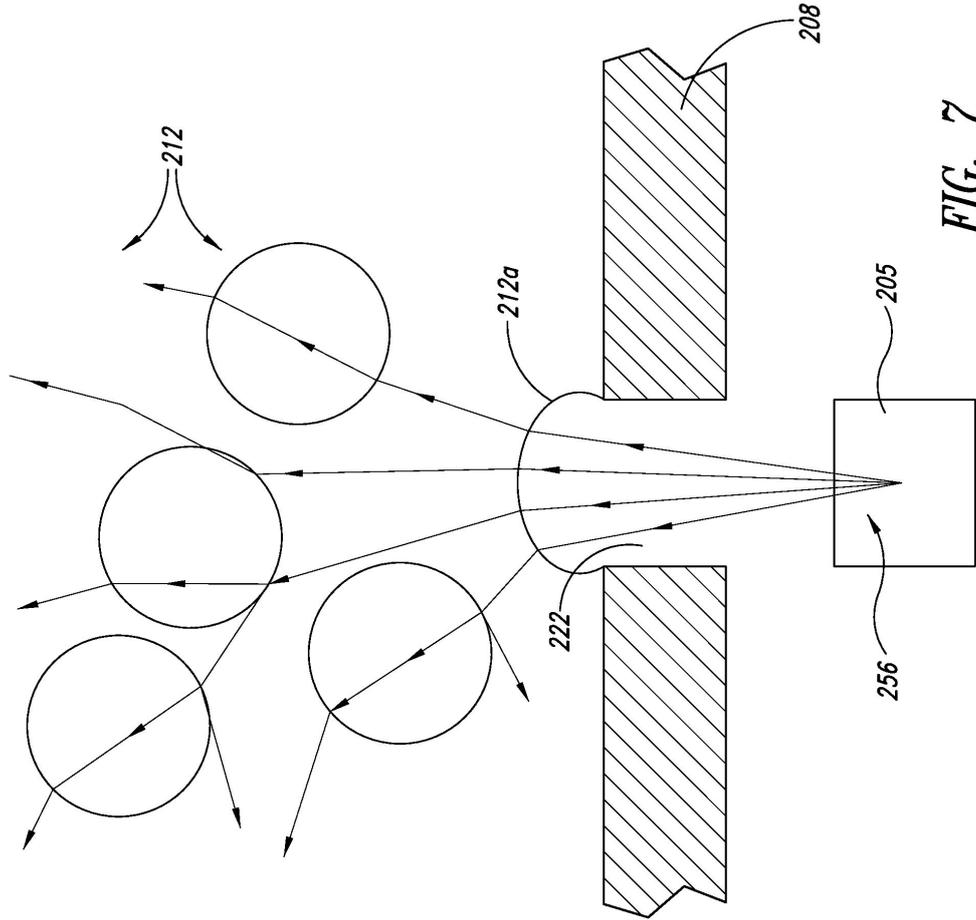


FIG. 6



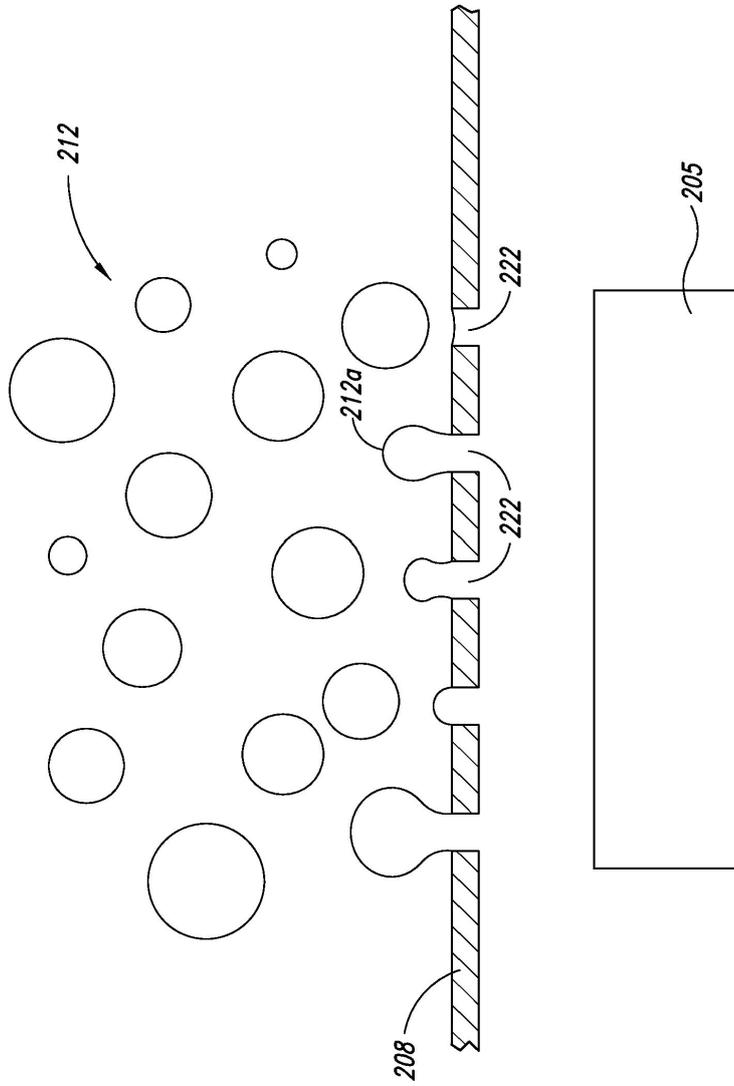


FIG. 7A

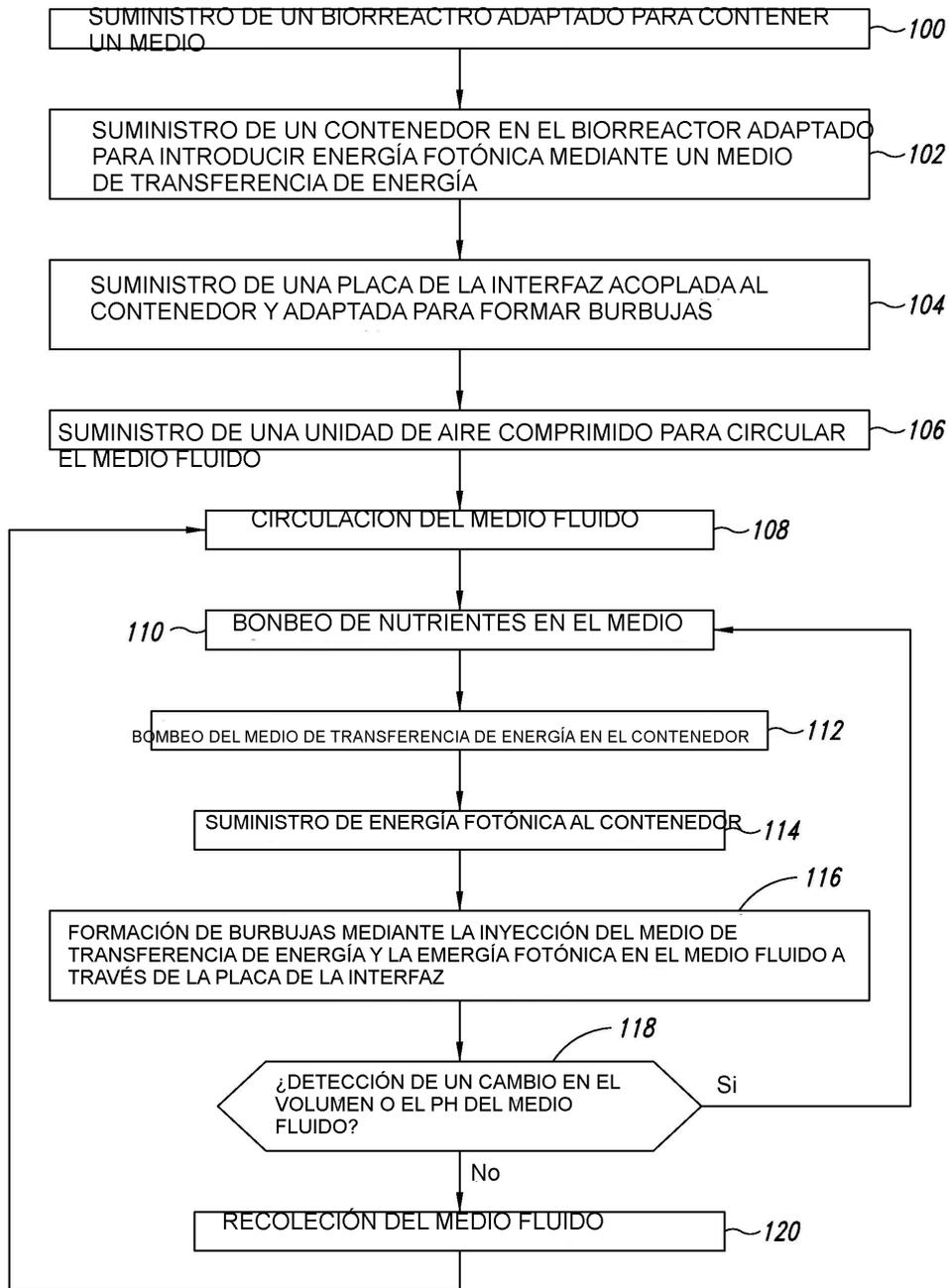


FIG. 8

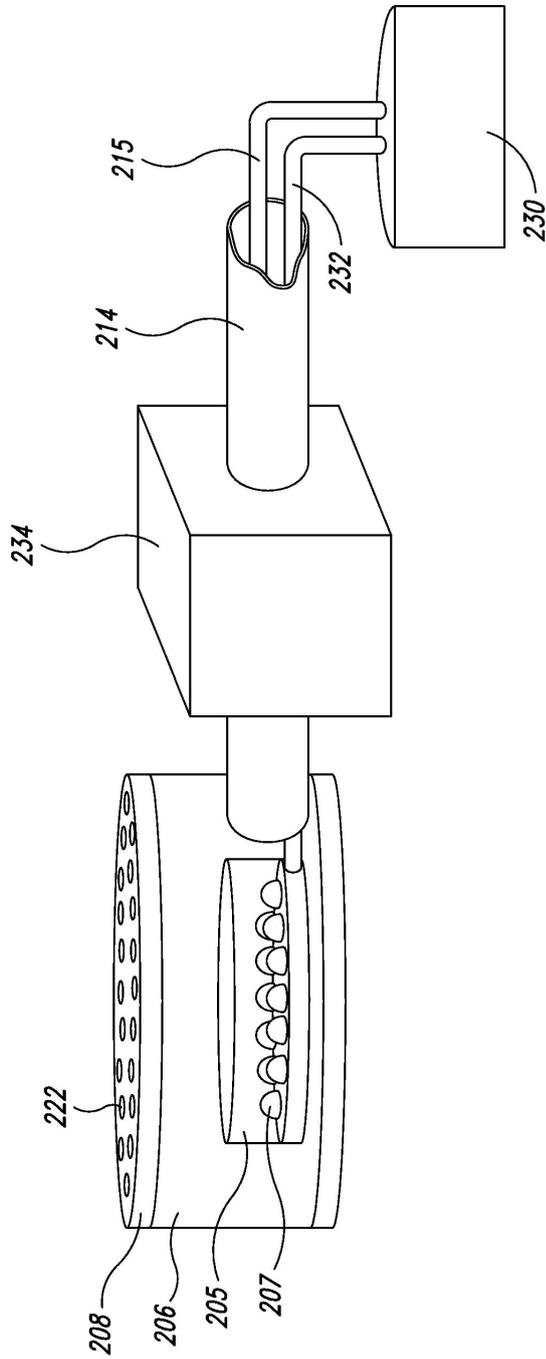


FIG. 9

