(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 683 182**

(51) Int. Cl.:
B01D 39/20 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.03.2015 PCT/EP2015/055323**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **24.09.2015 WO15140074**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.03.2015 E 15709515 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.04.2018 EP 3119495**

(54) Título: **Procedimiento para reciclar metales pesados y material útil en dicho procedimiento**

(30) Prioridad:

17.03.2014 EP 14000983
19.05.2014 EP 14168815

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.09.2018

(73) Titular/es:

ETH ZURICH (100.0%)
Raemistrasse 101/ETH Transfer
8092 Zurich, CH

(72) Inventor/es:

BOLISETTY, SREENATH y
MEZZENGA, RAFFAELE

(74) Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 683 182 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

Procedimiento para reciclar metales pesados y material útil en dicho procedimiento

La presente invención se refiere al campo del tratamiento de aguas/recuperación de metales y a materiales/dispositivos útiles en dichos procedimientos.

El tratamiento de aguas, particularmente la recuperación de metales a partir de composiciones acuosas que comprenden iones metálicos es importante a la vista tanto de fines ambientales como comerciales. Lo mismo se aplica a la purificación de aguas. Se conocen numerosos métodos y dispositivos que abordan estos problemas.

Acey (documento de patente WO2006/045103) describe dispositivos y métodos para eliminar metales pesados de muestras contaminadas con membranas que comprenden proteínas de metalotioneína purificadas. El procedimiento descrito en este documento de patente se considera desventajoso ya que requiere la obtención de proteínas de metalotioneína por métodos biotecnológicos (aislamiento, amplificación y expresión en tabaco transgénico), lo que hace que los dispositivos requeridos sean difíciles de producir y costosos. Además, es difícil la recuperación de metales mediante estos dispositivos sensibles.

Drobot (documento de patente US4257807) describe el procedimiento para recuperar metales preciosos de medios acuosos al entrar en contacto con la harina de sangre. El procedimiento descrito en este documento de patente se considera desventajoso ya que requiere largos tiempos de contacto de la harina de sangre y el agua contaminada y además requiere un tratamiento de múltiples etapas.

En consecuencia, la técnica anterior (i) sugiere el uso de materiales muy avanzados, que proporcionan buenos resultados de separación, pero dificultades en la recuperación y aplicabilidad del procedimiento o (ii) sugiere el uso de materiales sencillos, que proporcionan malos resultados de separación y que requirien procedimientos de múltiples etapas.

Cada uno de los documentos de patente US 2005/279696 A1, GB 1 360 403 A, WO 03/066522 A1 y WO 2007/105190 A2 describe una composición de material de filtro y filtro asociado para filtrar agua. La composición de material de filtración comprende partículas de carbón activado y un aglutinante polimérico adecuado.

Por lo tanto, es un objeto de la presente invención mitigar al menos algunos de estos inconvenientes del estado de la técnica. En particular, es un objeto de la presente invención proporcionar procedimientos para el tratamiento de aguas y para la recuperación de metales de composiciones acuosas, así como materiales y dispositivos útiles en dichos procedimientos.

Estos objetos se logran mediante el material como se define en la reivindicación 1 y un método como se define en la reivindicación 10. Otros aspectos de la invención se describen en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones independientes, las realizaciones preferidas se describen en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones dependientes.

A continuación, la presente invención se describirá con más detalle, haciendo referencia al primer y segundo aspectos de la invención. El primer aspecto se destina a los nuevos materiales, dispositivos, su fabricación y sus usos. El segundo aspecto se destina a métodos para el tratamiento de aguas usando dichos materiales y dispositivos. Se entiende que las diversas realizaciones, preferencias e intervalos como se proporcionan/describen en esta especificación se pueden combinar a voluntad. Además, dependiendo de la realización específica, pueden no aplicarse las definiciones, realizaciones o intervalos seleccionados.

A menos que se indique lo contrario, las siguientes definiciones se aplicarán en esta memoria descriptiva:

Como se usa en el presente documento, los términos "un", "una", "el" "la" y términos similares usados en el contexto de la presente invención (especialmente en el contexto de las reivindicaciones) deben interpretarse para abarcar tanto el singular como el plural, a menos que se indique lo contrario o sean claramente contradichos por el contexto.

