



## **LAS BAJAS CONCENTRACIONES METALIFERAS: RETO DE LA ACTIVIDAD MINERO-METALÚRGICA CUBANA**

**Waldo Lavaut Copa**

IGP-Servicio Geológico de Cuba Calle Vía Blanca No. 1002, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba  
CP 11000. E-mail: [waldo@igp.minem.cu](mailto:waldo@igp.minem.cu)

### **RESUMEN**

La industria minero-metalúrgica del níquel en Cuba durante más 70 años presenta una sustancial reducción de su base mineral, imponiéndose apremiantemente el estudio integral de los yacimientos restantes y de los depósitos de colas fabriles, escombreras y mineral abandonado con vista a su asimilación industrial, ya que ellos además del níquel y cobalto contienen metales estratégicos (preciosos, raros y de tierras raras) y de todo ello dependerá el desarrollo sostenible de la industria del níquel del país.

Esto es totalmente posible porque en las últimas dos décadas regiones homólogas del mundo con industrias minero-metalúrgicas niqueleras basadas en las lateritas han obtenido sustanciales éxitos en la expansión de la extracción, además de níquel y cobalto, también de otros metales (escandio, cromo, hierro) como sub-productos del proceso fabril, y aún no cesan en ulteriores investigaciones geológicas, químicas y metalúrgicas para lograr la extracción también de otros metales existentes en las lateritas, como el oro y los platinoides.

Pero esto implica la necesidad de re-direccionar la expansión del Níquel en Cuba hacia la expansión de la extracción de metales de la laterita, a más de la expansión en el tonelaje de mineral, la adopción de leyes de corte económico (cut-off) más bajas para el níquel, la aplicación de los conceptos del níquel equivalente y desarrollar tecnologías que permitan recuperar bajas concentraciones, lo que constituye un verdadero reto para la actividad minero-metalúrgica cubana.

### **ABSTRACT**

The mining and metallurgic industry of nickel in Cuba running more than 70 years presents substantial reduction of deposits, imposing urgently the integral study of remaining ore deposits and deposits of tails, dumps and mineral abandoned for industrial assimilation as they contain besides nickel and cobalt strategic metals (precious, rare and rare earth elements), all which is the basis for the sustainable development of nickel industry in the country.

This is totally possible as in the last two decades homologous regions of the world with similar mining and metallurgical industries have obtained substantial successes in the expansion of the extraction, besides nickel and cobalt, of other metals (scandium, chrome, iron) as by-products of the industrial process, as well they do not cease carrying subsequent geological and chemical and metallurgical investigations to recover other metals of laterites as gold and platinum group elements.

But this implies the necessity of re-directing the Nickel expansion in Cuba to the expansion of the extraction of metals from laterite, against the expansion in the tonnage of ore, the adopting of lower cut-off grades of nickel, the application of the concepts of equivalent nickel and the developing of such technologies that afford the recovering of low concentrations, all what is a real challenge to the Cuban mining and metallurgy.

### **INTRODUCCION**

Durante unos 70 años se han explotado intensamente los principales yacimientos lateríticos de Cuba, ubicados al noreste del país en las regiones de Mayarí, Nicaro y Moa, por lo que el grado de agotamiento del mineral en el presente constituye ya una limitante para la alimentación a



largo plazo de las plantas metalúrgicas activas que funcionan con esquemas tecnológicos por lixiviación hidrometalúrgica ácida y carbonato-amoniaco.

Por tanto, una tarea de primer orden para el desarrollo sostenible de la industria niquelera cubana, frente al galopante agotamiento del mineral, es lograr la expansión de la extracción metalúrgica de otros metales acompañantes al níquel, como se logró en el caso del cobalto, a partir en primer lugar del mineral crudo que se procesa en las plantas en los eslabones apropiados del esquema metalúrgico, como son los licores, los lodos de lixiviación, las colas. Otras fuentes metalíferas pasivas actualmente son los depósitos tecnogénicos de las escombreras, los rechazos del beneficio pre-fabril y los de colas y residuales líquidos, generados por el proceso minero-metalúrgico.

El presente trabajo es el más reciente de una serie realizada por el autor durante más de 30 años (Lavaut Copa, W. 1982-83, 1984, 1986, 2001, 2004, 2005, 2008, 2014) en la temática de la mineralización acompañante al metal principal de las lateritas: el níquel, y sobre la explotación racional de los yacimientos lateríticos. El mismo surge como una necesidad de enfocar el desarrollo sustentable de la industria minero-metalúrgica del níquel en Cuba no solo sobre la base de la expansión en cuanto a la cantidad de mineral crudo para la continuidad del trabajo de las plantas a mediano y largo plazos, como se ha hecho hasta el presente, sino además dirigir la expansión de esta industria vital para el país a la extracción de metales acompañantes al níquel durante y posterior al proceso metalúrgico, primero de los licores y lodos de lixiviación y luego de las colas y otros depósitos desechados por la minería y las plantas, como son los rechazos del beneficio, las escombreras y el mineral de baja ley abandonado.

