

MATERIALES Y MÉTODOS PARA RECUPERAR METALES DE MINERAL
REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

[0001] Esta solicitud reclama el beneficio de prioridad de la solicitud provisional de EE. UU. n.º 63/352,672, presentada el 16 de junio de 2022, que se incorpora aquí como referencia en su totalidad.

REFERENCIA A UN LISTADO DE SECUENCIAS ELECTRÓNICO

[0002] El contenido del listado de secuencias electrónico (3RCS_002_02WO_SeqList_ST26.xml; tamaño: 7030 bytes; y fecha de creación: 16 de junio de 2023) se incorpora en su totalidad al presente documento mediante referencia.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[0003] El mineral obtenido de una mina generalmente comprende uno o más metales de valor comercial. Por ejemplo, el mineral de laterita contiene níquel y cobalto, que son metales que pueden alcanzar un precio elevado en el mercado de materias primas debido a sus aplicaciones industriales. Los principales usos del níquel incluyen la producción de acero inoxidable, baterías recargables de níquel-cobalto-aluminio (NCA), níquel-cobalto-manganeso (NCM) y NiCad, y la producción de otros equipos electrónicos e informáticos.

[0004] Sin embargo, en algunos minerales el metal está presente en forma estable o en cantidades muy pequeñas, lo que puede hacer que el proceso de extracción sea difícil y costoso. Este es el caso de las lateritas de níquel, que son muy estables y contienen niveles relativamente bajos de níquel y cobalto. Además, la mayoría de las reservas no se pueden concentrar, por lo que es necesario procesar todo el mineral para extraer el níquel y/o el cobalto. Como resultado de estos y otros desafíos, los procesos actuales para eliminar níquel y cobalto de dichos minerales, particularmente a escala industrial, dependen de tratamientos de procesamiento agresivos que amplifican los costos, las huellas ambientales y aumentan las dificultades técnicas.

[0005] En consecuencia, a falta de tecnologías mejoradas, existe una preocupación generalizada en la industria sobre la viabilidad técnica y económica del procesamiento de laterita de níquel y otros minerales de óxido.

[0006] La presente invención aborda estas y otras necesidades no satisfechas.

COMPENDIO

[0007] En general, la presente descripción se refiere a un nuevo método para recuperar níquel y/o cobalto de un mineral de óxido mediante un proceso que comprende la disolución reductora de minerales de óxido férrico. La presente descripción también se refiere a un nuevo método para extraer y recuperar níquel y/o cobalto de un mineral de óxido mediante un proceso que comprende la disolución reductora de minerales de óxido férrico.

[0008] En algunas modalidades, la presente descripción proporciona un proceso para lixiviar níquel y/o cobalto de un mineral de óxido que comprende hierro, comprendiendo el proceso: (a) combinar (i) uno o más microorganismos, (ii) una mezcla de sustrato, (iii) el mineral de óxido, (iv) un ligando opcional, y (v) una fase acuosa para formar una mezcla; (b) mantener la mezcla de la etapa a) durante un período de tiempo predeterminado en condiciones suficientes para reducir al menos parcialmente una cantidad de hierro férrico en el mineral a hierro ferroso, en donde el hierro ferroso y uno o más metales se solubilizan en la fase acuosa; y (c) aislar la fase

acuosa como una solución de lixiviación que comprende el hierro ferroso y una cantidad de níquel y/o cobalto disueltos, de la mezcla.

[0009] En algunas modalidades, el uno o más microorganismos se seleccionan del grupo que consiste en *Thermincola potens* JR (NC_014152.1), *Listeria monocytogenes* (NC_003210.1),
5 *Clostridium celerecrecens* (NZ_PGET01000001.1), *Bacillus infernus*, *Bacillus subterraneus*, *Bacillus pseudormus* MC02, *Bacillus subterraneus*, *Thermoanaerobacter siderophilus* (NZ_CM001486.1), *Carboxydotherrmus ferrireducens* (NZ_ATYG01000001.1), *Carboxydotherrmus siderophilus*, *Carboxydotherrmus pertinax* (NZ_BDJK01000055.1), *Carboxydocella thermautotrophica* (NZ_CP028491.1), *Moorella humiferrea*
10 (NZ_PVXM01000006.1), *Geosporobacter ferrireducens* IRF9, *Thermotalea metallivorans* B2-1(T), *Pelosinus fermentans*, *Thermotoga maritima* (NC_023151.1), *Sinirhodobacter ferrireducens* (NZ_SAVB01000001.1), *Acidiphilium SJH*, *Acidiphilium PK40*, *Acidiphilium PK46*, *Acidiphilium KPWI4*, *Acidiphilium cryptum* JF-5, *Acidocella facilis*, *Acidocella M21*, *Acidocella PFBC*, *Acidocella PWB4*, *Shewanella putrefaciens* (NZ_CP066370.1), *Shewanella oneidensis*
15 MR-1 (NC_004347.2), cepa de alga *Shewanella BrY* (NZ_CP046378.1), *Shewanella amazonensis* sp. nov., *Shewanella putrefaciens* IR-1, *Shewanella* sp. HN-41, *Shewanella putrefaciens* CN-32, *Shewanella putrefaciens* 200R, *Shewanella oneidensis* MR-1, *Shewanella baltica* W3-6-1, *Shewanella* sp. PV-4, *Shewanella peizotolerans* WP3, *Shewanella decolorationis*, *Shewanella frigidimarina*, *Shewanella gelidimarina*, *Shewanella loihica*,
20 *Shewanella pealeana*, *Serratia plymuthica* (NC_015567.1), *Serratia fonticola* (NZ_CP011254.1), *Aeromonas hydrophila* (NZ_CP050851.1), *Klebsiella oxytoca* (NZ_CP033844.1), *Ferrimonas balearica* (NC_014541.1), aislado similar a *Frateuria* WJ2, *Desulfovibrio ferrofilo* (NZ_AP017378.1), *Desulfuromusa ferrireducens*, *Desulfuromonas svalbardensis*, *Desulfuromonas acetoxidans* (JABWTG01), *Geobacter sulfurreducens*
25 (NC_002939.5), *Geobacter bemidjiensis* (NC_011146.1), *Geobacter metallireducens* (NC_007517.1), cepa *Geobacter pelophilus* Dfr2 (NZ_JAHCJVJ010000001.1), *Geobacter daltonii* (NC_011979.1), *Geobacter capillalei* (NZ_JAHDYS010000001.1), *Geobacter psychrophilus* sp. nov., *Geobacter bremensis* sp. nov., *Geobacter lovleyi* sp. nov. Cepa SZ, *Geobacter luticola*, *Geobacter pickeringii*, *Geobacter argillaceus*, *Geobacter uraniireducens*,
30 *Desulfosediminicola ganghwensis* (NZ_CP050699.1), *Desulfosediminicola flagellatus* (NZ_CP050698.1), *Anaeromyxobacter dehalogenans* (NC_011891.1), Cepa de *Anaeromyxobacter* FAc12, *Geoalkalibacter subterraneus* (NZ_CP010311.1), *Geoalkalibacter ferrihydriticus* (NZ_FNGU01000001.1), *Rhodoferax ferrireducens* (NC_007908.1), *Ferribacterium limneticum* (NZ_CP075189.1), *Geothrix fermentans* (NZ_KE386810.1),
35 *Geovibrio ferrireducens*, *Deferribacter thermophilus*, *Pyrobaculum islandicum* (NC_008701.1), *Pyrodictium abyssi*, *Methanopyrus kandleri* (NC_003551.1), *Archaeoglobus fulgidus* (NZ_CP006577.1), *Pyrococcus furiosus* (NZ_CP023154.1), *Methanococcus thermolithotrophicus* (NZ_AQXV01000055.1), *Ferroglobus placidus* (NC_013849.1), *Geoglobus acetivorans* sp. nov., *Acidobacterium capsulatum*, *Acidobacterium PK35*, *Acidobacterium RIT23*,
40 *Acidobacterium* WJ7, *Telmatospirillum* (género alfaproteobacteriano) (PRJNA561022), *Sideroxydans lithotrophicus* ES-1, *Magnetospirillum magnético* AMB-1, *Candidatus Tectomicrobia*, *Candidatus Zixibacteria*, *Candidatus Tectomicrobia*, *Candidatus Dadabacteria*,

- Candidatus Handelsmanbacteria*, *Carboxydotherrnus hydrogenoformans*, *Carboxydotherrnus islandicus*, *Telmatospirillum siberiense*, *Nitrosococcus halophilus*, *Skermanella stibiirensistens*, *Insolitispirillum peregrinum*, *Magnetospirillum magneticum*, y mezclas de los mismos. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son mutantes genéticos del mismo. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos es una *Shewanella* spp. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son *Shewanella putrefaciens* IR-1, *Shewanella putrefaciens* CN-32 o *Shewanella putrefaciens* 200R. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son *Shewanella putrefaciens* 200R. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son *Shewanella oneidensis* MR-1.
- 5
- 10 **[0010]** En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son transgénicos. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son transgénicos y están modificados para expresar genes extraños que codifican citocromos de membrana externa. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son transgénicos y están modificados para expresar genes extraños que codifican OmcS. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son transgénicos y están modificados para expresar genes extraños que codifican OmcS de *Geobacter sulfurreducens*. En algunas modalidades, el organismo transgénico y modificado es una *Shewanella* spp. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son *Shewanella oneidensis* MR-1 modificado para expresar OmcS. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son *Shewanella oneidensis* MR-1
- 15
- 20 modificados para expresar heterológamente OmcS y uno o más genes que mejoran la producción de flavina. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son la cepa C5 de *Shewanella oneidensis*, que está modificada para expresar de forma heteróloga los genes *ribAEDHC* de *Bacillus subtilis*. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son la cepa C5 de *Shewanella oneidensis* modificada para expresar OmcS. En algunas modalidades, la cepa modificada con C5 es la cepa C5-OS₁, C5-OS₂₀ C5-OS₃ descrita en Lin, T., et al. “Simultaneous heterologous expression of cytochrome OmcS and improved flavin biosynthesis to enhance extracellular electron exchange in *Shewanella oneidensis*”, revista electrónica SSRN, publicada el 13 de abril de 2022, que se incorpora en el presente documento como referencia en su totalidad.
- 25
- 30 **[0011]** En algunos aspectos, el proceso comprende además: (d) poner en contacto la solución de lixiviación del paso (c) con un conjugado que comprende un péptido y una perla de poliestireno (PS) durante un período de tiempo en condiciones que forman un complejo de ión metálico conjugado, en donde el péptido está configurado para unirse selectivamente al níquel y/o cobalto; (e) aislar el complejo de ión metálico conjugado del paso (d); (f) eluir el uno o más iones metálicos del complejo de ión metálico conjugado lavando el complejo con ácido, formando así una solución; (g) transferir la solución del paso (f) que comprende los iones metálicos a un circuito de electroobtención; (h) aplicar una corriente eléctrica a través de la solución del paso (f) que comprende los iones metálicos; (i) recolectar el uno o más metales resultantes en una superficie de un cátodo; y (j) recuperar el uno o más metales del cátodo.
- 35
- 40 **[0012]** En algunas modalidades, la mezcla de sustrato comprende un agente reductor. En algunas modalidades, la mezcla de sustrato comprende productos de desecho carbonoso, azufre elemental, sustancias que contienen formas de azufre parcialmente reducidas o mezclas

de los mismos. En algunas modalidades, la mezcla de sustrato comprende melaza, azúcar, azúcar de remolacha, azúcar de caña, dextrosa hidrolizada de maíz, dextrosa hidrolizada de almidón de maíz, materiales que contienen sacarosa, productos de fermentación de los mismos o mezclas de los mismos.

5 **[0013]** En algunas modalidades, el mineral de óxido es un mineral de laterita. En algunas modalidades, el mineral de óxido es un mineral de laterita de níquel. En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende aproximadamente 0,1 % a aproximadamente 15 % en peso de níquel. En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende aproximadamente 0,1 % a aproximadamente 2 % en peso de cobalto. En algunas modalidades, el mineral de óxido
10 comprende además cromo y/o manganeso. En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende además elementos de tierras raras y/o escandio y/o elementos del grupo del platino. En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende además elementos de tierras raras y/o elementos del grupo del platino.

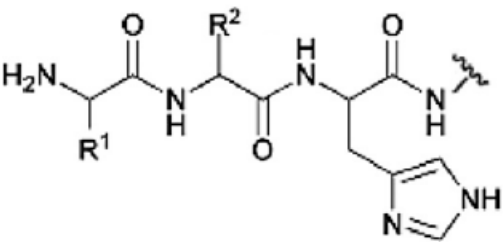
[0014] En algunas modalidades, la mezcla del paso (a) comprende además un ligando. En algunas modalidades, el ligando es un ácido orgánico o una combinación de ácidos orgánicos. En algunas modalidades, el ligando es un ácido orgánico seleccionado del grupo que consiste en ácido málico, ácido láctico, ácido glucónico, ácido pirúvico, ácido succínico, ácido cetoglutárico, ácido oxálico, ácido fumárico, ácido cítrico, ácido acético, ácido malónico, ácido salicílico, ácido acetohidroxámico, ácido mugineico, ácido benzoico, ácido hidroxámico y una
15 combinación de los mismos. En algunas modalidades, el ligando es un ácido orgánico seleccionado del grupo que consiste en ácido málico, ácido láctico, ácido glucónico, ácido pirúvico, ácido succínico, ácido cetoglutárico, ácido oxálico, ácido fumárico, ácido cítrico y una combinación de los mismos.

[0015] En algunas modalidades, la mezcla del paso (a) comprende además una lanzadera de electrones. En algunas modalidades, la lanzadera de electrones es un compuesto orgánico o una combinación de compuestos orgánicos. En algunas modalidades, la lanzadera de electrones es un compuesto orgánico seleccionado del grupo que consiste en flavinas (incluidos los compuestos que contienen heterociclo tricíclico isoaloxazina o su isómero aloxazina, y derivados de los mismos), quinonas, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y biocarbón, o una
20 combinación de los mismos.

[0016] En algunas modalidades, la fase acuosa del paso (a) comprende un tampón para mantener un nivel de pH apropiado. En algunas modalidades, el tampón mantiene un pH de aproximadamente 5 a 9. En algunas modalidades, el tampón mantiene un pH de aproximadamente 5 a 8.

35 **[0017]** La presente invención también proporciona conjugados que comprenden un péptido y una perla de poliestireno (PS). En algunas modalidades, el péptido comprende la estructura: -NH- X_{AA1} - X_{AA2} -His-, en donde X_{AA1} y X_{AA2} son cada uno independientemente un residuo de aminoácido distinto de histidina. En algunas modalidades, el péptido comprende la estructura: -NH- X_{AA1} - X_{AA2} -His- X_{AA3} , en donde X_{AA1} , X_{AA2} , y X_{AA3} son cada uno independientemente un
40 residuo de aminoácido distinto de histidina. En algunas modalidades, X_{AA1} y X_{AA2} son cada uno independientemente un residuo de un aminoácido natural o no natural. En algunas modalidades, X_{AA1} y X_{AA2} son cada uno independientemente un residuo de un aminoácido

natural. En algunas modalidades, X_{AA1} y X_{AA2} son cada uno independientemente un residuo de glicina, alanina, valina, leucina, isoleucina, serina, treonina, ácido aspártico, asparagina, ácido glutámico, glutamina, lisina, hidroxilisina, histidina, arginina, ornitina, fenilalanina, tirosina, triptófano, cisteína, metionina o α-hidroximetilserina. En algunas modalidades, -NH-X_{AA1}-X_{AA2}-His- se selecciona del grupo que consiste en: -HN-DAH, -HN-DTH, -HN-VIH, -HN-MDH, -HN-RFH, -HN-RTH, -HN-HSH, -HN-GGH, -HN-GKH, -HN-KGH, -HN-KKH, -HN-YYH, -HN-MNH, -HN-kGH, -HN-kKH, -HN-GkH y -HN-kkH. En algunas modalidades, X_{AA3} es un residuo de lisina. [0018] En algunas modalidades, el conjugado de la presente descripción tiene la estructura:



, en donde R¹ y R² son cada uno independientemente H o una cadena lateral de un aminoácido. En algunas modalidades, la cadena lateral está cargada positivamente. En algunas modalidades, la cadena lateral comprende un resto de amina o guanidina. En algunas modalidades, R¹ y R² son cada uno independientemente la cadena lateral de un residuo de lisina, ornitina, arginina u homoarginina.

[0019] En algunas modalidades, los péptidos de la presente descripción están configurados para unirse selectivamente al níquel. En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad por el níquel sobre el hierro que es mayor que 3:1, mayor que 5:1, mayor que 7:1 o mayor que 10:1. En algunas modalidades, el péptido tiene una afinidad de unión por Ni^{II} de aproximadamente 1 x 10⁻¹⁶ a aproximadamente 1 x 10⁻⁸ M⁻¹.

[0020] En algunas modalidades, los péptidos de la presente descripción están configurados para unirse selectivamente al cobalto. En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad por el cobalto sobre el hierro que es mayor que 3:1, mayor que 5:1, mayor que 7:1 o mayor que 10:1. En algunas modalidades, el péptido tiene una afinidad de unión por Co^{II} de aproximadamente 1 x 10⁻¹⁶ a aproximadamente 1 x 10⁻⁸ M⁻¹.

