

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 612 329**

51 Int. Cl.:

**C07C 51/235** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.11.2013** **E 13194113 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.12.2016** **EP 2735558**

54 Título: **Proceso para la síntesis directa de ácido láctico**

30 Prioridad:

**25.11.2012 BR 102012027339**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**16.05.2017**

73 Titular/es:

**PETROLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS  
(50.0%)  
Avenida Republica do Chile no 65  
Rio de Janeiro, BR y  
INT - INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA  
(50.0%)**

72 Inventor/es:

**FRAGA, MARCO ANDRÉ;  
GALVAO, TATIANA VIEIRA;  
DE REZENDE, SIMONE MARIA;  
DE FARIAS, ANDREA MARIA DUARTE;  
GASPAR, ALEXANDRE BARROS;  
RABELLO, CARLOS RENÉ KLOTZ;  
SIQUEIRA, BERNARDO GALVÃO;  
DE MENEZES, RAPHAEL BEZERRA y  
JUNIOR, MARLITO GOMES**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 612 329 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

Proceso para la síntesis directa de ácido láctico

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un proceso para obtener ácido láctico en una sola etapa por oxidación directa en un medio acuoso de 1,2-propanodiol en presencia de una mezcla de catalizadores heterogéneos. Más particularmente, el proceso se refiere a la síntesis de ácido láctico mediante oxidación directa en condiciones de temperatura baja y presión baja, en presencia de una mezcla física de catalizadores heterogéneos, estando basado un primer catalizador en un metal noble soportado en óxido metálico con un segundo catalizador básico.

**Antecedentes de la invención**

15 Con el aumento de la producción mundial de biodiésel, se ha llevado a cabo un gran número de estudios con el objetivo de absorber el exceso de glicerina disponible en el mercado, aproximadamente el 10 % de la producción total de biodiésel, que reduce su valor económico y, al mismo tiempo, generar nuevos productos con mayor valor añadido.

20 En una primera fase, se pueden obtener productos tales como 1,2-propanodiol a partir de glicerina. Esta materia prima, que también está disponible en abundancia, se ha convertido en importante en la obtención de productos químicos que son de gran interés en la actualidad.

25 El ácido láctico es una materia prima importante para la industria química en la actualidad y es ampliamente consumido en diferentes sectores industriales. Tiene aplicación en la industria alimenticia en la fabricación de diversos productos, por ejemplo, tales como yogur y queso. También se utiliza en la industria cosmética como agente humectante; en la industria textil como mordiente y para el curado de cuero.

30 La industria petroquímica moderna, que ahora se enfrenta al reto de buscar medios sostenibles para producir productos ecológicos de bajo impacto ambiental, está mirando al ácido láctico como una de las materias primas importantes para la producción de materiales biodegradables, en particularmente en la obtención de poli(ácido láctico), PLA.

35 El PLA es un polímero biodegradable, compostable y biocompatible con una amplia gama de aplicaciones. Además de su uso bien establecido en el área médica, su uso en envases de plástico ha recibido una creciente atención, que al considerarse un polímero verde, minimiza los impactos sobre el medio ambiente.

40 El ácido láctico se puede producir por diferentes medios y es un ejemplo de un proceso clásico de producción basado en la reacción entre acetaldehído y ácido cianico, seguido de la etapa de hidrólisis con ácido sulfúrico o por reacción de monóxido de carbono con formaldehído en agua a presiones altas usando ácido fluorhídrico como catalizador. Estos medios de síntesis utilizan productos altamente tóxicos y peligrosos, se producen en un medio homogéneo, generan residuos líquidos contaminantes con alto impacto ambiental e implican procesos con costes elevados. Como consecuencia, el ácido láctico se fabrica comercialmente en estos días mediante la fermentación de azúcares.

45 Sin embargo, los procesos de fermentación o bioquímicos tienen inconvenientes en cuanto a que requieren mucho tiempo y tienen un coste bastante alto, ya que hacen uso de microorganismos complejos que requieren un cuidado especial para su crecimiento, desarrollo y mantenimiento, involucrando equipos de gran volumen, lo que aumenta significativamente el coste de producción.

50 El ácido láctico también puede obtenerse mediante la transformación química de otras fuentes. La literatura técnica académica, por ejemplo, muestra un proceso en el que se utiliza glicerina en una reacción que tiene lugar en un medio alcalino en fase homogénea y en condiciones hidrotérmicas [H. Kishida, F. Jin, Z. Zhou, T. Moriya, H. Enomoto, Chem. Lett. 34 (2005) 1560–1561]. Aunque los rendimientos de ácido láctico alcanzan aproximadamente el 90 %, las reacciones tienen lugar a temperaturas muy elevadas, a aproximadamente 300 °C y a presiones considerablemente altas. Adicionalmente, el producto final obtenido es la sal derivada de ácido láctico, lactato, como una función de la adición de una solución alcalina al medio de reacción. De este modo, se requiere la etapa de hidrólisis con un ácido inorgánico al final de la síntesis para obtener el ácido láctico libre. Estas condiciones implican procesos de costes altos, así como alto coste energético, y también requieren equipos construidos con materiales especiales para evitar la corrosión de los reactores debido a la alta concentración de hidróxido.

65 También se han descrito en la literatura reacciones de oxidación selectivas del hidroxilo primario del 1,2-propanodiol en ácido láctico en un medio acuoso usando un catalizador heterogéneo [M. Hong, N. Xin, C. JiaYing, C. Chen, G. Jin, M. Hong, X. Jie, Sci. China Chem., 53 (2010) 1497–1501]. En estos procesos, los autores describen el uso de catalizadores de oro soportados en Mg(OH)<sub>2</sub>, que conducen al 94,4 % de conversión de 1,2-propanodiol, 89,3 % de selectividad de ácido láctico, lo que da como resultado un rendimiento del 84,3 % de ácido después de 6 horas de

reacción. Sin embargo, en este proceso también existe la necesidad de añadir una solución de NaOH, lo que conduce a la sal de ácido láctico como producto final. Los autores describen el uso de una relación molar entre NaOH y 1,2-propanodiol igual a 2 y el proceso tiene lugar a una temperatura bastante elevada (60 °C) y a presiones por encima de la presión atmosférica, describiéndose el uso de presión parcial de O<sub>2</sub> del orden de 3 bares.

