

Re-minado de balsas de residuos del procesamiento hidrometalúrgico de menas lateríticas Ni-Co, un potencial recurso de metales críticos

Joaquín A. Proenza (1*), José Alberto Pons (2), Diego Domínguez-Carretero (1), Cristina Villanova-de-Benavent (1), Matías García-Tudela (3), Thomas Aiglsperger (3)

(1) Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada. Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona, Barcelona, España

(2) Departamento de Metalúrgia, Universidad de Moa, Las Coloradas, s/n, Moa, Holguín 83330, Cuba

(3) Department of Civil Engineering and Natural Resources, Luleå University of Technology, SE 97187, Luleå, Sweden

* corresponding author: japroenza@ub.edu

Palabras Clave: Lateritas Ni-Co, Metales críticos, Balsas de residuos, Cuba

Key Words: Laterites Ni-Co, Tailing, Critical metals, Cuba

INTRODUCCIÓN

El despliegue de las tecnologías energéticas necesarias para la descarbonización conlleva un aumento significativo de la demanda de minerales (Comisión Europea, 2023). Según la Agencia Internacional de la Energía (2024), en un escenario de cero emisiones, de todos los minerales críticos, la segunda inversión de capital hasta 2040 será en la minería de Ni, con una inversión estimada de 160 mil millones de dólares. En este contexto, los depósitos lateríticos de Ni-Co contienen aproximadamente el 70% de las reservas mundiales de Ni, representan el 20 % de la producción mundial de Co, y actualmente también constituyen una importante fuente de Sc al mercado mundial.

El noreste de Cuba alberga enormes recursos de Ni y Co asociados a depósitos lateríticos (distritos de Nicaro y Bahía de Moa). En estos distritos, las mineralizaciones de Ni y/o Co se encuentran predominantemente en la zona de óxidos, compuesta principalmente por goethita, maghemita y oxihidróxidos de Mn (Domínguez-Carretero et al., 2024). Sin embargo, también hay depósitos cuyos horizontes saprolíticos están bien desarrollados y los cuales presentan concentraciones de Ni elevadas, con abundante serpentina rica en Ni e incluso con fracturas rellenadas por garnierita (Domínguez-Carretero et al., 2024). El procesamiento metalúrgico de las menas lateríticas se realiza mediante dos tipos diferentes de plantas hidrometalúrgicas. La primera utiliza un proceso de lixiviación ácida a alta presión (HPAL) para procesar la mena de la zona de óxidos (horizonte limonítico) y obtener un producto compuesto por sulfuros de Ni+Co. El segundo proceso metalúrgico, llamado Caron, permite el procesamiento de menas procedentes tanto de la zona de óxidos como de la zona saprolítica. En el proceso Caron, mediante una combinación de reducción, lixiviación con NH₃, calcinación y sinterización se obtiene un sinter de Ni+Co. Esta intensa actividad extractiva de Ni y Co en el noreste de Cuba durante décadas ha generado balsas de residuos metalúrgicos que tienen volúmenes de millones de toneladas. En esta contribución se presentan nuevos datos sobre la composición química (*High Resolution ICP-MS*: ICP-SFMS) y la mineralogía (XRD, SEM-EDS, FE-SEM, *quantitative target mineralogy* (QanTmin)) de las balsas de residuos derivadas de ambos procesos metalúrgicos, con el objetivo de evaluar su posible re-minado como un potencial recurso de metales críticos para la transición energética y digital.

RESULTADOS

Las muestras estudiadas de las balsas derivadas del proceso Caron (BDC) tienen contenidos de Ni de 0,3-1 % en peso, ~ 1000 ppm de Co y ~ 70 ppm de Sc. Los contenidos de Cr (~ 1,3 % en peso), Mn (~ 0,7 % en peso), Ti (~ 1000 ppm) y de V (~ 285 ppm) también son relativamente altos. Las BDC se componen predominantemente de magnetita, olivino rico en Fe, maghemita, espinelas de Fe-Ni-Cr (incluyendo trevorita), cuarzo, aleaciones de Fe-Ni cuyos contenidos en Ni oscilan entre el 5 y el 50 % en peso, y wüstita (balsa del distrito Nicaro). Además, en mucha menor proporción se han identificado granos de oxihidróxidos de Mn, pirita, goethita, ilmenita y serpentina.