[0021] En algunas modalidades, el proceso comprende además la eliminación de hierro de la solución de lixiviación a través de una combinación de aireación, ajustes de pH y/o precipitación selectiva.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0022] La Fig. 1A-1D muestra la reducción a corto plazo de materiales derivados de laterita (Fig. 1A, Fe; Fig. 1B, Ni; Fig. 1C, Mn; Fig. 1D, Co) por *Shewanella putrefaciens* 200R, en reactores discontinuos (con y sin modificación de citrato) de acuerdo con un proceso de lixiviación de la presente descripción.

[0023] La Fig. 2 muestra la reducción a largo plazo de materiales derivados de laterita por *Shewanella putrefaciens* 200R, en reactores de flujo continuo modificados con citrato de acuerdo con un proceso de lixiviación de la presente descripción.

[0024] La Fig. 3 es un esquema que muestra opciones de circuito de lixiviación no limitantes de la presente descripción.

[0025] La Fig. 4A es un esquema que muestra una síntesis de los conjugados descritos (“perlas

IX”) que comprenden un péptido y poliestireno recubierto de PEG (perla PS). **La Fig. 4B** muestra la complejación de iones Ni^{2+} con un conjugado de la presente descripción obtenido poniendo en contacto el conjugado con los iones metálicos disueltos en una solución de lixiviación cargada.

5 **[0026]** Las Fig. 5A a 5G proporcionan diagramas de flujo de procesos no limitantes abarcados por la presente descripción para recuperar uno o más metales de un mineral de óxido.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0027] Definiciones

10 **[0028]** El término “aproximadamente” cuando precede inmediatamente a un valor numérico significa $\pm$ hasta el 20 % del valor numérico. Por ejemplo, “aproximadamente” un valor numérico significa $\pm$ hasta el 20 % del valor numérico, en algunas modalidades, $\pm$ hasta el 19 %, $\pm$ hasta el 18 %, $\pm$ hasta el 17 %, $\pm$ hasta el 16 %, $\pm$ hasta el 15 %, $\pm$ hasta el 14 %, $\pm$ hasta el 13 %, $\pm$ hasta el 12 %, $\pm$ hasta el 11 %, $\pm$ hasta el 10 %, $\pm$ hasta el 9 %, $\pm$ hasta el 8 %, $\pm$ hasta el 7 %, $\pm$ hasta el 6 %, $\pm$ hasta el 5 %, $\pm$ hasta el 4 %, $\pm$ hasta el 3 %, $\pm$ hasta el 2 %, $\pm$ hasta el 1 %, $\pm$ hasta menos del 1 %, o cualquier otro valor o rango de valores entre estos.

15 **[0029]** A lo largo de la presente memoria descriptiva, se proporcionan intervalos numéricos para determinadas cantidades. Estos rangos comprenden todos los subrangos que los componen. Por lo tanto, el intervalo “de 50 a 80” incluye todos los intervalos posibles en el mismo (por ejemplo, 51-79, 52-78, 53-77, 54-76, 55-75, 60-70, etc.) Además, todos los valores dentro de un intervalo dado pueden ser un criterio de valoración para el intervalo abarcado por este (por ejemplo, el intervalo 50-80 incluye los intervalos con criterios de valoración como 55-80, 50-75, etc.)

[0030] El término “pila”, tal como se utiliza en este documento, incluye una pila, un vertedero, un pozo, una cuba o una columna que contiene un mineral que se va a procesar.

25 **[0031]** El término “solución acuosa cargada” o “solución de lixiviación cargada” como se utiliza en este documento se refiere a una solución acuosa que contiene uno o más metales objetivo disueltos.

[0032]

Procesos de lixiviación

30 **[0033]** En algunas modalidades, la presente descripción proporciona un proceso de biolixiviación para recuperar uno o más metales (por ejemplo, níquel y/o cobalto) de un mineral de óxido que comprende hierro, en donde el proceso comprende: (a) combinar (i) uno o más microorganismos, (ii) una mezcla de sustrato, (iii) el mineral de óxido, (iv) un ligando opcional, y (v) una fase acuosa para formar una mezcla; (b) mantener la mezcla del paso (a) durante un período de tiempo predeterminado bajo condiciones suficientes para reducir al menos parcialmente una cantidad de hierro férrico en el mineral a hierro ferroso, en donde el hierro ferroso y el níquel se solubilizan en la fase acuosa; y (c) aislar la fase acuosa como una solución de lixiviación cargada que comprende el hierro ferroso y una cantidad de uno o más metales disueltos, de la mezcla.

40 **[0034]** En algunas modalidades, la presente descripción proporciona un proceso de biolixiviación para recuperar uno o más metales (por ejemplo, níquel y/o cobalto) de un mineral de óxido que comprende hierro, en donde el proceso comprende: (a) combinar (i) uno o más

microorganismos, (ii) una mezcla de sustrato, (iii) el mineral de óxido, (iv) un ligando opcional, (v) lanzaderas de electrones opcionales y (vi) una fase acuosa para formar una mezcla; (b) mantener la mezcla del paso (a) durante un período de tiempo predeterminado bajo condiciones suficientes para reducir al menos parcialmente una cantidad de hierro férrico en el mineral a hierro ferroso, en donde el hierro ferroso y el níquel se solubilizan en la fase acuosa; y (c) aislar la fase acuosa como una solución de lixiviación cargada que comprende el hierro ferroso y una cantidad de uno o más metales disueltos, de la mezcla.

[0035] En algunas modalidades, la presente descripción proporciona un proceso para lixiviar uno o más metales (por ejemplo, níquel y/o cobalto) de un mineral de óxido que comprende hierro, en donde el proceso comprende: (a) combinar (i) uno o más microorganismos, (ii) una mezcla de sustrato, (iii) el mineral de óxido, (iv) un ligando opcional, y (v) una fase acuosa para formar una mezcla; (b) mantener la mezcla del paso (a) durante un período de tiempo predeterminado bajo condiciones suficientes para reducir al menos parcialmente una cantidad de hierro férrico en el mineral a hierro ferroso, en donde el hierro ferroso y el níquel se solubilizan en la fase acuosa; y (c) aislar la fase acuosa como una solución de lixiviación cargada que comprende el hierro ferroso y una cantidad de uno o más metales disueltos, de la mezcla.

[0036] En algunas modalidades, la presente descripción proporciona un proceso para lixiviar uno o más metales (por ejemplo, níquel y/o cobalto) de un mineral de óxido que comprende hierro, en donde el proceso comprende: (a) combinar (i) uno o más microorganismos, (ii) una mezcla de sustrato, (iii) el mineral de óxido, (iv) un ligando opcional, (v) una lanzadera de electrones opcional y (vi) una fase acuosa para formar una mezcla; (b) mantener la mezcla del paso (a) durante un período de tiempo predeterminado bajo condiciones suficientes para reducir al menos parcialmente una cantidad de hierro férrico en el mineral a hierro ferroso, en donde el hierro ferroso y el níquel se solubilizan en la fase acuosa; y (c) aislar la fase acuosa como una solución de lixiviación cargada que comprende el hierro ferroso y una cantidad de uno o más metales disueltos, de la mezcla.

[0037] En algunas modalidades, la presente descripción proporciona un proceso para lixiviar uno o más metales de un mineral de óxido que comprende hierro, en donde el proceso comprende: (a) poner en contacto el mineral de óxido con una solución de lixiviación que comprende (i) uno o más microorganismos, (ii) una mezcla de sustrato, (iii) un ligando opcional, y (iv) una fase acuosa para formar una mezcla; (b) mantener la mezcla del paso (a) durante un período de tiempo predeterminado bajo condiciones suficientes para reducir al menos parcialmente una cantidad de hierro férrico en el mineral a hierro ferroso, en donde el hierro ferroso y el níquel se solubilizan en la fase acuosa; y (c) aislar la fase acuosa como una solución de lixiviación que comprende el hierro ferroso y una cantidad de uno o más metales disueltos, de la mezcla.

[0038] En algunas modalidades, la presente descripción proporciona un proceso para lixiviar uno o más metales de un mineral de óxido que comprende hierro, en donde el proceso comprende: (a) poner en contacto el mineral de óxido con una solución de lixiviación que comprende (i) uno o más microorganismos, (ii) una mezcla de sustrato, (iii) un ligando opcional, (iv) una lanzadera de electrones opcional, y (v) una fase acuosa para formar una mezcla; (b) mantener la mezcla del paso (a) durante un período de tiempo predeterminado bajo condiciones

suficientes para reducir al menos parcialmente una cantidad de hierro férrico en el mineral a hierro ferroso, en donde el hierro ferroso y el níquel se solubilizan en la fase acuosa; y (c) aislar la fase acuosa como una solución de lixiviación que comprende el hierro ferroso y una cantidad de uno o más metales disueltos, de la mezcla.

5 **[0039]** En algunas modalidades, el uno o más metales en el mineral son níquel y/o cobalto. En algunas modalidades, el uno o más metales en el mineral es níquel. En algunas modalidades, el uno o más metales en el mineral es cobalto. En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende además cobre. En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende además cromo y/o manganeso.

10 **[0040] Microorganismos**

[0041] Los microorganismos para uso en los procesos descritos en este documento pueden ser cualquier microorganismo o combinación de microorganismos que promuevan o aceleren la disolución reductora de minerales de hierro férrico en minerales de óxido, lo que da como resultado que los metales asociados (por ejemplo, níquel y/o cobalto) se liberen del mineral y
15 pasen a la solución. Los microorganismos se pueden encontrar en el mineral (a veces denominado bioestimulación) y/o se pueden agregar al mineral (a veces denominado bioaumentación) para promover o acelerar aún más la disolución reductiva, según se desee.

[0042] En algunas modalidades, el uno o más microorganismos producen una enzima o comprenden un sistema enzimático seleccionado del grupo que consiste en CymA, DFE, DmkA/DmkB, EetA/EetB, FmnA/FmnB, GACE, MtrA/MtrA/MtrC, Ndh2, OmcF/OmcS/OmcZ, PplA y T4ap, o combinaciones de los mismos. En una modalidad específica, los
20 microorganismos pueden comprender una forma mutante de CymA, DFE, DmkA/DmkB, EetA/EetB, FmnA/FmnB, GACE, MtrA/MtrA/MtrC, Ndh2, OmcF/OmcS/OmcZ, PplA y T4ap, o combinaciones de los mismos.

25 **[0043]** En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son especies bacterianas y/o fúngicas que son capaces de reducir el hierro. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son especies bacterianas que son capaces de reducir el hierro. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos es una especie bacteriana que cataliza la reducción de hierro férrico a hierro ferroso.

30 **[0044]** En algunas modalidades, el uno o más microorganismos se seleccionan del grupo que consiste en *Thermincola potens* JR (NC_014152.1), *Listeria monocytogenes* (NC_003210.1), *Clostridium celerecrescens* (NZ_PGET01000001.1), *Bacillus infernus*, *Bacillus subterraneus*, *Bacillus pseudormus* MC02, *Bacillus subterraneus*, *Thermoanaerobacter siderophilus* (NZ_CM001486.1), *Carboxydothemus ferrireducens* (NZ_ATYG01000001.1),
35 *Carboxydothemus siderophilus*, *Carboxydothemus pertinax* (NZ_BDJK01000055.1), *Carboxydocella thermautotrophica* (NZ_CP028491.1), *Moorella humiferrea* (NZ_PVXM01000006.1), *Geosporobacter ferrireducens* IRF9, *Thermotalea metallivorans* B2-1(T), *Pelosinus fermentans*, *Thermotoga maritima* (NC_023151.1), *Sinirhodobacter ferrireducens* (NZ_SAVB01000001.1), *Acidiphilium* SJH, *Acidiphilium* PK40, *Acidiphilium* PK46,
40 *Acidiphilium* KPWI4, *Acidiphilium cryptum* JF-5, *Acidocella facilis*, *Acidocella* M21, *Acidocella* PFBC, *Acidocella* PWB4, *Shewanella putrefaciens* (NZ_CP066370.1), *Shewanella oneidensis* MR-1 (NC_004347.2), cepa de alga *Shewanella* BrY (NZ_CP046378.1), *Shewanella*

amazonensis sp. nov., *Shewanella putrefaciens* IR-1, *Shewanella* sp. HN-41, *Shewanella putrefaciens* CN-32, *Shewanella putrefaciens* 200R, *Shewanella oneidensis* MR-1, *Shewanella baltica* W3-6-1, *Shewanella* sp. PV-4, *Shewanella peizotolerans* WP3, *Shewanella decolorationis*, *Shewanella frigidimarina*, *Shewanella gelidimarina*, *Shewanella loihica*,
5 *Shewanella pealeana*, *Serratia plymuthica* (NC_015567.1), *Serratia fonticola* (NZ_CP011254.1), *Aeromonas hydrophila* (NZ_CP050851.1), *Klebsiella oxytoca* (NZ_CP033844.1), *Ferrimonas balearica* (NC_014541.1), aislado similar a *Frateuria* WJ2, *Desulfovibrio ferrofilo* (NZ_AP017378.1), *Desulfuromusa ferrireducens*, *Desulfuromonas svalbardensis*, *Desulfuromonas acetoxidans* (JABWTG01), *Geobacter sulfurreducens*
10 (NC_002939.5), *Geobacter bemidjiensis* (NC_011146.1), *Geobacter metallireducens* (NC_007517.1), cepa *Geobacter pelophilus* Dfr2 (NZ_JAHCJVJ010000001.1), *Geobacter daltonii* (NC_011979.1), *Geobacter capillalei* (NZ_JAHDYS010000001.1), *Geobacter psychrophilus* sp. nov, *Geobacter bremensis* sp.nov. , *Geobacter lovleyi* sp. nov. Cepa SZ, *Geobacter luticola*, *Geobacter pickeringii*, *Geobacter argillaceus*, *Geobacter uraniireducens*,
15 *Desulfosediminicola ganghwensis* (NZ_CP050699.1), *Desulfosediminicola flagellatus* (NZ_CP050698.1), *Anaeromyxobacter dehalogenans* (NC_011891.1), Cepa de *Anaeromyxobacter* FAc12, *Geoalkalibacter subterraneus* (NZ_CP010311.1) , *Geoalkalibacter ferrihydriticus* (NZ_FNGU01000001.1), *Rhodoferrax ferrireducens* (NC_007908.1), *Ferribacterium limneticum* (NZ_CP075189.1), *Geothrix fermentans* (NZ_KE386810.1),
20 *Geovibrio ferrireducens*, *Deferribacter thermophilus*, *Pyrobaculum islandicum* (NC_008701.1), *Pyrodictium abyssi*, *Methanopyrus kandleri* (NC_003551.1), *Archaeoglobus fulgidus* (NZ_CP006577.1), *Pyrococcus furiosus* (NZ_CP023154.1), *Methanococcus thermolithotrophicus* (NZ_AQXV01000055.1), *Ferroglobus placidus* (NC_013849.1), *Geoglobus acetivorans* sp.nov., *Acidobacterium capsulatum*, *Acidobacterium* PK35, *Acidobacterium* RIT23,
25 *Acidobacterium* WJ7, *Telmatospirillum* (género alfaproteobacteriano) (PRJNA561022), *Sideroxydans lithotrophicus* ES-1, *Magnetospirillum magnético* AMB-1, *Candidatus Tectomicrobia*, *Candidatus Zixibacteria*, *Candidatus Tectomicrobia*, *Candidatus Dadabacteria*, *Candidatus Handelsmanbacteria*, *Carboxydotherrmus hidrogenoformans*, *Carboxydotherrmus islandicus*, *Telmatospirillum siberiense*, *Nitrosococcus halophilus*, *Skermanella stibiirensis*,
30 *Insolitispirillum peregrinum*, *Magnetospirillum magneticum*, y mezclas y/o mutantes genéticas de los mismos.

[0045] En algunas modalidades, el uno o más microorganismos es un *Shewanella* spp En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son *Shewanella putrefaciens* IR-1, *Shewanella putrefaciens* CN-32, *Shewanella putrefaciens* 200R, o *Shewanella oneidensis* MR-1
35 1 En algunas modalidades, el uno o más microorganismos es un *Shewanella* spp. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son *Shewanella putrefaciens* IR-1, *Shewanella putrefaciens* CN-32, o *Shewanella putrefaciens* 200R. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos es *Shewanella putrefaciens* IR-1. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos es *Shewanella putrefaciens* CN-32. En algunas modalidades, el uno o más
40 microorganismos es *Shewanella putrefaciens* 200R. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son *Shewanella oneidensis* MR-1.

[0046] En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son transgénicos. En algunas

modalidades, el uno o más microorganismos son transgénicos y están modificados para expresar genes extraños que codifican citocromos de membrana externa. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son transgénicos y están modificados para expresar genes extraños que codifican OmcS. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son transgénicos y están modificados para expresar genes extraños que codifican OmcS de *Geobacter sulfurreducens*. En algunas modalidades, el organismo transgénico y modificado es una *Shewanella* spp. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son *Shewanella oneidensis* MR-1 modificada para expresar OmcS. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son *Shewanella oneidensis* MR-1 modificados para expresar heterológamente OmcS y uno o más genes que mejoran la producción de flavina. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son la cepa C5 de *Shewanella oneidensis*, que está modificada para expresar de forma heteróloga los genes *ribAEDHC* de *Bacillus subtilis*. En algunas modalidades, el uno o más microorganismos son la cepa C5 de *Shewanella oneidensis* modificada para expresar OmcS. En algunas modalidades, la cepa modificada C5 es C5-OS₁, C5-OS₂ o C5-OS₃, que tienen diferentes sitios de unión a ribosomas para controlar la expresión de OmcS. Estas cepas modificadas y otras útiles en la presente invención se describen en Lin, T., et al. "Simultaneous heterologous expression of cytochrome OmcS and improved flavin biosynthesis to enhance extracellular electron exchange in *Shewanella oneidensis*", revista electrónica SSRN, publicada el 13 de abril de 2022, que se incorpora en el presente documento como referencia en su totalidad.