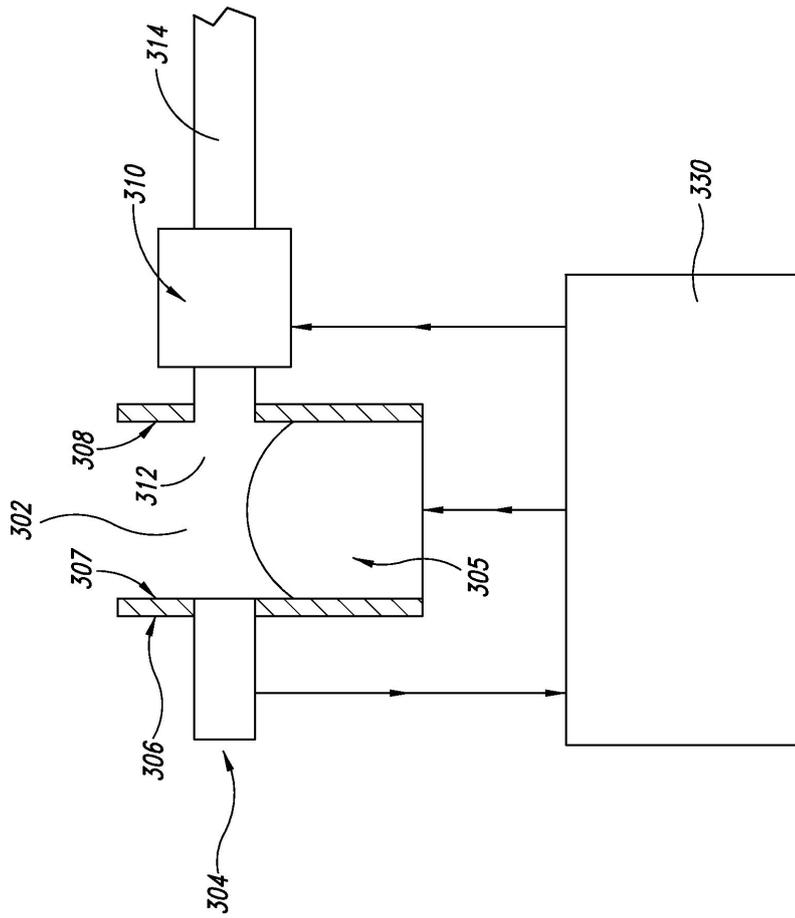


FIG. 10

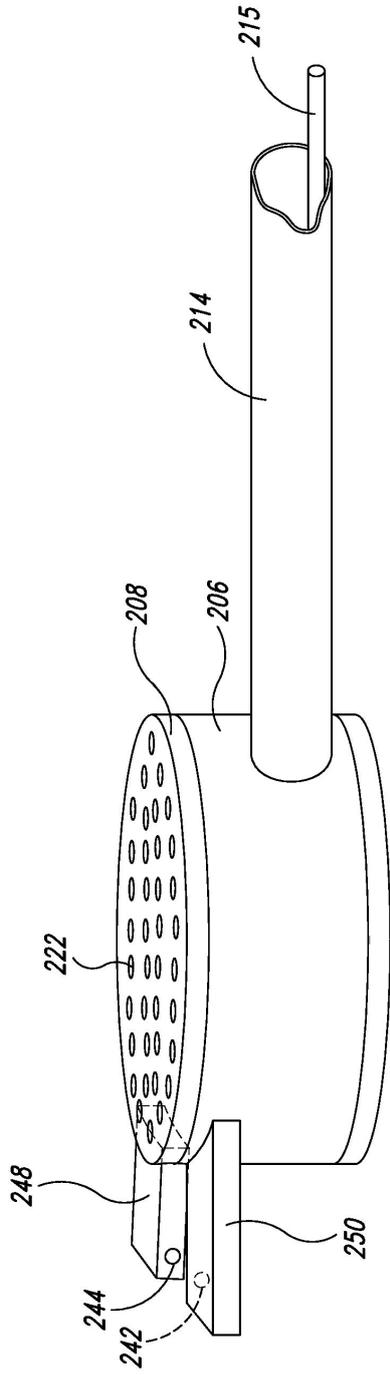


FIG. 11

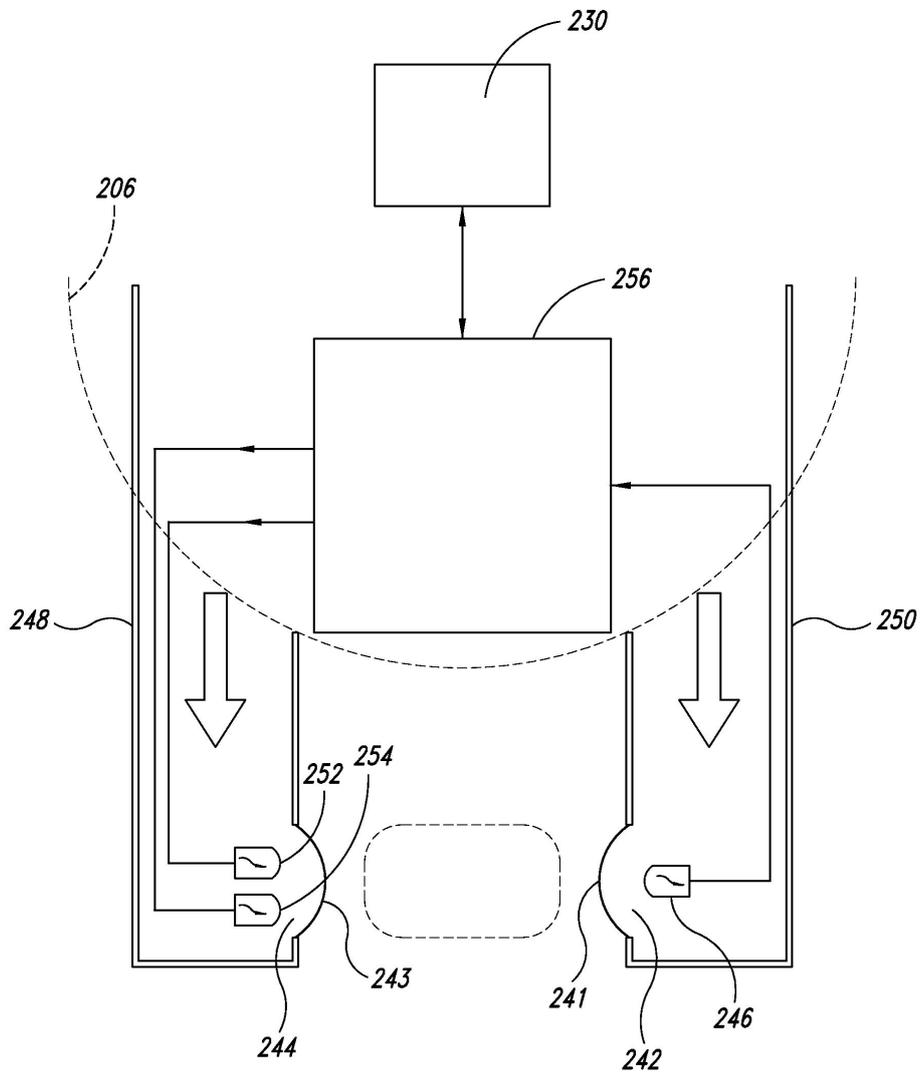


FIG. 12

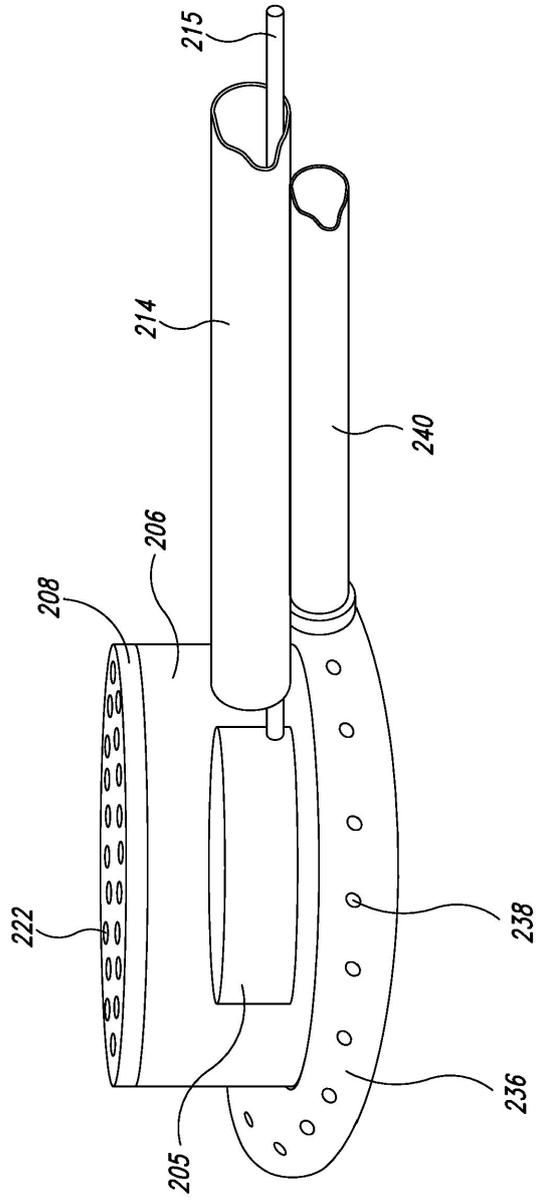


FIG. 13