Como se usa en el presente documento, las expresiones "que incluye", "que contiene" y "que comprende" se usan en este documento en su sentido abierto, no limitativo.

La presente invención se entenderá mejor por referencia a las figuras; en donde la Figura 1 muestra una imagen de AFM de nanopartículas de oro producidas de acuerdo con el Ejemplo 1, y sus clústeres se dispersaron en la disolución de fibrillas y la Figura 2 muestra la imagen de microscopía óptica de monocristales de Au formados después de calentamiento a 60ºC, de acuerdo con el Ejemplo 1.

En términos más generales, en un primer aspecto, la invención proporciona un material compuesto que comprende (a) fibrillas amiloides; (b) carbón activado; (c) opcionalmente un material de soporte; por lo que dichas fibrillas amiloides y dicho carbón activado están en contacto íntimo. Este aspecto de la invención se explicará con más detalle a continuación:

Sorprendentemente, se descubrió que los constituyentes (a) y (b) interactúan sinérgicamente cuando se tratan aguas residuales. La relación de ambos constituyentes puede variar en un amplio intervalo, dependiendo del material específico, el uso previsto y el dispositivo que contiene el material compuesto. Se obtienen resultados particularmente buenos, en caso de que la relación (a) / (b) esté en el intervalo de 1 / 1 a 1 / 100 (p / p).

Material compuesto: de acuerdo con la invención, los constituyentes (a) y (b) están en contacto íntimo. Los constituyentes individuales permanecen separados y diferenciados dentro de la estructura terminada, pero se mezclan minuciosa y aleatoriamente. Esto está garantizado por el procedimiento de fabricación. El material presenta propiedades tanto de las fibrillas amiloides como del carbón activado y, por lo tanto, también se denomina material híbrido. El material de soporte puede ser una capa separada, por ejemplo, en el caso de una membrana filtrante.

Fibrillas amiloides: la expresión "fibrillas amiloides" es generalmente conocida en el campo y particularmente describe fibrillas producidas por proteínas o péptidos predominantemente encontrados en la estructura secundaria de lámina beta. En consecuencia, la expresión fibrillas amiloides excluye las proteínas nativas.

De manera ventajosa, las fibrillas amiloides tienen una alta relación de aspecto, preferiblemente con un diámetro de ≤ 10 nm y una longitud de ≥ 1 µm.

De manera ventajosa, las fibrillas amiloides tienen una superficie altamente cargada. La expresión superficies altamente cargadas es generalmente conocida en el campo y describe particularmente superficies que muestran movilidades electroforéticas del orden de 2 µm·cm /V·s a pH 4.

Carbón activado: la expresión es conocida en el campo e incluye todas las calidades comerciales del mismo. Se puede producir carbón activado adecuado a partir de materiales de partida carbonosos tales como materiales renovables (que incluyen cáscaras de nuez, cáscara de coco, turba, madera, fibra de coco) pero también materiales convencionales (que incluyen lignito, carbón y brea de petróleo). Se puede producir carbón activado adecuado mediante activación química o activación física (gas).

Material de soporte: los materiales de soporte pueden estar o no presentes en el material compuesto de la invención. Para muchas aplicaciones, estos materiales de soporte son preferidos y pueden seleccionarse de una amplia gama de materiales conocidos. La elección del material de soporte depende de su uso previsto. Son adecuados, por ejemplo, los materiales de soporte porosos. En ciertas aplicaciones, es ventajoso que el material de soporte sea un material carbonoso que se oxide fácilmente en un horno, tal como las membranas de celulosa.

En una realización ventajosa, la invención se refiere a un material compuesto como se describe en la presente memoria en forma de una membrana filtrante, comprendiendo dicha membrana filtrante los constituyentes (a), (b) y (c). Por consiguiente, la invención también proporciona un dispositivo filtro que comprende dicho material compuesto. Este filtro puede ser cualquier tipo de filtro conocido en el campo, típicamente filtros de superficie que incluyen filtros de superficie a presión y vacío. En dichos filtros, los constituyentes (a) (b) están dispuestos aguas arriba, mientras que el material de soporte (c) está dispuesto aguas abajo.