5 Otros estudios de la literatura científica describen también la oxidación de dioles, enfocándose esencialmente en la aplicación de catalizadores metálicos a base de oro a temperaturas del orden de 70 °C a 90 °C a presiones de entre 2 bares y 3 bares de oxígeno puro y la adición de una base para mantener un pH constante. Los rendimientos de ácido láctico están siempre en el intervalo entre 5 % y 64 % y este rendimiento puede ser la razón para la  
10 comparación con sistemas basados en platino o paladio soportado sobre carbón activado [S. Demirel, P. Z Kern, M. Lucas, P. Claus, Catal. Today 122 (2007) 292–300; L. Prati, M. Rossi, J. Catal. 176 (1998) 552–560; C. Bianchi, F. Porta, L. Prati, M. Rossi, Top. Catal. 13 (2000) 231–236].

15 El documento de la patente CN 101225041 se refiere a un proceso que utiliza catalizadores de oro sobre diferentes soportes y la adición de NaOH o KOH para controlar el pH en 10. Es posible obtener ácido láctico, aunque con rendimientos muy bajos en las condiciones especificadas, variando en el intervalo entre 9,7 % y 32 % y alcanzando el 81 % con la conversión más alta de glicerina. El ácido láctico no se obtiene directamente en forma libre, siendo necesarias posteriores fases de hidrólisis para la producción del ácido, tales como procesos fermentativos que generan residuos sólidos que se descartan.

20 El documento de la patente EP 2 184 270 se refiere a un proceso para la producción de ácido láctico a partir de gliceraldehído, utilizando ácido zeolita beta como catalizador que contiene estaño en la estructura. El proceso también permite obtener los ésteres correspondientes usando un disolvente adecuado. Por lo tanto, para obtener lactato de metilo, se usa metanol como disolvente. Se obtiene una selectividad del 16 % en lactato de metilo a partir  
25 de gliceraldehído en presencia de catalizador Sn-BETA a 100 °C durante 20 horas a una presión de argón de 20 bares y utilizando metanol como disolvente. En estos procesos, no se añade una solución básica o alcalina para controlar el pH, sin embargo, debe considerarse el hecho de que la reacción se procesa en una atmósfera inerte (argón) a presiones muy altas.

30 En un artículo reciente [A. Tsuji, K.T.V. Rao, S. Nishimura, A. Takagaki, K. Ebitani, ChemSusChem, 4 (2011) 542–548], se comunica el uso de reacciones de oxidación selectiva del hidroxilo primario del glicerol o de 1,2-propanodiol en ácido glicérico y ácido láctico, respectivamente, en un medio acuoso usando condiciones de temperatura suaves y flujo de oxígeno puro, sin la adición de una base. Con este fin se utilizan catalizadores de Pt/hidrotalcita con diferentes relaciones de Mg/Al pero con niveles extremadamente elevados de platino, de más del 35 % en peso. En  
35 el caso de la oxidación del 1,2-propanodiol, después de 6 horas de reacción, se obtiene una selectividad hacia el ácido láctico del 70 % y la conversión del diol de aproximadamente el 65 %, lo que da un rendimiento en ácido láctico del 45,5 %.

40 En la mayor parte de los procesos de última generación que utilizan un catalizador heterogéneo, el pH del medio de reacción tiene que controlarse mediante la adición continua de una solución alcalina. Esta operación no permite la producción directa de ácido láctico, sino más bien de su respectiva sal, un lactato.

45 Este hecho es una desventaja importante, ya que al igual que los procesos fermentativos, el lactato que se produce tiene que hidrolizarse mediante la adición de un ácido inorgánico en una operación posterior. En esta etapa, se generan grandes cantidades de residuos sólidos y estos tienen que separarse y descartarse, como en los procesos biológicos. Además del impacto ambiental, la necesidad de diversas etapas para obtener el ácido láctico aumenta la complejidad del proceso y, en consecuencia, su coste.

50 El documento BR P11 004 306 A2 describe un proceso catalítico oxidativo para la síntesis de ácido láctico.

Como puede verse, a partir de la descripción de la presente invención siguiente, el ácido láctico se obtiene en una sola etapa, de modo que se elimina la etapa de adición de soluciones alcalinas, sin necesidad de controlar el pH, y la eliminación de la formación de residuos sólidos y, en consecuencia, no se necesita ninguna separación, tratamiento o descarte adicional de residuos sólidos. Estas diversas ventajas permiten reducir los costes del proceso  
55 y mitigar el impacto medioambiental, estableciendo un proceso respetuoso con el medio ambiente.

### Sumario de la invención

60 La presente invención se refiere a un proceso para la síntesis directa de ácido láctico, llevada a cabo en una sola etapa por medio de oxidación selectiva de 1,2-propanodiol en presencia de un catalizador heterogéneo. La reacción tiene lugar en presencia de oxígeno y con una mezcla de catalizadores heterogéneos, específicamente un primer catalizador de un metal seleccionado de Pt, Cu, Pd, Au, Ru, Rh, Ir o una combinación de los mismos (denominados en el presente documento metales nobles) soportado en óxido metálico, y un segundo catalizador sólido básico. La oxidación selectiva del grupo hidroxilo del carbono primario del 1,2-propanodiol tiene lugar a temperaturas en el  
65 intervalo de 30 °C a 100 °C, típicamente a presión atmosférica o autógena, y sin la necesidad de la adición de cualquier solución básica o alcalina. La mezcla de catalizadores se recupera fácilmente mediante filtración al final del

proceso, para su reutilización. El ácido láctico se obtiene directamente, con una selectividad de entre 50 % y 97 %.

