

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 848**

51 Int. Cl.:

B01J 20/12 (2006.01)
B01J 39/02 (2006.01)
B01J 39/14 (2006.01)
B01D 53/02 (2006.01)
B01D 53/85 (2006.01)
B01D 53/96 (2006.01)
C01F 5/24 (2006.01)
C01F 11/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.08.2012 E 12179675 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.10.2017 EP 2695661**

54 Título: **Método para reducir la cantidad de CO₂ usando un material de intercambio iónico regenerable**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.02.2018

73 Titular/es:

OMYA INTERNATIONAL AG (100.0%)
Baslerstrasse 42
4665 Oftringen, CH

72 Inventor/es:

SCHENKER, MICHEL;
GANE, PATRICK A.C.;
SCHOELKOPF, JOACHIM y
GANTENBEIN, DANIEL

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 654 848 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 para reducir la cantidad de CO₂ usando un material de intercambio iónico regenerable

La presente invención se refiere a un método para reducir la cantidad de CO₂ en una fuente que contiene dióxido de carbono, mediante el uso de un material de intercambio iónico regenerable.

- 5 La evidencia de los cambios del sistema climático surge de los incrementos observados en las temperaturas promedio globales del aire y del océano. Además, los modelos climáticos indican que, durante el siglo 21, la temperatura global de la superficie puede elevarse adicionalmente hasta aproximadamente 6 °C. En esta estimación, el incremento en la concentración de gases de efecto invernadero se considera que desempeña un papel importante. No obstante, los gases de efecto invernadero emitidos a una gran escala se originan de actividades humanas, tales como la deforestación y la quema de combustibles fósiles (por ejemplo, carbón, gasolina, petróleo, etc.), en los que el dióxido de carbono es el principal gas emitido.

En consecuencia, uno de los problemas principales a este respecto es la reducción de la concentración actual de gases de efecto invernadero y especialmente del dióxido de carbono y, además, reducir o evitar la emisión de tales gases hacia la atmósfera.

- 15 En la técnica, se han propuesto varios procedimientos para reducir la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera y reducir o evitar la emisión de tales gases hacia la atmósfera. Por ejemplo, el documento WO 2011/049759 describe un proceso para la reducción de dióxido de carbono de diversos tipos de fuentes emisoras de gas que contienen dióxido de carbono, incluyendo la reducción de dióxido de carbono proveniente de las fuentes industriales emisoras de gas mediante el uso de un material de intercambio iónico. El documento US 2011/0091955
- 20 A1 describe un método que comprende (i) poner en contacto una corriente gaseosa que comprende CO₂ con un catalizador que forma una solución que comprende CO₂ hidratado; y (ii) tratar la solución para producir una composición que comprende un carbonato metaestable. El carbonato metaestable se describe como más estable en agua salada que en agua dulce. El carbonato metaestable puede seleccionarse entre el grupo que consiste en vaterita, aragonita, carbonato de calcio amorfo, y combinaciones de los mismos.
- 25 Además, el documento US 2011/041688/A1 describe que una estructura de sorbente se usa en estructuras y técnicas adicionales para enlazar el dióxido de carbono en una corriente de aire cargada con dióxido de carbono, y el calor del proceso se usa para separar el dióxido de carbono de la estructura de sorbente y regenerar la estructura de sorbente. El documento US 2010/258506A1 describe un método para disminuir una concentración de CO₂ de un fluido, comprendiendo el método aplicar un flujo de un primer gas que comprende cantidades en trazas y no
- 30 contiene CO₂ hacia un fluido que comprende: un segundo gas que comprende CO₂ a una concentración de al menos más alta que aquella encontrada en un equilibrio de aire-agua; una sal; y un líquido; por lo que se forma carbonato sólido en dicho fluido y se disminuye la concentración de dicho CO₂ en dicho fluido. El documento US 2008/289495A1 describe un sistema para retirar el dióxido de carbono de una atmósfera para reducir el calentamiento global, que incluye un sistema de extracción de aire que recoge dióxido de carbono desde la atmósfera a través de un medio y retira el dióxido de carbono del medio; un sistema de retención que aísla el dióxido de carbono retirado hacia un sitio para al menos uno de almacenamiento, y que puede incrementar la disponibilidad de la energía renovable o productos no de combustible, tales como fertilizantes y materiales de construcción; y una o más fuentes de energía que suministran calor del proceso al sistema de extracción de aire para retirar el dióxido de carbono del medio y que puede regenerarlo para el uso continuo.
- 35 El documento US 2004/219090A1 describe un proceso para retirar selectivamente dióxido de carbono de una corriente gaseosa mediante la conversión del dióxido de carbono a una forma sólida y estable. En un proceso de retención, el aire enriquecido con dióxido de carbono se hace pasar a través de una membrana de difusión de gas para transferir el dióxido de carbono hacia un medio fluido. El fluido rico en dióxido de carbono se hace pasar después a través de una matriz que contiene un catalizador específico para el dióxido de carbono, que acelera la conversión del dióxido de carbono a ácido carbónico. En la etapa final, se añade un ion mineral a la reacción, de tal manera que se forma un precipitado de sal de carbonato. El documento US 7.314.847 describe un método para producir sorbentes, para ayudar en la retirada del dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera o de otras fuentes, tales como plantas de energía. El documento WO 2007/003013 A1 se refiere a un proceso para retener dióxido de carbono. En el proceso, un carbonato, óxido o hidróxido de un catión divalente se hace reaccionar con el dióxido de carbono y el agua y/o con una especie que resulta de la disolución del dióxido de carbono en agua, para formar un carbonato de hidrógeno del catión divalente. Sipilä, J. et al.; en "Carbon dioxide sequestration by mineral carbonation"; Report VT 2008-1; ABO Akademis Tryckeri; páginas 1-59, se refiere a la retención mineral para el almacenamiento a largo plazo de dióxido de carbono. El documento WO 2011/077117 A1 se refiere a un método para capturar dióxido de carbono que comprende las etapas de extraer los iones minerales desde un material de
- 50 fuente mineral hasta una solución mineral mediante la reacción con una primera sal de amonio; hacer reaccionar la solución mineral con una fuente de CO₂ para precipitar un carbonato del mineral y para producir una segunda sal de amonio; y recuperar la primera sal de amonio de la segunda sal de amonio. El documento JP 2005 097072 A se refiere a un método para fijar el carbonato de carbono, un método para preparar un carbonato de metal

alcalinotérreo, y un método para tratar el dióxido de carbono, en el que un gas que contiene dióxido de carbono se pone en contacto con una solución acuosa obtenida del agua, una sustancia que contiene un metal alcalinotérreo, y una sal de una base débil y un ácido fuerte para formar un carbonato de metal alcalinotérreo. El documento US 2004/213705 A1 se refiere a un proceso para retener dióxido de carbono. El proceso comprende las etapas de: (a) hacer reaccionar un silicato de metal con un hidróxido de metal alcalino cáustico para producir un hidróxido del metal contenido anteriormente en el silicato; (b) hacer reaccionar el dióxido de carbono con al menos uno de un hidróxido de metal alcalino cáustico y un silicato de metal alcalino para producir al menos uno de un carbonato de metal alcalino y un bicarbonato de metal alcalino; y (c) hacer reaccionar el hidróxido de metal de la Etapa (a) con al menos uno del carbonato de metal alcalino y el bicarbonato de metal alcalino producidos en la Etapa (b) para producir un carbonato del metal contenido anteriormente en el silicato de metal de la Etapa (a). El documento US 2011/088550 A1 se refiere a un proceso para la reducción del dióxido de carbono (o CO₂) de diversos tipos de fuentes emisoras de gas que contienen dióxido de carbono, incluyendo la reducción del dióxido de carbono de fuentes industriales emisoras de gas mediante el uso de un material de intercambio iónico.

Sin embargo, los métodos descritos para reducir la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera y reducir o evitar la emisión de tales gases a la atmósfera, tiene la desventaja de que el dióxido de carbono normalmente no se enlaza químicamente y, además, que los materiales de sorbente usado se consumen durante los métodos descritos.

De este modo, existe una necesidad continua de mejorar los métodos para reducir la cantidad de CO₂ en una fuente que contiene dióxido de carbono que aborde los problemas técnicos anteriormente descritos y especialmente permita la reducción de la concentración del dióxido de carbono, al tiempo que regenere el material de sorbente usado.

En consecuencia, un objetivo de la presente invención es proporcionar un método para reducir la cantidad de CO₂ en una fuente que contiene dióxido de carbono usando un material de sorbente regenerable. Un objetivo adicional es proporcionar un método para reducir la cantidad de CO₂ en una fuente que contiene dióxido de carbono de tal manera que el dióxido de carbono capturado se convierte en una forma que es estable con el tiempo. Incluso un objetivo adicional es proporcionar un método para reducir la cantidad de CO₂ en una fuente que contiene dióxido de carbono de tal manera que la forma estable del dióxido de carbono capturado puede aislarse fácilmente. Un objetivo aún adicional es proporcionar un método para reducir la cantidad de CO₂ en una fuente que contiene dióxido de carbono que pueda llevarse a cabo en condiciones de bajo coste, es decir, mediante la reducción del contenido de, o evitando el uso de materias primas costosas basadas en recursos hechos por el hombre. Los objetivos adicionales pueden recogerse a partir de la siguiente descripción de la invención.

Los anteriores y otros objetivos son resueltos por la materia objeto definida en el presente documento en la presente invención.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para reducir la cantidad de CO₂ en una fuente que contiene dióxido de carbono mediante el uso de un material de intercambio iónico regenerable, en el que el método comprende las siguientes etapas:

a) proporcionar al menos un material de intercambio iónico que comprende al menos un catión de metal alcalinotérreo, en el que el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) comprende un material de intercambio iónico natural seleccionado entre el grupo que comprende filosilicatos, zeolita, mica, montmorillonita, maurizita y mezclas de los mismos y/o un material de intercambio iónico sintético seleccionado entre el grupo que comprende EDTA, resinas de intercambio iónico y mezclas de los mismos,

b) proporcionar al menos una fuente que contiene dióxido de carbono,

c) proporcionar al menos una fuente de al menos un catión que es capaz de reemplazar el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico,

d) proporcionar al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo,

e) poner en contacto el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) con la al menos una fuente de al menos un catión de la Etapa c) para obtener una mezcla que comprende

i) al menos un material de intercambio iónico, y

ii) al menos un catión de metal alcalinotérreo liberado desde el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a),

f) separar el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i),

g) poner en contacto el al menos un catión de metal alcalinotérreo obtenido en la Etapa f) con la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono de la Etapa b) para obtener una sal de carbonato del al menos un catión de metal alcalinotérreo, y

5 h) poner en contacto el al menos un material de intercambio iónico obtenido en la Etapa f) con la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) para regenerar el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a).

10 Los inventores encontraron sorprendentemente que el método anterior de acuerdo con la presente invención conduce a un producto de carbonato de metal alcalinotérreo estable, es decir, puede aislarse fácilmente y evita el uso de materias primas costosas basadas en recursos hechos por el hombre, mediante el uso de un material de sorbente regenerable. De manera más precisa, los inventores encontraron que la concentración de dióxido de carbono en una fuente que contiene dióxido de carbono puede reducirse al convertir el dióxido de carbono en una sal de carbonato definida, mediante el uso de un material de intercambio iónico regenerable definido.

Se debe entender que, para los fines de la presente invención, los siguientes términos tienen los siguientes significados:

15 Para el fin de la presente invención, el término material de intercambio iónico "regenerable" se refiere a un material que es recreado durante un ciclo del método.

Para el fin de la presente invención, el término "material de intercambio iónico" se refiere a un material que es capaz de intercambiar cationes de metal alcalinotérreo con cationes que son capaces de reemplazar los cationes de metal alcalinotérreo y viceversa.

20 Cuando en lo siguiente se hace referencia a las realizaciones preferidas o los detalles técnicos del método de la invención para reducir la cantidad de CO₂ en una fuente que contiene dióxido de carbono, mediante el uso de un material de intercambio iónico regenerable, se debe entender que estas realizaciones preferidas o detalles técnicos también se refieren al uso inventivo tal como se define en el presente documento y viceversa (tanto como sea aplicable). Si, por ejemplo, se describe que el al menos un material de intercambio iónico del método de la invención es un material de intercambio iónico natural y/o sintético, también el al menos un material de intercambio iónico del uso inventivo es un material de intercambio iónico natural y/o sintético.

30 La presente invención se describirá con respecto a las realizaciones particulares y con referencia a determinadas figuras, pero la invención no está limitada a éstas sino solo únicamente por las reivindicaciones. Los términos tal como se describen más adelante en el presente documento deben entenderse, en general, en su sentido común, a menos que se indique lo contrario.