En una realización alternativa, la invención se refiere a un material compuesto como se describe en la presente memoria en forma de un material en partículas. Típicamente, el tamaño de partículas de dicho material está en el intervalo de 1 micrómetro a 5 milímetros. Este material en partículas comprende los constituyentes (a) y (b), y puede o no comprender el constituyente (c); típicamente no hay material de soporte (c). Dichos materiales se pueden usar en filtros de profundidad. En consecuencia, la invención también proporciona un dispositivo filtrante que comprende dicho material compuesto, típicamente filtros de profundidad.

Fabricación: los materiales compuestos de la invención son sencillos en la fabricación, utilizando materiales de partida fácilmente disponibles. Esto se considera una gran ventaja, ya que permite un solo uso. La invención proporciona, por lo tanto, un método para fabricar un material compuesto como se describe en la presente memoria, comprendiendo dicho método las etapas de (a) combinar agua, fibrillas amiloides y carbón activado para obtener una suspensión; y (b) filtrar dicha suspensión a través de un material de soporte poroso. La fabricación puede tener lugar a temperatura ambiente, o a temperaturas ligeramente elevadas. Típicamente, se proporciona primero una suspensión acuosa de fibrillas amiloides, se agrega carbón activado como un material sólido mientras se agita. Para cierta aplicación, el material compuesto así obtenido se puede usar directamente. De manera alternativa, el material compuesto obtenido se filtra a través de un material de soporte para obtener un material compuesto de los constituyentes (a), (b) y (c).

La síntesis de fibrillas amiloides es una tecnología conocida. En particular, es adecuada la hidrólisis de proteínas seguida de fibrilación dirigida por láminas beta, como se describe, por ejemplo, en Jung *et al.*, (*Biomacromolecules*. 2008, 9, 2477 - 2486). Los materiales de partida adecuados son proteínas de calidad alimentaria, que son estables estructuralmente, de amplio acceso y de bajo coste. Dichos materiales de partida permiten la preparación de fibrillas amiloides, tales como β-lactoglobulina. Las proteínas adecuadas se pueden seleccionar del grupo que consiste en β-lactoglobulina, lisozima, ovoalbúmina, y albúminas de suero. El procedimiento de autoensamblaje es fácil y controlable. Los parámetros de procedimiento típicos incluyen una disolución de proteína en incubación (por ejemplo, 2% en peso de β-lactoglobulina) durante un período de tiempo prolongado (por ejemplo, 5 h) en condiciones ácidas (por ejemplo, pH ~ 2), baja fuerza iónica (por ejemplo, I ≤ 20 mM), alta temperatura (por ejemplo, T ~ 90ºC).

Uso: Como se indicó anteriormente, los materiales compuestos son útiles en el tratamiento de aguas. Por lo tanto, la invención proporciona el uso de un material compuesto o un filtro como se describe en la presente memoria, para el tratamiento de aguas (tal como, por ejemplo, la reducción del contenido de metales en dichas aguas), particularmente para la purificación de aguas y/o para la recuperación de metales de disoluciones acuosas. Los materiales compuestos son útiles para el tratamiento tanto de aguas residuales municipales como de aguas residuales industriales. El experto en la técnica podrá apreciar, y además se detallará a continuación, que los términos "filtrar" y "filtración" se usan en un sentido amplio, que incluye particularmente la eliminación de impurezas disueltas del agua o de composiciones acuosas. Dichas impurezas incluyen compuestos disueltos de Au, Pd, Pt, Rh, Ru, Ir, Hg, así como compuestos complejos tales como Au (CN) 4^-. Típicamente, la reducción de impurezas, tal como los metales disueltos, está en el intervalo del 95% o más.