La expresión "síntesis directa de ácido láctico" se refiere a un proceso por el cual se puede obtener ácido láctico en un proceso de una sola etapa, en el contexto de la invención esto es un proceso de una sola etapa de oxidación de 1,2-propanodiol a ácido láctico. La oxidación es una oxidación selectiva del grupo hidroxilo primario. Por lo tanto, en un proceso directo para la síntesis de ácido láctico, típicamente no es necesario que se realice una reacción adicional antes de que se obtenga el ácido láctico. Dichas reacciones adicionales pueden incluir la hidrólisis ácida de una sal de lactato, tal como se requiere en procesos conocidos en la técnica. De este modo, el proceso de la invención produce ácido láctico sin producción de un intermedio de sal de lactato.

Por consiguiente, la invención proporciona:

[1] Proceso para la síntesis directa de ácido láctico en una sola etapa, proceso que comprende la oxidación de 1,2-propanodiol en presencia de oxígeno y una mezcla de catalizadores, cuya mezcla de catalizadores comprende: un primer catalizador metálico que comprende un metal soportado seleccionado de Pt, Cu, Pd, Au, Ru, Rh, Ir o una combinación de estos; y un segundo catalizador sólido básico que comprende un óxido básico; y en el que la oxidación tiene lugar a una temperatura de 30 °C a 100 °C.

[2] Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con [1], cuyo proceso comprende las siguientes etapas:

- alimentar un reactor, en el que el reactor está equipado opcionalmente con un sistema de reflujo y agitación mecánica, con 1,2-propanodiol o una solución acuosa de 1,2-propanodiol, y con una mezcla física del primer catalizador metálico con un segundo catalizador básico, en el que el segundo catalizador básico comprende un óxido básico, obtenido opcionalmente por descomposición térmica; y
- permitir que los materiales reaccionen por calentamiento, manteniéndose dentro de un intervalo entre 30 °C y 100 °C con burbujeo de oxígeno, aire o una mezcla de ambos, opcionalmente con agitación a una velocidad entre 200 rpm y 2.000 rpm, opcionalmente con presión autógena entre 1 bar y 5 bares.

[3] Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con [1] o [2], en el que el proceso comprende además la obtención del primer catalizador metálico a partir de un precursor de un metal capaz de descomponerse para formar el óxido correspondiente sobre un soporte, después, activar el primer catalizador metálico por medio de reducción bajo flujo de hidrógeno, opcionalmente en un flujo de hidrógeno de 50 ml min<sup>-1</sup> a 350 °C, opcionalmente durante 2 horas.

[4] Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con uno cualquiera de [1] a [3], en el que el proceso comprende además permitir la reacción durante aproximadamente 6 horas y, opcionalmente, separar los productos obtenidos mediante eliminación de la mezcla de catalizadores heterogéneos por filtración y separando el ácido láctico directamente de la fase acuosa.

[5] Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con cualquiera de [1] a [4], en el que el proceso tiene una selectividad entre 50 % y 97 %, y, opcionalmente, un rendimiento de 25 % o más.

[6] Proceso para la síntesis directa de ácido láctico, de acuerdo con uno cualquiera de [1] a [5], en el que el denominado primer catalizador metálico comprende al menos uno de los metales soportados en un óxido metálico puro, en una mezcla de óxidos metálicos o en silicatos de aluminio con estructura zeolítica.

[7] Proceso para la síntesis directa de ácido láctico, de acuerdo con uno cualquiera de [3] a [6], en el que el denominado precursor de un metal se selecciona de un precursor de sal de platino seleccionado de H<sub>2</sub>Pt(OH)<sub>6</sub>, Pt(NO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>, Pt(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Pt(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub>, PtCl<sub>4</sub>, Pt(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub>, Pt(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>, Pt(C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>O<sub>2</sub>)<sub>2</sub> o un compuesto que se descompone para formar PtO<sub>2</sub>.

[8] Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con uno cualquiera de [1] a [7], en el que la cantidad de metal en el catalizador está en un intervalo entre 0,01 % y 10 %, preferiblemente entre 0,1 % y 5 % en peso del primer catalizador metálico.

[9] Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con uno cualquiera de [1] a [8], en el que el denominado segundo catalizador básico comprende un óxido básico simple, un óxido básico doble, un hidróxido simple o un hidróxido doble, seleccionados de Al, Zn, Li, Na, K, Rb, Cs, Fr, Be, Mg, Ca, Sr, Ba o una combinación de estos, preferiblemente seleccionados de óxidos simples de magnesio o calcio, óxidos mixtos que contienen Mg, Al o Zn y compuestos de hidróxido doble de Mg, Al o Zn, opcionalmente en el que el segundo catalizador básico tiene una superficie específica dentro del intervalo de 10 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> y 800 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>.

[10] Proceso para la síntesis directa de ácido láctico, de acuerdo con uno cualquiera de [1] a [9], en el que se usa 1,2-propanodiol como materia prima en solución acuosa con una concentración mayor o igual a 0,05 M y se usa un flujo de aire sintético que comprende 20 % de O<sub>2</sub> en N<sub>2</sub> en volumen en el intervalo entre 10 ml min<sup>-1</sup> y 100 ml min<sup>-1</sup>; se deja variar la temperatura de reacción en el intervalo entre 30 °C y 80 °C, se permite que la presión de reacción varíe en el intervalo entre 1 bar y 5 bares y en el que la agitación mecánica se mantiene a una velocidad entre 500 rpm y 2.000 rpm.

