

FACTORES QUE DETERMINAN LA INVERSIÓN EN EXPLORACIÓN MINERA

- Ronal Estrella Amaro, Estrella Ingenieros Consultores.
- Carlos Miranda Farfán, SMC Solex del Perú.
- Walter Sánchez Sánchez Ministerio de Energía y Minas.
- Rodrigo Priálé Zevallos, Escuela de Postgrado GERENS.

INTRODUCCIÓN

La inversión en exploración minera es el elemento impulsor para el descubrimiento de nuevos yacimientos de minerales que conllevan a reponer o incrementar las reservas mineras que diariamente se van consumiendo.

Los dos grandes factores que intervienen en la determinación del atractivo de un país para las inversiones mineras son el Potencial Geológico y el Clima de Inversión, los cuales agrupan diversas variables. Dentro del Potencial Geológico se considera: la mineralización (reservas), la extensión del territorio y la producción minera. El Clima de Inversión está referido a la estabilidad política, infraestructura, el entorno macroeconómico, los mercados financiero y laboral, y el marco legal. De esta forma, la metodología del presente estudio corresponde a la de una investigación empírica.

En la revisión de la literatura sobre el tema se identificó, entre varias publicaciones, dos estudios relevantes: "Locations Factors for Non-ferrous Exploration Investments" (Khindanova, I. 2011)¹ y "Factores que determinan el atractivo de un país para las inversiones en

exploración: un aporte desde la Econometría" (Comisión Chilena del Cobre, Cochilco, 2008)².

La formulación general de tales estudios está representada por la siguiente ecuación²:

$$I_{expl_i} = f(IPG_i, ICI_i) \quad (1)$$

Dónde: I_{Expl_i} es la Inversión en Exploración, IPG_i es un Índice del Potencial Geológico, e ICI_i es el Índice del Clima de Inversión en el País i .

Se revisaron aquellas variables del Potencial Geológico y Clima de Inversión que fueron utilizadas en los estudios mencionados, con la finalidad de seleccionar los más consistentes y sólidos. Se optó por seleccionar para el factor Potencial Geológico la variable Valor de la Producción Minera y para el Clima de Inversión, la variable Índice de Libertad Económica.

Por otro lado, es importante mencionar, que también se ensayaron ecuaciones con otras variables que podrían resultar más representativas de los dos factores, y de este modo, averiguar el impacto que tendrían éstos en la inversión. El resultado del uso de algunas de estas variables se puede considerar

únicamente como referenciales, debido al número reducido de la muestra o a la poca relevancia en la interpretación.