En un segundo aspecto, la invención se refiere a un método para el tratamiento de aguas (tal como aguas residuales), comprendiendo dicho método la etapa de poner en contacto dichas aguas con un material compuesto que comprende fibrillas amiloides y carbón activado, y separar las agua tratadas de dichas fibrillas amiloides. Este aspecto de la invención se explicará con más detalle a continuación:

La expresión aguas residuales es conocida en el campo y se relaciona con las aguas que contiene impurezas. En consecuencia, la expresión "aguas tratadas" se refiere a aguas que contienen una cantidad menor de dichas impurezas. Las aguas residuales incluyen aguas residuales municipales y aguas residuales industriales. Las aguas residuales industriales normalmente se producen durante los procedimientos de fabricación como un subproducto y contienen típicamente impurezas bien conocidas.

El término impurezas, más generalmente materiales no deseados, se conoce en el campo, y particularmente incluye metales. Los metales pueden estar presentes en oxidación +/- 0 (es decir, en forma elemental, coloide) o en estado de oxidación positiva (es decir, en forma de sal o complejados con ligandos). El método descrito en la presente memoria es adecuado para metales de transición, lantánidos, actinoides, metales del 3º, 4º, 5º grupo principal. El método descrito en la presente memoria es particularmente adecuado para metales que tienen un potencial estándar positivo, tales como Cu, Ag, Au, Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir, Cd, Hg; Se obtienen particularmente buenos resultados para Au, Pd, Pt, Hg, Pb.

El tratamiento de aguas incluye particularmente la eliminación de impurezas de agua residuales y el aislamiento de materiales deseados a partir de composiciones acuosas (disoluciones, suspensiones, emulsiones). Mediante el procedimiento de la invención, es posible eliminar (reciclar) más del 95% de las impurezas en un solo ciclo de tratamiento. El método como se describe en la presente memoria tiene un espectro de aplicación extremadamente amplio e incluye la purificación de aguas industriales, la extracción de metales, la recuperación de metales pesados, el control de la contaminación y el reciclado de metales. Las impurezas se reducen significativamente con el método de la presente invención, típicamente 200 veces, a menudo más.

En una realización, la invención proporciona el tratamiento de aguas, comprendiendo dicho método la etapa de (a) proporcionar un material compuesto según se define en la presente memoria y agua residual; (b) poner en contacto dicha agua residual con dicho material compuesto, obteniendo de este modo agua purificada y material compuesto cargado; (c) separar el agua purificada del material compuesto cargado.

En una realización adicional, la invención proporciona un método para recuperar metales de una disolución acuosa, comprendiendo dicho método las etapas de (a) proporcionar un material compuesto como se define en la presente memoria y una disolución acuosa que contiene iones metálicos; (b) poner en contacto dicha solución acuosa con el material compuesto, obteniendo así agua purificada y material compuesto cargado; (c) separar el agua purificada del material compuesto cargado; y (d) oxidar el material compuesto cargado en un ambiente de alta temperatura para obtener metales elementales y cenizas; (e) separar el metal elemental de la ceniza.

Las etapas individuales anteriormente indicadas son completamente convencionales en el campo, pero todavía no se han aplicado usando el material compuesto como se describe en la presente memoria y aún no se han aplicado a las aguas residuales como se analizó anteriormente. Las realizaciones ventajosas de las etapas anteriores se analizarán con detalle a continuación.

En una realización, el material compuesto se puede proporcionar en forma de un filtro y el agua residual se puede proporcionar de manera continua. Las etapas (b) y (c) se pueden llevar a cabo simultáneamente al filtrar dicha agua residual a través de dicho filtro. Como se indicó anteriormente, el filtrado también incluye la eliminación de las impurezas disueltas.

En una realización alternativa, el material compuesto se puede proporcionar en forma de material en partículas en la etapa (a). En la etapa (b), el agua residual y dicho material compuesto se ponen en contacto durante un período de tiempo prolongado, por ejemplo, de 20 s a 24 h, opcionalmente con agitación. De manera alternativa, la temperatura se controla, por ejemplo, en un intervalo de 5 a 95ºC. En la etapa (c) los materiales obtenidos se separan por métodos conocidos, por ejemplo, por filtración, centrifugación o decantación. En esta realización, las etapas (b) y (c) se repiten opcionalmente.