35 En los casos en los que se usa la expresión "que comprende" en la presente descripción y en las reivindicaciones, este no excluye otros elementos no especificados de importancia funcional mayor o menor. Para los fines de la presente invención, la expresión "que consiste en" se considera una realización preferida del término "está compuesto de". Si en el presente documento se define un grupo para comprender al menos un determinado número de realizaciones, se debe entender también que este describe un grupo, que consiste preferentemente solo en estas realizaciones.

Siempre que se usen las expresiones "que incluye" o "que tiene", se entienden que estos términos son equivalentes a "que comprende", tal como se ha definido anteriormente.

40 En los que casos en los que se usa un artículo indefinido o definido cuando se hace referencia a un sustantivo singular, por ejemplo, "un", "una", "el" o "la", este incluye un plural de ese sustantivo, a menos que se indique específicamente algo más.

Las realizaciones ventajosas de la presente invención se definen en las sub-reivindicaciones correspondientes.

45 De acuerdo con una realización de la presente invención, el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) se selecciona entre un material de intercambio iónico natural, un material de intercambio iónico modificado, un material de intercambio iónico sintético, y mezclas de los mismos.

De acuerdo con otra realización de la presente invención, el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) comprende filosilicatos.

50 De acuerdo con otra realización más de la presente invención, el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) comprende al menos un catión de metal alcalinotérreo seleccionado entre el grupo que comprende magnesio, calcio, estroncio y mezclas de los mismos, preferentemente calcio y/o magnesio.

De acuerdo con una realización de la presente invención, el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) se proporciona en forma de una suspensión acuosa o un sólido o de una emulsión o de un material de filtro o de un lecho fluidizado.

- 5 De acuerdo con otra realización de la presente invención, el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) se proporciona en forma de una suspensión acuosa que tiene un contenido de material de intercambio iónico del 2 al 50 % en peso, preferentemente del 5 al 40 % en peso, más preferentemente del 7,5 al 30 % en peso, y lo más preferentemente del 10 al 20 % en peso basado en el peso total de la suspensión acuosa.

- 10 De acuerdo con otra realización más de la presente invención, al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) consiste en bentonita que comprende diversos minerales de arcilla seleccionados entre el grupo que comprende montmorillonitas y minerales concomitantes, tales como cuarzo, mica, feldespato, pirita, calcita, cristobalita y mezclas de los mismos.

De acuerdo con una realización de la presente invención, el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) consiste en bentonita que tiene un contenido de montmorillonita de al menos el 60 % en peso, preferentemente de al menos el 80 % en peso, por ejemplo, entre el 85 y el 95 % en peso basado en el peso total de la bentonita.

- 15 De acuerdo con otra realización de la presente invención, el material de intercambio iónico de la Etapa a) consiste en bentonita cuyos espacios intercapa están ocupados principalmente de iones de calcio y/o magnesio.

De acuerdo con otra realización más de la presente invención, el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) consiste en bentonita que tiene un tamaño mediano de partícula en peso d_{50} de 0,02 a 100 μm , de 0,075 a 50 μm , o de 0,1 a 5 μm , preferentemente de 0,2 a 3.

- 20 De acuerdo con otra realización más de la presente invención, la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono de la Etapa b) se selecciona entre un gas, líquido, sólido, complejo, material de intercambio iónico y mezclas de los mismos, preferentemente un gas.

- 25 De acuerdo con una realización de la presente invención, la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono de la Etapa b) se selecciona entre aire, corrientes industriales de gas de escape, corrientes de gas de desecho, fumarolas volcánicas y mezclas de los mismos.

De acuerdo con otra realización de la presente invención, la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono de la Etapa b) comprende dióxido de carbono que proporciona una presión parcial de al menos 0,02 Pa, preferentemente de al menos 0,05 Pa, más preferentemente al menos 0,1 Pa, aún más preferentemente al menos 0,15 Pa y lo más preferentemente al menos 0,2 Pa.

- 30 De acuerdo con otra realización más de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión de la Etapa c) y/o la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) es una solución acuosa, preferentemente una solución acuosa que comprende al menos el 50 % en peso, más preferentemente al menos el 75 % en peso y lo más preferentemente al menos el 90 % en peso basado en el peso total de la solución acuosa, de agua.

- 35 De acuerdo con una realización de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión de la Etapa c) es una fuente de origen natural de al menos un catión monovalente y/o divalente capaz de reemplazar el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico, preferentemente una fuente de origen natural de al menos un catión monovalente capaz de reemplazar el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico.

- 40 De acuerdo con otra realización de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión de la Etapa c) es agua de mar.

- 45 De acuerdo con otra realización más de la presente invención, la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono de la Etapa b) y/o la al menos una fuente de al menos un catión que es capaz de reemplazar el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa c) y/o la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo se proporcionan en forma de una solución acuosa, preferentemente una solución acuosa que tiene un pH de entre 5 y 12, preferentemente entre 6 y 11 y lo más preferentemente entre 7 y 10,5.

- 50 De acuerdo con una realización de la presente invención, el al menos un catión de la al menos una fuente de al menos un catión de la Etapa c) se selecciona entre el grupo que comprende litio, sodio, potasio, magnesio, estroncio y mezclas de los mismos, preferentemente sodio.

De acuerdo con otra realización de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión de la Etapa c) comprende el al menos un catión en una cantidad de 0,1 a 150 g/l, preferentemente de 1 a 100 g/l, más preferentemente de 5 a 75 g/l y lo más preferentemente de 10 a 50 g/l.

5 De acuerdo con otra realización más de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) es una fuente de origen natural de al menos un catión de metal alcalinotérreo, por ejemplo, agua dura dulce.

De acuerdo con una realización de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) es agua dura dulce que tiene una dureza de 5 a 130 °dH, preferentemente de 10 a 60 °dH, y lo más preferentemente de 14 a 50 °dH.

10 De acuerdo con otra realización de la presente invención, el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) se selecciona entre magnesio, calcio, estroncio y mezclas de los mismos, preferentemente calcio.

15 De acuerdo con otra realización más de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) comprende el al menos un catión de metal alcalinotérreo en una cantidad de 0,1 a 200 mg/l, preferentemente de 0,5 a 150 mg/l, más preferentemente de 1 a 100 mg/l, aún más preferentemente de 5 a 75 mg/l y lo más preferentemente de 10 a 50 mg/l.

20 De acuerdo con una realización de la presente invención, la Etapa de contacto g) se lleva a cabo ya que la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono de la Etapa b) se introduce dentro de una solución acuosa obtenida en la Etapa f). Se prefiere que la solución acuosa obtenida en la Etapa f) adicionalmente se ponga en contacto con al menos un catalizador para aumentar la hidratación del dióxido de carbono. Se prefiere además que el al menos un catalizador para aumentar la hidratación del dióxido de carbono sea al menos una enzima, preferentemente anhidrasa carbónica.

25 De acuerdo con otra realización de la presente invención, la Etapa de contacto e) y/o la Etapa de separación f) y/o la Etapa de contacto g) y/o la Etapa de contacto h) se lleva/n a cabo a una temperatura de 2 °C a 80 °C, preferentemente de 4 °C a 60 °C y lo más preferentemente de 5 °C a 40 °C.

De acuerdo con otra realización más de la presente invención, la Etapa de contacto e) y/o la Etapa separación f) y/o la Etapa de contacto g) y/o la Etapa de contacto h) se lleva/n a cabo a un pH de entre 4 y 12, preferentemente entre 5 y 11 y lo más preferentemente entre 7 y 10,5.

30 De acuerdo con una realización de la presente invención, la Etapa de contacto g) se lleva a cabo a una presión de al menos 100 Pa, más preferentemente al menos 200 Pa y lo más preferentemente al menos 300 Pa.

De acuerdo con otra realización de la presente invención, la Etapa de contacto h) se lleva a cabo antes de y/o durante y/o después de la Etapa de contacto g).

De acuerdo con otra realización más de la presente invención, la Etapa de separación f) se lleva a cabo mediante filtración, centrifugación, ciclación, sedimentación o una mezcla de los mismos.

35 De acuerdo con una realización de la presente invención, el método comprende además la Etapa k) de separación de la sal de carbonato del al menos un catión de metal alcalinotérreo obtenido en la Etapa g). Se prefiere que la Etapa de separación k) se lleve a cabo mediante filtración, centrifugación, ciclación, concentración, evaporación, sedimentación o una mezcla de los mismos.

40 A continuación, se hace referencia a más detalles de la presente invención y especialmente a las etapas anteriores del método para reducir la cantidad de CO₂ en una fuente que contiene dióxido de carbono mediante el uso de un material de intercambio iónico regenerable.

Etapa a): provisión de al menos un material de intercambio iónico

De acuerdo con la Etapa a) de la presente invención, se proporciona al menos un material de intercambio iónico que comprende al menos un catión de metal alcalinotérreo.

45 La expresión "al menos un" material de intercambio iónico significa que uno o más tipos de materiales de intercambio iónico pueden utilizarse en el presente método.

De acuerdo con una realización de la presente invención, únicamente un tipo de material de intercambio iónico se

utiliza en el presente método. De acuerdo con otra realización de la presente invención, una mezcla de al menos dos tipos de materiales de intercambio iónico se utiliza en el presente método.

El al menos un material de intercambio iónico se selecciona entre un material de intercambio iónico natural, un material de intercambio iónico modificado, un material de intercambio iónico sintético y mezclas de los mismos.

- 5 El término material de intercambio iónico "natural", en el significado de la presente invención, se refiere a un material de intercambio iónico de origen natural.

El término material de intercambio iónico "modificado", en el significado de la presente invención, se refiere a un material de intercambio iónico natural que se ha tratado químicamente.

- 10 El término material de intercambio iónico "sintético", en el significado de la presente invención, se refiere a un material de intercambio iónico que no es de origen natural, pero que se ha preparado artificialmente mediante reacción química.

Si el al menos un material de intercambio iónico comprende un material de intercambio iónico natural, el al menos un material de intercambio iónico se selecciona entre el grupo que comprende filosilicatos, zeolita, mica, montmorillonita, mauritzita y mezclas de los mismos.

- 15 Si el al menos un material de intercambio iónico comprende un material de intercambio iónico sintético, el al menos un material de intercambio iónico se selecciona entre el grupo que comprende EDTA, resinas de intercambio iónico y mezclas de los mismos.

- 20 Los ejemplos de materiales de intercambio iónico sintéticos que pueden usarse en el proceso de la presente invención son materiales de intercambio iónico de la serie COWEX^{MR} MAC, Amberlite^{MR}, Ambersep^{MR} o IMAC[®] de Dow Chemical Company, EE.UU.

- 25 En una realización de la presente invención, el al menos un material de intercambio iónico es al menos un material de intercambio iónico natural. Por ejemplo, el al menos un material de intercambio iónico es un tipo de material de intercambio iónico natural. Si el al menos un material de intercambio iónico es al menos un material de intercambio iónico natural, el al menos un material de intercambio iónico preferentemente comprende filosilicatos. Como alternativa, el al menos un material de intercambio iónico consiste en filosilicatos.

Si el al menos un material de intercambio iónico comprende filosilicatos, preferentemente consiste en filosilicatos, los filosilicatos se seleccionan preferentemente entre bentonita. En consecuencia, el al menos un material de intercambio iónico preferentemente comprende bentonita, más preferentemente consiste en bentonita.

- 30 Si el al menos un material de intercambio iónico comprende o consiste en bentonita, la bentonita normalmente comprende, preferentemente consiste en, diversos minerales de arcilla, tales como, en particular, montmorillonita como componente principal, pero también cuarzo, caolinita, mica, feldespatho, pirita, calcita y/o cristobalita. Estos minerales pueden estar presentes en cantidades variables, así como otros componentes, dependiendo del sitio de origen.

- 35 La bentonita con un contenido de montmorillonita de al menos el 60 % en peso, preferentemente de al menos el 80 % en peso, por ejemplo, entre el 85 y el 95 % en peso basado en el peso total de la bentonita, es especialmente adecuada para el método de acuerdo con la presente invención.

Un requisito específico de la presente invención es que el al menos un material de intercambio iónico comprenda al menos un catión de metal alcalinotérreo.

- 40 La expresión "al menos un" catión de metal alcalinotérreo significa que uno o más tipos de cationes de metal alcalinotérreo pueden estar presentes en el al menos un material de intercambio iónico.

De acuerdo con una realización de la presente invención, únicamente un tipo de catión de metal alcalinotérreo está presente en el al menos un material de intercambio iónico. De acuerdo con otra realización de la presente invención, una mezcla de al menos dos tipos de cationes de metal alcalinotérreo está presente en el al menos un material de intercambio iónico.

- 45 De acuerdo con una realización de la presente invención, una mezcla de al menos dos tipos de cationes de metal alcalinotérreo está presente en el al menos un material de intercambio iónico. Preferentemente, una mezcla de dos tipos de cationes de metal alcalinotérreo está presente en el al menos un material de intercambio iónico.