En este sentido el presente trabajo aporta los fundamentos geológicos, químicos y tecnológicos favorables, las deficiencias y retos actuales, así como las líneas estratégicas a seguir para la expansión de la extracción de metales de las lateritas cubanas, como base fundamental para el desarrollo sostenible de la industria del níquel, lo que permitirá la explotación racional de las fuentes metalíferas de las lateritas y el alargamiento de la vida útil de las minas y de los correspondientes combinados minero-metalúrgicos del país.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El trabajo se realizó en base a una extensa búsqueda bibliográfica, soportada en Internet, artículos publicados en diferentes revistas técnicas, tesis doctorales relacionadas, informaciones geológicas y químico-composicionales de las lateritas cubanas, de Grecia, Rusia, Nueva Caledonia, Indonesia, Las Filipinas, Australia, Brasil, Venezuela, Borneo, Gabón y otras regiones. Asimismo, sometió a análisis y revisión las informaciones tecnológicas, tanto cubanas como extranjeras, relacionadas con los esquemas tecnológicos de la hidrometalurgia, actualizando los aspectos relacionados con el tema de la presente ponencia. Las informaciones abarcaron un período de tiempo de unos 30 años, con predominio de las del presente siglo.

En este respecto, compiló y procesó estadísticamente un volumen considerable de datos químicos, mineralógicos y económicos que han servido como base del presente trabajo. Las informaciones utilizadas son de carácter cuantitativo, proveniente de análisis por vía química, activación neutrónica, ICP ópticos y de masa, así como datos de microscopía electrónica con microsonda. La determinaciones de los elementos del grupo del platino (EGP) y del oro se realizaron con activación neutrónica (Lazarenkov, V.G., 2005; Kudelásek, V. et al., 1989), y por ICP-MS con pre-concentración por medio de la combinación de fusión con NiS y con



precipitación con Te (Mei-Fu Zhou et al., 2001). La data química original utilizada procede principalmente de publicaciones y trabajos científicos de tesis doctorales, avaladas por universidades geológicas de Cuba, España, Rusia y Hong-Kong (China).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente siglo se ha acrecentado considerablemente la demanda de metales en la industria mundial, especialmente ha crecido la utilización de metales estratégicos a partir de la última década del siglo XX, compulsado por el desarrollo de la tecnología de avanzada, principalmente militar, espacial, electrónica y de las comunicaciones; correspondientemente, los precios de los metales han experimentado una tendencia creciente, al margen de las fluctuaciones temporales (Agenda Química Internacional, 2014; Wilburn, D.R.-K.A. Stanley, 2012; Walters, A. et al., 2010).

El consumo global de níquel hasta el año 2020 se pronostica que crezca en más de dos veces en relación con el comienzo del presente siglo, especialmente se espera un consumo relevante del orden de unas 450-550 toneladas anuales este metal respectivamente en la República Popular China, Europa y Australasia (Mills, R., 2012). La demanda mundial de metales de las Tierras Raras (ETR, se incluyen Y y Sc) mostró un crecimiento tendencial de la producción minera mundial de Ce, La, Nd, Y y Pr, expresada según la suma de sus correspondientes óxidos, en la pasada década de unas 40 mil toneladas métricas en 1990 hasta 130 mil toneladas métricas en 2008, en lo cual China durante los últimos 30 años monopolizó el 90-97 % de la producción y aprovisionamiento mundial de ETR (Mission 2016, 2014).

El níquel actualmente forma parte de 3000 aleaciones diferentes que entran en unos 300,000 productos aplicados en la industria de consumo, en la militar y del transporte, así como en la aeroespacial y la marina, además de sus aplicaciones en la arquitectura, etc. (Wilburn, D.R., 2012). Por otro lado, las aplicaciones de los ETR cerio, europio, gadolinio, lantano, terbio y el ytrio son componentes fundamentales de la tecnología LED, láseres, fibra óptica (Jack Lifton, 2014), así como el neodimio y sobre todo el disprosio lo son para la construcción de imanes permanentes (Wilburn, D.R., 2012), utilizados para la fabricación de motores híbridos, discos duros, micrófonos y altavoces, turbinas eólicas, refrigeración magnética, etc. Las aplicaciones industriales de los ETR abarcan también: aleaciones para baterías y pilas de combustible, super-aleaciones, cristales con protección, catalizadores (especialmente La y Ce), sensores, condensadores, pigmentos (Ce, Y), imágenes de rayos X, en la defensa (Nd, Pr, Dy, Tb, Eu, Y, La, Lu, Sc, Sm) y la industria nuclear (Eu, Gd, Ce, Y, Sm, Er).