[0047] En algunas modalidades, el microorganismo posee una o más mutaciones. En algunas modalidades, el microorganismo se muta para mejorar su capacidad de reducir el hierro. En algunas modalidades, el microorganismo mutado tiene una capacidad para reducir el hierro que es mayor que aproximadamente 2 veces, mayor que aproximadamente 4 veces, mayor que aproximadamente 6 veces, mayor que aproximadamente 8 veces, mayor que aproximadamente 10 veces o mayor que aproximadamente 40 veces la capacidad del microorganismo de tipo salvaje. En algunas modalidades, el microorganismo mutado tiene una capacidad para reducir el hierro que es mayor que aproximadamente 2 veces, mayor que aproximadamente 4 veces, mayor que aproximadamente 6 veces, mayor que aproximadamente 8 veces, o mayor que aproximadamente 10 veces la capacidad del microorganismo de tipo salvaje. En algunas modalidades, la mutación da como resultado un aumento de aproximadamente 2 veces, 4 veces, 6 veces, 8 veces, 10 veces, 40 veces en la capacidad de reducción de hierro en comparación con el microorganismo de tipo salvaje. En algunas modalidades, la mutación da como resultado un aumento de aproximadamente 2 veces, 4 veces, 6 veces, 8 veces o 10 veces en la capacidad de reducción de hierro en comparación con el microorganismo de tipo salvaje.

[0048] Sustrato

[0049] Los procesos descritos en este documento se llevan a cabo en presencia de una mezcla de sustratos, que puede servir como donante de electrones. Por consiguiente, en algunas modalidades, la mezcla de sustrato del paso (a) comprende un agente reductor. En algunas modalidades, la mezcla sustitutiva comprende productos de desecho.

[0050] En algunas modalidades, la mezcla de sustrato comprende productos de desecho carbonoso, azufre elemental, sustancias que contienen formas de azufre parcialmente

reducidas o mezclas de los mismos.

[0051] En algunas modalidades, la mezcla de sustrato comprende melaza, azúcar, azúcar de remolacha, azúcar de caña, dextrosa hidrolizada de maíz, dextrosa hidrolizada de almidón de maíz, materiales que contienen sacarosa, productos de fermentación de los mismos o mezclas de los mismos. En algunas modalidades, el sustrato se deriva de levadura. En algunas modalidades, el sustrato no se deriva de levadura.

[0052] En algunas modalidades, la mezcla de sustratos comprende acetato, lactato, glucosa o mezclas de los mismos. En algunas modalidades, la mezcla de sustrato comprende acetato, lactato o glucosa derivada de melaza, azúcar, azúcar de remolacha, azúcar de caña, dextrosa hidrolizada de maíz o dextrosa hidrolizada de almidón de maíz, materiales que contienen sacarosa o aceite de palma. En algunas modalidades, el sustrato es acetato, lactato o glucosa. En algunas modalidades, el sustrato es acetato o lactato. En algunas modalidades, el sustrato es acetato, lactato o glucosa derivada de aceite de palma.

[0053] *Mineral de óxido*

[0054] Un mineral de óxido adecuado para su uso en los procesos descritos es cualquier mineral de óxido que comprende uno o más metales (por ejemplo, níquel y/o cobalto) de valor comercial o donde la eliminación de uno o más metales tiene valor comercial.

[0055] En algunas modalidades, el mineral de óxido es un mineral de laterita. En algunas modalidades, el mineral de óxido es una laterita de níquel.

[0056] En algunas modalidades, el mineral de óxido se muele antes del paso (a). En algunas modalidades, el mineral de óxido molido comprende partículas de menos de aproximadamente 25 mm de diámetro. En algunas modalidades, el mineral de óxido molido comprende partículas de menos de aproximadamente 10 mm de diámetro. En algunas modalidades, el mineral de óxido molido comprende partículas de menos de aproximadamente 5 mm de diámetro. En algunas modalidades, el mineral de óxido molido comprende partículas de menos de aproximadamente 1 mm de diámetro. En algunas modalidades, el mineral molido comprende partículas de aproximadamente 1 mm a aproximadamente 10 mm de diámetro. En algunas modalidades, el mineral molido comprende partículas de aproximadamente 1 mm a aproximadamente 5 mm de diámetro. En algunas modalidades, el mineral molido comprende partículas de aproximadamente 1 mm a aproximadamente 3 mm de diámetro. En algunas modalidades, el diámetro se refiere al diámetro promedio de la partícula.

[0057] En algunas modalidades, el mineral de óxido se muele antes del paso (a). En algunas modalidades, el mineral de óxido molido comprende partículas de menos de aproximadamente 25 mm de diámetro. En algunas modalidades, el mineral de óxido molido comprende partículas de menos de aproximadamente 10 mm de diámetro. En algunas modalidades, el mineral de óxido molido comprende partículas de menos de aproximadamente 6 mm de diámetro. En algunas modalidades, el mineral de óxido molido comprende partículas de menos de aproximadamente 4 mm de diámetro. En algunas modalidades, el mineral de óxido molido comprende partículas de menos de aproximadamente 2 mm de diámetro. En algunas modalidades, el mineral molido comprende partículas de aproximadamente 2 mm a aproximadamente 10 mm de diámetro. En algunas modalidades, el mineral molido comprende partículas de aproximadamente 4 mm a aproximadamente 8 mm de diámetro. En algunas

modalidades, el diámetro se refiere al diámetro promedio de la partícula.

[0058] En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende de aproximadamente 1 % a aproximadamente 90 % en peso de uno o más minerales de hierro férrico, por ejemplo, aproximadamente 1 %, aproximadamente 2,5 %, aproximadamente 5 %, aproximadamente 7,5 %, aproximadamente 10 %, aproximadamente 12,5 %, aproximadamente 15 %, aproximadamente 17,5 %, aproximadamente 20 %, aproximadamente 22,5 %, aproximadamente 25 %, aproximadamente 27,5 %, aproximadamente 30 %, aproximadamente 32,5 %, aproximadamente 35 %, aproximadamente 37,5 %, aproximadamente 40 %, aproximadamente 42,5 %, aproximadamente 45 %, aproximadamente 47,5 %, aproximadamente 50 %, aproximadamente 52,5 %, aproximadamente 55 %, aproximadamente 57,5 %, aproximadamente 60 %, aproximadamente 62,5 %, aproximadamente 65 %, aproximadamente 67,5 %, aproximadamente 70 %, aproximadamente 72,5 %, aproximadamente 75 %, aproximadamente 77,5 %, aproximadamente 80 %, aproximadamente 82,5 %, aproximadamente 85 %, aproximadamente 87,5 % o aproximadamente 90 %, incluidos todos los rangos y subvalores entre ellos. En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende de aproximadamente 1 % a aproximadamente 25 % en peso de uno o más minerales de hierro férrico. En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende de aproximadamente 1 % a aproximadamente 20 % en peso de hierro. En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende de aproximadamente 5 % a aproximadamente 15 % en peso de hierro.

[0059] En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende de aproximadamente 1 % a aproximadamente 90 % en peso de uno o más minerales de manganeso, por ejemplo, aproximadamente 1 %, aproximadamente 2,5 %, aproximadamente 5 %, aproximadamente 7,5 %, aproximadamente 10 %, aproximadamente 12,5 %, aproximadamente 15 %, aproximadamente 17,5 %, aproximadamente 20 %, aproximadamente 22,5 %, aproximadamente 25 %, aproximadamente 27,5 %, aproximadamente 30 %, aproximadamente 32,5 %, aproximadamente 35 %, aproximadamente 37,5 %, aproximadamente 40 %, aproximadamente 42,5 %, aproximadamente 45 %, aproximadamente 47,5 %, aproximadamente 50 %, aproximadamente 52,5 %, aproximadamente 55 %, aproximadamente 57,5 %, aproximadamente 60 %, aproximadamente 62,5 %, aproximadamente 65 %, aproximadamente 67,5 %, aproximadamente 70 %, aproximadamente 72,5 %, aproximadamente 75 %, aproximadamente 77,5 %, aproximadamente 80 %, aproximadamente 82,5 %, aproximadamente 85 %, aproximadamente 87,5 % o aproximadamente 90 %, incluidos todos los rangos y subvalores entre ellos. En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende de aproximadamente 1 % a aproximadamente 25 % en peso de uno o más minerales de manganeso. En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende de aproximadamente 1 % a aproximadamente 20 % en peso de manganeso. En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende de aproximadamente 5 % a aproximadamente 15 % en peso de manganeso.

[0060] En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende aproximadamente de 0,1 % a aproximadamente un 15 % en peso de níquel, por ejemplo, aproximadamente 0,1 %, aproximadamente 0,5 %, aproximadamente 0,75 %, aproximadamente 1 %, aproximadamente

2 %, aproximadamente 3 %, aproximadamente 4 %, aproximadamente 5 %, aproximadamente 6 %, aproximadamente 7 %, aproximadamente 8 %, aproximadamente 9 %, aproximadamente 10 %, aproximadamente 11 %, aproximadamente 12 %, aproximadamente 13 %, aproximadamente 14 % o aproximadamente 15 %, incluidos todos los rangos y valores intermedios.

[0061] En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende aproximadamente 0,1 % a aproximadamente 5 % en peso de níquel. En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende aproximadamente 0,1 % a aproximadamente 2,5 % en peso de níquel.

[0062] En algunas modalidades, el níquel en el mineral de óxido está asociado con uno o más minerales de hierro férrico, minerales de manganeso, cuarzo y/o silicatos de magnesio. En algunas modalidades, el níquel en el mineral de óxido está asociado con uno o más minerales de hierro férrico. En algunas modalidades, el níquel en el mineral de óxido está asociado con uno o más minerales de manganeso. En algunas modalidades, una mayoría (por ejemplo, más del 50 % en peso, más del 60 % en peso, más del 70 % en peso, etc.) del níquel en el mineral de óxido está asociado con uno o más minerales de hierro férrico. En algunas modalidades, el níquel en el mineral de óxido está asociado con uno o más minerales de hierro férrico. En algunas modalidades, una mayoría del níquel en el mineral de óxido está asociado con uno o más minerales de hierro férrico. En algunas modalidades, el uno o más minerales de hierro férrico son un (oxi)hidróxido de hierro férrico. En algunas modalidades, el uno o más minerales de hierro férrico son $\alpha\text{-FeO}\cdot\text{OH}$ (goethita). En algunas modalidades, aproximadamente entre el 10 % y aproximadamente el 90 % del níquel en el mineral de óxido está asociado con la goethita. En algunas modalidades, aproximadamente entre el 40 % y aproximadamente el 70 % del níquel en el mineral de óxido está asociado con la goethita. En algunas modalidades, aproximadamente entre el 50 % y aproximadamente el 60 % del níquel en el mineral de óxido está asociado con la goethita.

[0063] En algunas modalidades, el mineral de óxido de la presente descripción comprende aproximadamente 0,01 % a aproximadamente 2,0 % en peso de cobalto, por ejemplo, aproximadamente 0,01 %, aproximadamente 0,05 %, aproximadamente 0,1 %, aproximadamente 0,2 %, aproximadamente 0,3 %, aproximadamente 0,4 %, aproximadamente 0,5 %, aproximadamente 0,6 %, aproximadamente 0,7 %, aproximadamente 0,8 %, aproximadamente 0,9 %, aproximadamente 1 %, aproximadamente 1,1 %, aproximadamente 1,2 %, aproximadamente 1,3 %, aproximadamente 1,4 %, aproximadamente 1,5 %, aproximadamente 1,6 %, aproximadamente 1,7 %, aproximadamente 1,8 %, aproximadamente 1,9 % o aproximadamente 2 %, incluidos todos los rangos y valores intermedios. En algunas modalidades, el mineral de óxido comprende aproximadamente 0,1 % a aproximadamente 0,5 % en peso de cobalto.

[0064] En algunas modalidades, el cobalto se solubiliza en la fase acuosa del paso (b).

[0065] *Ligando*

[0066] En algunas modalidades de los procesos descritos, la mezcla del paso (a) comprende (i) uno o más microorganismos, (ii) la mezcla de sustrato, (iii) el mineral, (iv) un ligando, (v) una lanzadera de electrones opcional y (vi) la fase acuosa. En algunas modalidades, el ligando añadido en el paso (a) estabiliza los metales en solución.

[0067] En algunas modalidades de los procesos descritos, la mezcla del paso (a) comprende (i) uno o más microorganismos, (ii) la mezcla de sustrato, (iii) el mineral, (iv) un ligando, y (v) la fase acuosa. En algunas modalidades, el ligando añadido en el paso (a) estabiliza los metales en solución.

5 **[0068]** En algunas modalidades, el ligando está presente en el paso (a) en una cantidad que varía de aproximadamente 100 μM a 500 mM, por ejemplo, 100 μM , 500 μM , 1 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, 20 mM, 25 mM, 30 mM, 35 mM, 40 mM, 45 mM, 50 mM, 100 mM, 250 mM o 500 mM, incluidos todos los rangos y valores intermedios. En algunas modalidades, el ligando está presente en el paso (a) en una cantidad que varía de aproximadamente 100 μM a 50 mM, por
10 ejemplo, 100 μM , 500 μM , 1 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, 20 mM, 25 mM, 30 mM, 35 mM, 40 mM, 45 mM o 50 mM, incluidos todos los rangos y valores intermedios. En algunas modalidades, el ligando está presente en una cantidad que varía de aproximadamente 100 μM a 500 μM . En algunas modalidades, el ligando está presente en una cantidad que varía de aproximadamente 100 μM a 250 μM . En algunas modalidades, no hay más de 100 μM , 150 μM , 200 μM , 250 μM ,
15 300 μM , 350 μM , 400 μM , 450 μM o 500 μM de ligando presente en la mezcla del paso (a).

[0069] En algunas modalidades, el ligando es un ácido orgánico o una combinación de ácidos orgánicos. En algunas modalidades, el ligando es un ácido orgánico seleccionado del grupo que consiste en ácido málico, ácido láctico, ácido glucónico, ácido pirúvico, ácido succínico, ácido cetoglutarico, ácido oxálico, ácido fumarico, ácido cítrico, ácido acético, ácido malónico,
20 ácido salicílico, ácido acetohidroxámico, ácido mugineico, ácido benzoico, ácido hidroxámico y una combinación de los mismos. En algunas modalidades, el ligando es un ácido orgánico seleccionado del grupo que consiste en ácido málico, ácido láctico, ácido glucónico, ácido pirúvico, ácido succínico, ácido cetoglutarico, ácido oxálico, ácido fumarico, ácido cítrico, ácido acético, ácido malónico, ácido salicílico, ácido acetohidroxámico, ácido mugineico, ácido
25 benzoico, ácido hidroxámico y una combinación de los mismos.

[0070] Lanzaderas de electrones

[0071] En algunas modalidades de los procesos descritos, la mezcla del paso (a) comprende (i) uno o más microorganismos, (ii) la mezcla de sustrato, (iii) el mineral, (iv) un ligando opcional, (v) una lanzadera de electrones y (vi) la fase acuosa. En algunas modalidades, la lanzadera de
30 electrones agregada en el paso (a) promueve la transferencia de electrones a los minerales de laterita.

[0072] En algunas modalidades, la lanzadera de electrones está presente en el paso (a) en una cantidad que varía de aproximadamente 1 μM a 250 μM , por ejemplo, 1 μM , 5 μM , 10 μM , 50 μM , 100 μM o 250 μM , incluidos todos los rangos y valores intermedios. En algunas
35 modalidades, el ligando está presente en una cantidad que varía de aproximadamente 1 μM a 250 μM . En algunas modalidades, el ligando está presente en una cantidad que varía de aproximadamente 100 μM a 250 μM . En algunas modalidades, no hay más de 100 μM , 150 μM , 200 μM , 250 μM , 300 μM , 350 μM , 400 μM , 450 μM o 500 μM de ligando presente en la mezcla del paso (a).

40 **[0073]** En algunas modalidades, la lanzadera de electrones está presente en el paso (a) en una cantidad que varía de aproximadamente 1 g/L a 50 g/L, por ejemplo, 1 g/L, 5 g/L, 10 g/L, 50 g/L, incluidos todos los rangos y valores intermedios. En algunas modalidades, el ligando está

presente en una cantidad que varía de aproximadamente 1 g/L a 50 g/L. En algunas modalidades, el ligando está presente en una cantidad que varía de aproximadamente 100 g/L a 250 g/L. En algunas modalidades, no más de 1 g/L, 5 g/L, 10 g/L o 50 g/L de lanzadera está presente en la mezcla del paso (a).

5 **[0074]** En algunas modalidades, la lanzadera de electrones está presente en el paso (a) en una relación de masa con respecto a Fe que varía de aproximadamente 0,1 a 5, incluidos todos los rangos y valores intermedios.