La expresión "catión de metal alcalinotérreo" se refiere a un catión divalente de un metal alcalinotérreo, es decir, un catión de metal alcalinotérreo que tiene una valencia de dos.

De manera adicional o alternativa, el al menos un catión de metal alcalinotérreo se selecciona entre el grupo que comprende magnesio, calcio, estroncio y mezclas de los mismos. Por ejemplo, el al menos un catión de metal alcalinotérreo comprende calcio y/o magnesio. En una realización de la presente invención, el al menos un catión de metal alcalinotérreo comprende calcio.

Si el al menos un catión de metal alcalinotérreo comprende calcio y/o magnesio, la presencia de un catión de metal alcalinotérreo adicional no se excluye. Por ejemplo, si el al menos un catión de metal alcalinotérreo comprende calcio, el al menos un material de intercambio iónico puede comprender además magnesio y/o estroncio. En una realización de la presente invención, el al menos un catión de metal alcalinotérreo comprende calcio y magnesio.

A este respecto, se debe indicar que la presencia de al menos un catión de metal alcalinotérreo en el al menos un material de intercambio iónico no excluye la presencia de cationes monovalentes y/o divalentes y/o trivalentes adicionales en el al menos un material de intercambio iónico, por ejemplo, metales alcalinos, tales como sodio, potasio, litio y mezclas de los mismos y/o cationes divalentes, tales como zinc, manganeso, hierro y mezclas de los mismos y/o cationes trivalentes, tales como hierro, aluminio y mezclas de los mismos.

Si el al menos un material de intercambio iónico comprende o consiste en bentonita, la bentonita comprende al menos un catión de metal alcalinotérreo. Por ejemplo, la bentonita se selecciona tal que los espacios intercapa de la bentonita están ocupados casi exclusivamente con iones de calcio y/o magnesio como el al menos un catión de metal alcalinotérreo. En una realización de la presente invención, el material de intercambio iónico consiste en bentonita cuyos espacios intercapa están ocupados principalmente con iones de calcio como el al menos un catión de metal alcalinotérreo.

Sin embargo, la presencia del al menos un catión de metal alcalinotérreo no excluye que cationes de metal alcalino o cationes trivalentes, tales como aluminio puedan ocupar adicionalmente los espacios intercapa de la bentonita.

El término "espacio intercapa" o "espacios intercapa", en el significado de la presente invención, se refiere al espacio entre dos capas negativamente cargadas en la red cristalina del al menos un material de intercambio iónico que pueden estar ocupadas con cationes intercapa, por ejemplo, el al menos un catión de metal alcalinotérreo y, si está presente, cationes monovalentes y/o divalentes y/o trivalentes adicionales.

Se aprecia que el al menos un material de intercambio iónico de la presente invención tiene una capacidad de intercambio catiónico de al menos 60 cmol+/kg a un pH de 7, preferentemente de al menos 70 cmol+/kg a un pH de 7 y lo más preferentemente de al menos 80 cmol+/kg a un pH de 7. Por ejemplo, el al menos un material de intercambio iónico de la presente invención tiene una capacidad de intercambio catiónico de 60 a 130 cmol+/kg a un pH de 7 o de 70 a 120 cmol+/kg a un pH de 7.

En una realización de la presente invención, el al menos un material de intercambio iónico comprende o consiste en bentonita que tiene una capacidad de intercambio catiónico de al menos 60 cmol+/kg a un pH de 7, preferentemente de al menos 70 cmol+/kg a un pH de 7 y lo más preferentemente de al menos 80 cmol+/kg a un pH de 7. Por ejemplo, el al menos un material de intercambio iónico comprende o consiste en bentonita que tiene una capacidad de intercambio catiónico de 60 a 130 cmol+/kg a un pH de 7 o de 70 a 120 cmol+/kg a un pH de 7.

El término "capacidad de intercambio catiónico" se refiere a la cantidad máxima de los cationes totales, de cualquier clase, que el al menos un material de intercambio iónico es capaz de retener, a un valor de pH específico, y que está disponible para el intercambio iónico.

Si el al menos un material de intercambio iónico comprende o consiste en bentonita, la bentonita tiene preferentemente un tamaño mediano de partícula en peso de 0,02 a 100 μm , de 0,075 a 50 μm , o de 0,1 a 5 μm , preferentemente de 0,2 a 3 μm medido por un aparato Sedigraph 5120.

A todo lo largo del presente documento, el "tamaño de partícula" de un material particulado se describe por su distribución de tamaños de partícula. El valor d_x representa el diámetro relativo al que x % en peso de las partículas tienen un diámetro menor de d_x . Esto significa que el valor d_{20} es el tamaño de partícula al que el 20 % en peso de todas las partículas son más pequeñas, y el valor d_{75} es el tamaño de partícula al que el 75 % en peso de todas las partículas son más pequeñas. El valor d_{50} es, de este modo, el tamaño mediano de partícula en peso, es decir, el 50 % en peso de todos los granos son más grandes o más pequeños que este tamaño de partícula. Para el fin de la presente invención, el tamaño de partícula se especifica como el tamaño mediano de partícula en peso d_{50} a menos que se indique lo contrario. Para determinar el valor de tamaño mediano de partícula en peso d_{50} para las partículas que tienen un valor de d_{50} entre 0,4 y 2 μm , puede usarse el dispositivo Sedigraph 5120 de la compañía Micromeritics, de EE.UU. Para determinar el valor del tamaño mediano de partícula en peso d_{50} para las partículas que tienen un

valor d_{50} por debajo de 0,4, puede usarse el dispositivo Matersizer de la compañía Malvern Instruments GmbH, de Alemania.

5 Se prefiere que el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) se proporcione en forma de una suspensión acuosa o un sólido o una emulsión o un material de filtro o un lecho fluidizado. Por ejemplo, el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) se proporciona en forma de una suspensión acuosa.

10 Una "suspensión acuosa", en el significado de la presente invención, comprende sólidos insolubles y agua y, opcionalmente, aditivos adicionales y normalmente contiene grandes cantidades de sólidos, y, de este modo, es más viscosa y puede ser de mayor densidad que el líquido a partir del que se forma ésta. No obstante, el término "suspensión acuosa" no excluye que el agua comprenda cantidades menores de al menos un disolvente miscible en agua.

Por ejemplo, el al menos un disolvente miscible en agua se selecciona preferentemente entre metanol, etanol, acetona, acetonitrilo, tetrahidrofurano y mezclas de los mismos.

15 En una realización de la presente invención, la suspensión acuosa comprende agua en una cantidad de al menos el 60 % en peso, preferentemente al menos el 70 % en peso, más preferentemente al menos el 80 % en peso, aún más preferentemente al menos el 90 % en peso y lo más preferentemente al menos el 92 % en peso basado en el peso total de la fase acuosa de la suspensión acuosa. Por ejemplo, la suspensión acuosa comprende agua en una cantidad de entre el 90 y el 100 % en peso, preferentemente entre el 92 y el 100 % en peso, más preferentemente entre el 94 y el 100 % en peso y lo más preferentemente entre el 96 y el 100 % en peso basado en el peso total de la fase acuosa de la suspensión acuosa.

20 En una realización de la presente invención, la suspensión acuosa que comprende el al menos un material de intercambio iónico está libre de disolventes miscibles en agua.

25 En una realización de la presente invención, el al menos un material de intercambio iónico se proporciona en forma de una suspensión acuosa que tiene un contenido de material de intercambio iónico del 2 al 50 % en peso, basado en el peso total de la suspensión acuosa. Por ejemplo, el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) se proporciona en forma de una suspensión acuosa que tiene un contenido de material de intercambio iónico del 5 al 40 % en peso, más preferentemente del 7,5 al 30 % en peso y lo más preferentemente del 10 al 20 % en peso, basado en el peso total de la suspensión acuosa.

30 El contenido del al menos un material de intercambio iónico se selecciona tal que la viscosidad de la suspensión acuosa está entre 10 y 5.000 mPas, preferentemente entre 100 y 2.500 mPas, y especialmente entre 150 y 1.000 mPas, medida con un viscosímetro de Brookfield (tal como se describe en los ejemplos). El contenido óptimo depende de la aparición, es decir, la composición química y mineralógica del al menos un material de intercambio iónico y su capacidad de hinchamiento que, a su vez, influye en la viscosidad.

Etapa b): provisión de al menos una fuente que contiene dióxido de carbono

35 De acuerdo con la Etapa b) de la presente invención, se proporciona al menos una fuente que contiene dióxido de carbono.

La expresión "al menos una" fuente que contiene dióxido de carbono significa que una o más fuentes que contienen dióxido de carbono pueden utilizarse en el presente método.

40 De acuerdo con una realización de la presente invención, únicamente un tipo de fuente que contiene dióxido de carbono se utiliza en el método de la invención. De acuerdo con otra realización de la presente invención, una mezcla de al menos dos fuentes que contienen dióxido de carbono se utiliza en el método de la invención.

En una realización de la presente invención, únicamente un tipo de fuente que contiene dióxido de carbono se utiliza en el método de la invención.

La expresión "fuente que contiene dióxido de carbono" se refiere a cualquier fuente capaz de liberar dióxido de carbono.

45 La al menos una fuente que contiene dióxido de carbono incluye cualquier fuente que contiene dióxido de carbono conveniente. En particular, la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono puede seleccionarse entre un gas, líquido, sólido, complejo, material de intercambio iónico y mezclas de los mismos.

De acuerdo con una realización de la presente invención, la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono se

proporciona en forma gaseosa.

El dióxido de carbono gaseoso puede ser dióxido de carbono sustancialmente puro o el dióxido de carbono gaseoso comprende múltiples componentes que incluyen dióxido de carbono y uno o más gases adicionales y/u otras sustancias, tales como materiales particulados, tales como ceniza.

- 5 De acuerdo con una realización de la presente invención, la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono se selecciona entre aire, corrientes industriales de gas de escape, corrientes de gas de desecho, fumarolas volcánicas y mezclas de los mismos.

10 Por ejemplo, la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono es una corriente de gas de escape tal como la que es producida por una planta industrial. La planta industrial puede seleccionarse entre una gran diversidad. Por ejemplo, la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono es producida por una corriente de gas de escape producida por una planta industrial seleccionada entre las plantas de energía, plantas de procesamiento químico y mecánico, refinerías y otras plantas industriales que producen dióxido de carbono como, por ejemplo, un subproducto de la combustión de combustible u otras etapas de procesamiento.

15 Las corrientes de gas de desecho adecuadas se seleccionan entre las corrientes de gas de desecho producidas por plantas industriales que queman combustibles fósiles, tales como carbón, petróleo, gas natural y productos combustibles, tales como arenas bituminosas, petróleo pesado, esquisto de petróleo, etc.

20 La al menos una fuente que contiene dióxido de carbono puede contener dióxido de carbono como el componente principal, o puede contener componentes adicionales, tales como óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx) y al menos un componente gaseoso y/o en partículas adicionales. Los componentes gaseosos y/o en partículas adicionales pueden incluir óxido de carbono, haluros, tales como cloruro de hidrógeno y fluoruro de hidrógeno, metales, tales como mercurio, arsénico, berilio, boro, cadmio, cromo, cobalto, plomo, manganeso, molibdeno, selenio, estroncio, talio, vanadio, etc., componentes orgánicos, tales como hidrocarburos, dioxinas, y compuestos de PAH (hidrocarburos aromáticos policíclicos) y/o partículas de polvo fino, tales como las que se obtienen típicamente en procesos de combustión.

25 En una realización de la presente invención, la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono comprende dióxido de carbono que proporciona una presión parcial de al menos 0,02 Pa, preferentemente de al menos 0,05 Pa, más preferentemente al menos 0,1 Pa, aún más preferentemente al menos 0,15 Pa y lo más preferentemente al menos 0,2 Pa.

30 De manera adicional o alternativa, la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono comprende dióxido de carbono en una cantidad de al menos el 2 % en volumen, preferentemente de al menos el 5 % en volumen, más preferentemente de al menos el 10 % en volumen, aún más preferentemente de al menos el 15 % en volumen y lo más preferentemente de al menos el 20 % en volumen basado en el volumen total de la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono.

35 En una realización de la presente invención, la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono se introduce dentro del agua para formar una solución acuosa. Una "solución acuosa", en el significado de la presente invención, se refiere a los sistemas que comprenden meramente, contienen preferentemente, partículas disueltas y, opcionalmente, cantidades menores de partículas sólidas discretas en el disolvente acuoso. Se prefiere que la solución acuosa contenga partículas disueltas en el disolvente acuoso. El término "disuelto", en el significado de la presente invención, se refiere a los sistemas en los que no se observan partículas sólidas discretas en el disolvente.