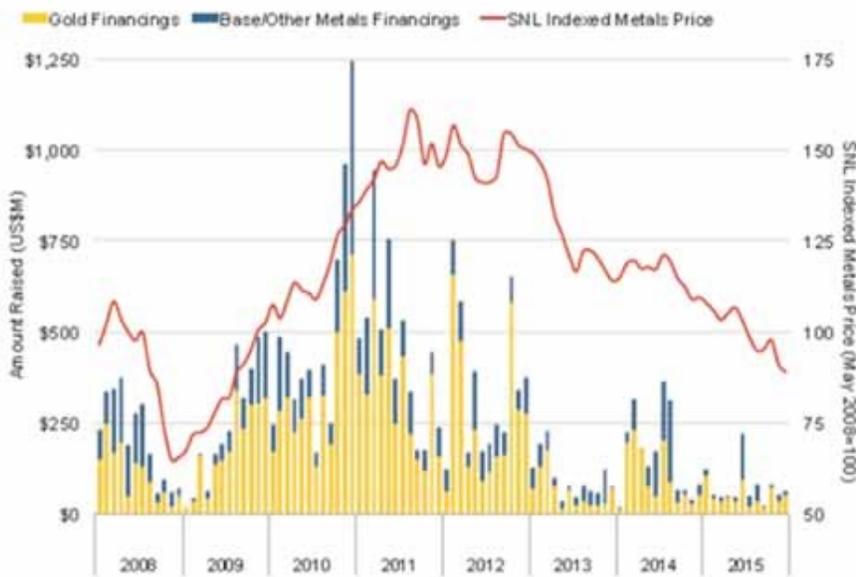
LA INVERSIÓN EN EXPLORACIÓN MINERA

La inversión mundial en exploración

La inversión en exploración por su carácter incierto y de gran riesgo, hace que sólo unos cuantos inversionistas tengan la osadía de apostar por invertir en ésta. Asimismo, los inversionistas no muestran el mismo interés en ubicar sus capitales por igual en la exploración de todos los commodities. Existe una preferencia en la exploración por oro que por los demás metales, como se puede observar en el Gráfico 1.

Observando dicho gráfico, entre los años 2008 y 2015, los fondos dirigidos a la exploración por oro, han sido superiores a aquellos destinados a la búsqueda de cobre, plata, plomo, zinc, etc. La variación aproximada va más allá del 10% en favor de la exploración por oro. Excepcionalmente solo en un par de meses de los años 2008, 2013, 2014 y 2015, los montos en exploración por metales básicos fueron superiores a los de oro.

Gráfico 1. Distribución de las inversiones por commodities 2008 – 2015³



Los montos de esta inversión mundial están directamente impactados por la situación del mercado. Así, en períodos donde se tuvo altos precios de los commodities, los inversionistas respondieron positivamente con mayores inversiones.

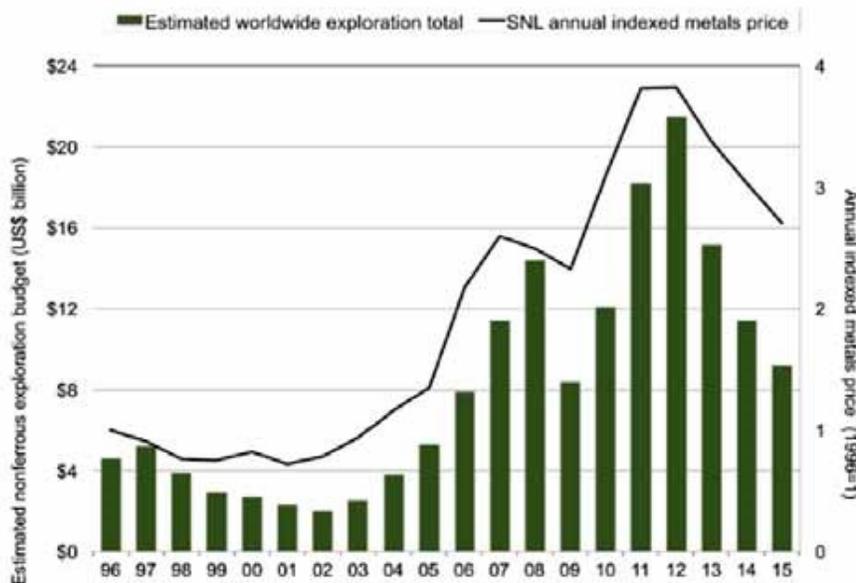
La inversión mundial varía de un año a otro, como se puede observar en el Gráfico 2. Así, en 1997 (año en el

que el Perú gozaba del boom minero en exploraciones) la inversión llegó a los US\$ 5,200 millones. Entre los años 1998 y 2002, cuando el mercado se contrajo ligeramente, en el 2002 llegó a los US\$ 1,900 millones. A partir del 2003, cuando el mercado volvió a mejorar paulatinamente hasta el 2008, se llegó en ese año a los US\$ 13,750

millones. Esta es justamente una respuesta a los precios altos que se tuvo en ese periodo.