[11] Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con uno cualquiera de [3] a [10], en el que la reducción del primer catalizador metálico se realiza *in situ* en el intervalo de temperatura entre 30 °C y 100 °C.

[12] Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con uno cualquiera de [3] a [10], en el que la reducción del primer catalizador metálico se realiza *ex situ* a una temperatura entre 200 °C y 500 °C e *in situ* en el intervalo de temperatura entre 30 °C y 100 °C.

[13] Proceso para la síntesis directa de ácido láctico, de acuerdo con uno cualquiera de las [1] a [12], en el que la relación de la masa de catalizador metálico:la masa del catalizador básico está comprendida entre 0,5:1,0 y 6,0:1,0, preferiblemente entre 0,6:1,0 y 4,5:1,0.

5 [14] Proceso para la síntesis directa de ácido láctico, de acuerdo con uno cualquiera de [1] a [13], en el que la relación del catalizador metálico: 1,2-propanodiol está en el intervalo entre 1:4 y 1:20 en peso.

[15] Proceso para la síntesis directa de ácido láctico, de acuerdo con uno cualquiera de [1] a [14], en el que el proceso se lleva a cabo en régimen continuo, semicontinuo, en semidiscontinuo o una combinación de estos, tanto en la fase gaseosa como en la fase líquida.

## 10 Descripción detallada de la invención

El proceso se describirá con mayor detalle y se ilustrará por medio de ejemplos para que pueda comprenderse bien y evaluarse. Sin embargo, se debe señalar que tales ejemplos son meramente ilustrativos y no deben considerarse como limitativos de la invención.

15 Como se ha mencionado anteriormente, el proceso de la invención se refiere a la síntesis de ácido láctico mediante oxidación directa en de 1,2-propanodiol en condiciones de temperatura baja y, generalmente, presión baja, y en presencia de la mezcla física de catalizadores heterogéneos, siendo normalmente un primer catalizador un metal noble soportado en óxido metálico junto con un segundo catalizador básico. En dichas condiciones es posible  
20 obtener el ácido láctico directamente, con selectividad entre 50 % y 97 %, y un rendimiento de 25 % o más, con la ventaja de requerir baja complejidad y utilizar menos energía que la utilizada en los procesos conocidos, lo que permite el uso de los equipos ya instalados que se encuentran normalmente en las plantas industriales.

25 El proceso puede llevarse a cabo de forma continua, semicontinua, en semidiscontinua o una combinación de estos, tanto en fase gaseosa como en fase líquida.

De acuerdo con el proceso de la invención para la síntesis directa de ácido láctico, se añade una corriente gaseosa seleccionada de entre aire, oxígeno puro o una mezcla de ambos a un reactor equipado con un sistema de burbujeo que contiene una solución acuosa de 1,2-propanodiol 0,2 M al presión atmosférica. Este reactor también contiene  
30 una mezcla de catalizadores sólidos para convertir el 1,2-propanodiol en presencia de oxígeno, preferiblemente en ácido láctico, estando basado un primer catalizador en un metal noble soportado sobre óxido metálico y un segundo catalizador básico.

35 El término "óxido básico", tal como se usa en el presente documento, se refiere tanto a óxidos metálicos como a hidróxidos metálicos.

El proceso para la síntesis directa de ácido láctico puede comprender las siguientes etapas:

- 40
- alimentar un reactor, en el que el reactor está equipado opcionalmente con un sistema de reflujo y agitación mecánica, con 1,2-propanodiol o una solución acuosa de 1,2-propanodiol, y con una mezcla física del primer catalizador metálico con un segundo catalizador básico, en el que el segundo catalizador básico comprende un óxido básico, obtenido opcionalmente por descomposición térmica; y
  - permitir que los materiales reaccionen por calentamiento, manteniéndose dentro de un intervalo entre 30 °C y 100 °C, opcionalmente con agitación a una velocidad entre 200 rpm y 2.000 rpm, con burbujeo de oxígeno, aire o  
45 una mezcla de ambos, opcionalmente con presión autógena entre 1 bar y 5 bares.

50 El proceso para la síntesis directa de ácido láctico puede comprender además la obtención del primer catalizador metálico a partir de un precursor de metal noble capaz de descomponerse formando el óxido correspondiente en un soporte, después, activar el primer catalizador metálico por medio de reducción bajo flujo de hidrógeno, opcionalmente en un flujo de hidrógeno de 50 ml min<sup>-1</sup> a 350 °C, opcionalmente durante 2 horas.

55 El proceso para la síntesis directa de ácido láctico puede comprender además permitir que los componentes de la reacción reaccionen durante aproximadamente 6 horas y, opcionalmente, separar los productos obtenidos mediante eliminación de la mezcla de catalizadores heterogéneos por filtración y separando el ácido láctico directamente de la fase acuosa.

60 El proceso para la síntesis directa de ácido láctico tiene, típicamente, una selectividad para ácido láctico (es decir, una selectividad para la oxidación del grupo hidroxilo primario) entre 50 % y 97 %. Con frecuencia, el rendimiento es superior o igual al 25 %, por ejemplo de aproximadamente el 25 %.