40 En una realización de la presente invención, la solución acuosa contiene partículas sólidas discretas en el disolvente acuoso en una cantidad $\leq 10\%$ en peso, más preferentemente $\leq 7,5\%$ en peso, aún más preferentemente $\leq 5\%$ en peso y lo más preferentemente $\leq 2\%$ en peso basado en el peso total de la solución acuosa.

45 Si la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono se proporciona en forma de una solución acuosa, la solución acuosa tiene preferentemente un pH de entre 5 y 12, más preferentemente entre 6 y 11 y lo más preferentemente entre 7 y 10,5.

Etapa c): provisión de al menos una fuente de al menos un catión

De acuerdo con la Etapa c) de la presente invención, se proporciona al menos una fuente de al menos un catión que es capaz de reemplazar el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico.

50 La expresión "al menos una" fuente de al menos un catión significa que uno o más tipos de fuentes de al menos un catión pueden utilizarse en el presente método.

De acuerdo con una realización de la presente invención, únicamente un tipo de fuente de al menos un catión se utiliza en el presente método. De acuerdo con otra realización de la presente invención, una mezcla de al menos dos tipos de fuentes de al menos un catión se utiliza en el presente método.

5 La expresión al menos una fuente de "al menos un" catión significa que uno o más tipos de catión pueden proporcionarse en el presente método.

De acuerdo con una realización de la presente invención, únicamente un tipo de catión se utiliza en el presente método. De acuerdo con otra realización de la presente invención, una mezcla de al menos dos tipos de catión se utiliza en el presente método. De acuerdo con una realización de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión es un tipo de fuente de una mezcla de al menos dos tipos de catión. Como alternativa, la al menos una fuente de al menos un catión es un tipo de fuente de un tipo de catión.

Con respecto al al menos un catión, se debe indicar que no existen restricciones específicas con respecto al tipo de catión, siempre y cuando al menos un catión sea capaz de reemplazar el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico.

15 En una realización de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión comprende al menos un catión monovalente. De manera adicional o alternativa, la al menos una fuente de al menos un catión comprende al menos un catión divalente.

En una realización de la presente invención, el al menos un catión de la al menos una fuente de al menos un catión se selecciona preferentemente entre el grupo que comprende litio, sodio, potasio, magnesio, estroncio y mezclas de los mismos.

20 En consecuencia, si el al menos un catión de la al menos una fuente de al menos un catión es al menos un catión monovalente, el al menos un catión monovalente es preferentemente al menos un catión de metal alcalino. Si el al menos un catión es al menos un catión de metal alcalino, el al menos un catión es preferentemente seleccionado entre el grupo que comprende litio, sodio, potasio y mezclas de los mismos.

25 De manera alternativa o adicional, si el al menos un catión de la al menos una fuente de al menos un catión es al menos un catión divalente, el al menos un catión divalente es preferentemente un catión de metal alcalinotérreo que difiere del al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) y del al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d).

30 Por ejemplo, si el al menos un catión de la al menos una fuente de al menos un catión es al menos un catión de metal alcalinotérreo, el al menos un catión se selecciona preferentemente entre el grupo que comprende magnesio, estroncio y mezclas de los mismos.

En una realización de la presente invención, el al menos un catión de la al menos una fuente de al menos un catión es sodio.

35 Se prefiere que la al menos una fuente de al menos un catión sea una solución acuosa que comprende el al menos un catión. Una "solución acuosa", en el significado de la presente invención, se refiere a los sistemas que meramente comprenden, contienen preferentemente, partículas disueltas y, opcionalmente, cantidades menores de partículas sólidas discretas en el disolvente acuoso. Se prefiere que la solución acuosa contenga partículas disueltas en el disolvente acuoso. El término "disuelto", en el significado de la presente invención, se refiere a los sistemas en los que no se observan partículas sólidas discretas en el disolvente. En una realización de la presente invención, la solución acuosa contiene partículas sólidas discretas en el disolvente acuoso en una cantidad de $\leq 10\%$ en peso, más preferentemente $\leq 7,5\%$ en peso, aún más preferentemente $\leq 5\%$ en peso y lo más preferentemente $\leq 2\%$ en peso basado en el peso total de la solución acuosa.

El término solución "acuosa" no excluye que el disolvente acuoso comprenda cantidades menores de al menos un disolvente miscible en agua.

45 Por ejemplo, el al menos un disolvente miscible en agua se selecciona preferentemente entre metanol, etanol, acetona, acetonitrilo, tetrahidrofurano y mezclas de los mismos.

En una realización de la presente invención, la solución acuosa comprende al menos un disolvente miscible en agua en una cantidad de $\leq 40\%$ en peso, preferentemente $\leq 30\%$ en peso, más preferentemente $\leq 20\%$ en peso y lo más preferentemente $\leq 10\%$ en peso basado en el peso total de la fase del disolvente de la solución acuosa.

50 En una realización de la presente invención, la solución acuosa que comprende el al menos un catión está libre de disolventes miscibles en agua.

De manera adicional o alternativa, si la al menos una fuente de al menos un catión se proporciona en forma de una solución acuosa, la solución acuosa comprende al menos el 50 % en peso, más preferentemente al menos el 75 % en peso y lo más preferentemente al menos el 90% en peso basado en el peso total de la solución acuosa, de agua.

5 Por ejemplo, la solución acuosa comprende entre el 90 y el 99 % en peso, más preferentemente entre el 91 y el 99 % en peso y lo más preferentemente entre el 92 y el 98 % en peso basado en el peso total de la solución acuosa, de agua.

10 De manera adicional o alternativa, la al menos una fuente de al menos un catión comprende el al menos un catión en una cantidad de 0,1 a 150 g/l, preferentemente de 1 a 100 g/l o de 5 a 75 g/l. En una realización de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión comprende el al menos un catión en una cantidad de 10 a 50 g/l.

Si la al menos una fuente de al menos un catión se proporciona en forma de una solución acuosa, la solución acuosa tiene preferentemente un pH de entre 5 y 12, más preferentemente entre 6 y 11 y lo más preferentemente entre 7 y 10,5.

15 Se prefiere que la al menos una fuente de al menos un catión sea una fuente de origen natural de al menos un catión capaz de reemplazar el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico. En una realización de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión es una fuente de origen natural de al menos un catión monovalente y/o divalente capaz de reemplazar el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico.

20 Por ejemplo, la al menos una fuente de al menos un catión es una fuente de origen natural de al menos un catión monovalente capaz de reemplazar el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico.

Por ejemplo, la al menos una fuente de al menos un catión es una fuente de origen natural de al menos un catión monovalente, tal como una salmuera subterránea que puede ser una fuente conveniente para cationes divalentes, cationes monovalentes o mezclas de los mismos.

25 Las salmueras subterráneas comprenden composiciones salinas acuosas concentradas. La salmuera subterránea se obtiene preferentemente a partir de un sitio subterráneo, tal como justo por debajo de la superficie terrestre, tal como los océanos o lagos terrestres.

30 En una realización de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión es el agua de mar. El agua de mar es frecuentemente una fuente conveniente de cationes monovalentes y/o divalentes capaces de reemplazar el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico capaz de reemplazar el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico. Cualquier tipo de agua de mar puede utilizarse, siempre y cuando se proporcione una cantidad suficiente de al menos un catión. En particular, la cantidad de al menos un catión en el agua de mar debe no ser $\leq 0,1$ g/l, preferentemente ≤ 1 g/l, más preferentemente ≤ 5 g/l y lo más preferentemente ≤ 10 g/l.

35 De manera adicional o alternativa, la al menos una fuente de al menos un catión es agua que tiene una salinidad de entre el 3 y el 35 % en peso, preferentemente de entre el 3 y el 20 % en peso, más preferentemente de entre el 3 y el 10 % en peso y lo más preferentemente de entre el 3 y el 5 % en peso basado en la cantidad total de sal disuelta en el agua. Por ejemplo, el agua tiene una salinidad de entre el 3 y el 4,5 % en peso o de entre el 3,1 y el 4 % en peso basado en la cantidad total de la sal disuelta en el agua.

40 En una realización de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión es agua de mar que tiene una densidad de al menos 1,010 kg/l a 23 °C, preferentemente de al menos 1,020 kg/l a 23 °C y lo más preferentemente de entre 1,020 y 1,030 kg/l a 23 °C. Por ejemplo, el agua de mar tiene una densidad de entre 1,020 y 1,025 kg/l a 23 °C.

Etapa d): provisión de al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo

45 De acuerdo con la Etapa d) de la presente invención, se proporciona al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo.

La expresión "al menos una" fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo significa que uno o más tipos de fuentes de al menos un catión de metal alcalinotérreo pueden utilizarse en el presente método.

50 De acuerdo con una realización de la presente invención, únicamente un tipo de fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo se utiliza en el presente método. De acuerdo con otra realización de la presente invención, una

mezcla de al menos dos tipos de fuentes de al menos un catión de metal alcalinotérreo se utiliza en el presente método.

La expresión al menos una fuente de "al menos un" catión de metal alcalinotérreo significa que uno o más tipos de catión de metal alcalinotérreo pueden proporcionarse en el presente método.

- 5 De acuerdo con una realización de la presente invención, únicamente un tipo de catión de metal alcalinotérreo se utiliza en el presente método. De acuerdo con otra realización de la presente invención, una mezcla de al menos dos tipos de cationes de metal alcalinotérreo se utiliza en el presente método.

- 10 De acuerdo con una realización de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo es un tipo de fuente de una mezcla de al menos dos tipos de cationes de metal alcalinotérreo. Como alternativa, la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo es un tipo de fuente de un tipo de catión de metal alcalinotérreo.

Con respecto al al menos un catión de metal alcalinotérreo, se debe indicar que no existen restricciones específicas con respecto al tipo de catión de metal alcalinotérreo, siempre y cuando el al menos un catión de metal alcalinotérreo sea capaz de reemplazar el al menos un catión proporcionado en la Etapa c).

- 15 De manera adicional o alternativa, se prefiere que el al menos un catión de metal alcalinotérreo proporcionado en la Etapa d) y el al menos un catión de metal alcalinotérreo del material de intercambio iónico de la Etapa a) sean del mismo tipo.

De manera adicional o alternativa, el al menos un catión de metal alcalinotérreo se selecciona entre el grupo que comprende magnesio, calcio, estroncio y mezclas de los mismos.

- 20 En una realización de la presente invención, el al menos un catión de metal alcalinotérreo comprende calcio y/o magnesio. Por ejemplo, el al menos un catión de metal alcalinotérreo comprende calcio.

- 25 Si el al menos un catión de metal alcalinotérreo comprende calcio y/o magnesio, no se excluye la presencia de los cationes de metal alcalinotérreo adicionales en la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo. Por ejemplo, si la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo comprende calcio, la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo puede comprender además magnesio y/o estroncio. En una realización de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo comprende calcio y magnesio.

- 30 En una realización de la presente invención, el al menos un catión de metal alcalinotérreo proporcionado en la Etapa d) y el al menos un catión de la al menos una fuente de al menos un catión proporcionado en la Etapa c) son diferentes. Por ejemplo, si el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) comprende calcio, el al menos un catión de la Etapa c) comprende litio, sodio, potasio, magnesio, estroncio y mezclas de los mismos. Si el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) comprende magnesio, el al menos un catión de la Etapa c) comprende litio, sodio, potasio, calcio, estroncio y mezclas de los mismos. Si el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) comprende estroncio, el al menos un catión de la Etapa c) comprende litio, sodio, potasio, magnesio, calcio y mezclas de los mismos.

- 40 Como alternativa, si el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) comprende calcio y magnesio, el al menos un catión de la Etapa c) comprende litio, sodio, potasio, estroncio y mezclas de los mismos. Si el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) comprende calcio y estroncio, el al menos un catión de la Etapa c) comprende litio, sodio, potasio, magnesio y mezclas de los mismos. Si el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) comprende magnesio y estroncio, el al menos un catión de la Etapa c) comprende litio, sodio, potasio, calcio y mezclas de los mismos.

Se aprecia además que el al menos un catión de la Etapa c) comprende litio, sodio, potasio y mezclas de los mismos si el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) comprende calcio, magnesio y estroncio.

- 45 Se prefiere que la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo sea una solución acuosa que comprenda el al menos un catión de metal alcalinotérreo.

- 50 Una "solución acuosa", en el significado de la presente invención, se refiere a los sistemas que comprenden meramente, contienen preferentemente, partículas disueltas y, opcionalmente, cantidades menores de partículas sólidas discretas en el disolvente acuoso. Se prefiere que la solución acuosa contenga partículas disueltas en el disolvente acuoso. El término "disuelta", en el significado de la presente invención, se refiere a los sistemas en los que no se observan partículas sólidas discretas en el disolvente. En una realización de la presente invención, la solución acuosa contiene partículas sólidas discretas en el disolvente acuoso en una cantidad de $\leq 10\%$ en peso,

más preferentemente $\leq 7,5$ % en peso, aún más preferentemente ≤ 5 % en peso y lo más preferentemente ≤ 2 % en peso basado en el peso total de la solución acuosa. El término solución "acuosa" no excluye que el disolvente acuoso comprenda cantidades menores de al menos un disolvente miscible en agua.