[0075] En algunas modalidades, la mezcla del paso (a) comprende además una lanzadera de electrones. En algunas modalidades, la lanzadera de electrones es un compuesto orgánico o una combinación de compuestos orgánicos. En algunas modalidades, la lanzadera de electrones es un compuesto orgánico seleccionado del grupo que consiste en flavinas (incluidos los compuestos que contienen heterociclo tricíclico isoaloxazina o su isómero aloxazina, y derivados de los mismos), quinonas, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, biocarbón, y una combinación de los mismos.

15 **[0076] Fase acuosa**

[0077] En algunas modalidades, la fase acuosa del paso (a) comprende un tampón que mantiene el pH de la solución o mezcla dentro de un rango determinado.

[0078] En algunas modalidades, el tampón mantiene un pH de aproximadamente 3 a 10. En algunas modalidades, el tampón mantiene un pH de aproximadamente 4-9. En algunas modalidades, el tampón mantiene un pH de aproximadamente 5 a 9. En algunas modalidades, el tampón mantiene un pH de aproximadamente 5 a 8. En algunas modalidades, el tampón mantiene un pH de aproximadamente 4. En algunas modalidades, el tampón mantiene un pH de aproximadamente 5. En algunas modalidades, el tampón mantiene un pH de aproximadamente 6. En algunas modalidades, el tampón mantiene un pH de aproximadamente 7. En algunas modalidades, el tampón mantiene un pH de aproximadamente 8.

[0079] Parámetros del proceso

[0080] En algunas modalidades, los procesos descritos en este documento se llevan a cabo como un proceso de flujo continuo o de flujo semicontinuo.

[0081] En algunas modalidades, el proceso se lleva a cabo mediante lixiviación en pilas, lixiviación en columna, lixiviación en tanque agitado o proceso *in situ*. En algunas modalidades, el proceso *in situ* comprende la lixiviación de metales de un mineral de óxido que no ha sido excavado.

[0082] Paso (a)

[0083] En algunas modalidades, el mineral de óxido se forma en una pila antes del paso (a). En tales casos, los procesos descritos en este documento pueden caracterizarse como procesos de lixiviación en pilas (véase la Fig. 2), donde un mineral triturado o molido se transporta a una ubicación de pila y se apila, por ejemplo, sobre un revestimiento impermeable o una plataforma de lixiviación en pilas.

[0084] En algunas modalidades, el contacto o la combinación del paso (a) comprende agitación u otra forma de agitación conocida en la técnica.

[0085] En algunas modalidades, los uno o más microorganismos del paso (a) se agregan a una suspensión que comprende la mezcla de sustrato, el mineral, el ligando opcional y la fase

acuosa.

[0086] En algunas modalidades, los uno o más microorganismos se cultivan en un medio de crecimiento en un biorreactor antes del paso (a). En algunas modalidades, los uno o más microorganismos del paso (a) se derivan del mineral.

5 **[0087]** Paso (b)

[0088] En algunas modalidades, el período de tiempo predeterminado del paso (b) es de aproximadamente 0,5 h a aproximadamente 30 días, por ejemplo, aproximadamente 0,5 h, aproximadamente 1 h, aproximadamente 5 h, aproximadamente 10 h, aproximadamente 24 h, aproximadamente 2 días, aproximadamente 5 días, aproximadamente 10 días, aproximadamente 15 días, aproximadamente 20 días, aproximadamente 25 días o aproximadamente 30 días, incluido cualquier rango o valor entre ellos. En algunas modalidades, el período de tiempo predeterminado del paso (b) es de aproximadamente 1 h a aproximadamente 5 d. En algunas modalidades, el período de tiempo predeterminado del paso (b) es de aproximadamente 1 h a aproximadamente 2 d. En algunas modalidades, el período de tiempo predeterminado del paso (b) es de aproximadamente 1 h a aproximadamente 24 h.

[0089] En algunas modalidades, las condiciones del paso (b) comprenden mantener la mezcla a temperatura ambiente. En algunas modalidades, las condiciones del paso (b) comprenden mantener la mezcla a una temperatura de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 100 °C, por ejemplo, aproximadamente 5 °C, aproximadamente 10 °C, aproximadamente 15 °C, aproximadamente 20 °C, aproximadamente 25 °C, aproximadamente 30 °C, aproximadamente 35 °C, aproximadamente 40 °C, aproximadamente 45 °C, aproximadamente 50 °C, aproximadamente 55 °C, aproximadamente 60 °C, aproximadamente 65 °C, aproximadamente 70 °C, aproximadamente 75 °C, aproximadamente 80 °C, aproximadamente 85 °C, aproximadamente 90 °C, aproximadamente 95 °C o aproximadamente 100 °C, incluidos todos los rangos y valores intermedios. En algunas modalidades, las condiciones del paso (b) comprenden mantener la mezcla a una temperatura de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 50 °C.

[0090] En algunas modalidades, las condiciones del paso (b) comprenden mantener la mezcla a temperatura ambiente. En algunas modalidades, las condiciones del paso (b) comprenden mantener la mezcla a una presión absoluta de aproximadamente una atmósfera.

[0091] En algunas modalidades, las condiciones del paso (b) comprenden mantener la mezcla a presión y temperatura ambiente.

[0092] En algunas modalidades, las condiciones del paso (b) comprenden mantener la fase acuosa a un pH de aproximadamente 4-9. En algunas modalidades, las condiciones del paso (b) comprenden mantener la fase acuosa a un pH de aproximadamente 5-8. En algunas modalidades, las condiciones del paso (b) comprenden mantener la fase acuosa a un pH de aproximadamente 5-7. En algunas modalidades, las condiciones del paso (b) comprenden mantener la fase acuosa a un pH de aproximadamente 6-8. En algunas modalidades, las condiciones del paso (b) comprenden mantener la fase acuosa a un pH de aproximadamente 5-6.

[0093] En algunas modalidades, las condiciones del paso (b) comprenden agitar la mezcla. En algunas modalidades, la mezcla se agita mediante agitación.

- 5 **[0094]** En algunas modalidades, los uno o más microorganismos utilizados en la reducción del paso (b) se cultivan en condiciones anaeróbicas o sustancialmente anaeróbicas. Como se describe en este documento, los microorganismos se pueden cultivar en un biorreactor antes de su introducción en el paso (a) o los microorganismos se pueden derivar del mineral de óxido, por ejemplo, proporcionando nutrientes apropiados y/u otros medios.
- [0095]** En algunas modalidades, la reducción de hierro férrico a hierro ferroso en el paso (b) se lleva a cabo en condiciones anóxicas o sustancialmente anóxicas.
- 10 **[0096]** En algunas modalidades, sustancialmente todo el hierro férrico del mineral se reduce a hierro ferroso durante el paso b). En algunas modalidades, al menos 30 %, al menos 40 %, al menos 50 %, al menos 60 %, más de 70 %, al menos 80 % o al menos 90 %, en peso, del hierro férrico en el mineral se reduce a hierro ferroso durante el paso b). En algunas modalidades, más de 70 %, más de 80 % o más de 90 %, en peso, del hierro férrico en el mineral se reduce a hierro ferroso durante el paso b).
- 15 **[0097]** En algunas modalidades aproximadamente 5 % a aproximadamente 99 % en peso del níquel en el mineral se solubiliza en la fase acuosa después del paso (b), por ejemplo, aproximadamente el 5 %, aproximadamente el 10 %, aproximadamente el 15 %, aproximadamente el 20 %, aproximadamente el 25 %, aproximadamente el 30 %, aproximadamente el 35 %, aproximadamente el 40 %, aproximadamente el 45 %, aproximadamente el 50 %, aproximadamente el 55 %, aproximadamente el 60 %, aproximadamente el 65 %, aproximadamente el 70 %, aproximadamente el 75 %, aproximadamente el 80 %, aproximadamente el 85 %, aproximadamente el 90 %, aproximadamente el 95 % o aproximadamente el 99 %, incluidos todos los rangos y valores intermedios. En algunas modalidades, aproximadamente 50 % a aproximadamente 80 % en peso del níquel en el mineral se solubiliza en la fase acuosa después del paso (b). En algunas modalidades, aproximadamente 60 % a aproximadamente 75 % en peso del níquel en el mineral se solubiliza en la fase acuosa después del paso (b).
- 20 **[0098]** En algunas modalidades, aproximadamente 1 %, aproximadamente 5 %, aproximadamente 10 %, aproximadamente 15 %, aproximadamente 20 %, aproximadamente 25 %, aproximadamente 30 %, aproximadamente 35 %, aproximadamente 40 %, aproximadamente 45 %, aproximadamente 50 %. En algunas modalidades, aproximadamente 1 % a aproximadamente 25 % en peso del níquel se solubiliza por día a partir del mineral. En algunas modalidades, aproximadamente 1 % a aproximadamente 10 % en peso del níquel se solubiliza por día a partir del mineral. En algunas modalidades, aproximadamente 3 % a aproximadamente 6 % en peso del níquel se solubiliza por día a partir del mineral.
- 25 **[0099]** En algunas modalidades, aproximadamente 5 % a aproximadamente 90 % en peso del cobalto en el mineral se solubiliza en la fase acuosa después del paso (b). En algunas modalidades, al menos aproximadamente 30 % en peso del cobalto se solubiliza en la fase acuosa después del paso (b). En algunas modalidades, aproximadamente 30 % a aproximadamente 70 % en peso del cobalto en el mineral se solubiliza en la fase acuosa después del paso (b).
- 30 **[0100]** En algunas modalidades, aproximadamente 1 % a aproximadamente 25 % en peso del cobalto se solubiliza por día a partir del mineral. En algunas modalidades, aproximadamente 1
- 40

% a aproximadamente 10 % en peso del cobalto se solubiliza por día a partir del mineral. En algunas modalidades, aproximadamente 2 % a aproximadamente 5 % en peso del cobalto se solubiliza por día a partir del mineral.

[0101] Paso (c)

- 5 **[0102]** En algunas modalidades, la solución de lixiviación del paso (c) comprende cantidades disueltas de hierro ferroso, níquel, cobalto y, opcionalmente, impurezas menores. En algunas modalidades, la solución de lixiviación del paso (c) comprende cantidades disueltas de hierro ferroso, níquel o cobalto y, opcionalmente, impurezas menores. En algunas modalidades, la solución de lixiviación del paso (c) comprende cantidades disueltas de hierro ferroso, níquel, y, opcionalmente, impurezas menores. En algunas modalidades, la solución de lixiviación del paso (c) comprende cantidades disueltas de hierro ferroso, cobalto y, opcionalmente, impurezas menores. En algunas modalidades, la solución de lixiviación del paso (c) comprende hierro ferroso y una cantidad de níquel disuelto. En algunas modalidades, la solución de lixiviación del paso (c) comprende hierro ferroso y una cantidad de cobalto disuelto. En algunas modalidades, la solución de lixiviación del paso (c) comprende además una cantidad de cobre disuelto. En algunas modalidades, la solución de lixiviación del paso (c) comprende además una cantidad de otros metales disueltos, como cromo y manganeso. En algunas modalidades, el níquel disuelto está en forma de iones Ni^{2+} , formas hidrolizadas y/o formas unidas a ligando. En algunas modalidades, el cobalto disuelto está en forma de iones Co^{2+} , formas hidrolizadas y/o formas unidas a ligando.

- [0103]** En algunas modalidades, la fase acuosa del paso (c) se aísla como una solución de lixiviación cargada de la mezcla mediante sedimentación de los sólidos no disueltos y decantación de la solución de lixiviación. En algunas modalidades, la fase acuosa del paso (c) se aísla como una solución de lixiviación cargada de la mezcla mediante filtración por gravedad. En algunas modalidades, uno o más metales en la solución de lixiviación cargada del paso (c) son níquel y/o cobalto. En algunas modalidades, el uno o más metales es níquel. En algunas modalidades, el uno o más metales es cobalto. En algunas modalidades, la solución de lixiviación cargada comprende además uno o más metales disueltos, por ejemplo, cromo o manganeso, dependiendo de la composición del mineral de óxido sometido a procesamiento.

- 30 **[0104]** En algunas modalidades, la solución de lixiviación cargada del paso (c) está sustancialmente libre de sólidos no disueltos. En algunas modalidades, la solución de lixiviación cargada del paso (c) comprende pequeñas cantidades de sólidos no disueltos.

- [0105]** En algunas modalidades, la solución de lixiviación cargada comprende más de 1000 ppm, más de 500 ppm, más de 250 ppm, más de 100 ppm, más de 50 ppm, más de 25 ppm, más de 10 ppm, más de 5 ppm, más de 1 ppm o más de 0,1 ppm del metal (por ejemplo, níquel y/o cobalto) destinado a la recuperación.

- [0106]** En algunas modalidades, la parte restante de la mezcla, después del aislamiento de la solución de lixiviación en el paso (c), se puede reciclar. En algunas modalidades, la mezcla reciclada se puede utilizar como fase acuosa del paso (a).

40 **Recuperación de metales disueltos de la solución**

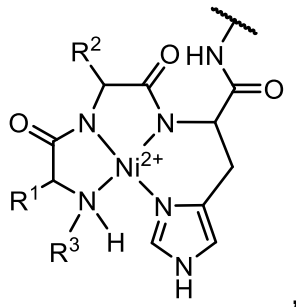
[0107] El uno o más metales disueltos en la solución de lixiviación del paso (c) se pueden recuperar de acuerdo con el proceso descrito a continuación o mediante variaciones del mismo,

como lo entendería un experto en la técnica.

[0108] En consecuencia, en algunas modalidades, los procesos de la presente descripción comprenden además: (d) poner en contacto la solución de lixiviación cargada del paso (c) con un conjugado que comprende un péptido y una perla de poliestireno (PS) durante un período de tiempo en condiciones que forman un complejo de ión metálico conjugado, en donde el péptido está configurado para unirse selectivamente al níquel y/o cobalto; (e) aislar el complejo de ión metálico conjugado del paso (d); (f) eluir el uno o más iones metálicos del complejo de ión metálico conjugado lavando el complejo con ácido, formando así una solución; (g) transferir la solución del paso (f) que comprende los iones metálicos a un circuito de electroobtención; (h) aplicar una corriente eléctrica a través de la solución del paso (f) que comprende los iones metálicos; (i) recolectar el uno o más metales resultantes en una superficie de un cátodo; y (j) recuperar el uno o más metales del cátodo.

[0109] En algunas modalidades, si está presente una pequeña cantidad de uno o más metales divalentes adicionales, antes del paso (d), el metal divalente se puede eliminar poniendo en contacto la solución del paso (c) con una resina de intercambio iónico selectiva para absorber el metal.

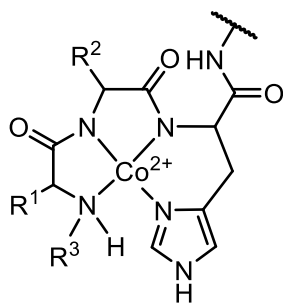
[0110] En algunas modalidades, la solución de lixiviación del paso (d) comprende un complejo de coordinación de iones Ni^{II} conjugado. En algunas modalidades, el complejo de coordinación de iones Ni^{II} conjugado tiene la estructura:



en donde R^1 , R^2 y R^3 son como se definen en este documento. En algunas modalidades, el complejo de coordinación de iones conjugados Ni^{II} tiene la estructura proporcionada en la Fig. 3B, donde R^1 y R^2 son como se definen en este documento.

[0111] En algunas modalidades, más de aproximadamente 20 %, más de aproximadamente 30 %, más de aproximadamente 40 %, más de aproximadamente 50 %, más de aproximadamente 60 %, más de aproximadamente 70 %, más de aproximadamente 80 %, más de aproximadamente 90 % o más de aproximadamente 95 % del níquel en la solución de lixiviación se compleja con el conjugado después del período de tiempo en el paso (d). En algunas modalidades, más de aproximadamente 50 % del níquel en la solución de lixiviación se compleja con el conjugado después del período de tiempo en el paso (d). En algunas modalidades, más de aproximadamente 80 % del níquel en la solución de lixiviación se compleja con el conjugado después del período de tiempo en el paso (d).

[0112] En algunas modalidades, la solución de lixiviación del paso (d) comprende un complejo de coordinación de iones Co^{II} conjugado. En algunas modalidades, el complejo de coordinación de iones Co^{II} conjugado tiene la estructura:



en donde R^1 , R^2 y R^3 son como se definen en este documento.

[0113] En algunas modalidades, más de aproximadamente 20 %, más de aproximadamente 30 %, más de aproximadamente 40 %, más de aproximadamente 50 %, más de aproximadamente 60 %, más de aproximadamente 70 %, más de aproximadamente 80 %, más de aproximadamente 90 % o más de aproximadamente 95 % del cobalto en la solución de lixiviación se compleja con el conjugado después del período de tiempo en el paso (d). En algunas modalidades, más de aproximadamente 50 % del cobalto en la solución de lixiviación se compleja con el conjugado después del período de tiempo en el paso (d). En algunas modalidades, más de aproximadamente 80 % del cobalto en la solución de lixiviación se compleja con el conjugado después del período de tiempo en el paso (d).

[0114] En algunas modalidades, el contacto del paso (d) comprende la aplicación de calor y/o agitación.