En la etapa (d) la oxidación puede tener lugar en un horno, a temperaturas adecuadas para permitir la oxidación de las fibrillas, el material de soporte (si está presente) y la reducción de las impurezas metálicas. Son adecuadas las temperaturas en el intervalo de 600-1.200ºC, tal como 700ºC. Los tiempos de reacción adecuados están en el intervalo de 0,1-12 horas, tal como 3 horas.

En la etapa (e) las impurezas eliminadas se pueden separar de las impurezas aisladas. Se puede emplear cualquier método adecuado en este campo, particularmente métodos para separar materiales sólidos de diferente densidad y/o humectabilidad. En una realización, la separación en la etapa (e) se realiza por flotación, opcionalmente con la ayuda de ultrasonidos. En una realización alternativa, la separación en la etapa (e) se realiza por flotación en aire, opcionalmente con la ayuda de ultrasonidos.

El experto en la técnica apreciará que el método descrito en la presente memoria proporciona ventajas significativas sobre la técnica anterior: en primer lugar, el método es económico, sencillo, seguro, sólido y rápido. En segundo lugar, una ampliación es sencilla. Finalmente, el método se puede ajustar utilizando varios ciclos, adaptando el material compuesto utilizado y otros parámetros.

Para ilustrar mejor la invención, se proporcionan los siguientes ejemplos. Estos ejemplos se proporcionan sin intención de limitar el alcance de la invención.

Ejemplo 1: recuperación de Au de la disolución Au $(CN)_4^-$:

1.1 Preparación de material compuesto

Se mezclan 0,5 g de carbón activado con 0,5 ml de una disolución de fibrillas de proteína (pH 2) de beta-lactoglobulina al 2% en peso (véase el documento de patente PCT/CH2014/000014) a temperatura ambiente. Esta disolución se filtra al vacío usando una membrana de filtro de celulosa de 0,22 micrómetros. La notable adhesividad y rigidez de las fibrillas de proteína permiten el montaje de carbón activado en las fibrillas. El filtro de celulosa revestido así obtenido se usa en la siguiente etapa.

1.2 Contacto y separación ("Filtración" de Au $(CN)_4^-$)

Se filtraron 50 ml de agua residual industrial, que contenía 30 mg/l de Au (presente como Au $(CN)_4^-$, determinado por AAS) a través del filtro de la etapa 1.1 usando filtración a vacío. El agua purificada ahora contiene, después de pasar una sola vez a través del filtro, 0,105 mg/l de Au (determinado por el mismo método AAS). Esto corresponde a una reducción del 99,65% y muestra la velocidad de absorción extremadamente alta del material compuesto de la invención.

1.3 Oxidación del material compuesto cargado

El material compuesto cargado se coloca en un horno durante 3 horas @ 750ºC. Después de enfriar hasta la temperatura ambiente, el color de la muestra cambió de negro a rojo. Esto indica la formación de material nanoparticulado. Carbón activado convertido en cenizas.

1.4 Separación de oro elemental

El material obtenido de la etapa anterior se mezcla con agua destilada y se somete a sonicación @ 100 Hz/15 min. Flotaron las partículas de oro sedimentadas en el fondo y la ceniza. Se elimina la ceniza y se repite el ciclo de eliminación por sonicación. Las partículas obtenidas contienen oro elemental, según se confirma mediante AAS, y son prácticamente no tóxicas y se pueden usar para otras aplicaciones.

1.5 Preparación de cristales de oro conductores

El material obtenido de la etapa anterior se combina con 0,2% en peso de disolución de fibrilla de beta-lactoglobulina, la Figura 1 muestra una imagen de AFM del mismo. Este material se combina con ácido cloroáurico 0,01 M y se calienta a 60ºC/12 h para producir monocristales de oro conductores. Los cristales de oro así obtenidos tienen estructuras hexagonales, triangulares y poliédricas, véase la Figura 2.