De acuerdo con el proceso de la presente invención, el 1,2-propanodiol se convierte en ácido láctico por medio de una reacción de oxidación del hidroxilo del carbono primario de la molécula de diol y típicamente comprende las siguientes etapas:

- 65
- obtener un primer catalizador metálico mediante impregnación o por deposición-
  - precipitación de un precursor del metal noble capaz de descomponerse para formar el óxido correspondiente

sobre un soporte, y, después, activación del denominado primer catalizador metálico por medio de reducción, por ejemplo reducción bajo flujo de hidrógeno a un caudal de  $50 \text{ ml min}^{-1}$  a  $350 \text{ °C}$  durante 2 horas;

- alimentar un reactor, mantenido con agitación mecánica y bajo reflujo, con 1,2-propanodiol (por ejemplo, como sustrato puro) o una solución acuosa de 1,2-propanodiol a una concentración de al menos  $0,05 \text{ M}$ , y con la mezcla física del primer catalizador metálico con un segundo catalizador de carácter básico, que consiste en un óxido metálico básico que normalmente se obtiene por medio de descomposición térmica de una sal del metal;
- calentar los reactivos a una temperatura comprendida entre  $30 \text{ °C}$  y  $100 \text{ °C}$ , típicamente en agitación a velocidad, de entre  $200 \text{ rpm}$  y  $2.000 \text{ rpm}$ , y con paso de un flujo de oxígeno, aire o una mezcla de ambos en el medio de reacción, típicamente dentro del intervalo de  $30 \text{ ml min}^{-1}$  y  $60 \text{ ml min}^{-1}$ , típicamente con una presión autógena de entre  $1 \text{ bar}$  y  $5 \text{ bares}$ ;
- mantener las condiciones operativas durante aproximadamente 6 horas y separar los productos obtenidos, retirando, típicamente, la mezcla de catalizadores heterogéneos por filtración y separando, típicamente, el ácido láctico de la fase acuosa por destilación, obteniéndose, por ejemplo, selectividad de entre  $50 \%$  y  $97 \%$ , y un rendimiento de  $25 \%$  o más.

En lo que se refiere al primer catalizador metálico con respecto a la presente invención, se utiliza un catalizador de oxidación que comprende o consiste en metales nobles o una combinación de metales nobles, soportado sobre un óxido metálico puro, una mezcla de óxidos metálicos o sobre silicatos de aluminio con estructura zeolítica. El metal noble se selecciona entre Pt, Cu, Pd, Au, Ru, Rh, Ir o una combinación de estos, prefiriéndose Pt y Pd.

En este modo, la impregnación del catalizador se lleva a cabo a partir de un precursor de sal de platino seleccionada de  $\text{H}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$ ,  $\text{Pt}(\text{NO}_3)_4$ ,  $\text{Pt}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Pt}(\text{NH}_3)_4(\text{OH})_2$ ,  $\text{PtCl}_4$ ,  $\text{Pt}(\text{NH}_4)_2\text{Cl}_4$ ,  $\text{Pt}(\text{NH}_4)_2\text{Cl}_6$ ,  $\text{Pt}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_2$  o cualquier otro compuesto que se descomponga formando  $\text{PtO}_2$ . Preferiblemente, se usa una solución del ácido hexacloroplatínico ( $\text{H}_2\text{PtCl}_6$ ).

En otro modo de la invención, se puede usar un catalizador comercial de platino soportado en aluminio, por ejemplo,  $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ , con un  $5\%$  en peso de Pt reducido previamente

La cantidad de metal noble en el catalizador puede estar en un intervalo entre  $0,01 \%$  y  $10 \%$ , preferiblemente entre  $0,1 \%$  y  $5 \%$  en peso del primer catalizador metálico.

En un modo de la presente invención, el segundo catalizador básico se utiliza como catalizador heterogéneo, que comprende o consiste en un óxido básico simple o un óxido básico doble o incluso un hidróxido simple o un hidróxido doble, típicamente con una superficie específica dentro del intervalo de  $10 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$  y  $800 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ , que pueden contener, por ejemplo, Al, Zn, Li, Na, K, Rb, Cs, Fr, Be, Mg, Ca, Sr, Ba o una combinación de estos. Preferentemente se deben usar óxidos de magnesio, calcio y bario.

Así, antes de iniciar el proceso de síntesis directa del ácido láctico, los catalizadores se preparan de acuerdo con técnicas conocidas por especialistas en el área.

#### A – Preparación del primer catalizador metálico

El primer catalizador metálico puede prepararse por impregnación húmeda o en seco o por deposición-precipitación en un soporte, con una solución del precursor del metal, seguida de una etapa de calcinación. La solución precursora puede seleccionarse de hidróxidos metálicos, nitratos, cloruros, sulfatos, acetatos o acetilacetatos, u otro compuesto que se descomponga formando el óxido metálico correspondiente después de la calcinación. El metal de puede seleccionar entre Pt, Cu, Pd, Au, Ru, Rh, Ir o una combinación de estos, prefiriéndose Pt y Pd. El nivel de metal noble en el catalizador puede variar en un intervalo entre  $0,01 \%$  y  $10 \%$ , preferiblemente entre  $0,1 \%$  y  $5 \%$  en peso.

El soporte debe tener una superficie específica suficientemente alta para garantizar una buena dispersión del metal, variando típicamente entre  $50 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$  y  $1000 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ . El soporte puede seleccionarse entre  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  y  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{MgO}$ , ZSM-5, MCM-41 o una combinación de estos, preferiblemente  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  o  $\text{ZrO}_2$ .

#### B – Preparación del segundo catalizador básico

El catalizador básico puede prepararse por descomposición térmica, precipitación o co-precipitación de nitratos, cloruros, sulfatos, acetatos o acetil acetatos metálicos, puros o en solución, dependiendo del método elegido, u otro compuesto que experimente precipitación a pH alcalino mediante la presencia de un agente de precipitación seleccionado de hidróxidos, carbonatos, bicarbonatos o urea. La precipitación puede llevarse a cabo a pH constante o, de otro modo, dando lugar a la formación de un compuesto precipitado por un carbonato, bicarbonato u óxido hidrometálico, que se separa por filtración. El precipitado filtrado puede calcinarse a una temperatura de más de  $300 \text{ °C}$  para formar un óxido simple o doble o una mezcla de óxidos.