[0115] En algunas modalidades, el período de tiempo en el paso (d) es de aproximadamente 1 h a aproximadamente 24 h, por ejemplo, aproximadamente 1 h, aproximadamente 2 h, aproximadamente 3 h, aproximadamente 4 h, aproximadamente 5 h, aproximadamente 6 h, aproximadamente 7 h, aproximadamente 8 h, aproximadamente 9 h, aproximadamente 10 h, aproximadamente 11 h, aproximadamente 12 h, aproximadamente 13 h, aproximadamente 14 h, aproximadamente 15 h, aproximadamente 16 h, aproximadamente 17 h, aproximadamente 18 h, aproximadamente 19 h, aproximadamente 20 h, aproximadamente 21 h, aproximadamente 22 h, aproximadamente 23 h o aproximadamente 24 h, incluidos todos los rangos y valores entre ellos.

[0116] El aislamiento del complejo de ion metálico conjugado se puede llevar a cabo mediante cualquier medio conocido en la técnica. En algunas modalidades, el paso (e) de aislamiento del complejo de ion metálico conjugado comprende filtrar la solución de lixiviación.

[0117] En algunas modalidades, el ácido del paso (f) es un ácido diluido. En algunas modalidades, el ácido del paso (f) es un ácido débil. En algunas modalidades, el ácido del paso (f) tiene un pH que varía entre aproximadamente 2 y 5. En algunas modalidades, el ácido del paso (f) tiene un pH que varía entre aproximadamente 2 y 4.

[0118] En algunas modalidades, la solución del paso (f) comprende más del 20 %, más del 30 %, más del 40 %, más del 50 %, más del 60 %, más del 70 %, más del 80 % o más del 90 % del níquel en la solución de lixiviación del paso (a). En algunas modalidades, la solución del paso (f) comprende más del 50 % del níquel en la solución de lixiviación del paso (a). En algunas modalidades, la solución del paso (f) comprende más del 60 % del níquel en la solución de lixiviación del paso (a). En algunas modalidades, la solución del paso (f) comprende más del 70 % del níquel en la solución de lixiviación del paso (a). En algunas modalidades, la solución del paso (f) comprende más del 80 % del níquel en la solución de lixiviación del paso (a). En algunas

modalidades, la solución del paso (f) comprende más del 90 % del níquel en la solución de lixiviación del paso (a).

[0119] En algunas modalidades, el níquel recuperado del cátodo en el paso (j) representa más de aproximadamente 30 %, más de aproximadamente 40 %, más de aproximadamente 50 %, más de aproximadamente 60 %, más de aproximadamente 70 %, más de aproximadamente 80 % o más de aproximadamente 90 % en peso del níquel en el mineral de óxido. En algunas modalidades, el níquel recuperado del cátodo en el paso (j) representa más de aproximadamente el 50 % en peso del níquel en el mineral de óxido. En algunas modalidades, el níquel recuperado del cátodo en el paso (j) representa más de aproximadamente el 75 % en peso del níquel en el mineral de óxido. En algunas modalidades, el níquel recuperado del cátodo en el paso (j) representa más de aproximadamente el 90 % en peso del níquel en el mineral de óxido.

[0120] En algunas modalidades, la solución del paso (f) comprende más del 20 %, más del 30 %, más del 40 %, más del 50 %, más del 60 %, más del 70 %, más del 80 % o más del 90 % del cobalto en la solución de lixiviación del paso (a). En algunas modalidades, la solución del paso (f) comprende más del 50 % del cobalto en la solución de lixiviación del paso (a). En algunas modalidades, la solución del paso (f) comprende más del 60 % del cobalto en la solución de lixiviación del paso (a). En algunas modalidades, la solución del paso (f) comprende más del 70 % del cobalto en la solución de lixiviación del paso (a). En algunas modalidades, la solución del paso (f) comprende más del 80 % del cobalto en la solución de lixiviación del paso (a). En algunas modalidades, la solución del paso (f) comprende más del 90 % del cobalto en la solución de lixiviación del paso (a).

[0121] En algunas modalidades, el cobalto recuperado del cátodo en el paso (j) representa más de aproximadamente 30 %, más de aproximadamente 40 %, más de aproximadamente 50 %, más de aproximadamente 60 %, más de aproximadamente 70 %, más de aproximadamente 80 % o más de aproximadamente 90 % en peso del cobalto en el mineral de óxido. En algunas modalidades, el cobalto recuperado del cátodo en el paso (j) representa más de aproximadamente el 50 % en peso del cobalto en el mineral de óxido. En algunas modalidades, el cobalto recuperado del cátodo en el paso (j) representa más de aproximadamente el 75 % en peso del cobalto en el mineral de óxido.

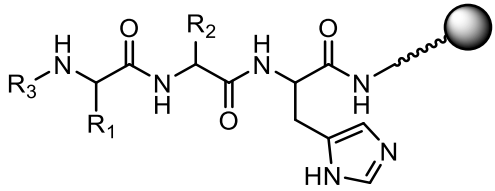
[0122] En algunas modalidades, el níquel y el cobalto se recuperan juntos en el paso (j), y la mezcla se procesa aún más para recuperar cada metal individualmente. En algunos casos, el níquel y el cobalto se recuperan por separado en el paso (j), por ejemplo, cuando se utilizan en el proceso un conjugado selectivo para níquel y un conjugado selectivo para cobalto.

[0123] En algunas modalidades, el uno o más metales se recuperan de acuerdo con un proceso proporcionado en la Fig. 4A, Fig. 4B, Fig. 4C, Fig. 4D, Fig. 4E o Fig. 4F.

Conjugados

[0124] La presente descripción proporciona conjugados que comprenden un péptido que puede configurarse para coordinar selectivamente uno o más iones metálicos, por ejemplo, Ni^{II} y/o Co^{II}, disueltos en una solución acuosa. En algunas modalidades, los conjugados comprenden un péptido unido a una perla de poliestireno (PS). En algunas modalidades, el péptido está unido covalentemente a la perla.

[0125] En algunas modalidades, los conjugados de la presente descripción comprenden la



estructura: , en donde R₁ y R₂ son cada uno independientemente H o una cadena lateral de un residuo de aminoácido (como se describe en este documento), R₃ es H o un grupo de protección (por ejemplo, -C(O)-, S(O)₂- y similares),

5 ~~~~~ representa un grupo de polietilenglicol (PEG) y ● representa una perla de PS.

[0126] En algunas modalidades, los conjugados de la presente descripción se preparan como se describe en la Fig. 3A.

[0127] **Selectividad**

10 [0128] En algunas modalidades, el conjugado está configurado para unirse selectivamente al níquel. En algunas modalidades, el conjugado tiene una selectividad para el níquel sobre los otros metales presentes en el mineral (por ejemplo, hierro) que es mayor que 2:1, mayor que 3:1, mayor que 4:1, mayor que 5:1, mayor que 6:1, mayor que 8:1, mayor que 10:1, mayor que 12:1 o mayor que 15:1. En algunas modalidades, el conjugado tiene una selectividad para el níquel sobre los otros metales presentes en el mineral que es mayor que 3:1. En algunas
15 modalidades, el conjugado tiene una selectividad para el níquel sobre el hierro que es mayor que 3:1. En algunas modalidades, el conjugado tiene una selectividad para el níquel sobre el hierro que es mayor que 5:1. En algunas modalidades, el conjugado tiene una selectividad para el níquel sobre el hierro que es mayor que 10:1. En algunas modalidades, el níquel está en forma de iones Ni^{II}. En algunas modalidades, el conjugado tiene una afinidad de unión (K_d) para
20 Ni^{II} de aproximadamente 1 x 10⁻¹⁶ a aproximadamente 1 x 10⁻⁸ M⁻¹.

[0129] En algunas modalidades, el conjugado está configurado para unirse selectivamente al cobalto. En algunas modalidades, el conjugado tiene una selectividad por el cobalto sobre los otros metales presentes en el mineral que es mayor que 3:1. En algunas modalidades, el conjugado tiene una selectividad por el cobalto sobre el hierro que es mayor que 3:1. En algunas
25 modalidades, el conjugado tiene una selectividad por el cobalto sobre el hierro que es mayor que 5:1. En algunas modalidades, el conjugado tiene una selectividad por el cobalto sobre el hierro que es mayor que 10:1. En algunas modalidades, el cobalto está en forma de iones Co^{II}. En algunas modalidades, el conjugado tiene una afinidad de unión (K_d) para Co^{II} de aproximadamente 1 x 10⁻¹⁶ a aproximadamente 1 x 10⁻⁸ M⁻¹.

30 [0130] En algunas modalidades, el conjugado tiene una selectividad para el níquel sobre el cobalto que es mayor que 3:1. En algunas modalidades, el conjugado tiene una selectividad para el níquel sobre el cobalto que es mayor que 5:1. En algunas modalidades, el conjugado tiene una selectividad para el níquel sobre el cobalto que es mayor que 10:1.

[0131] En algunas modalidades, el conjugado tiene una selectividad para el cobalto sobre el
35 níquel que es mayor que 3:1. En algunas modalidades, el conjugado tiene una selectividad para el cobalto sobre el níquel que es mayor que 5:1. En algunas modalidades, el conjugado tiene una selectividad para el cobalto sobre el níquel que es mayor que 10:1.

[0132] **Péptidos**

[0133] En algunas modalidades, el péptido comprende de 3 a 30 residuos de aminoácidos. En algunas modalidades, el péptido comprende de 3 a 20 residuos de aminoácidos. En algunas modalidades, el péptido comprende de 3 a 10 residuos de aminoácidos. En algunas modalidades, el péptido comprende de 3, 4 o 5 residuos de aminoácidos. En algunas modalidades, el péptido comprende 3 residuos de aminoácidos. En algunas modalidades, el péptido comprende residuos de aminoácidos derivados de aminoácidos naturales. En algunas modalidades, el péptido comprende residuos de aminoácidos derivados de aminoácidos no naturales. En algunas modalidades, el péptido comprende únicamente aminoácidos derivados de aminoácidos naturales. En algunas modalidades, el péptido comprende un residuo de histidina.

[0134] En algunas modalidades, cada residuo de aminoácido se selecciona independientemente del grupo que consiste en un residuo de glicina, alanina, valina, leucina, isoleucina, serina, treonina, ácido aspártico, asparagina, ácido glutámico, glutamina, lisina, hidroxilisina, histidina, arginina, ornitina, fenilalanina, tirosina, triptófano, cisteína, metionina y α -hidroximetilserina.

[0135] En algunas modalidades, el péptido comprende una secuencia de aminoácidos que se encuentra en SCO4226, RcnR, NmtR, HypA o *E. coli* HypB. En algunas modalidades, la secuencia es eficaz para unir iones de níquel.

[0136] En algunas modalidades, el péptido comprende una de las siguientes secuencias de aminoácidos:

MAHFMDVHRGMHGITSQQLHQAHQADLAVEKDENVHFEQAWADPASGTIY
CLSEGPSAEAVQRVHERAGHKADEIHEVPLSA (proteína SCO4226; SEQ ID 1);
Hexa-His (His6; SEQ ID 2);
(Glu-Cys)20Gly (*E. coli* sp.; SEQ ID 3);
Ac-KGCHLDAQMIADAAPRLPLDDNGILFIENVGNLVCP-NH₂ (*E. coli* HypB; SEQ ID 4);
NH₂-MCTTCGCGEG-NH₂ (*E. coli* HypB; SEQ ID 5).

[0137] En algunas modalidades, el conjugado comprende un péptido que tiene la estructura: -NH-X_{AA1}-X_{AA2}-His-, en donde X_{AA1} y X_{AA2} son cada uno independientemente un residuo de aminoácido distinto de histidina.

[0138] En algunas modalidades, el conjugado comprende un péptido que tiene la estructura: -NH-X_{AA1}-X_{AA2}-His-X_{AA3}, wherein X_{AA1}, X_{AA2}, y X_{AA3} son cada uno independientemente un residuo de aminoácido distinto de histidina.

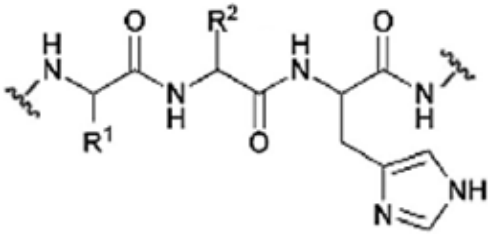
[0139] En algunas modalidades, cada X_{AA1} y X_{AA2} es independientemente un residuo de glicina, alanina, valina, leucina, isoleucina, serina, treonina, ácido aspártico, asparagina, ácido glutámico, glutamina, lisina, hidroxilisina, histidina, arginina, ornitina, fenilalanina, tirosina, triptófano, cisteína, metionina o α -hidroximetilserina.

[0140] En algunas modalidades, -NH-X_{AA1}-X_{AA2}-His- se selecciona del grupo que consiste en: -HN-DAH, -HN-DTH, -HN-VIH, -HN-MDH, -HN-RFH, -HN-RTH, -HN-HSH, -HN-GGH, -HN-GKH, -HN-KGH, -HN-KKH, -HN-YYH, -HN-MNH, -HN-kGH, -HN-kGH, -HN-GkH, y -HN-kkH.

[0141] En algunas modalidades, X_{AA3} es un residuo de aminoácido que comprende una cadena lateral. En algunas modalidades, X_{AA3} es un residuo de aminoácido que comprende una cadena lateral que está cargada positivamente. En algunas modalidades, la cadena lateral comprende

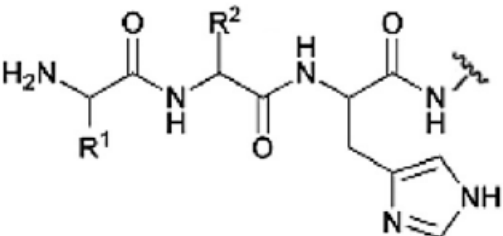
un resto de amina o guanidina. En algunas modalidades, X_{AA3} es un residuo de lisina, ornitina, arginina u homoarginina. En algunas modalidades, X_{AA3} es un residuo de lisina. En algunas modalidades, X_{AA3} es un residuo de arginina.

[0142] En algunas modalidades, el conjugado comprende un péptido que tiene la estructura:



5 , en donde R¹ y R² son cada uno independientemente H o una cadena lateral de un aminoácido. En algunas modalidades, la cadena lateral está cargada positivamente. En algunas modalidades, la cadena lateral comprende un resto de amina o guanidina.

[0143] En algunas modalidades, el conjugado comprende un péptido que tiene la estructura:



10 , en donde R¹ y R² son cada uno independientemente H o una cadena lateral de un aminoácido. En algunas modalidades, la cadena lateral está cargada positivamente. En algunas modalidades, la cadena lateral comprende un resto de amina o guanidina.

[0144] En algunas modalidades, R¹ y R² son cada uno independientemente el lateral de un residuo de glicina, alanina, valina, leucina, isoleucina, serina, treonina, ácido aspártico, asparagina, ácido glutámico, glutamina, lisina, hidroxilisina, histidina, arginina, ornitina, fenilalanina, tirosina, triptófano, cisteína, metionina o α-hidroximetilserina. En algunas modalidades, R¹ y R² son cada uno independientemente la cadena lateral de un residuo de lisina, ornitina, arginina u homoarginina.

[0145] Los péptidos descritos en este documento pueden configurarse para unirse selectivamente a níquel, cobalto u otro metal de interés, por ejemplo, modificando el motivo de unión del metal y/o las propiedades de los aminoácidos periféricos (es decir, los aminoácidos fuera del motivo de unión) que pueden incluirse en el conjugado. La selectividad deseada puede depender de la naturaleza del mineral, del proceso que se esté implementando para extraer uno o más metales de un mineral y/o de otras consideraciones apreciadas por un experto en la técnica.

[0146] En algunas modalidades, el péptido está configurado para unirse selectivamente al níquel. Los expertos en la técnica apreciarán que la selectividad para un metal en particular, por ejemplo, níquel, se podría atenuar modificando la estructura del péptido, tal como el -NH-X_{AA1}-X_{AA2}-His- definido en este documento. En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad por el níquel sobre los otros metales presentes en el mineral que es mayor que 3:1. En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad por el níquel sobre el hierro que es mayor que 3:1. En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad por el níquel sobre el

hierro que es mayor que 5:1. En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad por el níquel sobre el hierro que es mayor que 10:1. En algunas modalidades, el níquel está en forma de iones Ni^{II} . En algunas modalidades, el péptido tiene una afinidad de unión (K_d) para Ni^{II} de aproximadamente 1×10^{-16} a aproximadamente $1 \times 10^{-8} \text{ M}^{-1}$.

5 **[0147]** En algunas modalidades, el péptido está configurado para unirse selectivamente al cobalto. Los expertos en la técnica apreciarán que la selectividad para un metal en particular, por ejemplo, cobalto, se podría atenuar modificando la estructura del péptido, tal como el -NH- $\text{X}_{\text{AA1}}-\text{X}_{\text{AA2}}-\text{His}-$ definido en este documento. En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad por el cobalto sobre los otros metales presentes en el mineral que es mayor que
10 3:1. En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad por el cobalto sobre el hierro que es mayor que 3:1. En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad por el cobalto sobre el hierro que es mayor que 5:1. En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad por el cobalto sobre el hierro que es mayor que 10:1. En algunas modalidades, el cobalto está en forma de iones Co^{II} . En algunas modalidades, el péptido tiene una afinidad de unión (K_d)
15 para Co^{II} de aproximadamente 1×10^{-16} a aproximadamente $1 \times 10^{-8} \text{ M}^{-1}$.