5 Por ejemplo, el al menos un disolvente miscible en agua se selecciona preferentemente entre metanol, etanol, acetona, acetonitrilo, tetrahidrofurano y mezclas de los mismos.

En una realización de la presente invención, la solución acuosa comprende al menos un disolvente miscible en agua en una cantidad de ≤ 40 % en peso, preferentemente de ≤ 30 % en peso, más preferentemente ≤ 20 % en peso y lo más preferentemente ≤ 10 % en peso basado en el peso total de la fase disolvente de la solución acuosa.

10 En una realización de la presente invención, comprendiendo la solución acuosa el al menos un catión de metal alcalinotérreo que está libre de disolventes miscibles en agua.

De manera adicional o alternativa, si la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo se proporciona en forma de una solución acuosa, la solución acuosa comprende al menos el 50 % en peso, más preferentemente al menos el 75 % en peso y lo más preferentemente al menos el 90 % en peso basado en el peso total de la solución acuosa, de agua.

15 Por ejemplo, la solución acuosa comprende entre el 90 y el 99 % en peso, más preferentemente entre el 91 y el 99 % en peso y lo más preferentemente entre el 92 y el 98 % en peso basado en el peso total de la solución acuosa, de agua.

20 De manera adicional o alternativa, la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo comprende el al menos un catión de metal alcalinotérreo en una cantidad de 0,1 a 200 mg/l, preferentemente de 0,5 a 150 mg/l, más preferentemente de 1 a 100 mg/l, aún más preferentemente de 5 a 75 mg/l y lo más preferentemente de 10 a 50 mg/l.

Si la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo se proporciona en forma de una solución acuosa, la solución acuosa tiene preferentemente un pH de entre 5 y 12, más preferentemente entre 6 y 11 y lo más preferentemente entre 7 y 10,5.

25 Se prefiere que la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo sea una fuente de origen natural de al menos un catión de metal alcalinotérreo. En una realización de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo es una fuente de origen natural de al menos un catión de metal alcalinotérreo que es capaz de reemplazar el al menos un catión proporcionado en la Etapa c).

30 Por ejemplo, la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo es una fuente de calcio de origen natural.

En una realización de la presente invención, la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo es una fuente de origen natural de al menos un catión de metal alcalinotérreo, tal como agua dulce dura.

35 Cualquier tipo de agua dulce dura puede utilizarse siempre y cuando se proporcione una cantidad suficiente del al menos un catión de metal alcalinotérreo, preferentemente calcio. En particular, la cantidad del al menos un catión de metal alcalinotérreo, preferentemente calcio, en el agua dulce dura no debe ser $\leq 0,1$ g/l, preferentemente $\leq 0,5$ g/l, más preferentemente ≤ 1 g/l, aún más preferentemente ≤ 5 g/l y lo más preferentemente ≤ 10 g/l.

De manera adicional o alternativa, el agua dulce dura se selecciona tal que ésta tiene una dureza de 5 a 130 °dH, preferentemente de 10 a 60 °dH, y lo más preferentemente de 14 a 50 °dH.

40 Para el fin de la presente invención, la dureza se refiere a la dureza alemana y se expresa en "grado de dureza alemán, °dH". A este respecto, la dureza se refiere a la cantidad total de cationes de metal alcalinotérreo en la solución acuosa que comprende carbonato de hidrógeno alcalinotérreo, y se mide mediante titulación complejométrica a pH 10 usando ácido etilen-diamino-tetra-acético (EDTA) y Eriocromo T como indicador del punto equivalente.

45 El agua dulce dura puede seleccionarse entre cualquier fuente de origen natural, tal como lagos y/o ríos y/o mares internos.

De manera adicional o alternativa, el agua dulce dura puede ser antropogénica. Por ejemplo, un agua dulce blanda puede ponerse en contacto con al menos un catión de metal alcalinotérreo con el fin de preparar agua dulce dura que es adecuada para el método de la invención. En una realización de la presente invención, los cationes

divalentes, tales como calcio y/o magnesio se añaden al agua dulce blanda. Se aprecia además que el agua dulce dura puede obtenerse a partir de un proceso de remineralización de agua. Los procesos para la remineralización del agua se describen, por ejemplo, en los documentos US 7.374.694, EP 0520826, WO 2010/12691, solicitud de patente europea 11 175 012.1, solicitud de patente europea 10 172 771.7 y solicitud de patente europea 11 179 541.5.

Etapa e): contacto del al menos un material de intercambio iónico con la al menos una fuente de al menos un catión

De acuerdo con la Etapa e) de la presente invención, el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) se pone en contacto con la al menos una fuente de al menos un catión de la Etapa c).

10 El contacto proporciona una mezcla que comprende i) al menos un material de intercambio iónico, y ii) al menos un catión de metal alcalinotérrico liberado desde el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a).

El contacto del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) con la al menos una fuente de al menos un catión puede lograrse mediante cualquier medio convencional conocido por el experto. Preferentemente, el contacto puede llevarse a cabo en condiciones de mezclado. El experto adaptará las condiciones de mezclado, tales como la velocidad del mezclado y la temperatura de acuerdo con su equipo de proceso.

15 En particular, se aprecia que el contacto de la Etapa e) del método puede lograrse mediante cualquier tipo de tanque y/o recipiente bien conocidos por el experto en la materia, para combinar y/o mezclar y/o agitar las suspensiones que comprenden un material en partículas, tal como un material de intercambio iónico. Por ejemplo, la Etapa e) de contacto puede llevarse a cabo en una unidad mezcladora vertical y/u horizontal, preferentemente una unidad mezcladora vertical.

20 Preferentemente, la unidad mezcladora usada para la Etapa e) de contacto comprende medios de agitación. Por ejemplo, los medios de agitación se seleccionan entre los medios de agitación mecánicos, tales como una cuchilla de agitación típicamente usada para agitar y mezclar suspensiones que comprenden un material en partícula en un tanque y/o recipiente. Como alternativa, los medios de agitación se seleccionan entre los medios mezcladores de polvo-líquido típicamente usados para agitar y mezclar suspensiones más concentradas que comprenden un material en partículas en un tanque y/o recipiente.

30 De manera adicional o alternativa, el contacto del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) con la al menos una fuente de al menos un catión puede lograrse por inyección de la al menos una fuente de al menos un catión en forma de una solución acuosa dentro de una suspensión o emulsión acuosa que comprende el al menos un material de intercambio iónico. Si el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) se proporciona en forma de un sólido o un material de filtro o un lecho fluidizado, el contacto de al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) con la al menos una fuente de al menos un catión puede lograrse por la adición de la al menos una fuente de al menos un catión en forma de una solución acuosa. A este respecto, se debe indicar que las condiciones de mezclado pueden lograrse por el flujo de la al menos una fuente de al menos un catión introducido dentro del al menos un material de intercambio iónico.

35 En una realización de la presente invención, la Etapa e) de contacto se lleva a cabo a una temperatura de 2 °C a 80 °C, más preferentemente de 4 °C a 60 °C y lo más preferentemente de 5 °C a 40 °C.

Por ejemplo, la Etapa e) de contacto puede llevarse a cabo a temperatura ambiente, es decir, a 20 °C o a otras temperaturas.

40 De acuerdo con una realización de la presente invención, la Etapa e) del método se lleva a cabo durante al menos 1 segundo, preferentemente durante al menos 1 minuto, por ejemplo, durante al menos 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 6 horas, 8 horas, o 10 horas.

En una realización de la presente invención, la mezcla obtenida en la Etapa e) de contacto está en forma de una suspensión acuosa. Si se obtiene una suspensión acuosa, la Etapa e) de contacto se lleva preferentemente a cabo a un pH de entre 5 y 12, más preferentemente entre 6 y 11 y lo más preferentemente entre 7 y 10,5.

45 La mezcla obtenida en la Etapa e) de contacto comprende i) al menos un material de intercambio iónico y ii) al menos un catión de metal alcalinotérrico liberado del al menos un material de intercambio iónico. En particular, se debe indicar que al menos una parte del al menos un catión de metal alcalinotérrico que está enlazado al al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) se intercambia con el al menos un catión de la Etapa c) durante la Etapa e) de contacto.

50 El al menos un catión de metal alcalinotérrico de la Etapa ii) y el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i) se separan en la Etapa f) de separación.

Etapa f): separación del al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico

De acuerdo con la Etapa f) de la presente invención, el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) se separa del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i).

5 En una realización de la presente invención, la Etapa f) de separación se lleva a cabo a una temperatura de 2 °C a 80 °C, preferentemente de 4 °C a 60 °C y lo más preferentemente de 5 °C a 40 °C. Por ejemplo, la Etapa f) de separación se lleva a cabo a temperatura ambiente, es decir, a 20 °C o a otras temperaturas.

En una realización de la presente invención, la Etapa f) de separación se lleva a cabo a un pH de entre 5 y 12, más preferentemente entre 6 y 11 y lo más preferentemente entre 7 y 10,5.

10 La separación del al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) a partir del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i) puede lograrse mediante cualquier medio de separación convencional conocido por el experto. Por ejemplo, la separación del al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i) se logra mediante filtración, centrifugación, ciclación, sedimentación o una mezcla de los mismos.

15 Si la mezcla obtenida en la Etapa e) de contacto está en forma de una suspensión acuosa, el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) se separa del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i) preferentemente mediante filtración, es decir, mediante una unidad de filtración de membrana, para separar el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i).

20 La al menos una unidad de filtración de membrana usada para separar el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i) puede ser cualquier tipo de filtro de membrana conocido por el experto y típicamente usado para filtración de suspensión/soluciones acuosas que comprenden un material en partículas. Por ejemplo, pueden usarse un dispositivo de microfiltración por membrana de flujo transversal y/o un dispositivo de ultrafiltración por membrana de flujo transversal.

25 Se aprecia que existe una diferencia de presión entre la parte interna de la unidad de filtración de membrana y el entorno circundante, de tal manera que el material de intercambio iónico en partículas suspendido se separa de la suspensión/solución y se obtiene una solución acuosa clara que comprende al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii). Preferentemente, la presión dentro de la unidad de filtración de membrana es más alta que la presión del entorno circundante.

30 Una "solución acuosa", en el significado de la presente invención, se refiere a los sistemas que meramente comprenden, contienen preferentemente, partículas disueltas y, opcionalmente, cantidades menores de partículas sólidas discretas en el disolvente acuoso. Se prefiere que la solución acuosa contenga partículas disueltas en el disolvente acuoso. El término "disuelto(as)", en el significado de la presente invención, se refiere a los sistemas en los que no se observa partículas sólidas discretas en el disolvente. En una realización de la presente invención, la solución acuosa contiene partículas sólidas discretas en el disolvente acuoso en una cantidad de $\leq 10\%$ en peso, más preferentemente $\leq 7,5\%$ en peso, aún más preferentemente $\leq 5\%$ en peso y lo más preferentemente $\leq 2\%$ en peso basado en el peso total de la solución acuosa.

40 Por ejemplo, la al menos una unidad de filtración de membrana usada para separar el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i) es un dispositivo de filtración en membrana de flujo transversal. De manera adicional o alternativa, la al menos una unidad de filtración de membrana usada para la separación del al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i) es un dispositivo de ultrafiltración por membrana de flujo transversal.

Los dispositivos de filtración por membrana de flujo transversal son conocidos por el experto. Un dispositivo de filtración por membrana de flujo transversal que puede ser adecuado para el método de la invención incluye el dispositivo de filtración por membrana de flujo transversal disponible a través de Microdyn-Nadir GmbH, Alemania, como Microdyn Modul CMB 150.

45 En una realización de la invención, la solución acuosa que comprende el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) obtenida después de separar el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i) tiene una dureza de 5 a 130 °dH, preferentemente de 10 a 60 °dH y lo más preferentemente de 14 a 50 °dH.

50 De manera adicional o alternativa, la solución acuosa que comprende el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) obtenida después de separar al el menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i) tiene un pH de entre 4 y 12, preferentemente entre 5 y 11 y lo más preferentemente entre 7 y 10,5.