Los metales preciosos Au, Ag y los elementos del grupo del platino (EGP), además de sus usos tradicionales en la joyería y la industria monetaria, tienen especial y creciente demanda para la electrónica, las tecnologías de super-conductividad, en la automovilística de alto rendimiento, catalizadores químicos y en la medicina para la cura del cáncer, eliminación de las verrugas y para las cirugías estéticas con hilos de oro, y otras aplicaciones.

Es por esto que todos estos metales son considerados como estratégicos y atractivos para la inversión económica. Sus precios actuales en comparación con el año 2002 han crecido significativamente, según sigue (en % relativos): Au= 417; Ag= 422; Pt= 262; Pd= 236; Nd= 252; Ni= 264; Cu= 465; Pb= 241; Zn= 294, y así sucesivamente para otros metales base y preciosos. Especialmente han sido altas las cotizaciones de los ETR escandio (15500 \$/kg), europio (980-2050 \$/kg) y terbio (1900-2100 \$/kg) (MTL Índice; Wilburn, D.R., K.A. Stanley, 2012; Mission 2016, 2014).



En las últimas dos décadas las regiones homólogas del mundo con industrias minero-metalúrgicas niqueleras basadas en las lateritas, como el caso de Cuba, han obtenido sustanciales éxitos en la expansión de la extracción de otros metales de la laterita, además de níquel y cobalto, como el escandio, cromo y hierro, como sub-productos del proceso fabril, y aún no cesan en ulteriores investigaciones geológicas, químicas y metalúrgicas para lograr la extracción también de otros metales existentes en las lateritas, como el oro y los platinoides (Børsmeldinger, A., 2013; Grennes, H., 2013; Metallica Minerals Ltd., 2013; Sumimoto Metal Mining Co., 2013; MTL Index ).

La extracción de estos metales, como sub-productos de la industria del níquel, en los países de Australasia (por ejemplo en Nueva Caledonia, Las Filipinas, Australia) se está logrando en base al esquema tecnológico de lixiviación ácida sulfurosa, en plantas homólogas a “Pedro Sotó Alba-Moa Nickel S.A.”, que a pesar de haber sido la primera planta de este tipo (y una de las más eficientes) existente en el mundo, durante 52 años de su funcionamiento solamente ha extraído níquel y cobalto de la laterita.

Por tanto, existen las premisas teóricas y la atractiva expectativa de que Cuba también pueda diversificar su producción de metales a partir de las potencialidades de las lateritas, si se realizan las investigaciones y ajustes fabriles correspondientes.

Las investigaciones geológicas con determinaciones químico-analíticas cuantitativas, principalmente a través de activación neutrónica y ICP-MS, realizadas con muestras de lateritas (ca. oxi-hidróxidos de hierro) y saprolitas (ca. silicatos), y de sus correspondientes rocas madres ultramáficas (“Serpentinitas”) y máficas (“Gabros”), han demostrado la existencia de ETR, EGP, Au y Ag, además del níquel y cobalto, en estos materiales cubanos, al igual que ocurre en otras formaciones geológicas semejantes del mundo (“Ofiolitas”). También estas rocas contienen metales de transición importantes y con demanda para la industria, como el escandio (Sc), vanadio (V), cromo (Cr), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), titanio (Ti), galio (Ga), estroncio (Sr) y ytrio (Y). Incluso, es relevante el hecho de que las cromitas de Mayarí-Baracoa (“Cromititas Podiformes”), que se han comercializado durante varias décadas hacia países extranjeros, constituyen unos de los portadores típicos mundiales (en esta clase de génesis) de elementos del grupo IPGE de platinoides (Os, Ir, Ru) con contenidos mayores de 1 ppm (Lazarenkov, V.G. et al., 2005; Mei-Fu Zhou et al., 2001; Prichard, H. M.-Brough, C., 2009).

Del grupo de los ETR en las rocas ultramáficas y máficas cubanas existen prácticamente todos los lantánidos, entre los cuales están varios metales de alta demanda y aplicación tecnológica actual, como son el cerio (Ce), europio (Eu), gadolinio (Ga), lantano (La), terbio (Tb), lutecio (Lu), neodimio (Nd), disprosio (Dy), praseodimio (Pr) y holmio (Ho), además del itrio (Y) y el escandio (Sc) (Aiglsperger, T. et al., 2013; Kudelásek, V. et al., 1989; Marchesi, C., 2006). Estos metales ETR, preciosos (o nobles) y de transición constituyen elementos trazas en las rocas frescas madres de las cortezas de intemperismo y se caracterizan por sus bajas concentraciones, según se expone en la siguiente tabla I:



Tabla I. Contenidos Promedios de Metales Transítivos, Nobles y de las Tierras Raras en las Rocas Máficas y Ultramáficas del Macizo Ofiolítico Mayarí-Baracoa en ppm. Las Ultramafitas representan Harzburgitas y Dunitas, y las Mafitas Gabros Normales y Olivínicos, Noritas y Diabasas.

| Roca         | Ni    | Co    | Sc    | Ga    | V      | Cr     | Ti    | Ge    | Zr     | Y     | Sr   |
|--------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|------|
| Ultramafitas | 2259  | 97.6  | 10    | 1.5   | 37.3   | 2835.6 | 0.003 | 1.5   | 45     | 4     | 0.69 |
| Mafitas      | 441   | 56.3  | 35    | 17    | 87.5   | 615    | 0.19  | 1.3   | 110    | 21    | 88.9 |
|              | Ce    | Eu    | Gd    | La    | Tb     | Lu     | Nd    | Dy    | Pr     | Ho    |      |
| Ultramafitas | 0.003 | 0.001 | 0.005 | 0.002 | 0.0007 | 0.0005 | 0.004 | 0.004 | 0.0004 | 0.002 |      |
| Mafitas      | 0.78  | 0.28  | 0.58  | 0.23  | 0.11   | 0.08   | 0.89  | 0.8   | 0.0937 | 0.18  |      |
|              | Au    | Ag    | Pt    | Pd    | Ru     | Ir     | Rh    | Os    |        |       |      |
| Ultramafitas | 0.006 | 0.06  | 0.007 | 0.009 | 0.012  | 0.006  | 0.001 | 0.003 |        |       |      |
| Mafitas      | 0.004 | 0.11  | 0.005 | 0.002 | 0.003  | 0      | 0.001 | 0.002 |        |       |      |

La mayoría de los metales señalados en la tabla I son elementos incompatibles, que se caracterizan por su inmovilidad en los sistemas geoquímicos, uno de los cuales es el proceso de meteorización con formación de cortezas de intemperismo lateríticas. Esta propiedad hace que dichos metales se concentren significativamente en el material del manto de meteorización hasta el grado de ser rentable su extracción por la vía metalúrgica. Así, por ejemplo, el níquel se concentra 5.6 veces, el cobalto 12 veces, el titanio 24.5 veces, el cromo 5.6 veces. Tales grados de concentraciones han posibilitado una industria extractiva en Cuba de níquel y cobalto por muchos años, y en otros países también, donde además del Ni y Co, se aprovechan otros metales como cromo, hierro y escandio, aunque en Cuba todavía no. Otro factor geológico favorable es que los yacimientos lateríticos de Cuba se componen de mayor cantidad de material oxidado (laterita, strictu sensu) que silicático (saprolita), y estos metales se concentran siguiendo la tendencia de concentración del aluminio y del hierro, o sea, en la laterita y de abajo arriba.

Las concentraciones que se han registrado a consecuencia del intemperismo de los metales nobles en Cuba indican también altos coeficientes de acumulación. Así, para el paladio 25.2 veces, platino 13 veces, rodio 6.5 veces, rutenio 3.6 veces, oro 5 veces. El grado de concentración meteórica para los metales de las tierras raras pudiera juzgarse por el escandio, dadas sus semejanzas en propiedades químicas y a que tales metales tienden a ser insolubles en fluidos acuosos y no se movilizan durante el intemperismo, el cual en las lateritas de Cuba se acumula 10 veces. Por tanto, hay que esperar también importantes acumulaciones del resto de los metales de las tierras raras en estas lateritas. Los contenidos de metales preciosos en la laterita cubana se han reportado del orden de los 0.2 g/t.

Tomando en cuenta que el contenido de los metales de las tierras raras en las mafitas (tabla I), en comparación con las rocas ultramáficas, es extraordinariamente mayor (Ce=260 veces, Eu=280 veces, Nd=222 veces, Pr=234 veces, Dy=200 veces, Lu=160 veces, Tb=157 veces, Gd=116 veces, La=115 veces y Ho=90 veces más), se puede inferir que las cortezas de meteorización de las rocas máficas (gabros normales y olivínicos, noritas y diabasas) constituyen importantísimas fuentes potenciales de estos metales, por lo que las mismas requieren de una investigación apremiante, debido a que las ellas ocupan extensas áreas tanto en Cuba Oriental como en Camagüey, minoritariamente en otras partes del país; y estas





cortezas permanecen prácticamente sin estudios metalogénicos, exceptuando una evaluación somera para aluminio. También estas cortezas de mafitas concentran mucho más Sc, Y, Ti, Sr, Ga, V, y Zr que las cortezas de ultramafitas, o sea, que las lateritas que se procesan actualmente en plantas metalúrgicas.