Una ventaja de la presente invención es que la reducción del primer catalizador metálico se puede llevar a cabo *ex situ* a temperaturas entre  $200 \text{ °C}$  y  $500 \text{ °C}$ , o *in situ* dentro del intervalo de temperaturas entre  $30 \text{ °C}$  y  $100 \text{ °C}$ . En

este caso, el catalizador se añade a la solución de 1,2-propanodiol mantenida con agitación. Como alternativa, la reducción también puede llevarse a cabo secuencialmente, *ex situ* e *in situ*, en los mismos intervalos de temperatura descritos.

- 5 El catalizador final utilizado en el proceso consiste en dos partes formadas por la mezcla física del primer catalizador metálico y el segundo catalizador básico, con una proporción en masa del catalizador metálico y el catalizador básico que varía entre 0,5 y 6,0, preferiblemente entre 0,6 y 4,5.

10 Por lo tanto, la relación de la masa de catalizador metálico:la masa de catalizador básico puede estar entre 0,5:1,0 y 6,0:1,0, preferiblemente entre 0,6:1,0 y 4,5:1,0.

15 En un modo de la presente invención, el reactor se alimenta con la mezcla de un catalizador de Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 5 % en peso de Pt previamente reducido y, simultáneamente, con un catalizador básico, tal como MgO, en una proporción en masa de 0,625.

20 La síntesis de ácido láctico mediante oxidación directa de 1,2-propanodiol en una sola etapa puede realizarse en un reactor equipado con un sistema de reflujo que utiliza como reactivos 1,2-propanodiol puro o una solución acuosa a diferentes concentraciones de propanodiol, por ejemplo de 0,05 M, y la mezcla física de catalizadores, típicamente en cantidades para proporcionar una proporción relativa de catalizador metálico a 1,2-propanodiol en el intervalo entre 1:4 en peso y 1:20 en peso, a una temperatura seleccionada en el intervalo entre 30 °C y 100 °C, opcionalmente con una presión autógena entre 1 bar y 5 bares, y, opcionalmente, en agitación en el intervalo entre 200 rpm y 2.000 rpm. El oxígeno se añade típicamente al reactor en un intervalo de flujo entre 10 ml min<sup>-1</sup> y 100 ml min<sup>-1</sup> de aire, de oxígeno puro o de una mezcla de aire calentado en oxígeno, siendo esta mezcla obtenida a través de membranas selectivas u otra tecnología adecuada.

25 El ácido láctico se forma en una sola etapa a concentraciones considerables en comparación con otros subproductos. La selectividad del catalizador para el ácido láctico varía entre el 50 % y el 97 % durante todo el periodo de reacción. Otros productos detectados en el medio de reacción son ácido pirúvico y acetol.

### 30 Ejemplos

El rendimiento de los catalizadores preparados se evalúa en experimentos llevados a cabo en el laboratorio en un reactor equipado con un agitador y un sistema de burbujeo, como se ha mencionado anteriormente, seguido del procedimiento:

- 35 a) La materia prima utilizada es una solución acuosa de 1,2-propanodiol a una concentración de 0,05 M y un flujo sintético de aire (20 % de O<sub>2</sub> en N<sub>2</sub> en volumen) en el intervalo entre 10 ml min<sup>-1</sup> y 100 ml min<sup>-1</sup>.  
 b) La temperatura de reacción permitida varía en el intervalo entre 30 °C y 80 °C y la presión de reacción en el intervalo entre 1 bar y 5 bares, manteniéndose con agitación mecánica entre 500 rpm y 2.000 rpm.  
 40 c) Los niveles de la solución de reacción se miden cada 30 minutos y se analizan mediante cromatografía líquida de alta eficiencia después de la filtración para separar la mezcla física de los catalizadores.

#### Ejemplo 1

##### 45 1ª etapa- Preparación del primer catalizador metálico

Un catalizador metálico de platino sobre aluminio que contiene 5 % en p/p de platino se prepara mediante impregnación húmeda usando un aluminio comercial como soporte y el precursor de sal del metal, ácido hexacloro-platínico.

50 Aluminio comercial se somete a calcinación a una velocidad de calentamiento de 10 °C min<sup>-1</sup>, a una temperatura que varía entre la temperatura ambiente y 500 °C, manteniendo la temperatura final durante 4 horas.

55 Después, el ácido hexacloro-platínico (H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub>) se solubiliza en agua en una proporción adecuada para obtener un nivel de platino igual al 5 % y añadiendo al soporte ya calcinado, manteniendo esta suspensión en agitación durante 1 hora a temperatura ambiente. A continuación, se realiza el secado al vacío (53 Pa, 0,4 mmHg) del material a 80 °C. El sólido obtenido permanece en un horno a 100 °C durante 12 horas y luego se calina a 500 °C durante 4 horas, con una velocidad de calentamiento de 10 °C min<sup>-1</sup> y flujo sintético de aire con flujo de 60 ml min<sup>-1</sup>.

60 El catalizador metálico de platino sobre aluminio que contiene 5 % en peso de platino se activa calentando desde temperatura ambiente hasta 350 °C, con una velocidad de calentamiento de 10 °C min<sup>-1</sup>, mantenido durante 2 horas a 350 °C y utilizando una corriente de hidrógeno puro a un caudal de 50 ml.min<sup>-1</sup>.

2ª etapa – Selección del segundo catalizador básico

En la realización de estos experimentos se utilizaron óxidos simples de magnesio y de calcio como el segundo catalizador básico.

5

3ª etapa – Síntesis directa del ácido láctico

La reacción de oxidación se lleva a cabo utilizando una solución acuosa de 1,2-propanodiol con una concentración de 0,2 M. El primer catalizador de platino metálico que contiene 5 % en peso de platino y un segundo catalizador básico que consiste en un óxido metálico simple se utilizan en forma de una mezcla física cuya relación en masa es de 0,625. La mezcla de catalizadores se transfiere al reactor que contiene agua y un flujo de 50 ml min<sup>-1</sup> de nitrógeno, admitido en el reactor para provocar su inertización. Durante la inertización, el reactor se calienta a 40 °C y se mantiene a esta temperatura durante toda la reacción.