- En una realización de la presente invención, la solución acuosa que comprende el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) obtenida después de separar el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i) tiene una concentración del al menos un catión de metal alcalinotérreo de al menos 1 mg/l, preferentemente de al menos 100 mg/l, más preferentemente de al menos 1.000 mg/l, aún más preferentemente de al menos 2.500 mg/l y lo más preferentemente de al menos 5.000 mg/l. Por ejemplo, la solución acuosa que comprende el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) obtenida después de separar el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i) tiene una concentración del al menos un catión de metal alcalinotérreo de al menos 7.500 mg/l o de al menos 10.000 mg/l.
- 10 De manera adicional o alternativa, la solución acuosa que comprende el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) obtenida después de separar el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i) tiene una concentración del al menos un catión de metal alcalinotérreo de 1 a 30.000 mg/l, preferentemente de 100 a 25.000 mg/l, más preferentemente de 1.000 a 20.000 mg/l, aún más preferentemente de 2.500 a 15.000 mg/l y lo más preferentemente de 5.000 a 12.500 mg/l.
- 15 En una realización de la presente invención, la solución acuosa que comprende el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) obtenida después de separar el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i) tiene un valor de turbidez menor de 1,0 NTU, preferentemente menor de 0,5 NTU y lo más preferentemente menor de 0,3 NTU.
- 20 El al menos un catión de metal alcalinotérreo obtenido después de separar el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i) adicionalmente se pone en contacto con la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono de la Etapa b) en la Etapa g) del método. El al menos un material de intercambio iónico obtenido después de separar el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i) posteriormente se pone en contacto con la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) en la Etapa h) del método.
- 25 Etapa g): contacto del al menos un catión de metal alcalinotérreo con la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono
- De acuerdo con la Etapa g) de la presente invención, el al menos un catión de metal alcalinotérreo obtenido en la Etapa f) se pone en contacto con la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono de la Etapa b). El contacto proporciona una sal de carbonato del al menos un catión de metal alcalinotérreo.
- 30 El contacto del al menos un catión de metal alcalinotérreo con la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono puede lograrse mediante cualquier medio convencional conocido por el experto. Preferentemente, el contacto puede llevarse a cabo en condiciones de mezclado. El experto adaptará las condiciones de mezclado, tales como la velocidad del mezclado y la temperatura de acuerdo con su equipo de proceso.
- 35 En una realización de la presente invención, el al menos un catión de metal alcalinotérreo obtenido en la Etapa f) está en forma de una solución acuosa.
- Si se proporciona una solución acuosa, se aprecia que el contacto de la Etapa g) del método puede lograrse por cualquier tipo de tanque y/o recipiente bien conocido por el experto en la materia para combinar y/o mezclar y/o agitar las soluciones acuosas. Por ejemplo, la Etapa g) de contacto puede llevarse a cabo en una unidad mezcladora vertical y/u horizontal, preferentemente una unidad mezcladora vertical.
- 40 Preferentemente, la unidad mezcladora usada para la Etapa g) de contacto comprende medios de agitación. Por ejemplo, los medios de agitación se seleccionan entre los medios de agitación mecánicos, tales como una cuchilla de agitación típicamente usada para agitar y mezclar suspensiones que comprenden un material en partículas en un tanque y/o recipiente. Como alternativa, los medios de agitación se seleccionan entre medios mezcladores de polvólíquido típicamente usados para agitar y mezclar suspensiones más concentradas que comprenden un material en partículas en un tanque y/o recipiente.
- 45 En una realización de la presente invención, la fuente que contiene dióxido de carbono, preferentemente dióxido de carbono gaseoso se introduce, preferentemente se inyecta, dentro de la solución acuosa que comprende el al menos un catión de metal alcalinotérreo obtenido en la Etapa f), formando una dispersión de burbujas del dióxido de carbono en la solución y permitiendo que las burbujas se disuelvan en la misma.
- 50 De acuerdo con una realización de la presente invención, la Etapa g) de contacto se lleva a cabo a presión de al menos 100 Pa, más preferentemente al menos 200 Pa y lo más preferentemente al menos 300 Pa.
- Por ejemplo, el dióxido de carbono se introduce a presión en la solución acuosa que comprende el al menos un

catión de metal alcalinotérreo obtenido en la Etapa f).

En una realización de la presente invención, la Etapa g) de contacto se lleva a cabo a una temperatura de 2 °C a 80 °C, preferentemente de 4 °C a 60 °C y lo más preferentemente de 5 °C a 40 °C. Por ejemplo, la Etapa g) de contacto puede llevarse a cabo a temperatura ambiente, es decir, a 20 °C o a otras temperaturas.

- 5 De acuerdo con una realización de la presente invención, la Etapa g) del método se lleva a cabo durante al menos 1 segundo, preferentemente durante al menos 1 minuto, por ejemplo, durante al menos 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 6 horas, 8 horas, o 10 horas.

- 10 De manera adicional o alternativa, la Etapa g) de contacto preferentemente se lleva a cabo a un pH de entre 5 y 12, más preferentemente entre 6 y 11 y lo más preferentemente entre 7 y 10,5. En una realización de la presente invención, la Etapa g) de contacto se lleva a cabo a un pH de entre 8 y 10,5 o entre 8,2 y 10,5.

- 15 De acuerdo con una realización de la presente invención, la solución acuosa obtenida en la Etapa f) posteriormente se pone en contacto con al menos un catalizador para aumentar la hidratación del dióxido de carbono. Por ejemplo, el al menos un catalizador para aumentar la hidratación del dióxido de carbono es al menos una enzima. En una realización de la presente invención, el al menos un catalizador para aumentar la hidratación del dióxido de carbono es anhídrida carbónica.

De acuerdo con la Etapa g) del método, una sal de carbonato del al menos un catión de metal alcalinotérreo se obtiene por el contacto del al menos un catión de metal alcalinotérreo con la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono.

- 20 En una realización de la presente invención, la sal de carbonato obtenida del al menos un catión de metal alcalinotérreo es una sal de carbonato insoluble en agua del al menos un catión de metal alcalinotérreo. Por ejemplo, la sal de carbonato obtenida del al menos un catión de metal alcalinotérreo tiene una solubilidad en agua a 25 °C de ≤ 1.000 mg/l, preferentemente de ≤ 500 mg/l, más preferentemente de ≤ 200 mg/l y lo más preferentemente de ≤ 150 mg/l. Por ejemplo, la sal de carbonato obtenida del al menos un catión de metal alcalinotérreo tiene una solubilidad en agua a 25 °C de ≤ 100 mg/l o de ≤ 50 mg/l. En una realización de la presente invención, la sal de carbonato obtenida del al menos un catión de metal alcalinotérreo tiene una solubilidad en agua a 25 °C de ≤ 30 mg/l o de ≤ 20 mg/l.

En una realización de la presente invención, la sal de carbonato obtenida del al menos un catión de metal alcalinotérreo es carbonato de calcio.

- 30 En una realización de la presente invención, el método comprende además la Etapa k) de separar la sal de carbonato del al menos un catión de metal alcalinotérreo obtenido en la Etapa g).

- 35 La separación de la sal de carbonato del al menos un catión de metal alcalinotérreo obtenido en la Etapa g) de acuerdo con la Etapa k) puede lograrse mediante cualquier medio de separación convencional conocido por el experto. Por ejemplo, la separación de la sal de carbonato de al menos un catión de metal alcalinotérreo obtenido en la Etapa g) se logra mediante filtración, centrifugación, ciclación, concentración, evaporación, sedimentación o una mezcla de las mismas.

Si la sal de carbonato del al menos un catión de metal alcalinotérreo obtenido en la Etapa g) está en forma de una suspensión acuosa, la sal de carbonato del al menos un catión de metal alcalinotérreo preferentemente se separa mediante filtración, por ejemplo, por una unidad de filtración de membrana, a partir de la fase acuosa.

- 40 La al menos una unidad de filtración de membrana usada para separar la sal de carbonato obtenida en la Etapa g) de acuerdo con la Etapa k) puede ser cualquier tipo de filtro de membrana conocido por el experto y típicamente usado para filtrar suspensiones/soluciones acuosas que comprenden un material en partículas. Por ejemplo, pueden usarse un dispositivo de microfiltración por membrana de flujo transversal y/o un dispositivo de ultrafiltración por membrana de flujo transversal.

- 45 En una realización de la presente invención, la al menos una unidad de filtración de membrana usada para separar la sal de carbonato obtenida en la Etapa g) es un dispositivo de filtración por membrana de flujo transversal y/o un dispositivo de ultrafiltración por membrana de flujo transversal, tal como se ha definido anteriormente.

En una realización de la invención, la solución acuosa obtenida después de separar la sal de carbonato obtenida en la Etapa g) tiene una dureza de 1 a 100 °dH, preferentemente de 2 a 50 °dH, y lo más preferentemente de 3 a 25 °dH.

De manera adicional o alternativa, la solución acuosa obtenida después de separar la sal de carbonato obtenida en la Etapa g) tiene un pH de entre 4 y 12, preferentemente entre 5 y 11 y lo más preferentemente entre 7 y 10,5. En una realización de la presente invención, la solución acuosa obtenida después de separar la sal de carbonato obtenida en la Etapa g) tiene un pH de entre 8 y 10,5 o entre 8,2 y 10,5.

- 5 De manera adicional o alternativa, la solución acuosa obtenida después de separar la sal de carbonato obtenida en la Etapa g) tiene una concentración del al menos un catión de metal alcalinotérreo de ≤ 10 mg/l, preferentemente de ≤ 5 mg/l, más preferentemente de ≤ 1 mg/l y lo más preferentemente de $\leq 0,5$ mg/l.

- 10 En una realización de la presente invención, la solución acuosa obtenida después de separar la sal de carbonato obtenida en la Etapa g) tiene un valor de turbidez menor de 1,0 NTU, preferentemente menor de 0,5 NTU y lo más preferentemente menor de 0,3 NTU.

- 15 La sal de carbonato del al menos un catión de metal alcalinotérreo separado en la Etapa k) se obtiene preferentemente como un precipitado en el filtro. La sal de carbonato obtenida puede secarse con cualquier método adecuado conocido en la técnica. La sal de carbonato del al menos un catión de metal alcalinotérreo puede secarse, por ejemplo, térmicamente, por ejemplo, por medio de un secador de aspersion o un horno de microondas, o en un horno, o mecánicamente, por ejemplo, mediante disminución del contenido de agua.

Etapa h): contacto del al menos un material de intercambio iónico con la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo

- 20 De acuerdo con la Etapa h) de la presente invención, el al menos un material de intercambio iónico obtenido en la Etapa f) se pone en contacto con la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d). El contacto regenera el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a).

- 25 El contacto del al menos un material de intercambio iónico con la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo puede lograrse mediante cualquier medio convencional conocido por el experto. Preferentemente, el contacto puede llevarse a cabo en condiciones de mezclado. El experto adaptará las condiciones de mezclado, tales como la velocidad del mezclado y temperatura de acuerdo con su equipo de proceso.

En una realización de la presente invención, el al menos un material de intercambio iónico obtenido en la Etapa f) está en forma de una suspensión acuosa.

- 30 Si se proporciona una suspensión acuosa, se aprecia que el contacto de la Etapa h) del método puede lograrse por cualquier tipo de tanque y/o recipiente bien conocidos por el experto en la materia para combinar y/o mezclar y/o agitar suspensiones acuosas. Por ejemplo, la Etapa h) de contacto puede llevarse a cabo en una unidad mezcladora vertical y/u horizontal, preferentemente una unidad mezcladora vertical.

- 35 Preferentemente, la unidad mezcladora usada para la Etapa h) de contacto comprende medios de agitación. Por ejemplo, los medios de agitación se seleccionan entre medios de agitación mecánicos, tales como una cuchilla de agitación típicamente usada para agitar y mezclar suspensiones que comprenden un material en partículas en un tanque y/o recipiente. Como alternativa, los medios de agitación se seleccionan entre medios de mezclado de polvo-líquido típicamente usados para agitar y mezclar suspensiones más concentradas que comprenden un material en partículas en un tanque y/o recipiente.

- 40 De manera adicional o alternativa, la Etapa h) de contacto puede llevarse a cabo ya que el al menos un material de intercambio iónico obtenido en la Etapa f) se proporciona en forma de material de filtro o un lecho fluidizado al que se añade al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) con el fin de regenerar el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a).

- 45 Se aprecia que la Etapa g) de contacto y la Etapa h) de contacto se realizan independientemente uno del otro. En consecuencia, el contacto del al menos un material de intercambio iónico obtenido en la Etapa f) con la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) de acuerdo con la Etapa h) del método se lleva a cabo antes de y/o durante y/o después de la Etapa g) de contacto.

Si el material de intercambio iónico obtenido en la Etapa f) y/o la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) están en forma de una solución acuosa o suspensión acuosa, la Etapa h) de contacto puede llevarse a cabo a cualquier temperatura (aplicando opcionalmente una presión), a la que las soluciones acuosas o las suspensiones acuosas permanecen en un estado líquido.