En los últimos diez años la industria de la laterita en Australasia ha venido desarrollando procedimientos tecnológicos para la obtención de escandio de la laterita niquelífera por vía del esquema de lixiviación ácida sulfurosa a presión (HPAL), logrando su recuperación comercial a partir tanto de los licores como de las colas (Metallica Minerals Ltd., 2013; Sumitomo Metal Mining Co., Ltd., 2013; Herrera Juver, V., 2005). Para el caso de Cuba, es posible esperar tal posibilidad también sobre la base de que se han reportado preliminarmente en las lateritas de Moa entre 60 y 101 ppm de escandio (Aiglsperger, T. et al., 2013), así como que lateritas con contenidos de escandio a partir de 20-50 ppm ya tienen importancia para su explotación como fuentes de escandio.

También, se ha establecido por varias instituciones rusas dedicadas a las investigaciones de la materia prima mineral (Gipronikel Institute; Mekhanobr Institute; Leningrad Mining Institute) que los productos metalúrgicos de las plantas cubanas que procesan lateritas, tanto en Moa como la ya inexistente planta de Nicaro, en los productos sulfurosos y el sínter, se contienen respectivamente 2.45-6.2 g/t y 6.3 g/t de EGP-total, con especialización en el Pd= 1.26-4.5 g/t; así como Au respectivamente 0.35-1 g/t y 0.56 g/t. En las colas de estos tipos de plantas metalúrgicas cubanas también estas instituciones reportan la existencia de EGP y Au, aunque minoritariamente 10-12 mg/t. Estos resultados permiten realizar la extracción comercial de estos metales preciosos (Lazarenkov, V.G. et al., 2005; Distler, V.V. et al., 1989).

El componente útil principal en el mineral laterítico, no obstante, hasta ahora ha sido el níquel y la explotación de los yacimientos y depósitos se ha basado en la aplicación de altas leyes de corte económico (cut-off) al níquel (generalmente superiores a 1.2-1.3 %), condicionado por altos niveles productivos, así como de pérdida y empobrecimiento, principalmente durante el minado. Esto unido a las características de los modelos geológicos de los depósitos cubanos, en los que predomina el material más pobre en níquel: la laterita (sesquióxidos de hierro) sobre la saprolita (alumosilicatos más ricos en níquel), ha conllevado al desprecio de grandes volúmenes de laterita en forma de escombros. La carrera tras el alto níquel en los yacimientos, por tanto, ha sido la principal causa del sustancial agotamiento de la base mineral de las plantas de níquel, ya que mundialmente este tipo de yacimiento se caracteriza por un contenido promedio de níquel muy por debajo de esas cifras: Ni=1.14 % (mediana para 61 depósitos), Co=0.09 % (mediana para 61 depósitos) (Berger V.I., Singer D.A. et al., 2011), e incluso los yacimientos cubanos son ligeramente menos niquelíferos en la mediana: Ni=1.11 % para 47 depósitos conocidos, aunque igualmente promedian Ni=1.14 %, en ambos casos utilizando cut-off de níquel con posible interés económico, para los cubanos Ni>=0.8%.

Por esta causa, varios geólogos reiteradamente han sugerido mecanismos tendientes a la disminución del cut-off de níquel para los yacimientos cubanos, como una necesidad de primordial importancia (Ogarkov, V.M., 1970; Bíkov, A.S., 1980; Lavaut Copa, W., 1982-83, 2001; Rodés García, H.-René Noa Utria, 2005; Rodríguez, A. et al., 2013). Uno de los primeros mecanismos indicados fue la fórmula del metal equivalente (níquel equivalente o condicional) para poder involucrar al cobalto en las condiciones de cubicación y estimación del mineral útil de los yacimientos, deduciéndose la ecuación  $Ni_{eq}=Ni+2Co$  (Lavaut Copa, W.-Rodríguez H., 1982), fórmula que sin ninguna variación es actualmente aplicada en los yacimientos australianos Greenvale, Lucknow y Kokomo por la compañía Metallica Minerals Ltd. (Metallica



Minerals Ltd.- SCONI Project, 2012), sin embargo en casi la totalidad de los yacimientos cubanos no se ha aplicado y se ha ignorado durante su minería. Vea figura 1.

The Lucknow Mineral Resource includes Sc and Ni-Co Mineral Resources that overlap in part. Consequently, the total resource is subdivided into Sc blocks and Ni-Co blocks using the following method:

Sc Mineral Resource – block grade NiEq <0.7%  
(NiEq = Ni +2xCo) and >=70g/t Sc; and  
Ni-Co Mineral Resource – block grade NiEq >= 0.7%  
(NiEq = Ni +2xCo).

Approximately 750ktpa throughput brownfield expansion producing Nickel (Ni), Cobalt (Co) and Scandium (Sc). The Ore would be mined from Greenvale, Kokomo and Lucknow deposits.