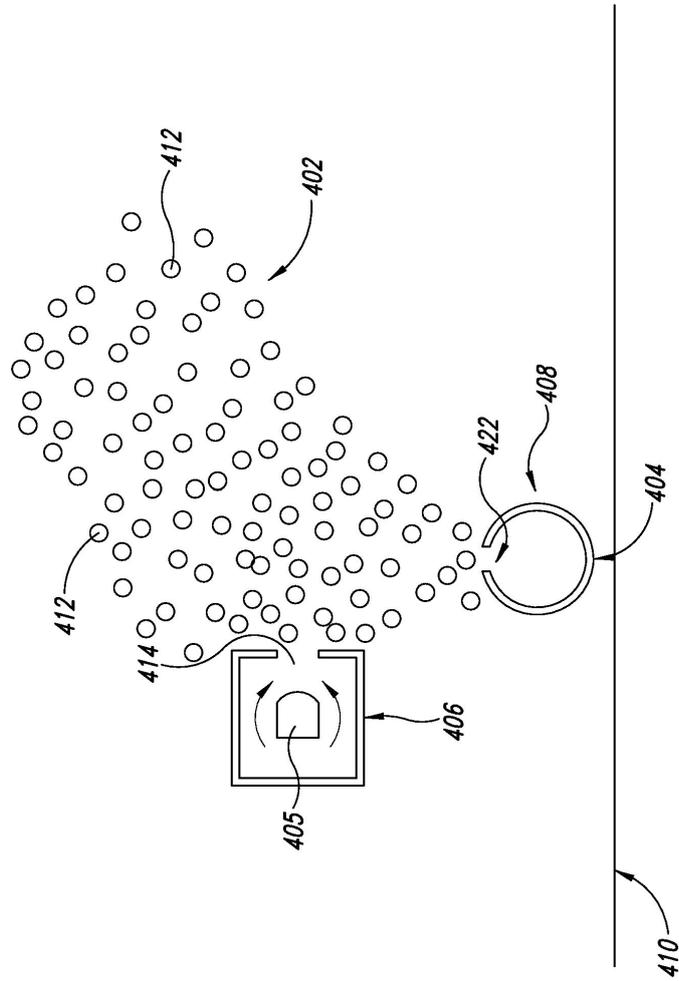


FIG. 14

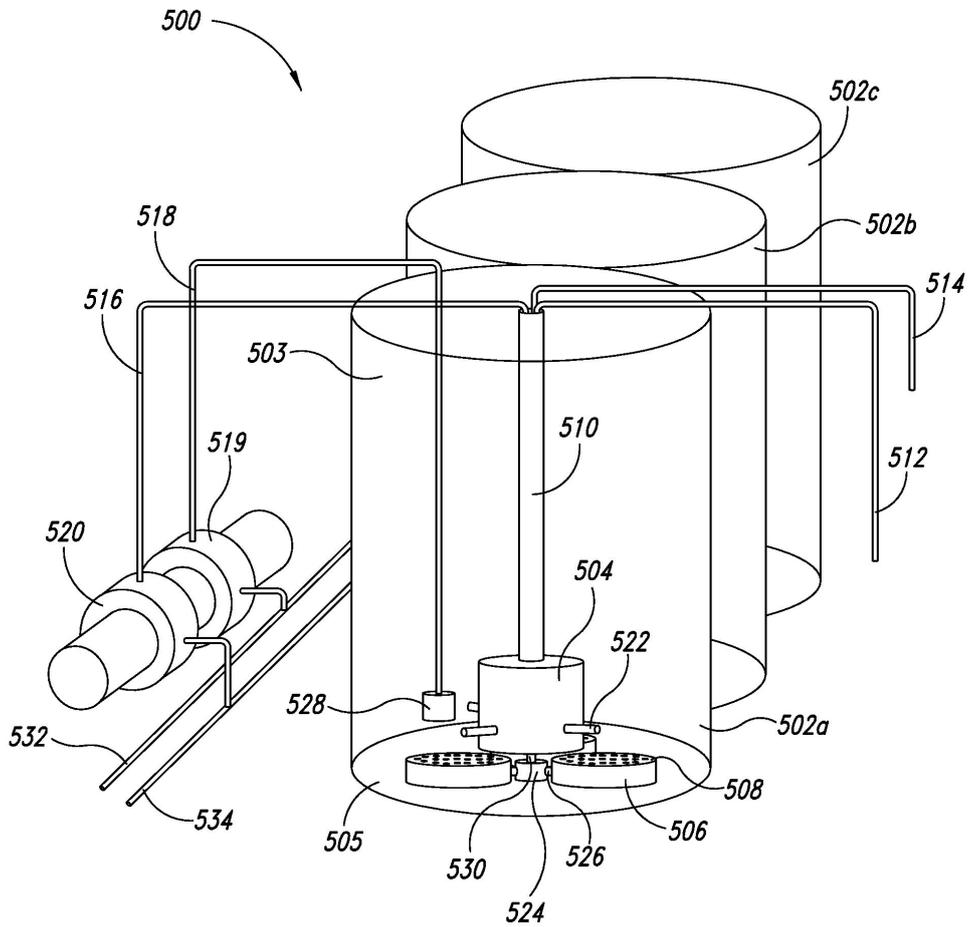


FIG. 15

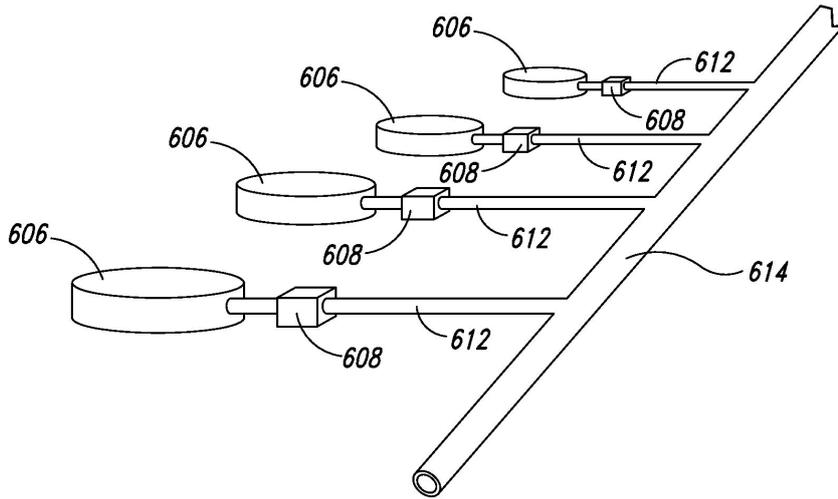


FIG. 16

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias citadas por el solicitante quiere únicamente ayudar al lector y no forma parte del documento de patente europea. Aunque se ha puesto un gran cuidado en su concepción, no se pueden excluir errores u omisiones y la OEB declina toda responsabilidad a este respecto.

5 Documentos de-patente citados en la descripción

- US 20090029445 A, Eckelberry [0010]
- WO 2008135276 A [0012]

Literatura no-patente que se cita en la descripción

- Microalgal Photobioreactors: Scale-up and Optimization. **BARBOSA, M.J.G.V.** Doctoral Thesis. Wageningen University, 2003, 161 [0063]
- **RICHMOND, AMOS.** Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology. Black-well Science, Ltd, 2004 [0063]
- Spirulina Platensis (Arthrospira): Physiology, **VONSHAK; AVIGAD.** Cell Biology, and Biotechnology. CRC Press, 1997 [0063]