Luego de la crisis del año 2008, en el año 2009 como respuesta a los efectos de la recesión económica mundial, la inversión se contrajo en un 42%, es decir, cayó en US\$ 5,770 millones. Sin embargo, entre los años 2009 a 2011 el mercado empezó nuevamente a recuperarse llegando la inversión a los US\$ 17,250 millones, y debido a los precios de algunos metales que alcanzaban un precio superior a su promedio de los últimos 10 años, en el año 2012 la inversión llegó a los US\$ 20,530 millones, cifra sin precedentes en la historia de la inversión. Asimismo, en los años 2013, 2014 y 2015 debido a la recesión del mercado, específicamente a los precios de los metales que empezaron a descender, los montos en inversión también empezaron a caer en 30% en el 2013, 26% en el 2014, y el año 2015, la inversión cayó en un 19%.

Gráfico 2. Inversión en Exploraciones entre los años 1996 y 2015³



Inversión mundial en exploración por países en el año 2014

La actual situación del mercado mundial aun no muestra signos de recuperación, la inversión en exploración sigue decayendo. Durante el año 2014, la inversión mundial fue de US\$ 10,740 millones (Cuadro 1).

Los mayores montos de inversión tienen destinos cercanos a sus fuentes. Así, por ejemplo, el 14% de los US\$ 10,740 millones se van a Canadá, el 12% a Australia, el 7% a Estados Unidos. Igualmente, ocurre con los destinos del 5% y 6% de la inversión mundial que se ubican en Rusia y China, respectivamente. Chile captó el 7% y Perú el 5% de la inversión mundial.

Cuadro 1. Distribución de la Inversión Mundial en Exploración Minera – 2014³

Región o País	2014	
	Porcentaje	MUS\$
Canadá	14	1.487,4
Estados Unidos	7	760,8
México	7	708,8
Otros Países Latinoamericanos	5	523,5
Perú	5	558,9
Brasil	3	312,4
Chile	7	707,4
Europa	4	406,3
Rusia	5	558,2
Antiguos Países Unión Soviética (FSU)	2	243,8
China	6	594,4
Africa Oeste	5	585,6
Africa Este	3	347,8
República Democrática del Congo (DRC)	3	338,1
Sudafrica	3	373,0
Islas Pacíficas	5	576,6
Australia	12	1.254,2
Otros Países	4	402,8
Monto Total de la Inversión Mundial	100	10.740,0

FACTORES QUE DETERMINAN LA INVERSIÓN EN EXPLORACIÓN MINERA

Formulaciones anteriores de los factores

Los estudios en los que se trata empíricamente de determinar la competitividad incluyen a los realizados por Irina Khindanova y la Comisión Chilena del Cobre. Khindanova realizó diversos estudios al respecto en el 2005, 2006, 2007, 2011 y 2015; en el presente estudio se hace una mayor referencia a su trabajo "Location Factors for Non ferrous Exploration Investments" (2011). Por su parte, Cochilco profundiza los tres primeros trabajos de Khindanova y a la vez cuestiona a Khindanova en su estudio "Factores que determinan el atractivo de un país para las inversiones en Minería" (2008).

Ambos autores utilizan datos de corte transversal por países, desarrollando las regresiones 2 y 3, respectivamente:

$$\text{lexploration}_i = c + b_1 \text{lland}_i + b_2 \text{econfreedom}_i + b_3 \text{ipopulation}_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$\text{PExpl}_i = c + b_1 \text{PSuperficie}_i + b_2 \text{PSuperficie}_i^2 + b_3 \text{NIEF}_i + b_4 \text{NIEF}_i^2 + b_5 \text{PSuperficie}_i \text{NIEF}_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

Descripción y estadísticas de las series de datos

La información recolectada en el presente estudio corresponde a datos de corte transversal por países para el año 2013, 2014 y 2015.