Ejemplo 2: recuperación de contaminantes de metales pesados tóxicos:

2.1 Preparación del material compuesto

Las membranas filtrantes de material compuesto híbrido se preparan para absorber los contaminantes de metales pesados tóxicos. Inicialmente, se mezclaron 5 ml de disolución de carbón activado al 10% en peso con 0,5 ml de la disolución de fibrillas de proteína (pH 2) de β-lactoglobulina al 2% en peso. Se filtra al vacío 1 ml de la disolución anterior usando un filtro de celulosa de 0,22 µm. El comportamiento de adherencia y rigidez extremas de la fibrilla de proteína permite el montaje de carbón activado en una membrana de filtración de material compuesto homogéneo. Estas membranas de filtración son muy útiles para absorber los contaminantes de iones de metales pesados, así como para la recuperación de los costosos metales pesados presentes en los contaminantes ambientales.

2.2 Puesta en contacto y separación

Después de preparar esta membrana filtrante de material compuesto que tiene las fibrillas de proteína y el carbón activado, los 50 ml de disolución de iones de metales pesados tóxicos se hacen pasar a través de esta membrana de material compuesto usando un método de filtración al vacío.

Las concentraciones de los contaminantes ambientales se calcularon antes y después de la filtración para determinar la absorción de iones de metales pesados tóxicos dentro de la membrana filtrante.

Los detalles de la eficiencia de filtración y absorción de diversos contaminantes ambientales tóxicos dentro de estas membranas filtrantes híbridas se analizan a continuación.

2.3 Resultados:

Se filtró la disolución de cloruro de mercurio (pH 4). Las mediciones de AAS estimaron que la concentración del átomo de mercurio se reduce desde las 84 ppm iniciales hasta < 0,4 ppm después de la filtración.

La disolución de acetato de plomo (pH 3,7) también se filtró y la concentración del plomo se calculó mediante AAS, antes y después del procedimiento de filtración. Dado que la concentración de la disolución de plomo antes de la filtración es superior a nuestra curva de calibración AAS disponible, la disolución inicial no filtrada se diluye 20 veces para la medición. Las concentraciones de átomos de plomo se reducen de 65 ppm a < 0,02 ppm después de la filtración. Se observa un cambio en el color de la disolución antes y después de la filtración. La disolución se volvió completamente incolora debido a la absorción de átomos de plomo dentro de la membrana filtrante.

El tetracloruro de paladio disódico también se filtró para mostrar la generalidad de este enfoque de filtración y demostrar la filtración del contaminante de metales pesados. Las concentraciones de las disoluciones se miden por espectroscopía de absorción UV-Vis. Las concentraciones se redujeron de 12,2 ppm a < 0,16 ppm después del procedimiento de filtración.

Basándose en los resultados anteriores, se observó que el método de la invención es generalmente aplicable. Particularmente, se filtran diferentes tipos de contaminantes de metales pesados usando el material compuesto de la invención. Por consiguiente, el método de la invención es adecuado para absorber diversos contaminantes ambientales de metales pesados tóxicos. Especialmente, el cianuro doble de potasio y oro [$KAu(CN)_2$], el cloruro de mercurio [$HgCl_2$], el acetato de plomo [$Pb(C_2H_3O_2)_4$], el tetracloruro de paladio disódico [Na_2PdCl_4] se pueden eliminar y recuperar de manera eficiente.

REIVINDICACIONES

1. Un material compuesto que comprende

(a) fibrillas amiloides;

(b) carbón activado;

(c) opcionalmente un material de soporte;

por lo que dichas fibrillas amiloides y dicho carbón activado están en contacto íntimo.

2. El material compuesto de acuerdo con la reivindicación 1, donde

(a) las fibrillas amiloides se seleccionan entre fibrillas que tienen un diámetro ≤ 10 nm y una longitud ≥ 1 μm y/o que muestran movilidades electroforéticas del orden de 2 μm·cm/V·s a pH 4; y/o

(b) el carbón activado se selecciona de carbón activado obtenido por activación química y/o física; y/o

(c) el material de soporte, si está presente, se selecciona de materiales de soporte porosos.