[0148] En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad para el níquel sobre el cobalto que es mayor que 3:1. En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad para el níquel sobre el cobalto que es mayor que 5:1. En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad para el níquel sobre el cobalto que es mayor que 10:1.

20 **[0149]** En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad por el cobalto sobre el níquel que es mayor que 3:1. En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad por el cobalto sobre el níquel que es mayor que 5:1. En algunas modalidades, el péptido tiene una selectividad por el cobalto sobre el níquel que es mayor que 10:1.

[0150] Perlas de poliestireno (PS)

25 **[0151]** Las perlas de PS descritas en este documento pueden incluir cualquier propiedad adecuada para su uso en aplicaciones de recuperación de metales. En algunas modalidades, las perlas de PS son perlas de intercambio iónico. En algunas modalidades, las perlas de PS comprenden poliestireno reticulado. En algunas modalidades, las perlas de PS comprenden poliestireno reticulado con divinilbenceno. En algunas modalidades, las perlas de PS son perlas
30 de poliestireno poroso (PPB). Las perlas para su uso en las aplicaciones descritas son estables en las condiciones implementadas.

[0152] En algunas modalidades, las perlas de PS tienen un tamaño de perla que varía de aproximadamente $100 \mu\text{m}$ a aproximadamente $1500 \mu\text{m}$, por ejemplo, aproximadamente $100 \mu\text{m}$, aproximadamente $200 \mu\text{m}$, aproximadamente $300 \mu\text{m}$, aproximadamente $400 \mu\text{m}$,
35 aproximadamente $500 \mu\text{m}$, aproximadamente $600 \mu\text{m}$, aproximadamente $700 \mu\text{m}$, aproximadamente $800 \mu\text{m}$, aproximadamente $900 \mu\text{m}$, aproximadamente $1000 \mu\text{m}$, aproximadamente $1100 \mu\text{m}$, aproximadamente $1200 \mu\text{m}$, aproximadamente $1300 \mu\text{m}$, aproximadamente $1400 \mu\text{m}$ o aproximadamente $1500 \mu\text{m}$, incluidos todos los rangos y valores intermedios.

40 **[0153]** En algunas modalidades, las perlas de PS tienen un radio de poro que varía entre aproximadamente $100 \text{ \AA}$ y aproximadamente $1000 \text{ \AA}$, por ejemplo, aproximadamente $100 \text{ \AA}$, $200 \text{ \AA}$, $300 \text{ \AA}$, $400 \text{ \AA}$, $500 \text{ \AA}$, $600 \text{ \AA}$, $700 \text{ \AA}$, $800 \text{ \AA}$, $900 \text{ \AA}$, o $1000 \text{ \AA}$, incluidos todos los rangos y

valores intermedios. En algunas modalidades, las perlas de PS tienen un radio de poro que varía de aproximadamente 300 Å a aproximadamente 700 Å.

[0154] En algunas modalidades, las perlas de PS tienen una porosidad total mayor que aproximadamente 30 %, mayor que aproximadamente 40 %, mayor que aproximadamente 50 %, mayor que aproximadamente 70 %, mayor que aproximadamente 80 % o mayor que aproximadamente 90 %. En algunas modalidades, las perlas de PS tienen una porosidad total que varía de aproximadamente 30 % a aproximadamente 90 %. En algunas modalidades, las perlas de PS tienen una porosidad total que varía de aproximadamente 30 % a aproximadamente 60 %.

[0155] En algunas modalidades, la perla de PS comprende una pluralidad de grupos H₂N-PEG. En algunas modalidades, los grupos H₂N-PEG están recubiertos sobre la perla de PS. En algunas modalidades, los grupos H₂N-PEG están en la superficie de la perla de PS.

[0156] En algunas modalidades, el conjugado comprende un péptido que está unido covalentemente a la perla de PS. En algunas modalidades, uno o más péptidos están unidos covalentemente a la perla de PS. En algunas modalidades, el péptido está unido covalentemente a la perla de PS mediante una amina del grupo PEG, como se muestra arriba.

Modalidades numeradas

1. Un proceso de lixiviación para recuperar níquel y/o cobalto de un mineral de óxido, comprendiendo el proceso:

(a) combinar (i) uno o más microorganismos, (ii) una mezcla de sustrato, (iii) el mineral de óxido, (iv) un ligando opcional, y (v) una fase acuosa para formar una mezcla;

(b) mantener la mezcla del paso a) durante un período de tiempo predeterminado en condiciones suficientes para reducir al menos parcialmente una cantidad de hierro férrico en el mineral a hierro ferroso, en donde el hierro ferroso y el níquel se solubilizan en la fase acuosa;

y

(c) aislar la fase acuosa como una solución de lixiviación que comprende el hierro ferroso y una cantidad de níquel disuelto, de la mezcla.

2. El proceso de la modalidad 1, en donde los uno o más microorganismos del paso (a) se agregan a una suspensión que comprende la mezcla de sustrato, el mineral, el ligando opcional y la fase acuosa.

3. El proceso de la modalidad 1 o 2, en donde el uno o más microorganismos del paso (a) se derivan del mineral.

4. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-3, en donde el uno o más microorganismos producen una enzima o sistema enzimático seleccionado del grupo que consiste en CymA, DFE, DmkA/DmkB, EetA/EetB, FmnA/FmnB, GACE, MtrA/MtrA/MtrC, Ndh2, OmcF/OmcS/OmcZ, PplA y T4ap, o combinaciones de los mismos.

5. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-4, en donde el uno o más microorganismos se seleccionan del grupo que consiste en *Thermincola potens* JR (NC_014152.1), *Listeria monocytogenes* (NC_003210.1), *Clostridium celerecrescens* (NZ_PGET01000001.1), *Bacillus infernus*, *Bacillus subterraneus*, *Bacillus pseudormus* MC02, *Bacillus subterraneus*, *Thermoanaerobacter siderophilus* (NZ_CM001486.1), *Carboxydothemus ferrireducens* (NZ_ATYG01000001.1), *Carboxydothemus siderophilus*, *Carboxydothemus pertinax*

- (NZ_BDJK01000055.1), *Carboxydocella therrautotrophica* (NZ_CP028491.1), *Moorella humiferrea* (NZ_PVXM01000006.1), *Geosporobacter ferrireducens* IRF9, *Thermotalea metallivorans* B2-1(T), *Pelosinus fermentans*, *Thermotoga maritima* (NC_023151.1), *Sinirhodobacter ferrireducens* (NZ_SAVB01000001.1), *Acidiphilium SJH*, *Acidiphilium PK40*,
5 *Acidiphilium PK46*, *Acidiphilium KPWI4*, *Acidiphilium cryptum* JF-5, *Acidocella facilis*, *Acidocella M21*, *Acidocella PFBC*, *Acidocella PWB4*, *Shewanella putrefaciens* (NZ_CP066370.1), *Shewanella oneidensis* MR-1 (NC_004347.2), cepa de alga *Shewanella BrY* (NZ_CP046378.1), *Shewanella amazonensis* sp. nov., *Shewanella putrefaciens* IR-1, *Shewanella* sp. HN-41, *Shewanella putrefaciens* CN-32, *Shewanella putrefaciens* 200R, *Shewanella oneidensis* MR-1,
10 *Shewanella baltica* W3-6-1, *Shewanella* sp.PV-4, *Shewanella peizotolerans* WP3, *Shewanella decolorationis*, *Shewanella frigidimarina*, *Shewanella gelidimarina*, *Shewanella loihica*, *Shewanella pealeana*, *Serratia plymuthica* (NC_015567.1), *Serratia fonticola* (NZ_CP011254.1), *Aeromonas hydrophila* (NZ_CP050851.1), *Klebsiella oxytoca* (NZ_CP033844.1), *Ferrimonas balearica* (NC_014541.1), aislado similar a *Frateuria* WJ2,
15 *Desulfovibrio ferrofilo* (NZ_AP017378.1), *Desulfuromusa ferrireducens*, *Desulfuromonas svalbardensis*, *Desulfuromonas acetoxidans* (JABWTG01), *Geobacter sulfurreducens* (NC_002939.5), *Geobacter bemidjiensis* (NC_011146.1), *Geobacter metallireducens* (NC_007517.1), cepa *Geobacter pelophilus* Dfr2 (NZ_JAHCJVJ010000001.1), *Geobacter daltonii* (NC_011979.1), *Geobacter capillalei* (NZ_JAHDYS010000001.1), *Geobacter psychrophilus* sp. nov, *Geobacter bremensis* sp.nov. , *Geobacter lovleyi* sp. nov. Cepa SZ,
20 *Geobacter luticola*, *Geobacter pickeringii*, *Geobacter argillaceus*, *Geobacter uraniireducens*, *Desulfosediminicola ganghwensis* (NZ_CP050699.1), *Desulfosediminicola flagellatus* (NZ_CP050698.1), *Anaeromyxobacter dehalogenans* (NC_011891.1), Cepa de *Anaeromyxobacter* FAc12, *Geoalkalibacter subterraneus* (NZ_CP010311.1) , *Geoalkalibacter ferrihydriticus* (NZ_FNGU01000001.1), *Rhodoferax ferrireducens* (NC_007908.1), *Ferribacterium limneticum* (NZ_CP075189.1), *Geothrix fermentans* (NZ_KE386810.1), *Geovibrio ferrireducens*, *Deferribacter thermophilus*, *Pyrobaculum islandicum* (NC_008701.1), *Pyrodictium abyssi*, *Methanopyrus kandleri* (NC_003551.1), *Archaeoglobus fulgidus* (NZ_CP006577.1), *Pyrococcus furiosus* (NZ_CP023154.1), *Methanococcus*
30 *thermolithotrophicus* (NZ_AQXV01000055.1), *Ferroglobus placidus* (NC_013849.1), *Geoglobus acetivorans* sp.nov., *Acidobacterium capsulatum*, *Acidobacterium PK35*, *Acidobacterium RIT23*, *Acidobacterium* WJ7, *Telmatospirillum* (género alfaproteobacteriano) (PRJNA561022), *Sideroxydans lithotrophicus* ES-1, *Magnetospirillum magnético* AMB-1, *Candidatus Tectomicrobia*, *Candidatus Zixibacteria*, *Candidatus Tectomicrobia*, *Candidatus Dadabacteria*,
35 *Candidatus Handelsmanbacteria*, *Carboxydotherrmus hidrogenoformans*, *Carboxydotherrmus islandicus*, *Telmatospirillum siberiense*, *Nitrosococcus halophilus*, *Skermanella stibiirensistens*, *Insolitispirillum peregrinum*, *Magnetospirillum magneticum*, y mezclas de los mismos.
6. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-5, en donde el uno o más microorganismos es una *Shewanella* spp.
- 40 7. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-6, en donde el uno o más microorganismos son *Shewanella putrefaciens* IR-1, *Shewanella putrefaciens* CN-32 o *Shewanella putrefaciens* 200R.

8. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-7, en donde el uno o más microorganismos son *Shewanella putrefaciens* 200R.
9. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-8, en donde el uno o más microorganismos son *Shewanella putrefaciens* IR-1.
- 5 10. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-6, en donde el uno o más microorganismos son *Shewanella putrefaciens* CN-32.
11. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-10, en donde el microorganismo posee una o más mutaciones.
12. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-11, en donde el microorganismo se muta
10 para mejorar su capacidad para reducir el hierro.
13. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-12, en donde la mezcla de sustrato comprende un agente reductor.
14. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-13, en donde la mezcla de sustrato comprende productos de desecho carbonoso, azufre elemental, sustancias que contienen
15 formas de azufre parcialmente reducidas o mezclas de los mismos.
15. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-13, en donde la mezcla de sustrato comprende melaza, azúcar, azúcar de remolacha, azúcar de caña, dextrosa hidrolizada de maíz, dextrosa hidrolizada de almidón de maíz, materiales que contienen sacarosa, productos de fermentación de los mismos o mezclas de los mismos.
- 20 16. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-15, en donde el sustrato es un acetato, lactato o glucosa derivado de aceite de palma, melaza, azúcar, azúcar de remolacha, azúcar de caña, dextrosa hidrolizada de maíz, dextrosa hidrolizada de almidón de maíz o materiales que contienen sacarosa.
17. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-16, en donde el mineral de óxido es un
25 mineral de laterita.
18. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-17, en donde se muele el mineral de óxido.
19. El proceso de la modalidad 18, en donde el mineral de óxido molido comprende partículas de menos de aproximadamente 1 mm de diámetro.
20. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-17, en donde se muele el mineral de óxido.
- 30 21. El proceso de la modalidad 20, en donde el mineral de óxido molido comprende partículas de menos de aproximadamente 6 mm de diámetro.
22. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-21, en donde el mineral de óxido comprende de aproximadamente 1 % a aproximadamente 25 % en peso de uno o más minerales de hierro férrico.
- 35 23. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-22, en donde el mineral de óxido comprende de aproximadamente 5 % a aproximadamente 15 % en peso de hierro.
24. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-23, en donde el mineral de óxido comprende de aproximadamente 0,1 % a aproximadamente 15 % en peso de níquel.
25. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-24, en donde el mineral de óxido comprende
40 de aproximadamente 0,1 % a aproximadamente 5 % en peso de níquel.
26. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-25, en donde el mineral de óxido comprende de aproximadamente 0,1 % a aproximadamente 2,5 % en peso de níquel.

27. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-26, en donde el níquel en el mineral de óxido está asociado con uno o más minerales de hierro férrico, cuarzo y silicatos de magnesio.
28. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-27, en donde la mayoría del níquel en el mineral de óxido está asociado con uno o más minerales de hierro férrico.
- 5 29. El proceso de la modalidad 27 o 28, en donde el uno o más minerales de hierro férrico son (oxi)hidróxidos de hierro férrico o $\alpha\text{-FeO}\cdot\text{OH}$ (goethita).
30. El proceso de la modalidad 29, en donde entre aproximadamente 40 % a aproximadamente 70 % del níquel en el mineral de óxido está asociado con la goethita.
31. El proceso de la modalidad 29 o 30, en donde aproximadamente 50 % a aproximadamente 10 60 % del níquel en el mineral de óxido está asociado con la goethita.
32. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-33, en donde el mineral de óxido comprende además cobalto.
33. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-32, en donde el mineral de óxido comprende aproximadamente 0,01 % a aproximadamente 2,0 % en peso de cobalto.
- 15 34. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-33, en donde el mineral de óxido comprende de aproximadamente 0,1 % a aproximadamente 0,5 % en peso de cobalto.
35. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-34, en donde el cobalto se solubiliza en la fase acuosa del paso (b).
36. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-35, en donde la mezcla del paso (a) 20 comprende (i) uno o más microorganismos, (ii) la mezcla de sustrato, (iii) el mineral, (iv) un ligando, y (v) la fase acuosa.
37. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-36, en donde el ligando es un ácido orgánico.
38. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-37, en donde el ligando es una combinación de ácidos orgánicos.
- 25 39. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-37, en donde el ligando es un ácido orgánico seleccionado del grupo que consiste en ácido málico, ácido láctico, ácido glucónico, ácido pirúvico, ácido succínico, ácido cetoglutárico, ácido oxálico, ácido fumárico y ácido cítrico o una combinación de los mismos.
40. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-39, en donde la fase acuosa del paso (a) 30 comprende un tampón.
41. El proceso de la modalidad 40, en donde el tampón mantiene un pH de aproximadamente 5 a 8.
42. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-41, en donde el período de tiempo predeterminado del paso (b) es de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 30 días.
- 35 43. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-42, en donde el período de tiempo predeterminado del paso (b) es de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 24 horas.
44. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-43, en donde las condiciones del paso (b) comprenden mantener la mezcla a una temperatura de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 75 °C.
- 40 45. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-44, en donde las condiciones del paso (b) comprenden mantener la mezcla a una temperatura de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 50 °C.

46. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-45, en donde las condiciones del paso (b) comprenden mantener la mezcla a una presión absoluta de aproximadamente una atmósfera.
47. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-46, en donde las condiciones del paso (b) comprenden mantener la fase acuosa a un pH de aproximadamente 5-8.
- 5 48. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-47, en donde las condiciones del paso (b) comprenden agitar la mezcla.
49. El proceso de la modalidad 48, en donde la mezcla se agita mediante agitación.
50. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-49, en donde el uno o más microorganismos utilizados en la reducción del paso (b) se cultivan en condiciones anaeróbicas o sustancialmente anaeróbicas.
- 10 51. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-50, en donde la reducción de hierro férrico a hierro ferroso se lleva a cabo en condiciones anóxicas o sustancialmente anóxicas.
52. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-51, en donde sustancialmente todo el hierro férrico en el mineral se reduce a hierro ferroso durante el paso b).
- 15 53. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-52, en donde al menos 30 %, al menos 40 %, al menos 50 %, al menos 60 %, más de 70 %, al menos 80 % o al menos 90 %, en peso, del hierro férrico en el mineral se reduce a hierro ferroso durante el paso b).
54. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-53, en donde más de 70 %, más de 80 % o más de 90 %, en peso, del hierro férrico en el mineral se reduce a hierro ferroso durante el paso b).
- 20 55. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-54, en donde el proceso se lleva a cabo como un proceso de flujo continuo o de flujo semicontinuo.
56. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-55, en donde el proceso se lleva a cabo como una lixiviación en pilas, lixiviación en columna, lixiviación en tanque agitado o un proceso *in situ*.
- 25 57. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-56, en donde aproximadamente 5 % a aproximadamente 90 % en peso del níquel en el mineral se solubiliza en la fase acuosa después del paso (b).
58. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-57, en donde aproximadamente 50 % a aproximadamente 80 % en peso del níquel en el mineral se solubiliza en la fase acuosa después del paso (b).
- 30 59. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-58, en donde aproximadamente 1 % a aproximadamente 10 % en peso del níquel se solubiliza por día a partir del mineral.
60. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-59, en donde aproximadamente 3 % a aproximadamente 6 % en peso del níquel se solubiliza por día a partir del mineral.
- 35 61. El proceso de cualquiera de las modalidades 32-60, en donde aproximadamente 5 % a aproximadamente 90 % en peso del cobalto en el mineral se solubiliza en la fase acuosa después del paso (b).
62. El proceso de cualquiera de las modalidades 32-61, en donde al menos aproximadamente 30 % en peso del cobalto se solubiliza en la fase acuosa después del paso (b).
- 40 63. El proceso de cualquiera de las modalidades 32-62, en donde aproximadamente 30 % a aproximadamente 70 % en peso del cobalto en el mineral se solubiliza en la fase acuosa

después del paso (b).