Las muestras estudiadas de las balsas derivadas del proceso HPAL (BDH) tienen menores contenidos de Ni (~ 0,2 % en peso), Co (~ 302 ppm) y Sc (~ 15 ppm). Los contenidos de Cr (~ 0,9 % en peso) y Mn (~ 0,5 % en peso) también son inferiores a los de las muestras de las BDC, mientras que los de Ti (~ 2200 ppm) son más altos. Los contenidos de S en las muestras estudiadas de las BDH pueden llegar a ser significativamente altos (5,5 % en peso). La mineralogía de estas balsas está constituida mayoritariamente por hematites, goethita y yeso. También es común la presencia de cuarzo, serpentina rica en Fe y gibbsita (en las muestras de la balsa de la extracción mediante HPAL en el periodo 1960-1968), y en menor medida también se encuentran granos de Cr-espinela que han resistido al proceso de HPAL, sulfuros de Fe, ilmenita, y fases no identificadas de Ca-Mg-Fe-Si y Ca-Si.

CONSIDERACIONES FINALES

Los mayores contenidos de Ni, Co y Sc en las muestras estudiadas de las BDC son consistente con la baja eficiencia del proceso Caron, la cual es mayoritariamente inferior al 60%. En cambio, la eficiencia del proceso HPAL es superior al 85 %. La baja eficiencia de la tecnología Caron se debe en parte a su incapacidad de lixiviar el Ni y el Co de los granos de maghemita, y a la formación de una nueva generación de maghemita dentro del horno metalúrgico que consigue secuestrar parte del Ni y Co de la pulpa haciendo el proceso aún más ineficiente (Rojas-Purón y Turro-Breffé, 2003; véase también Domínguez-Carretero et al., 2024). Por otra parte, los resultados de nuestro estudio sugieren que una parte importante de Ni presente en la serpentina rica en Ni (principal mineral de mena en el horizonte saprolítico) es secuestrado por el olivino (rico en Fe) formado en el proceso metalúrgico, el cual también termina en la balsa de residuos.

Las balsas de residuos estudiadas representan un valioso recurso de metales críticos, los contenidos de Ni, Co y Sc justifican su evaluación para ser re-minadas. En particular, en algunas balsas derivadas del proceso Caron (p.e., balsa de Nicaro), los contenidos de Ni y Co llegan a ser similares, inclusive superiores (Ni ~ 1 % en peso, Co ~ 1000 ppm y ~ 70 ppm de Sc), a los de la ley de corte de varios yacimientos lateríticos de Ni-Co actualmente en explotación. Los contenidos de Fe, Ni, Cr también justifican la evaluación de ambos tipos de balsas (BDC y BDH) para la obtención de *Nickel Pig Iron* (NPI; también llamado “arrabio”) el cual ha revolucionado en mercado mundial del Ni (de hecho, China lo produce a partir de menas de muy baja ley de Ni).

Cabe destacar que la minería del futuro solo será posible si adopta un enfoque de minería de valor total (la denominada *full value mining*). Este tipo de minería, basada en una caracterización holística del depósito mineral, tiene como objetivo extraer todos los elementos y/o minerales que tengan valor económico. Es decir, que un metal valioso no acabe en una balsa de residuos, y por tanto que la actividad extractiva sea más eficiente y sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto PID2023-147788OB-I00 del Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España. Este trabajo ha sido realizado dentro del grupo de investigación MinResET (*Mineral Resources for the Energy Transition*) de la Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca de Catalunya (2021-SGR-00239).

REFERENCIAS

- Domínguez-Carretero, D., Proenza, J.A., Villanova-de-Benavent, C., Aiglsperger, T., Tauler, E., Rojas-Purón, A., Duque, N., González-Jiménez, J.M., García-Casco, A., Galí, S. (2024): The Geology, Geochemistry, and Mineralogy of the Moa Bay Ni Laterite Mining District, Cuba. <https://doi.org/10.5382/econgeo.5101>
- European Commission (2023): European Commission, Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final Report. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/57318397-fdd4-11ed-a05c-01aa75ed71a1>
- Agencia Internacional de la Energía (2024): Global Critical Minerals Outlook 2024 <https://www.iea.org/reports/critical-minerals-market-review-2023>
- Rojas-Purón, A., and Turro-Breffé, A.T. (2003): Composición mineralógica de las colas del proceso Caron en Moa, Holguín, Cuba: *Minería y Geología*, 3-4, 21-28.