- 50 En consecuencia, la Etapa h) de contacto se lleva a cabo a una temperatura de -10 °C hasta $+80$ °C, preferentemente de -2 °C hasta 70 °C, más preferentemente de 4 °C hasta 60 °C y lo más preferentemente de 5 °C

hasta 40 °C. Por ejemplo, la Etapa h) de contacto puede llevarse a cabo a temperatura ambiente, es decir, a 20 °C o a otras temperaturas.

De acuerdo con una realización de la presente invención, la Etapa h) de contacto se lleva a cabo durante al menos 1 segundo, preferentemente durante al menos 1 minuto, por ejemplo, durante al menos 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 6 horas, 8 horas, o 10 horas.

De manera adicional o alternativa, la Etapa h) de contacto preferentemente se lleva a cabo a un pH de entre 5 y 12, más preferentemente entre 6 y 11 y lo más preferentemente entre 7 y 10,5. En una realización de la presente invención, la Etapa h) de contacto preferentemente se lleva a cabo a un pH de entre 8 y 10,5 o entre 8,2 y 10,5.

De acuerdo con la Etapa h) del método, el al menos un material de intercambio iónico se regenera al poner en contacto el al menos un material de intercambio iónico obtenido en la Etapa f) con la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d).

En consecuencia, se aprecia que el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) y el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la al menos una fuente de la Etapa d) son los mismos. En una realización de la presente invención, el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) y el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la al menos una fuente de la Etapa d) son calcio.

En una realización de la presente invención, el al menos un material de intercambio iónico regenerado en la Etapa h) de contacto se reutiliza como el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a).

Si una suspensión acuosa se obtiene después de poner en contacto el al menos un material de intercambio iónico con la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo, el al menos un material de intercambio iónico regenerado puede separarse de la fase acuosa. Tal separación puede lograrse mediante cualquier medio de separación convencional conocido por el experto, tal como se define en la Etapa f) anterior.

El al menos un material de intercambio iónico regenerado obtenido de acuerdo con la Etapa h) del método, tal como se ha descrito anteriormente, puede concentrarse y/o secarse con cualquier método adecuado conocido en la técnica. Al menos un material de intercambio iónico regenerado puede ser concentrado y/o secado, por ejemplo, térmicamente, por ejemplo, por medio de un secador de aspersión o un horno de microondas, o en un horno, o mecánicamente, por ejemplo, mediante filtración o disminuyendo el contenido de agua.

En consecuencia, el método anterior de acuerdo con la presente invención conduce a un producto de carbonato de metal alcalinotérreo estable, es decir, puede aislarse fácilmente y evita el uso de materias primas costosas basadas en recursos hechos por el hombre. Además, el método utiliza un material de intercambio iónico regenerable de tal manera que no se consume el material de sorbente.

El alcance y el interés de la invención se comprenderán mejor basados en los siguientes ejemplos que están destinados a ilustrar determinadas realizaciones de la invención y no son limitantes.

Figuras

La Figura 1 se refiere a la concentración de los iones de calcio libres dependiendo del contenido de bentonita en agua desionizada y una solución de NaCl al 3,5 % en peso.

Ejemplos

1. Métodos de medición

Medición del pH

El pH se mide a 25 °C usando un medidor de pH Mettler Toledo Seven Easy y un electrodo de pH Mettler Toledo InLab® Expert Pro. Una calibración de tres puntos (de acuerdo con el método de segmento) del instrumento se realiza en primer lugar usando soluciones de tampón comercialmente disponibles que tienen valores de pH de 4, 7 y 10 a 20 °C (de Aldrich). Los valores de pH indicados son los valores del punto final detectados por el instrumento (el punto final es cuando la señal medida difiere por menos de 0,1 mV del promedio en los últimos 6 segundos).

Viscosidad de Brookfield

La viscosidad de Brookfield se midió después de 1 minuto de agitación mediante el uso un viscosímetro Brookfield^{MR}

modelo RVT a una temperatura de 25 °C, y una velocidad de rotación de 100 rpm (revoluciones por minuto) con la aguja de disco adecuada N° 1 a 5.

Distribución del tamaño de partícula (% en masa de partículas con un diámetro < X) y diámetro de grano mediano en peso (d₅₀) del material en partículas

- 5 El diámetro de grano mediano en peso y la distribución de masa de diámetro del grano de un material en partículas se determinaron mediante el método de sedimentación, es decir, un análisis del comportamiento de sedimentación en un campo gravimétrico. La medición se realizó con un Mastersizer 2000 de Malvern Instruments GmbH, de Alemania. Como alternativa, la medición se realizó con un dispositivo Sedigraph 5120 de Micromeritics, de EE.UU.
- 10 El método y el instrumento son conocidos por el experto y se usan comúnmente para determinar el tamaño de grano de las cargas y los pigmentos. Las muestras se dispersaron usando un agitador de alta velocidad y ultrasonido.

Espectroscopía de fluorescencia de rayos X

Los datos de XRF se obtuvieron mediante el uso de métodos e instrumentos conocidos por el experto y se usan comúnmente para determinar la composición de las muestras.

Sólidos en peso (% en peso) de un material en la suspensión

- 15 Los sólidos en peso se determinaron al dividir el peso del material sólido entre el peso total de la suspensión acuosa. El contenido de sólidos en peso se determinó a 160 °C usando un analizador de humedad MJ 33, Mettler Toledo.

Turbidez

La turbidez se midió con un turbidímetro de laboratorio Hach Lange 2100AN IS y la calibración se realizó usando las normas de turbidez StabCal (normas de formazina) de < 0,1, 20, 200, 1.000, 4.000 y 7.500 NTU.

20 **Determinación de la dureza (dureza alemana; expresada en "°dH")**

La dureza se refiere a la cantidad total de iones alcalinotérreos en la solución acuosa que comprende el carbonato de hidrógeno alcalinotérreo, y se mide mediante titulación complejométrica usando ácido etilen-diamino-tetra-acético (EDTA; nombre comercial Titrplex III) y eriocromo T como indicador del punto equivalente.

- 25 El EDTA (agente quelante) forma con los iones Ca²⁺ y Mg²⁺ complejos de quelatos estables solubles. Se añadieron 2 ml de una solución de amoniaco del 25 %, un tampón de amoniaco/acetato de amonio (pH 10) y el indicador de eriocromo negro T a 100 ml de una muestra de agua que va a someterse a ensayo. El indicador y el tampón normalmente están disponibles como el denominado "comprimido de indicador-tampón". El indicador, cuando se enmascara con un colorante amarillo, forma un complejo de color rojo con los iones Ca²⁺ y Mg²⁺. Al final de la titulación, es decir, cuando todos los iones están enlazados por el agente quelante, el indicador de eriocromo negro T restante está en su forma libre, que muestra un color verde. Cuando el indicador no está enmascarado, entonces el color cambia de magenta a azul. La dureza total puede calcularse a partir de la cantidad de EDTA que se ha usado.
- 30

La tabla siguiente muestra una conversión para las diferentes unidades de la dureza del agua.

Conversión para las diferentes unidades de la dureza del agua ^[1]							
		°dH	°e	°fH	ppm ^[2]	mval/l	mmol/l
Dureza alemana	1 °dH =	1	1,253	1,78	17,8	0,357	0,1783
Dureza inglesa	1°e =	0,798	1	1,43	14,3	0,285	0,142
Dureza francesa	1 °fH =	0,560	0,702	1	10	0,2	0,1
ppm de CaCO₃ (EE.UU.)	1 ppm =	0,056	0,07	0,1	1	0,02	0,01
mval/l de iones	1 mval/l =	2,8	3,51	5	50	1	0,50

alcalinotérreos							
mmol/l de iones alcalinotérreos	1 mmol/l =	5,6	7,02	10,00	100,0	2,00	1
^[1] Los datos se obtienen a través de http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserh%C3%A4rte ^[2] A este respecto, la unidad ppm se usa en el significado de 1 mg/l de CaCO ₃ .							

Determinación de la concentración de iones

La concentración de iones se determina mediante la medición de la constitución de la fuerza de campo eléctrico por una adsorción selectiva de iones calcio sobre una membrana de resina.

- 5 La medición de la concentración de iones se lleva a cabo a 25 °C usando la instrumentación Mettler Toledo Seven Multi equipada con el electrodo perfectION de Mettler Toledo durante la agitación de la suspensión/solución mediante el uso de un agitador magnético y la placa de agitación correspondiente. La medición de la concentración de iones se inició directamente después de la agitación de esta suspensión/solución a 1.500 rpm usando un agitador de disco dentado Pendraulik.
- 10 El instrumento se calibra en primer lugar en el intervalo relevante de concentración de iones usando soluciones de calibración comercialmente disponibles que tienen concentraciones de 1 mmol/l, 10 mmol/l y 100 mmol/l, respectivamente, de Fluka, Suiza.

Los valores de concentración de iones indicados son los valores detectados por el instrumento después de 1 minuto después la inmersión del electrodo dentro de la suspensión/solución que se va a medir.

15 2. Ejemplos

Ejemplo 1

Este ejemplo se refiere a la preparación de una sal de carbonato estable mediante el uso de la bentonita como material de intercambio iónico.

- 20 Se añadió cloruro de sodio al 3,5 % en peso a una solución de NaOH 0,1 M. A esta solución se añadió bentonita de tal manera que la suspensión obtenida tiene una cantidad de bentonita de aproximadamente el 5 % en peso, basado en el peso total de la suspensión. Esta suspensión se agitó durante 10 minutos mediante el uso de un agitador pequeño con un propulsor montado. Posteriormente, la suspensión se filtró al vacío y después se burbujeó CO₂ dentro del filtrado (comercialmente disponible a través de Pangas, de Suiza, como Kohlendioxid UN 1013). El precipitado de color blanco se centrifugó y lavó con agua desionizada dos veces antes del secado.

- 25 El precipitado se caracterizó por XRF como el 98 % en peso de CaCO₃, basado en el peso total del precipitado.

Ejemplo 2

Este ejemplo se refiere a la capacidad de la bentonita para activarse y después regenerarse en un ciclo.

- 30 Se añadió cloruro de sodio al 3,5 % en peso a una solución de NaOH 0,1 M. A esta solución se añadió bentonita de tal manera que la suspensión obtenida tiene una cantidad de bentonita de aproximadamente el 10 % en peso, basado en el peso total de la suspensión. Esta suspensión se agitó durante 10 minutos mediante el uso de un agitador pequeño con un propulsor montado. Posteriormente, la suspensión se filtró al vacío y después se burbujeó CO₂ dentro del filtrado (comercialmente disponible a través de Pangas, de Suiza, como Kohlendioxid UN 1013). El precipitado de color blanco se centrifugó y lavó con agua desionizada dos veces antes del secado. El precipitado de este primer secuestro no se analizó.

- 35 Posteriormente, la torta de filtro prensa (la bentonita activada) se añadió a una solución de CaCl₂ al 1 % en peso (comercialmente disponible a través de Merck, de Alemania, como cloruro de calcio anhidro), basado en el peso total de la solución, de tal manera que la suspensión obtenida tiene una cantidad de bentonita de aproximadamente el 10 % en peso, basado en el peso total de la suspensión. La suspensión obtenida se agitó durante 10 minutos y después se filtró al vacío. La torta de filtro se lavó con agua desionizada y se filtró al vacío hasta que no existió precipitación en el filtrado cuando se añadió NaHCO₃.

La torta de filtro se usó de nuevo para un experimento descrito en el Ejemplo 1. El precipitado se caracterizó por

XRF como el 96 % en peso de CaCO_3 , basado en el peso total del precipitado.

Ejemplo 3

Este ejemplo se refiere a la preparación de la sal de carbonato estable mediante el uso de bentonita como material de intercambio iónico a un pH de aproximadamente 8.

- 5 Una solución de NaOH 0,1 M se añadió a una solución de cloruro de sodio al 3,5 % en peso, basado en el peso total de la solución, de tal manera que la solución tiene un pH de aproximadamente 8. A esta solución se añadió bentonita de tal manera que la suspensión obtenida tiene una cantidad de bentonita de aproximadamente el 10 % en peso, basado en el peso total de la suspensión. Esta suspensión se agitó durante 10 minutos mediante el uso de un agitador pequeño con un propulsor montado. Posteriormente, la suspensión se filtró al vacío y después se burbujeó
- 10 CO_2 dentro del filtrado (comercialmente disponible a través de Pangas, de Suiza, como Kohlendioxid UN 1013). Además, la solución de NaOH 0,1 M se añadió tal como para mantener el pH por encima de 8,2. El precipitado de color blanco se centrifugó y lavó con agua desionizada dos veces antes del secado.

El precipitado se caracterizó por XRF como CaCO_3 al 96 % en peso, basado en el peso total del precipitado.

Ejemplo 4

- 15 Este Ejemplo se refiere a la capacidad de la bentonita para liberar los cationes de calcio en presencia de los cationes de sodio.