10

Se añade al reactor la solución acuosa (0,2 M) de 1,2-propanodiol, manteniéndose la agitación mecánica en rotación a 1.000 rpm; se burbujea un flujo de 30 ml.min<sup>-1</sup> de aire, considerándose este el punto de partida de la reacción.

15

El tiempo total de la reacción fue de 6 horas y durante todo el experimento se tomaron muestras a intervalos regulares de 30 minutos. Todas las muestras tomadas se analizaron por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

20

Los resultados más representativos de la conversión, selectividad y rendimiento de ácido láctico relacionados con los óxidos simples usados se muestran en la Tabla 1 siguiente:

<b>TABLA 1</b>				
<b>Catalizador básico</b>	<b>T (°C)</b>	<b>Conversión (%)</b>	<b>Selectividad (%)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
MgO	40	67	65	44
CaO	40	27	97	26

25

**Ejemplo 2**

Se llevaron a cabo experimentos similares en las mismas condiciones que el ejemplo anterior y utilizando un catalizador heterogéneo formado por la mezcla de un primer catalizador metálico que contenía 5 % en peso de platino preparado como se ha descrito en el Ejemplo 1, con un segundo catalizador básico de óxido de magnesio (MgO) con el fin de determinar la influencia de la relación en masa entre los catalizadores sobre la conversión, selectividad y rendimiento de ácido láctico.

30

Como en el ejemplo anterior, se tomaron muestras a intervalos regulares de 30 minutos y el tiempo total de reacción total fue de 6 horas. Todas las muestras tomadas se analizaron por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

35

Los resultados más representativos de la conversión, selectividad y rendimiento de ácido láctico relacionados con los óxidos simples usados se muestran en la Tabla 2 siguiente.

<b>TABLA 2</b>					
<b>Reacción</b>	<b>Relación en masa metálico/básico</b>	<b>T (°C)</b>	<b>Conversión (%)</b>	<b>Selectividad (%)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
1	0,625	40	67	65	44
2	1,25	40	68	63	43
3	2,5	40	66	57	38

40

**Ejemplo 3**

En este ejemplo, la reacción de oxidación se llevó a cabo usando una solución acuosa de 1,2-propanodiol con una concentración de 0,2 M. Dichos experimentos se llevaron a cabo en un reactor con reflujo, que contenía un agitador mecánico y un sistema para burbujeo de gases. El primer catalizador metálico era un catalizador que contenía 5 % en peso de platino, preparado como se ha descrito en el Ejemplo 1 y el segundo catalizador básico era un hidróxido laminar doble. Los catalizadores metálicos y básicos se utilizaron en forma de una mezcla física con una relación en masa igual a 1. La mezcla de catalizadores se transfirió al reactor que contenía 100 ml de agua y se introdujo en el reactor un flujo de 50 ml min<sup>-1</sup> de nitrógeno para provocar su inertización. Durante la inertización, el reactor se calienta a 40 °C y se mantiene a esta temperatura durante toda la reacción. La solución acuosa de 1,2-propanodiol (0,2 M) se introdujo en el reactor y se introdujo un flujo de 30 ml min<sup>-1</sup> de aire en burbujas para iniciar la reacción. La agitación mecánica se mantuvo a la velocidad de 1000 rpm.

45

50

Se tomaron muestras a intervalos regulares de 30 minutos a lo largo de todo el experimento y el tiempo total de reacción total fue de 6 horas. Todas las muestras tomadas se analizaron por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y los resultados más representativos de conversión, selectividad y rendimiento de los hidróxidos laminares dobles encontrados se muestran en la Tabla 3 a continuación:

5

Reacción	Hidróxido laminar doble que contiene Mg y Al	T (°C)	Conversión (%)	Selectividad de ácido láctico (%)	Rendimiento de ácido láctico (%)
1	Relación molar $Mg^{2+}/Al^{3+} = 3$	40	52	58	30
2	Relación molar $Mg^{2+}/Al^{3+} = 5$	40	61	60	37

#### Ejemplo 4

10 Como en los ejemplos anteriores, las reacciones de oxidación se llevaron a cabo utilizando una solución acuosa de 1,2-propanodiol, 0,2 M, en un reactor provisto de reflujo, agitador mecánico y un sistema para burbujeo de gases. El primer catalizador metálico era un catalizador que contenía 5 % en peso de platino preparado como se ha descrito en el Ejemplo 1 y el segundo catalizador básico era un hidróxido laminar doble que contenía magnesio y aluminio con una relación en masa de Mg/Al igual a 3. Se usó el catalizador final en forma de una mezcla física. La mezcla de catalizadores se transfirió al reactor que contenía 100 ml de agua y se introdujo en el reactor un flujo de 50 ml min<sup>-1</sup> de nitrógeno para conseguir su inertización. Durante la inertización, el reactor se calentó y se mantuvo a una temperatura de 40 °C durante toda la reacción. La solución acuosa de 1,2-propanodiol (0,2 M) se introdujo después en el reactor y se introdujo un flujo de 30 ml min<sup>-1</sup> de aire mediante el burbujeador, iniciándose la reacción, manteniéndose la agitación mecánica a la velocidad de 1000 rpm.

20 El tiempo total de la reacción fue de 6 horas y durante todo el experimento se tomaron muestras a intervalos regulares de 30 minutos.