3. El material compuesto de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, seleccionado de

- una membrana filtrante, que comprende los constituyentes (a), (b) y (c); o
- un material particulado, que comprende los constituyentes (a) y (b), pero no el material de soporte (c).

4. El material compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la relación (a) / (b) está en el intervalo de 1 / 1 a 1 / 100 (p / p).

5. Un filtro, que comprende un material compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

6. Un método para fabricar un material compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, comprendiendo dicho método las etapas de

(a) combinar agua, fibrillas amiloides y carbón activado para obtener una suspensión; y

(b) filtrar dicha suspensión a través de un material de soporte poroso.

7. Uso de un material compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, o un filtro de acuerdo con la reivindicación 5, para el tratamiento de aguas y/o para la recuperación de metales.

8. El uso de acuerdo con la reivindicación 7, en donde

- dicho tratamiento de agua comprende la reducción del contenido de metal en dicha agua; y/o
- dicha agua es agua residual municipal o agua residual industrial.

9. El uso de acuerdo con la reivindicación 7, en donde

- dicho metal se selecciona de Au, Pd, Pt, Rh, Ru, Ir; y/o
- dicho metal se selecciona de Au, Pd, Pt, Hg, Pb; y/o
- dicha reducción es del 95% o más.

10. Un método para el tratamiento de aguas, comprendiendo dicho método las etapas de

(a) proporcionar un material compuesto de acuerdo con las reivindicaciones 1 - 4 y agua residual;

(b) poner en contacto dicha agua residual con dicho material compuesto, obteniendo de este modo agua purificada y material compuesto cargado;

(c) separar el agua purificada del material compuesto cargado.

11. Un método para recuperar metales de una disolución acuosa, comprendiendo dicho método las etapas de

(a) proporcionar un material compuesto de acuerdo con las reivindicaciones 1 - 4 y una disolución acuosa que contiene iones metálicos;

(b) poner en contacto dicha disolución acuosa con el material compuesto, obteniendo de este modo agua purificada y material compuesto cargado;

(c) separar el agua purificada del material compuesto cargado; y

(d) oxidar el material compuesto cargado en un ambiente de alta temperatura para obtener metales elementales y cenizas;

(e) separar el metal elemental de la ceniza.

12. El método de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, en donde

▪ en la etapa (a), el material compuesto se proporciona en forma de filtro; y

▪ las etapas b y c se realizan filtrando dichas aguas residuales a través de dicho filtro.

13. El método de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, en donde

▪ en la etapa (a), el material compuesto se proporciona en forma de material en partículas; y/o

▪ en la etapa (b), dicha agua residual y dicho material compuesto se ponen en contacto durante un período de tiempo de 20 segundos a 24 horas, opcionalmente con agitación, a un intervalo de temperatura de 5 a 95ºC; y/o

▪ en la etapa (c) los materiales obtenidos se separan mediante filtración, centrifugación o decantación; y

▪ por lo cual las etapas (b) y (c) se repiten opcionalmente.

14. El método de acuerdo con la reivindicación 11, en donde

▪ en la etapa (d) la oxidación tiene lugar en un horno, a temperaturas en el intervalo de 600 a 1.200ºC;

▪ en la etapa (e), la separación se realiza mediante flotación o flotación en aire, opcionalmente con la ayuda de ultrasonidos.