Fuente: 1. Metallica Minerals Ltd [en línea]. SCONI  
[consultado 19/06/2013].  
Disponible en: <http://metallicaminerals.com.au/sconi>

Figura 1. Demostración de aplicación actual en Australia de la fórmula del metal equivalente en el cut-off de Níquel para la cubicación y minado de los yacimientos lateríticos.

Los cut-off de níquel utilizados en muchos depósitos australianos: %Ni= [0.3, 0.8] son muy inferiores a los que se aplican en Cuba, sin embargo este país tiene el primer lugar mundial en tonelaje de mineral, y a pesar de poseer sus lateritas solamente el 8 % de la cantidad de níquel metálico del mundo alcanza producciones de más de 180 000 toneladas anuales, ocupando la posición del cuarto país más productor en este importante renglón mundial. Es decir, la aplicación de bajos cut-off de Ni al mineral y la realización de los reajustes necesarios en los eslabones requeridos de la cadena productiva es posible y lo demuestran estos hechos. Vea figura 2 en la que se muestra la potencialidad menífera teórica de las lateritas de Cuba.

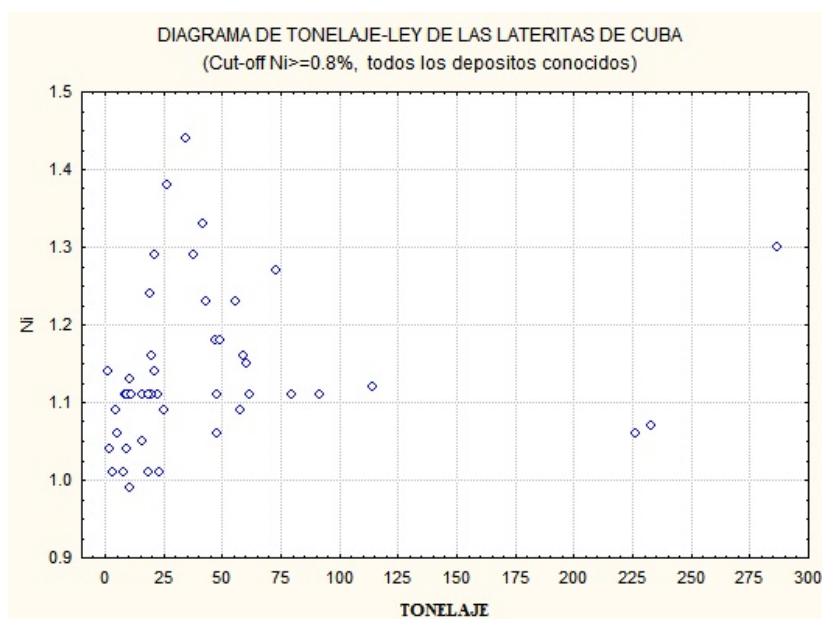




Figura 2. Tenores de níquel vs. tonelaje de menas en los 47 depósitos lateríticos cubanos.

Las colas de estas plantas metalúrgicas cubanas, al igual que la laterita cruda, constituyen materiales poli-componentes conteniendo varios valiosos metales, como Fe, Cr, V, Mn, Ti, Al, Sr, Ni, Cu, Sc, Ba, Zn, Ga, La, Ce, Nd, Gd, Hf, Au, Yb, Ta, Mg, Co, Ag y otros, de tal forma que la riqueza en metales se halla distribuida en los yacimientos, escombreras, rechazos del beneficio, licores metalúrgicos, productos finales, colas y otros residuales de las plantas metalúrgicas, así como en depósitos de lateritas cercanos a los combinados minero-metalúrgicos desarrollados sobre mafitas (gabros y gabroides). El balance general constituye la riqueza necesaria para un desarrollo sostenible de la industria minero-metalúrgica.

Por otro lado, el grado de estudio geológico, químico, mineralógico y metalúrgico de las mencionadas partes componentes de las riquezas lateríticas aún es ínfimo en comparación con la potencialidad en recursos económicos que ellas encierran. Durante décadas se ha seguido una estrategia estrecha dirigida solamente al níquel y cobalto, lo que requiere ser re-direccionado hacia la consecución de un desarrollo integral que garantice la expansión de la extracción de metales, a más de la expansión en tonelaje de mineral, y por tanto la sustentabilidad de esta industria.