64. El proceso de cualquiera de las modalidades 32-63, en donde aproximadamente 1 % a aproximadamente 10 % en peso del cobalto se solubiliza por día a partir del mineral.

65. El proceso de cualquiera de las modalidades 32-64, en donde aproximadamente 2 % a aproximadamente 5 % en peso del cobalto se solubiliza por día a partir del mineral.

66. El proceso de cualquiera de las modalidades 32-65, en donde la solución de lixiviación del paso (c) comprende además una cantidad de cobalto disuelto.

67. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-66, en donde la fase acuosa del paso (c) se aísla de la mezcla mediante sedimentación de los sólidos no disueltos y decantación de la solución de lixiviación.

68. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-66, en donde la fase acuosa del paso (c) se aísla de la mezcla mediante filtración por gravedad.

69. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-68, en donde la solución de lixiviación está sustancialmente libre de sólidos no disueltos.

70. El proceso de cualquiera de las modalidades 1-40, que comprende además:

(d) poner en contacto la solución de lixiviación del paso (c) con un conjugado que comprende un péptido y una perla de poliestireno (PS) durante un período de tiempo en condiciones que forman un complejo de ión metálico-conjugado, en donde el péptido está configurado para unirse selectivamente al níquel y/o al cobalto;

(e) aislar el complejo de iones metálicos conjugados del paso (d);

(f) eluir el uno o más iones metálicos del complejo de iones metálicos conjugados lavando el complejo con ácido, formando así una solución;

(g) transferir la solución del paso (f) que comprende los iones metálicos a un circuito de electroobtención;

(h) aplicar una corriente eléctrica a través de la solución del paso (f) que comprende los iones metálicos;

(i) recoger el uno o más metales resultantes en una superficie de un cátodo; y

(j) recuperar el uno o más metales del cátodo.

71. El proceso de la modalidad 70, en donde el péptido y la perla de PS están unidos covalentemente.

72. El proceso de la modalidad 70 o 71, en donde el péptido comprende un residuo de histidina.

73. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-72, en donde el péptido comprende de 3 a 10 residuos de aminoácidos.

74. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-73, en donde el péptido comprende:

-NH-X_{AA1}-X_{AA2}-His-,

en donde X_{AA1} y X_{AA2} son cada uno independientemente un residuo de aminoácido distinto de histidina.

75. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-74, en donde el péptido comprende:

-NH-X_{AA1}-X_{AA2}-His-X_{AA3},

en donde X_{AA1}, X_{AA2} X_{AA3} son cada uno independientemente un residuo de aminoácido distinto de histidina.

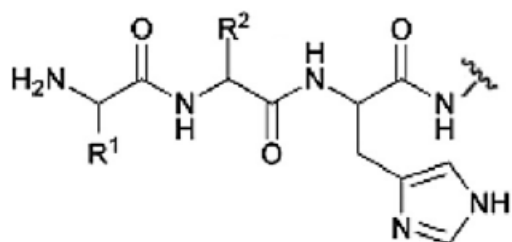
76. El proceso de la modalidad 74 o 75, en donde cada X_{AA1} y X_{AA2} es independientemente un

residuo de glicina, alanina, valina, leucina, isoleucina, serina, treonina, ácido aspártico, asparagina, ácido glutámico, glutamina, lisina, hidroxilisina, histidina, arginina, ornitina, fenilalanina, tirosina, triptófano, cisteína, metionina o α -hidroximetilserina.

77. El proceso de cualquiera de las modalidades 74-76, en donde -NH- X_{AA1} - X_{AA2} -His- se selecciona del grupo que consiste en: -NH-DAH, -NH-DTH, -NH-VIH, -NH-MDH, -NH-RFH, -NH-RTH, -NH-HSH, -NH-GGH, -NH-GKH, -NH-KGH, -NH-KKH, -NH-YYH, -NH-MNH, -NH-kGH, -NH-kGH, -NH-GkH y -NH-kkH.

78. El proceso de cualquiera de las modalidades 75-77, en donde X_{AA3} es un residuo de lisina.

79. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-78, en donde el péptido tiene la estructura:



, en donde R^1 y R^2 son cada uno independientemente H o una cadena lateral de un aminoácido.

80. El proceso de la modalidad 79, en donde la cadena lateral está cargada positivamente.

81. El proceso de la modalidad 79 o la modalidad 80, en donde la cadena lateral comprende un resto de amina o guanidina.

82. El proceso de cualquiera de las modalidades 79-81, en donde R^1 y R^2 son cada uno independientemente la cadena lateral de un residuo de lisina, ornitina, arginina u homoarginina.

83. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-82, en donde la perla de PS comprende una pluralidad de grupos H_2N -PEG.

84. El proceso de la modalidad 83, en donde los grupos H_2N -PEG están en la superficie de la perla de PS.

85. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-84, en donde el péptido está unido covalentemente a la perla de PS.

86. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-85, en donde uno o más péptidos están unidos covalentemente a la perla de PS.

87. El proceso de la modalidad 85 o 86, en donde el péptido está unido covalentemente a la perla de PS mediante una amina del grupo PEG.

88. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-87, en donde la solución de lixiviación del paso (d) comprende níquel disuelto y, opcionalmente, cobalto.

89. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-88, en donde el péptido está configurado para unirse selectivamente al níquel.

90. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-89, en donde el péptido tiene una selectividad para el níquel sobre el hierro que es mayor que 3:1.

91. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-89, en donde el péptido tiene una selectividad para el níquel sobre el hierro que es mayor que 10:1.

92. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-91, en donde el níquel está en forma de iones Ni^{II} .

93. El proceso de la modalidad 92, en donde el péptido tiene una afinidad de unión por Ni^{II} de

aproximadamente 1×10^{-16} a aproximadamente $1 \times 10^{-8} \text{ M}^{-1}$.

94. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-93, en donde la solución de lixiviación del paso (d) comprende un complejo de coordinación de iones conjugados- Ni^{II} .

5 95. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-94, en donde más de aproximadamente el 50 % del níquel en la solución de lixiviación se compleja con el conjugado después del período de tiempo en el paso (d).

96. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-95, en donde más de aproximadamente el 80 % del níquel en la solución de lixiviación se compleja con el conjugado después del período de tiempo en el paso (d).

10 97. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-96, en donde el péptido está configurado para unirse selectivamente al cobalto.

98. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-97, en donde el péptido tiene una selectividad para el cobalto sobre el hierro que es mayor que 3:1.

15 99. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-97, en donde el péptido tiene una selectividad para el cobalto sobre el hierro que es mayor que 10:1.

100. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-99, en donde el cobalto está en forma de iones Co^{II} .

101. El proceso de la modalidad 100, en donde el péptido tiene una afinidad de unión por Co^{II} de aproximadamente 1×10^{-16} a aproximadamente $1 \times 10^{-8} \text{ M}^{-1}$.

20 102. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-101, en donde la solución de lixiviación del paso (d) comprende un complejo de coordinación de iones conjugados- Co^{II} .

103. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-102, en donde más de aproximadamente el 50 % del cobalto en la solución de lixiviación se compleja con el conjugado después del período de tiempo en el paso (d).

25 104. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-103, en donde más de aproximadamente el 80 % del cobalto en la solución de lixiviación se compleja con el conjugado después del período de tiempo en el paso (d).

105. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-104, en donde el contacto del paso (d) comprende la aplicación de calor y/o agitación.

30 106. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-105, en donde el período de tiempo en el paso (d) es de aproximadamente 1 h a aproximadamente 24 h.

107. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-106, en donde el paso (e) de aislar el complejo de ion metálico conjugado comprende filtrar la solución de lixiviación.

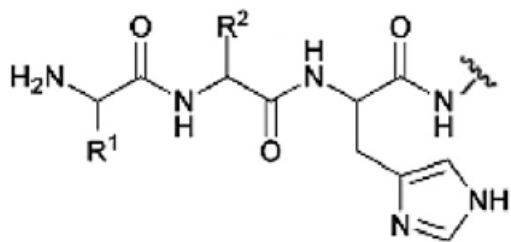
35 108. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-107, en donde el ácido tiene un pH que varía de aproximadamente 2-4.

109. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-108, en donde la solución del paso (f) comprende más del 60 % del níquel en la solución de lixiviación del paso (a).

110. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-109, en donde la solución del paso (f) comprende más del 80 % del níquel en la solución de lixiviación del paso (a).

40 111. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-110, en donde el níquel recuperado del cátodo en el paso (j) representa más de aproximadamente 50 % en peso del níquel en el mineral de óxido.

112. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-111, en donde el níquel recuperado del cátodo en el paso (j) representa más de aproximadamente 75 % en peso del níquel en el mineral de óxido.
113. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-112, en donde el cobalto recuperado del cátodo en el paso (j) representa más de aproximadamente 50 % en peso del cobalto en el mineral de óxido.
114. El proceso de cualquiera de las modalidades 70-113, en donde el cobalto recuperado del cátodo en el paso (j) representa más de aproximadamente 75 % en peso del cobalto en el mineral de óxido.
115. Un conjugado que comprende un péptido y una perla de poliestireno (PS).
116. El conjugado de la modalidad 115, en donde el péptido y la perla de PS están unidos covalentemente.
117. El conjugado de la modalidad 115 o 116, en donde el péptido comprende un residuo de histidina.
118. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-117, en donde el péptido comprende de 3 a 10 residuos de aminoácidos.
119. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-118, en donde el péptido comprende la estructura:
- $$-\text{NH}-\text{X}_{\text{AA1}}-\text{X}_{\text{AA2}}-\text{His}-,$$
- en donde X_{AA1} y X_{AA2} son cada uno independientemente un residuo de aminoácido distinto de histidina.
120. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-118, en donde el péptido comprende la estructura:
- $$-\text{NH}-\text{X}_{\text{AA1}}-\text{X}_{\text{AA2}}-\text{His}-\text{X}_{\text{AA3}},$$
- en donde X_{AA1} , X_{AA2} y X_{AA3} son cada uno independientemente un residuo de aminoácido distinto de histidina.
121. El conjugado de la modalidad 119 o 120, en donde cada X_{AA1} y X_{AA2} es independientemente un residuo de glicina, alanina, valina, leucina, isoleucina, serina, treonina, ácido aspártico, asparagina, ácido glutámico, glutamina, lisina, hidroxilisina, histidina, arginina, ornitina, fenilalanina, tirosina, triptófano, cisteína, metionina o α -hidroximetilserina.
122. El conjugado de cualquiera de las modalidades 119-121, en donde $-\text{NH}-\text{X}_{\text{AA1}}-\text{X}_{\text{AA2}}-\text{His}-$ se selecciona del grupo que consiste en: $-\text{HN}-\text{DAH}$, $-\text{HN}-\text{DTH}$, $-\text{HN}-\text{VIH}$, $-\text{HN}-\text{MDH}$, $-\text{HN}-\text{RFH}$, $-\text{HN}-\text{RTH}$, $-\text{HN}-\text{HSH}$, $-\text{HN}-\text{GGH}$, $-\text{HN}-\text{GKH}$, $-\text{HN}-\text{KGH}$, $-\text{HN}-\text{KKH}$, $-\text{HN}-\text{YYH}$, $-\text{HN}-\text{MNH}$, $-\text{HN}-\text{KGH}$, $-\text{HN}-\text{GkH}$, y $-\text{HN}-\text{kkH}$.
123. El conjugado de cualquiera de las modalidades 120-122, en donde X_{AA3} es un residuo de lisina.
124. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-123, que tiene la estructura:



, en donde R^1 y R^2 son cada uno independientemente H o

una cadena lateral de un aminoácido.

125. El conjugado de la modalidad 10, en donde la cadena lateral está cargada positivamente.

126. El conjugado de la modalidad 124 o la modalidad 125, en donde la cadena lateral comprende un resto de amina o guanidina.

127. El conjugado de cualquiera de las modalidades 124-126, en donde R^1 y R^2 son cada uno independientemente la cadena lateral de un residuo de lisina, ornitina, arginina u homoarginina.

128. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-127, en donde el péptido está configurado para unirse selectivamente al níquel.

129. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-128, en donde el péptido tiene una selectividad para el níquel sobre el hierro que es mayor que 3:1.

130. El proceso de cualquiera de las modalidades 115-128, en donde el péptido tiene una selectividad para el níquel sobre el hierro que es mayor que 10:1.

131. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-130, en donde el níquel está en forma de iones Ni^{II} .

132. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-131, en donde el péptido tiene una afinidad de unión por Ni^{II} de aproximadamente 1×10^{-16} a aproximadamente $1 \times 10^{-8} M^{-1}$.

133. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-132, en donde el péptido está configurado para unirse selectivamente al cobalto.

134. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-133, en donde el péptido tiene una selectividad para el cobalto sobre el hierro que es mayor que 3:1.

135. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-133, en donde el péptido tiene una selectividad para el cobalto sobre el hierro que es mayor que 10:1.

136. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-135, en donde el cobalto está en forma de iones Co^{II} .

137. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-136, en donde el péptido tiene una afinidad de unión por Co^{II} de aproximadamente 1×10^{-16} a aproximadamente $1 \times 10^{-8} M^{-1}$.

138. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-137, en donde la perla de PS comprende una pluralidad de grupos H_2N -PEG.

139. El conjugado de la modalidad 138, en donde los grupos H_2N -PEG están en la superficie de la perla de PS.

140. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-139, en donde el péptido está unido covalentemente a la perla de PS.

141. El conjugado de cualquiera de las modalidades 115-139, en donde uno o más péptidos están unidos covalentemente a la perla de PS.

142. El conjugado de la modalidad 140 o 141, en donde el péptido está unido covalentemente a la perla de PS mediante una amina del grupo PEG.

Ejemplos

[0157] En este documento se describen experimentos de lixiviación que incluyen incubaciones discontinuas en sistemas cerrados e incubaciones de flujo continuo en sistemas abiertos. Las incubaciones en sistema abierto se utilizarán para superar las limitaciones relacionadas con la acumulación de productos de reacción.

[0158]Ejemplo 1. Incubaciones discontinuas en sistemas cerrados

[0159] Se llevaron a cabo experimentos de incubación discontinua en sistemas cerrados similares a los descritos en Crowe, SA, et al. "Alteration of iron-rich lacustrine sediments by dissimilatory iron-reducing bacteria." *Geobiology* 5.1 (2007): 63-73, que se incorpora como referencia en su totalidad en el presente documento, con pasos y modificaciones adicionales. Los experimentos aquí descritos se llevaron a cabo en recipientes sellados (por ejemplo, frascos de vidrio o botellas de suero) de los cuales se ha purgado el aire con gas N₂ y que comprenden cuatro componentes: 1) minerales de oxihidróxido de Fe sintéticos o naturales que contienen níquel y cobalto, incluidos suelos de laterita; 2) un medio acuoso que contiene sales y nutrientes (tabulados a continuación); 3) un sustrato (donante de electrones); y 4) un organismo o conjuntos de organismos. Los experimentos de incubación se llevan a cabo a lo largo de varios días a varios meses. Se toma una muestra de la fase acuosa y se separa de los oxihidróxidos mediante filtración o centrifugación. Se monitorea la química de la solución, incluidas las concentraciones de Fe, Ni y Co (se muestrean y conservan en HNO₃ al 2 % para su análisis posterior mediante ICP-OES o ICP-MS) en función del tiempo para determinar el grado de disolución del mineral de Fe y la liberación asociada de Ni y Co a la fase acuosa (como se muestra en las Fig. 1A-1D).

[0160] Composición del medio acuoso de referencia (variada para lograr una concentración mínima de sal)

- NH₄Cl: 28mM
- KCl: 1,39mM
- CaCl₂: 0,68mM
- NaClO₄: 50mM

[0161]Ejemplo2. Biolixiviación discontinua en lateritas con *S. putrefaciens*

[0162] Se suministró lactato como donante de electrones a *S. putrefaciens* como se muestra en las Fig. 1A-1D, la reducción microbiana de hierro es eficaz para reducir los minerales de Fe de las lateritas. En el transcurso de 17 días, *S. putrefaciens* disolvió reductivamente el 3 % y el 42 % del total de Fe y Mn en el material de laterita, respectivamente. En respuesta, aproximadamente el 4 % y el 25 % del Ni y el Co se liberaron en solución, respectivamente. Esto corresponde a concentraciones de Ni y Co de 27 µM y 6 µM, respectivamente. Estas concentraciones, en una solución simple de pH neutro, son susceptibles de captura y recuperación mediante intercambio iónico posterior.