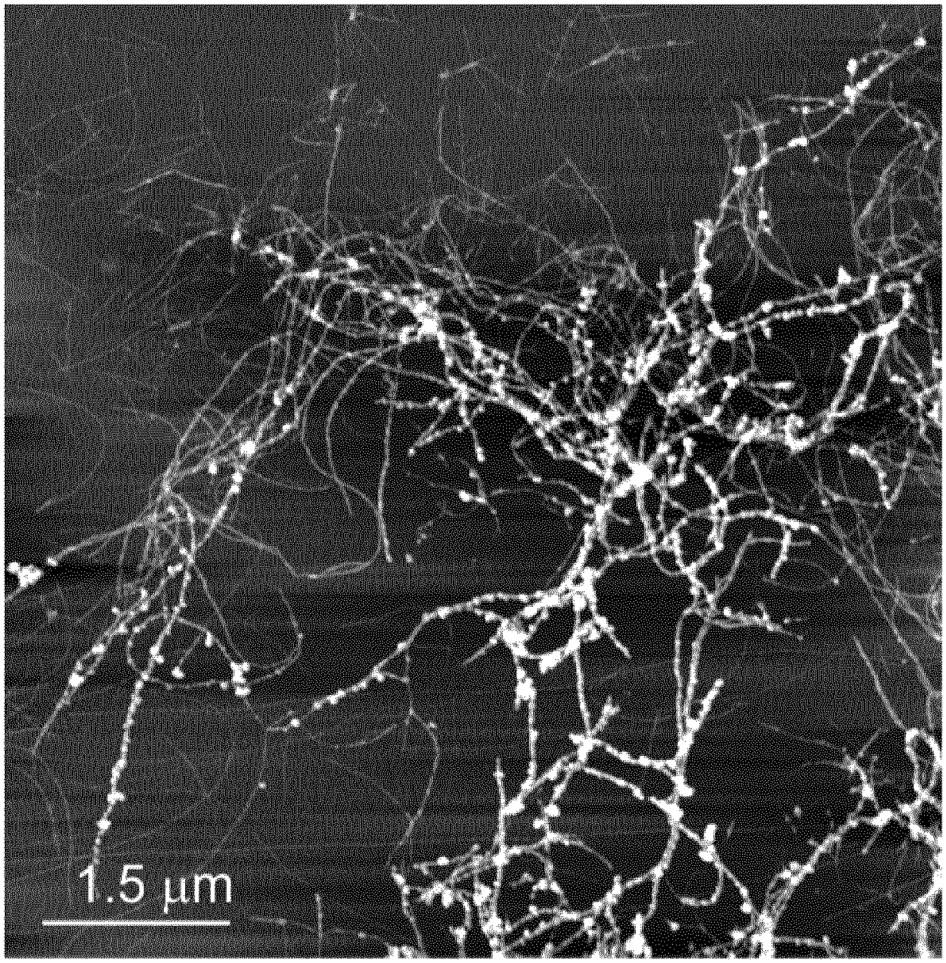

Fig. 1

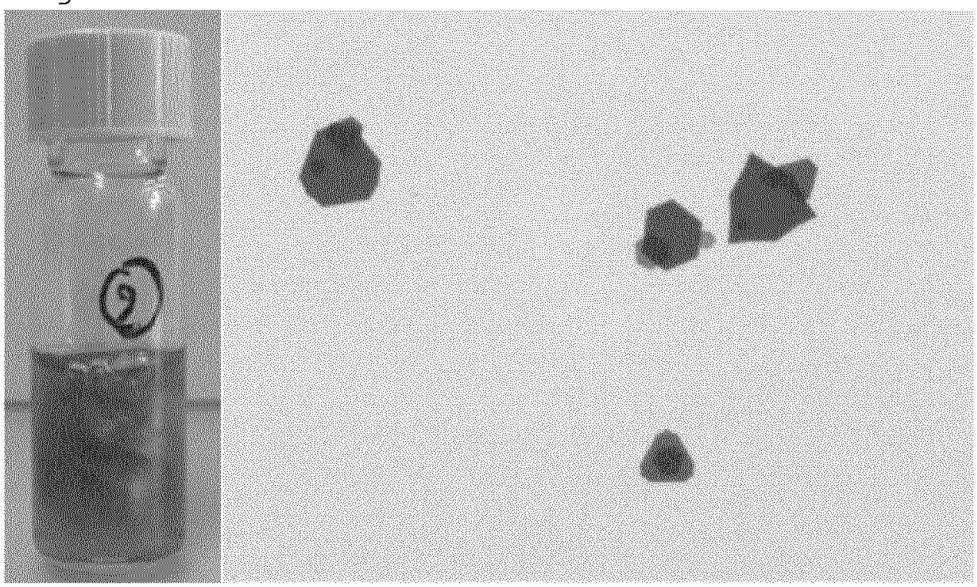

Fig. 2