## CONCLUSIONES

1. Las lateritas cubanas son un depósito metalífero poli-componente valioso con Fe, Co, Ni, Mn, Cr, Ti, V, Pd, Pt, Au, Y, Sc y otros metales estratégicos, aún con muy bajo grado de estudio químico y metalúrgico, cuyo valor potencial actual ha crecido en más de 135 veces al cabo de sesenta años de su explotación por la demanda de metales estratégicos y sus alta tasas de cotizaciones en el mercado.
2. Los componentes metalíferos se distribuyen en la masa de alimentación de la planta metalúrgica, licores de lixiviación, colas y residuales, en las escombreras y depósitos de rechazos del beneficio, así como en extensos depósitos lateríticos de gabros y gabroides, estando los metales de mayor demanda y más alta cotización en bajas concentraciones.
3. La evaluación de los depósitos y asimilación industrial de los yacimientos lateríticos cubanos aún se realiza con criterios tradicionales que datan de más de 40-60 años, basados en altos cut-off de Ni, lo que impide una evaluación integral más eficiente y el uso más racional de las lateritas, lo que requiere un vuelco total.
4. La Química y la Hidrometalurgia ácida mundial en la última década logró en Australasia, extraer Fe, Ni, Co, Sc, Cr, y continúa las investigaciones para recuperar otros metales más, lo cual es una demostración de que es posible la expansión en la recuperación de metales de las lateritas.
5. En este respecto, la Química Analítica, la Química Industrial, la Hidrometalurgia cubanas están llamadas a jugar un papel decisivo en el desarrollo sostenible de la industria del Níquel en el país, requiriéndose unificar las fuerzas favorables existentes en el país.
6. La determinación del geopotencial en el escenario minero-tecnológico frente a un desarrollo sostenible todavía es muy bajo, requiriéndose de la implementación de la su-producción de metales acompañantes al níquel, la adecuada evaluación de la mineralización acompañante y la actualización de la base de recursos y reservas minerales en todos los depósitos naturales y tecnogénicos para poder lograr una explotación racional de los mismos, el alargamiento de la vida de los combinados minero-metalúrgicos del país, así como la creación de nuevos otros posibles.





## BIBLIOGRAFÍA

- Agenda Química Internacional [en línea]. *Tierras Raras: Tesoro Actual* [consultado 30 julio 2014]. Disponible en: <http://agendaquimica.blogspot.com/>
- Aiglsperger, T. et al. Rare Earth Elements and Scandium in different types of Ni-laterite profiles from the northern Caribbean: a geochemical comparison. En: *Mineral Deposit Research for a High-Tech World- 12th SGA Biennial Meeting 2013. Proceedings*, 4, pp.1683-1686.
- Børsmeldinger, A. *ITX - Promising preliminary test results for the extraction of Scandium from HPAL liquor - joining the Scandium race*. Oslo: Intex Resources ASA [en línea] [consultado 14 junio 2013]. Disponible en: [www.mineralprices.com](http://www.mineralprices.com)  
Disponible en: <http://chinamcc8/en/dis.asp?id=220&fid=&lid=22>
- Grenness, H. *ITX - Scandium Extraction Confirmed-Exploring Iron. Extraction Potential*. MCC8 Group Company Limited [en línea] [consultado 14 noviembre 2013].
- Distler, V.V. et al. Informe sobre platinosidad de las formaciones de Cuba. Tema 151. Componentes útiles de la República de Cuba. A.C. de al URSS-A.C. de Cuba-MINBAS, 1989 (Inédito).
- Herrera Juver, V. *La industria del Níquel. Panorama mundial*. Ponencia inédita. I Congreso de Minería y Geología, La Habana, 2005.
- Kudelásek, V. et al. REE and Transition Elements Geochemistry of Cuban Ophiolites. *KRYSTALINIKUM*, 20, 1989, pp.65-83.
- Lavaut Copa, W. *Evaluación perspectiva de las presas de rechazo de la Moa Nickel*. Ponencia inédita. XV Fórum de Ciencia y Técnica, PPM-Santiago de Cuba, 2004.
- Lavaut Copa, W. *Grado de estudio de los yacimientos ferroniquelíferos de la parte nororiental de Cuba y perspectivas futuras en su prospección*. Ponencia inédita. Filial Santiago-Granma-Guantánamo de la SCG. Guantánamo, 1984.
- Lavaut Copa, W. *Importancia de la inclusión del contenido de cobalto en las condiciones de cálculo de reservas de las menas lateríticas*. Ponencia inédita. Segundo Encuentro Científico-técnico del Níquel, ISMM, Moa, 1983.
- Lavaut Copa, W. Problemática del estudio geológico de los Principales yacimientos lateríticos de Cuba Oriental. En: *Memorias del I Congreso de Minería y Geología, La Habana, 2005*.
- Lavaut Copa, W. *Reflexiones geológicas sobre la explotación racional de las lateritas*. Ponencia inédita. XII Jornada de las Geociencias, SCG-Filial Santiago de Cuba, 2008.
- Lavaut Copa, W. Retos de la Química cubana frente al desarrollo sostenible del Níquel. En: *Memorias de la 21 Conferencia Internacional de Química, Santiago de Cuba, 2014*.
- Lavaut Copa, W. Vías de incremento de la base de materia prima mineral para la ECRRL-Nicaró. En: *Memorias del IV Congreso de Minería y Geología, La Habana, 2001*.
- Lazarenkov, V.G. et al. Platinum Group Metals and Gold in Supergene Nickel Ores of the Moa and Nikaro Deposits. *Lithology and Mineral Resources*, 40 (6), 2005, pp. 521–527.
- Marchesi, C. *Petrogenesis of the ultramafic and mafic rocks from the Mayarí-Baracoa Ophiolitic Belt and spatially-related volcanism (eastern Cuba)*, Tesis doctoral, publicada por la Editorial de la Universidad de Granada, España, ISBN: 978-84-338-4196-4, D.L.: Gr. 2163-2006.
- Mei-Fu Zhou et al. The Mayarí-Baracoa Paired Ophiolite Belt, Eastern Cuba: Implication for Tectonic Setting and Platinum-Group Elemental Mineralization. *International Geology Review*, 43, 200, pp. 494-507.
- Metallica Minerals Ltd [en línea]. SCONI [consultado 19/06/2013].  
Disponible en: <http://metallicaminerals.com.au/sconi>
- Mills, R. Nickel Mining Like its 1864, November 2012 [en línea].  
Disponible en: [www.aheadoftheherd.com](http://www.aheadoftheherd.com)
- Mission 2016: The Future of Strategic Natural Resources [en línea]. *The Elements>>Rares Earth Elements* [consultado 21 julio 2014].  
Disponible en: <http://web.mit.edu/12.000/www/m2016/finalwebsite/elements/ree.html>.
- Mission 2016: The Future of Strategic Natural Resources [en línea]. *The Elements>>Rares Earth Elements* [consultado:21julio2014].  
Disponible en: <http://web.mit.edu/12.000/www/m2016/finalwebsite/elements/ree.html>.
- MTL Index [en línea]. *INVIERTE EN EL FUTURO. Metales estratégicos y tierras raras*. Disponible en: [www.mtlindex.es](http://www.mtlindex.es)