[0163]Ejemplo 3. Biolixiviación discontinua en lateritas con *S. putrefaciens* y citrato 50 mM

[0164] Se suministró lactato como donante de electrones a *S. putrefaciens*. Como se muestra en las Fig. 1A-1D, la reducción microbiana de hierro es eficaz para reducir los minerales de Fe de las lateritas. En el transcurso de 25 días, *S. putrefaciens* disolvió reductivamente

aproximadamente 65 % y 85 % del total de Fe y Mn en el material de laterita, respectivamente. En respuesta, aproximadamente el 65 % y el 85 % del Ni y el Co se liberaron en solución, respectivamente. Esto corresponde a concentraciones de Ni y Co de 430 μM y 22 μM , respectivamente. Estas concentraciones, en una solución simple de pH neutro, son susceptibles de captura y recuperación mediante intercambio iónico posterior.

[0165]Ejemplo 4. Biolixiviación discontinua en lateritas con comunidad natural y citrato 50 mM

[0166] Se suministró lactato como donante de electrones a *S. putrefaciens*. Como se muestra en las Fig. 1A-1D, la reducción microbiana de hierro es eficaz para reducir los minerales de Fe de las lateritas. En el transcurso de 25 días, *S. putrefaciens* disolvió reductivamente aproximadamente 1 % y 25 % del total de Fe y Mn en el material de laterita, respectivamente. En respuesta, aproximadamente el 8 % y el 52 % del Ni y el Co se liberaron en solución, respectivamente. Esto corresponde a concentraciones de Ni y Co de 54 μM y 13 μM , respectivamente. Estas concentraciones, en una solución simple de pH neutro, son susceptibles de captura y recuperación mediante intercambio iónico posterior.

[0167]Ejemplo 5. Incubaciones de flujo continuo en sistemas abiertos

[0168] Como se muestra en la Fig. 2, se llevaron a cabo incubaciones de flujo continuo en sistema abierto similares a las descritas en Roden, Eric E., Matilde M. Urrutia y Carroll J. Mann. "Bacterial reductive dissolution of crystalline Fe (III) oxide in continuous-flow column reactors." *Applied and Environmental Microbiology* 66.3 (2000): 1062-1065, que se incorpora como referencia en este documento en su totalidad, con componentes y pasos adicionales como los descritos para las incubaciones de sistema cerrado anteriores en el Ejemplo 1. Los minerales de oxihidróxido de Fe sintéticos y/o naturales, incluidos los suelos de laterita, se empaquetaron en reactores de columna a través de los cuales se bombearon el medio acuoso, el donante de electrones y los organismos. Se monitoreó la química de la solución, incluidas las concentraciones de Fe, Ni, Co y Mn en el efluente de la columna en función del tiempo (se muestrearon y conservaron en HNO_3 al 2 % para su análisis posterior mediante ICP-OES o ICP-MS) para determinar el grado de disolución del mineral de Fe y la disolución asociada de Ni y Co.

[0169]Ejemplo 6. Biolixiviación por flujo continuo en lateritas con *S. putrefaciens* y citrato 50 mM

[0170] Se suministró lactato como donante de electrones a *S. putrefaciens*. Como se muestra en la Fig. 2, la reducción microbiana de hierro es eficaz para reducir los minerales de Fe de las lateritas. En el transcurso de 90 días, *S. putrefaciens* disolvió reductivamente aproximadamente 100 % del total de Fe y Mn en el material de laterita, respectivamente. En respuesta, aproximadamente el 100 % del Ni y el Co se liberaron en solución, respectivamente. Esto corresponde a concentraciones de Ni y Co de hasta 112 μM y 56 μM , respectivamente. Estas concentraciones, en una solución simple de pH neutro, son susceptibles de captura y recuperación mediante intercambio iónico posterior.

[0171]Ejemplo 7. Biolixiviación por flujo continuo en lateritas con *S. putrefaciens*

[0172] Se suministra lactato como donante de electrones a *S. putrefaciens*. La reducción microbiana de hierro es eficaz para reducir los minerales de Fe de las lateritas. En el transcurso

de 300 días, *S. putrefaciens* disuelve reductivamente aproximadamente 100 % y 100 % del total de Fe y Mn en el material de laterita, respectivamente. En respuesta, aproximadamente el 100 % y 100 % del Ni y el Co se liberan en solución, respectivamente. Esto corresponde a concentraciones de Ni y Co de hasta 112 µM y 56 µM, respectivamente. Estas concentraciones, en una solución simple de pH neutro, son susceptibles de captura y recuperación mediante intercambio iónico posterior.

[0173]Ejemplo 8. Biolixiviación en lateritas con *Geobacter metallireducens*

[0174]El acetato como donante de electrones se suministra a *Geobacter metallireducens*. La reducción microbiana de hierro es eficaz para reducir los minerales de Fe de las lateritas. En el transcurso de 1-20 días, *Geobacter metallireducens* disuelve reductivamente 5-50 % y 40-100 % del total de Fe y Mn en el material de laterita, respectivamente. En respuesta, aproximadamente el 4-40 % y 25-100 % del Ni y el Co se liberan en solución, respectivamente. Esto corresponde a concentraciones de Ni y Co de 25-250 µM y 6-24 µM, respectivamente. Estas concentraciones, en una solución simple de pH neutro, son susceptibles de captura y recuperación mediante intercambio iónico posterior.

[0175]Ejemplo 9. Biolixiviación en lateritas con *Clostridium celerecrescens*

[0176]La glucosa como donante de electrones se suministra a *Clostridium celerecrescens*. En el transcurso de dos meses, *Clostridium celerecrescens* reduce entre el 10 y el 100 % del Fe total en el material laterítico con glucosa. Esto produce una disolución correspondiente de 10-100 % de la laterita Ni y Co, y produce lixiviados con concentraciones de Ni y Co de aproximadamente 64-640 µM y 3-25 µM, respectivamente. Estas concentraciones, en una solución simple de pH neutro, se recuperan luego mediante cromatografía de intercambio iónico.

[0177]Ejemplo 10. Biolixiviación en lateritas con un consorcio mixto de *S. putrefaciens*, *Clostridium celerecrescens* y *Acidobacterium capsulatum*

[0178]Se suministra melaza al consorcio. En el transcurso de una semana, el consorcio reduce el 20 % del Fe total en el material de laterita con lactato. Suponiendo que la disolución de Ni y Co es congruente con la reducción de Fe, esto produce una disolución correspondiente del 20 % de la laterita Ni y Co, que en relaciones molares Fe:Ni y Fe:Co de 0,026 y 0,0009 en estos materiales produce lixiviados con concentraciones de Ni y Co de 600 µM y 16 µM, respectivamente. Estas concentraciones, en una solución simple de pH neutro, son susceptibles de captura y recuperación mediante intercambio iónico posterior.

[0179]Ejemplo 11. Biolixiviación en lateritas con mutante *S. putrefaciens*

[0180]Se suministra lactato como donante de electrones a *S. putrefaciens* mutante. La reducción microbiana de hierro es eficaz para reducir los minerales de Fe de las lateritas. En el transcurso de 1-20 días, *S. putrefaciens* mutante disuelve reductivamente 5-50 % y 40-100 % del total de Fe y Mn en el material de laterita, respectivamente. En respuesta, aproximadamente el 4-40 % y 25-100 % del Ni y el Co se liberan en solución, respectivamente. Esto corresponde a concentraciones de Ni y Co de 25-250 µM y 6-24 µM, respectivamente. Estas concentraciones, en una solución simple de pH neutro, son susceptibles de captura y recuperación mediante intercambio iónico posterior.

[0181]Ejemplo 12: Recuperación de metales

[0182] Una solución de lixiviación cargada que contiene Fe^{2+} y Ni^{2+} se pasa primero a través de una columna de lecho fijo de intercambio iónico para eliminar otros metales, si están presentes. La solución resultante se pasa luego a través del conjugado de intercambio iónico (IX) descrito que comprende un péptido y perlas de PS en el que las columnas cargadas con el conjugado están fijadas en un carrusel. Se utiliza como solución de extracción una solución electrolítica acidificada, fabricada para corresponder a una solución de electroobtención de níquel. Las impurezas se rechazan en el refinado y el níquel se recupera en el eluido. El eluido se transfiere a un circuito de electrodeposición y se aplica corriente. El níquel se recoge en la superficie de un cátodo y se recupera.

[0183] Ejemplo 13: Lixiviación y recuperación de metales mediante la configuración de circuito 1 (Fig. 5A)

[0184] 1) Los sustratos (por ejemplo, ácidos grasos volátiles) se producen a través de la fermentación de materiales orgánicos complejos como el aceite de palma o las aguas residuales municipales; 2) los sustratos de 1 se mezclan con sales, agua y ligandos; 3) la mezcla que contiene el sustrato se riega sobre suelos de laterita sin excavación y la lixiviación reductiva tiene lugar directamente dentro del espacio poroso del suelo; 4) el lixiviado se recoge del agua subterránea y se pasa a través de un circuito de intercambio iónico para recuperar níquel, cobalto y otros metales; 5) el lixiviado se airea para oxidar el hierro y/o se ajusta el pH para inducir la precipitación; 6) los precipitados de hierro se separan del lixiviado y se eliminan para que el efluente pueda reciclarse.

[0185] Ejemplo 14: Lixiviación y recuperación de metales mediante la configuración de circuito 2 (Fig. 5B)

[0186] 1) Los sustratos (por ejemplo, ácidos grasos volátiles) se producen a través de la fermentación de materiales orgánicos complejos como el aceite de palma o las aguas residuales municipales; 2) los sustratos de 1 se mezclan con sales, agua y ligandos; 3) Los microorganismos específicos se cultivan a través de la fermentación industrial y luego se inoculan en la mezcla que contiene el sustrato, 4) los suelos lateríticos se excavan y se muelen si es necesario; 5) los suelos se aglomeran, si es necesario, y luego se transportan a las columnas de lixiviación; 6) el mineral se carga en las columnas de lixiviación y la mezcla que contiene el sustrato inoculado se alimenta por gravedad o se bombea a través de las columnas; 7) el lixiviado se recoge de la salida de la columna y se pasa a través del circuito de intercambio iónico para recuperar níquel, cobalto y otros metales; 8) el lixiviado se airea para oxidar el hierro y/o se ajusta el pH para inducir la precipitación; 9) los precipitados de hierro se separan del lixiviado y se eliminan para que el efluente pueda reciclarse.

[0187] Ejemplo 15: Lixiviación y recuperación de metales mediante la configuración de circuito 3 (Fig. 5C)

[0188] 1) Los sustratos (por ejemplo, ácidos grasos volátiles) se producen a través de la fermentación de materiales orgánicos complejos como el aceite de palma o las aguas residuales municipales; 2) los sustratos de 1 se mezclan con sales, agua y ligandos; 3) se cultivan microorganismos específicos a través de la fermentación industrial y luego se inoculan en la mezcla que contiene el sustrato; 3) la mezcla que contiene el sustrato inoculado se riega sobre suelos lateríticos sin excavación y la lixiviación reductiva tiene lugar directamente dentro del

espacio poroso del suelo; 4) el lixiviado se recoge del agua subterránea y se pasa a través de un circuito de intercambio iónico para recuperar níquel, cobalto y otros metales; 6) el lixiviado se airea para oxidar el hierro y/o se ajusta el pH para inducir la precipitación; 7) los precipitados de hierro se separan del lixiviado y se eliminan para que el efluente pueda reciclarse.

5 **[0189]Ejemplo 16: Lixiviación y recuperación de metales mediante la configuración de circuito 4 (Fig. 5D)**

[0190]1) los sustratos se mezclan con sales, agua y ligandos; 2) se cultivan microorganismos específicos a través de fermentación industrial y luego se inoculan en la mezcla que contiene el sustrato, 3) se excavan los suelos lateríticos y se muelen y trituran si es necesario; 4) los suelos se aglomeran, si es necesario, y luego se transportan a la plataforma, pozo o cuba de lixiviación; 10 5) el mineral se apila en un montón, pozo o cuba y luego se riega el sustrato inoculado que contiene la mezcla sobre la pila; 6) el lixiviado se recoge de la base de la pila y se pasa a través de un circuito de intercambio iónico para recuperar níquel, cobalto y otros metales; 7) el lixiviado se airea para oxidar el hierro y/o se ajusta el pH para inducir la precipitación; 8) los precipitados de hierro se separan del lixiviado y se eliminan para que el efluente pueda reciclarse. 15

[0191]Ejemplo 17: Lixiviación y recuperación de metales mediante la configuración de circuito 5 (Fig. 4E)

[0192]1) los sustratos se mezclan con sales, agua y ligandos; 2) los suelos lateríticos se excavan y se muelen si es necesario; 3) los suelos se aglomeran, si es necesario, y luego se transportan a la plataforma, pozo o cuba de lixiviación; 4) el mineral se apila en un montón, pozo 20 o cuba y luego la mezcla que contiene el sustrato se riega sobre el montón; 5) el lixiviado se recoge de la base de la pila y se pasa a través de un circuito de intercambio iónico para recuperar níquel, cobalto y otros metales; 6) el lixiviado se airea para oxidar el hierro y/o se ajusta el pH para inducir la precipitación; 7) los precipitados de hierro se separan del lixiviado y se eliminan para que el efluente pueda reciclarse. 25

[0193]Ejemplo 18: Lixiviación y recuperación de metales mediante la configuración de circuito 6 (Fig. 4F)

[0194]1) Los sustratos (por ejemplo, ácidos grasos volátiles) se producen a través de la fermentación de materiales orgánicos complejos como el aceite de palma o las aguas residuales municipales; 2) los sustratos se mezclan con sales, agua y ligandos; 3) los suelos lateríticos se excavan y se muelen y trituran si es necesario, luego se transportan a la plataforma de lixiviación; 4) el mineral se apila en una pila y luego la mezcla que contiene el sustrato se riega en la pila; 5) el lixiviado se recoge de la base de la pila y se pasa a través de un circuito de intercambio iónico para recuperar níquel, cobalto y otros metales; 6) el lixiviado se airea para oxidar el hierro y/o se ajusta el pH para inducir la precipitación; 7) los precipitados de hierro se separan del lixiviado y se eliminan para que el efluente pueda reciclarse. 30 35

[0195]Ejemplo 19: Lixiviación y recuperación de metales mediante la configuración de circuito 6 (Fig. 4G)

[0196]1) los sustratos se mezclan con sales, agua y ligandos; 2) se cultivan microorganismos específicos a través de fermentación industrial y luego se inoculan en la mezcla que contiene el sustrato, 3) se excavan los suelos lateríticos y se muelen y trituran si es necesario; 4) los suelos se aglomeran, si es necesario, y luego se transportan a la plataforma, pozo o cuba de lixiviación; 40

5) el mineral se apila en una pila, pozo o cuba y luego se riega el sustrato inoculado que contiene la mezcla sobre la pila; 6) el lixiviado se airea para oxidar el hierro y/o se ajusta el pH para inducir la precipitación; 7) los precipitados de hierro se separan del lixiviado y se eliminan para que el efluente pueda reciclarse. 8) el lixiviado se recoge de la base de la pila y se pasa a través de un circuito de intercambio iónico para recuperar níquel, cobalto y otros metales.

[0197]Ejemplo 20: Eliminación de hierro mediante aireación y ajuste del pH

[0198] 1) la solución de lixiviación se airea para oxidar parte o la totalidad del hierro ferroso a hierro férrico; 2) el pH se eleva mediante la adición de base a un pH de más de 10 para inducir la precipitación; 3) el precipitado resultante se separa de la lixiviación mediante sedimentación por gravedad, filtraciones y/o cualquier otro medio físico. Las pruebas de laboratorio muestran la eliminación de más del 90 % del Fe de una solución de lixiviación típica a través de este proceso.

[0199] Las patentes y publicaciones enumeradas en este documento describen la habilidad general en la técnica y se incorporan por la presente como referencia en su totalidad para todos los fines y en la misma medida que si cada una de ellas se hubiera indicado específica e individualmente para ser incorporada como referencia. Nada en este documento debe interpretarse como una admisión de que la presente invención no tiene derecho a ser anterior a dicha publicación en virtud de una invención anterior. Al describir modalidades de la presente solicitud, se emplea terminología específica en aras de la claridad. Sin embargo, la invención no pretende limitarse a la terminología específica así seleccionada. Nada de lo contenido en esta memoria descriptiva debe considerarse como limitante del alcance de la presente invención. A una persona experta en la técnica a la que pertenecen estas invenciones y que se beneficie de las enseñanzas presentadas en las descripciones anteriores y los dibujos asociados, se le ocurrirán muchas modificaciones y otras modalidades de las invenciones aquí expuestas. Todos los ejemplos presentados son representativos y no limitativos. Las modalidades descritas anteriormente pueden modificarse o variarse, sin alejarse de la invención, como lo apreciarán los expertos en la técnica a la luz de las enseñanzas anteriores. Por lo tanto, se entenderá que, dentro del alcance de las reivindicaciones y sus equivalentes, la invención puede llevarse a la práctica de manera diferente a cómo se describe específicamente.