Se llevó a cabo un experimento de referencia en el que la bentonita se añadió en porciones al agua desionizada y la concentración de iones calcio se midió después de un tiempo dado, después de la adición de la bentonita (aproximadamente tres minutos).

- 20 El mismo experimento se llevó a cabo usando una solución de NaCl al 3,5 % en peso, basado en el peso total de la solución, con un pH inicial de 10 (ajustado con NaOH 1M) en vez del agua desionizada.

Se puede deducir a partir de la Figura 1 que la adición de bentonita al agua desionizada libera ya determinados iones calcio. Esto tiene que esperarse debido a una fuerza de impulsión "osmótica". Además, se puede observar que la presencia de los cationes de sodio aumenta claramente la liberación de los iones de calcio.

- 25 Se usó un electrodo sensible a los iones calcio y se iniciaron las mediciones de concentración de iones de calcio aproximadamente tres minutos después de la adición de la bentonita.

REIVINDICACIONES

1. Un método para reducir la cantidad de CO₂ en una fuente que contiene dióxido de carbono mediante el uso de un material de intercambio iónico regenerable, que comprende las siguientes etapas:
- 5 a) proporcionar al menos un material de intercambio iónico que comprende al menos un catión de metal alcalinotérreo, en el que el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) comprende un material de intercambio iónico natural seleccionado entre el grupo que comprende filosilicatos, zeolita, mica, montmorillonita, maurizita y mezclas de los mismos y/o un material de intercambio iónico sintético seleccionado entre el grupo que comprende EDTA, resinas de intercambio iónico y mezclas de los mismos,
- b) proporcionar al menos una fuente que contiene dióxido de carbono,
- 10 c) proporcionar al menos una fuente de al menos un catión que es capaz de reemplazar el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico,
- d) proporcionar al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo,
- e) poner en contacto el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) con la al menos una fuente de al menos un catión de la Etapa c) para obtener una mezcla que comprende
- 15 i) al menos un material de intercambio iónico, y
- ii) al menos un catión de metal alcalinotérreo liberado desde el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a),
- f) separar el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa ii) del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa i),
- 20 g) poner en contacto el al menos un catión de metal alcalinotérreo obtenido en la Etapa f) con la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono de la Etapa b) para obtener una sal de carbonato del al menos un catión de metal alcalinotérreo, y
- h) poner en contacto el al menos un material de intercambio iónico obtenido en la Etapa f) con la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) para regenerar el al menos un material de
- 25 intercambio iónico de la Etapa a).
2. El método de la reivindicación 1, en el que el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) se selecciona entre un material de intercambio iónico natural, un material de intercambio iónico modificado, un material de intercambio iónico sintético, y mezclas de los mismos.
3. El método de la reivindicación 1 o 2, en el que el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) comprende filosilicatos.
- 30
4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) comprende al menos un catión de metal alcalinotérreo seleccionado entre el grupo que comprende magnesio, calcio, estroncio y mezclas de los mismos, preferentemente calcio y/o magnesio.
5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) se proporciona en forma de una suspensión acuosa o un sólido o una emulsión o un material de filtro o un lecho fluidizado.
- 35
6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) se proporciona en forma de una suspensión acuosa que tiene un contenido de material de intercambio iónico del 2 al 50 % en peso, preferentemente del 5 al 40 % en peso, más preferentemente del 7,5 al 40 % en peso y lo más preferentemente del 10 al 20 % en peso, basado en el peso total de la suspensión acuosa.
- 40
7. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) consiste en bentonita que comprende diversos minerales de arcilla seleccionados entre el grupo que comprende montmorillonitas y minerales concomitantes, tales como cuarzo, mica, caolinita, feldespato, pirita, calcita, cristobalita y mezclas de los mismos.
- 45
8. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) consiste en bentonita que tiene un contenido de montmorillonita de al menos el 60 % en peso, preferentemente de al menos el 80 % en peso, por ejemplo, entre el 85 y el 95 % en peso, basado en el peso total

de la bentonita.

9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el material de intercambio iónico de la Etapa a) consiste en bentonita cuyos espacios intercapa están ocupados principalmente con iones de calcio y/o magnesio.

5 10. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el al menos un material de intercambio iónico de la Etapa a) consiste en bentonita que tiene un tamaño mediano de partícula en peso d_{50} de 0,02 a 100 μm , de 0,075 a 50 μm , o de 0,1 a 5 μm , preferentemente de 0,2 a 3 μm .

10 11. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono de la Etapa b) se selecciona entre un gas, líquido, sólido, complejo, material de intercambio iónico y mezclas de los mismos, preferentemente un gas.

12. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono de la Etapa b) se selecciona entre aire, corrientes industriales de gas de escape, corrientes de gas de desecho, fumarolas volcánicas y mezclas de los mismos.

15 13. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono de la Etapa b) comprende dióxido de carbono que proporciona una presión parcial de al menos 0,02 Pa, preferentemente de al menos 0,05 Pa, más preferentemente al menos 0,1 Pa, aún más preferentemente al menos 0,15 Pa y lo más preferentemente al menos 0,2 Pa.

20 14. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una fuente de al menos un catión de la Etapa c) y/o la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) es una solución acuosa, preferentemente una solución acuosa que comprende al menos el 50 % en peso, más preferentemente al menos el 75 % en peso y lo más preferentemente al menos el 90 % en peso, basado en el peso total de la solución acuosa, de agua.

25 15. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una fuente de al menos un catión de la Etapa c) es una fuente de origen natural de al menos un catión monovalente y/o divalente capaz de reemplazar el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico, preferentemente una fuente de origen natural de al menos un catión monovalente capaz de reemplazar el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico.

16. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una fuente de al menos un catión de la Etapa c) es agua de mar.

30 17. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una fuente que contiene dióxido de carbono de la Etapa b) y/o la al menos una fuente de al menos un catión que es capaz de reemplazar el al menos un catión de metal alcalinotérreo del al menos un material de intercambio iónico de la Etapa c) y/o la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo se proporcionan en forma de una solución acuosa, preferentemente una solución acuosa que tiene un pH de entre 5 y 12, preferentemente entre 6 y 11 y lo más
35 preferentemente entre 7 y 10,5.

18. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el al menos un catión de la al menos una fuente de al menos un catión de la Etapa c) se selecciona entre el grupo que comprende litio, sodio, potasio, magnesio, estroncio y mezclas de los mismos, preferentemente sodio.

40 19. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una fuente de al menos un catión de la Etapa c) comprende al menos un catión en una cantidad de 0,1 a 150 g/l, preferentemente de 1 a 100 g/l, más preferentemente de 5 a 75 g/l y lo más preferentemente de 10 a 50 g/l.

20. El método de una cualquiera de las reivindicaciones, en el que la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) es una fuente de origen natural de al menos un catión de metal alcalinotérreo, por ejemplo, agua dulce dura.

45 21. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) es agua dulce dura que tiene una dureza de 5 a 130 °dH, preferentemente de 10 a 60 °dH y lo más preferentemente de 14 a 50 °dH.

50 22. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el al menos un catión de metal alcalinotérreo de la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) se selecciona entre magnesio, calcio, estroncio y mezclas de los mismos, preferentemente calcio.

23. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una fuente de al menos un catión de metal alcalinotérreo de la Etapa d) comprende el al menos un catión de metal alcalinotérreo en una cantidad de 0,1 a 200 mg/l, preferentemente de 0,5 a 150 mg/l, más preferentemente de 1 a 100 mg/l, aún más preferentemente de 5 a 75 mg/l y lo más preferentemente de 10 a 50 mg/l.
- 5 24. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 23, en el que la Etapa g) de contacto se lleva a cabo ya que el al menos una fuente que contiene dióxido de carbono de la Etapa b) se introduce dentro de una solución acuosa obtenida en la Etapa f).
25. El método de acuerdo con la reivindicación 24, en el que la solución acuosa obtenida en la Etapa f) además se pone en contacto con al menos un catalizador para aumentar la hidratación del dióxido de carbono.
- 10 26. El método de acuerdo con la reivindicación 25, en el que el al menos un catalizador para aumentar la hidratación del dióxido de carbono es al menos una enzima, preferentemente anhidrasa carbónica.
27. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la Etapa e) de contacto y/o la Etapa f) de separación y/o la Etapa g) de contacto y/o la Etapa h) de contacto se lleva/n a cabo a una temperatura de 2 °C a 80 °C, preferentemente de 4 °C a 60 °C y lo más preferentemente de 5 °C a 40 °C.
- 15 28. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la Etapa e) de contacto y/o la Etapa f) de separación y/o la Etapa g) de contacto y/o la Etapa h) de contacto se lleva/n a cabo a un pH de entre 4 y 12, preferentemente entre 5 y 11 y lo más preferentemente entre 7 y 10,5.
29. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la Etapa g) de contacto se lleva a cabo a presión de al menos 100 Pa, más preferentemente al menos 200 Pa y lo más preferentemente al menos 300 Pa.
- 20 30. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la Etapa h) de contacto se lleva a cabo antes de y/o durante y/o después de la Etapa g) de contacto.
31. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la Etapa f) de separación se lleva a cabo mediante filtración, centrifugación, ciclación, sedimentación o una mezcla de los mismos.
- 25 32. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende además la Etapa k) de separación de la sal de carbonato del al menos un catión de metal alcalinotérreo obtenido en la Etapa g).
33. El método de la reivindicación 32, en el que la Etapa k) de separación se lleva a cabo mediante filtración, centrifugación, ciclación, concentración, evaporación, sedimentación o una mezcla de los mismos.

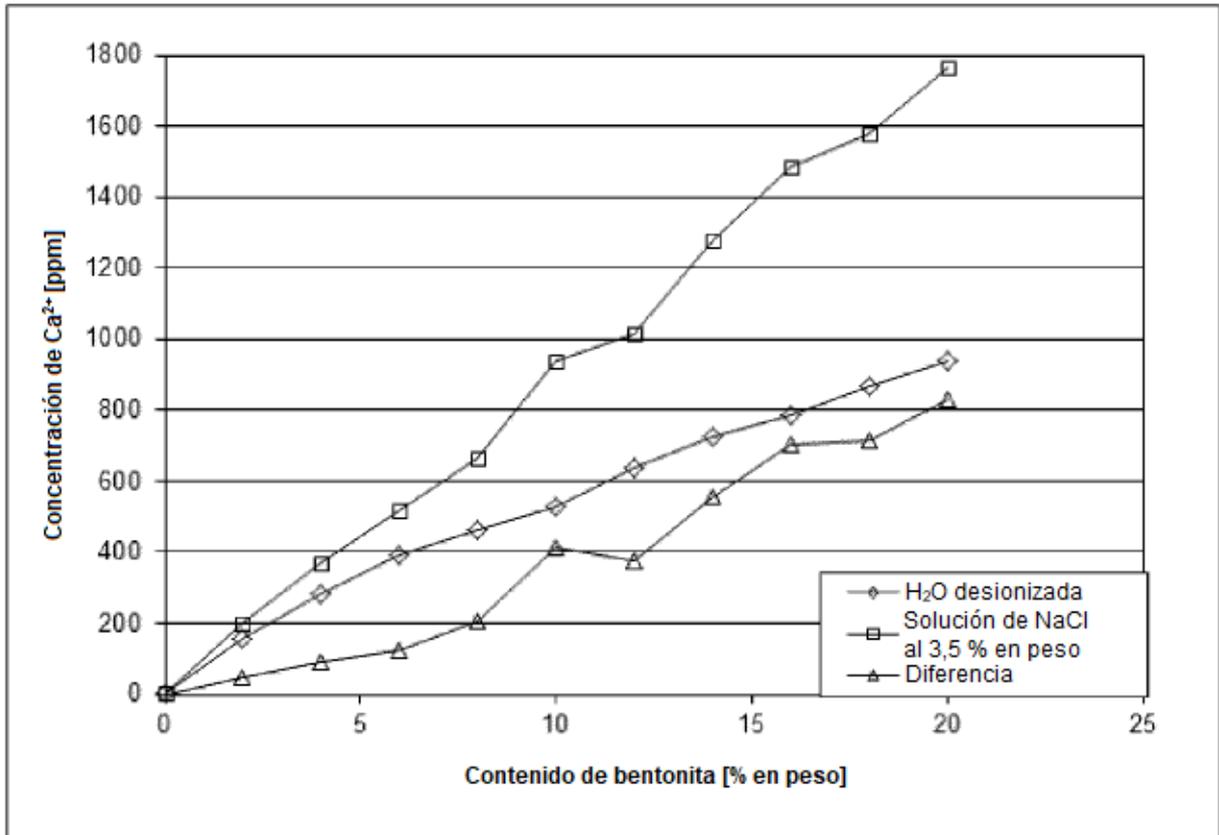


Fig.1