- Ogarkov, V.M. Nikelevie mestorozhdeni Kubi. MMCM-UEM, La Habana, 1970 (inédito).
- Prichard, H. M., Brough, C. Potential of ophiolite complexes to host PGE deposits. En *New developments in magmatic Ni-Cu and PGE deposits*; LI, C. and RIPLEY E. M. (Eds.) Geological Publishing House Beijing, 2009, pp 277-290.
- Proenza, J., F. Gervilla, J. C. Melgarejo. La *MohoTtransition Zone* en el macizo ofiolítico Moa-Baracoa (Cuba): Un ejemplo de interacción magma/peridotita. En: *Revista de la Sociedad Geológica de España*, **12** (3-4), 1999.
- Rodríguez, A., E. Ivonnet, M. Cadete. Actualización del modelo económico cubano en reservas minerales. Experiencias y casos de estudio. En: *Memorias del V Congreso Cubano de Minería, MIN1-CE15, La Habana, 2013*.
- Sobral, Luís, Franklin Ortiz. Informe sobre el taller técnicas extractivas para metales preciosos en lateritas. En: *Sub-Programa XIII: Tecnología Minera*, Río de Janeiro, Brasil, ca. 2000.
- Sumitomo Metal Mining Co., Ltd., June 2013. Disponible en: Masashi Takahashi, Public Relations & Investor Relations Department. TEL: +81-3-3436-7705, FAX: +81-3-3434-2215.
- The Gold Report [en línea]. *The Only Five Rare Earth Elements that Matter: Jack Lifton* [consultado: 21 julio 2014]. Disponible en: <http://www.theaureport.com/pub/na/the-only-five-rare-earth-elements-that-matter-jack-lifton>.
- Walters, A. et al. Rare Earth Elements. *Minerals UK. June 2010*, pp. 1- 44 [en línea]. Disponible en: [www.MineralsUK.com](http://www.MineralsUK.com)
- Wilburn, D.R. Byproduct metals and rare-earth elements used in the production of light-emitting diodes— Overview of principal sources of supply and material requirements for selected markets. En: *U.S. Geological Survey Scientific Investigations. Report 2012–5215*, 15 p. Disponible en: <http://pubs.usgs.gov/sir/2012/5215/>.
- Wilburn, D.R., K.A. Stanley. Annual review 2012. Exploration Review. *Mining engineering*, may 2013, pp. 22-42 [en línea]. Disponible en: [www.miningengineeringmagazine.com](http://www.miningengineeringmagazine.com)
- Лават, У. К., Г. Родригес. Кобальт в коре выветривания ультраосновных пород месторождения Пунта-Горда, о. Куба. *Геология и Разведка*, МГРИ, 1986, **№ 1** (El Cobalto en la Corteza de Intemperismo del Yacimiento Laterítico Punta Gorda, Isla de Cuba. *Rev. Geología y Prospección*, 1986, **No.1**, MGRI. Moscú, Rusia).