25 Todas las muestras tomadas se analizaron por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), los resultados más representativos de conversión, selectividad y rendimiento de los hidróxidos laminares dobles encontrados se muestran en la Tabla 4 a continuación:

Reacción	Relación en masa catalizador metálico/catalizador básico	T (°C)	Conversión (%)	Selectividad de ácido láctico (%)	Rendimiento de ácido láctico (%)
1	1	40	52	58	30
2	2	40	46	56	26
3	4	40	43	55	24

30 En la invención descrita en el presente documento se hace referencia a sus realizaciones preferidas. Por tanto, debe quedar claro que la invención no se limita a estas realizaciones y aquellos con capacidades técnicas percibirán inmediatamente que pueden adoptarse alteraciones y sustituciones sin desviarse del concepto de la invención descrito en el presente documento y definido en las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Proceso para la síntesis directa de ácido láctico en una sola etapa, proceso que comprende la oxidación de 1,2-propanodiol en presencia de oxígeno y una mezcla de catalizadores, mezcla de catalizadores que comprende: un primer catalizador metálico que comprende un metal soportado seleccionado de Pt, Cu, Pd, Au, Ru, Rh, Ir o una combinación de estos; y un segundo catalizador sólido básico que comprende un óxido básico; y en el que la oxidación tiene lugar a una temperatura de 30 °C a 100 °C.
2. Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con la reivindicación 1, proceso que comprende las siguientes etapas:
- alimentar un reactor, en el que el reactor está equipado opcionalmente con un sistema de reflujo y agitación mecánica, con 1,2-propanodiol o una solución acuosa de 1,2-propanodiol, y con una mezcla física del primer catalizador metálico con un segundo catalizador básico, en el que el segundo catalizador básico comprende un óxido básico, obtenido opcionalmente por descomposición térmica; y
  - permitir que los materiales reaccionen por calentamiento, manteniéndose dentro de un intervalo entre 30 °C y 100 °C con burbujeo de oxígeno, aire o una mezcla de ambos, opcionalmente con agitación a una velocidad entre 200 rpm y 2.000 rpm, opcionalmente con presión autógena entre 1 bar y 5 bares.
3. Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el proceso comprende además la obtención del primer catalizador metálico a partir de un precursor de un metal capaz de descomponerse para formar el óxido correspondiente sobre un soporte, después, activar el primer catalizador metálico por medio de reducción bajo flujo de hidrógeno, opcionalmente en un flujo de hidrógeno de 50 ml min<sup>-1</sup> a 350 °C, opcionalmente durante 2 horas.
4. Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el proceso comprende además permitir la reacción durante aproximadamente 6 horas y, opcionalmente, separar los productos obtenidos mediante eliminación de la mezcla de catalizadores heterogéneos por filtración y separando el ácido láctico directamente de la fase acuosa.
5. Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el proceso tiene una selectividad entre 50 % y 97 %, y, opcionalmente, un rendimiento de 25 % o más.
6. Proceso para la síntesis directa de ácido láctico, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el primer catalizador metálico al que se ha hecho referencia comprende al menos uno de los metales soportados en un óxido metálico puro, en una mezcla de óxidos metálicos o en silicatos de aluminio con estructura zeolítica.
7. Proceso para la síntesis directa de ácido láctico, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6, en el que el precursor de un metal al que se ha hecho referencia se selecciona de un precursor de sal de platino seleccionado de H<sub>2</sub>Pt(OH)<sub>6</sub>, Pt(NO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>, Pt(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Pt(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub>, PtCl<sub>4</sub>, Pt(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub>, Pt(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>, Pt(C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>O<sub>2</sub>)<sub>2</sub> o un compuesto que se descompone para formar PtO<sub>2</sub>.
8. Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la cantidad de metal en el catalizador está en un intervalo entre 0,01 % y 10 %, preferiblemente entre 0,1 % y 5 % en peso del primer catalizador metálico.
9. Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el segundo catalizador básico al que se ha hecho referencia comprende un óxido básico simple, un óxido básico doble, un hidróxido simple o un hidróxido doble, seleccionados de Al, Zn, Li, Na, K, Rb, Cs, Fr, Be, Mg, Ca, Sr, Ba o una combinación de estos, preferiblemente seleccionados de óxidos simples de magnesio o calcio, óxidos mixtos que contienen Mg, Al o Zn y compuestos de hidróxido doble de Mg, Al o Zn, opcionalmente en el que el segundo catalizador básico tiene una superficie específica dentro del intervalo de 10 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> y 800 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>.
10. Proceso para la síntesis directa de ácido láctico, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que se usa 1,2-propanodiol como materia prima en solución acuosa con una concentración mayor o igual a 0,05 M y se usa un flujo de aire sintético que comprende 20 % de O<sub>2</sub> en N<sub>2</sub> en volumen en el intervalo entre 10 ml min<sup>-1</sup> y 100 ml min<sup>-1</sup>; se deja variar la temperatura de reacción en el intervalo entre 30 °C y 80 °C, se permite que la presión de reacción varíe en el intervalo entre 1 bar y 5 bares y en el que la agitación mecánica se mantiene a una velocidad entre 500 rpm y 2.000 rpm.
11. Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 10, en el que la reducción del primer catalizador metálico se realiza *in situ* en el intervalo de temperatura entre 30 °C y 100 °C.

12. Proceso para la síntesis directa de ácido láctico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 10, en el que la reducción del primer catalizador metálico se realiza secuencialmente *ex situ* a una temperatura entre 200 °C y 500 °C e *in situ* en el intervalo de temperatura entre 30 °C y 100 °C.
- 5 13. Proceso para la síntesis directa de ácido láctico, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la relación de la masa de catalizador metálico:la masa del catalizador básico está comprendida entre 0,5:1,0 y 6,0:1,0, preferiblemente entre 0,6:1,0 y 4,5:1,0.
- 10 14. Proceso para la síntesis directa de ácido láctico, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la relación del catalizador metálico:1,2-propanodiol está en el intervalo entre 1:4 y 1:20 en peso.
- 15 15. Proceso para la síntesis directa de ácido láctico, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el proceso se lleva a cabo en régimen continuo, semicontinuo, en semidiscontinuo o una combinación de estos, tanto en la fase gaseosa como en la fase líquida.