La selección de los países se realizó en base a la disponibilidad de la información pública en cuanto a gastos de inversión, reservas, producción minera expresada en unidades monetarias, y el índice de libertad económica. Estas son las variables que más se utilizaron en el presente estudio. Respecto a los datos de reservas, solo se encontró de 33 países, número que no es suficiente para tener una regresión sólida, pero que sí podría dar una idea sobre la interacción entre las variables. En cuanto a los datos del valor de la producción minera, ésta fue otorgada gentilmente por la Escuela de Post Grado de Gerens S.A. y corresponde a 93 países (2013), número que hace más confiable los

resultados buscados. Los datos de los gastos de exploraciones y del índice de libertad económica (2014) de los 93 países seleccionados y otros más, están disponibles públicamente.

Por otro lado, para determinar la relación o interrelación que podría haber con otras variables, se utilizó los datos respecto a población de los países, índice de la contribución minera y altitud de los países (93 países), índice de competitividad (77 países), índice del potencial minero y la información del número de conflictos sociales sucedidos (72 países).

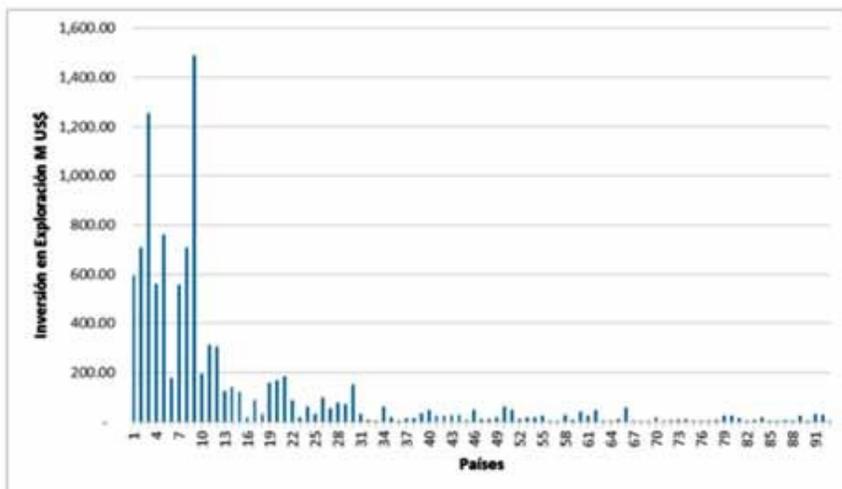
Variable Dependiente - Inversión en Exploración

La información de las inversiones en exploración por países fue obtenida del estudio "Corporate Exploration Strategies" del SNL Metals & Mining 2014. Ésta está basada en una encuesta que realiza el SNL cada año acerca de los planes de inversión en exploración a nivel mundial. En el 2014, la encuesta fue contestada por más de 3,500 empresas mineras de todo el mundo, de los cuales casi 2,000 contaban con presupuestos de exploración de US\$ 100.000 a más, que en conjunto ascendía a US\$ 10'740,000 para la exploración no ferrosa, lo cual, aproximadamente representa el 95% de la inversión. El estudio del SNL cuenta con datos de inversión en exploración de 124 países y por regiones.

El total de gastos de exploración de los 93 países considerados, constituyen alrededor del 97,05% del gasto en exploración en el 2014, del total de las empresas encuestadas; la distribución de tales gastos se muestra en el Gráfico 3.

Como se puede observar en dicho gráfico, solo unos pocos países son los mayores receptores de la inversión mundial en exploración. Si se establece rangos de montos de inversión (Cuadro 2), se notará cómo es la distribución de la inversión en exploración por países.

Gráfico 3. Gastos de Inversión en Exploración a Nivel Mundial - 2014²



Se observa que el mayor número de países (76) alberga actividades exploratorias cuyos gastos fluctúan entre US\$ 100.000 y los US\$ 126 millones, 9 países fueron destinos para la inversión con montos de US\$ 126 millones y US\$ 312 millones, y solo 8 países fueron receptores a inversiones superiores a los US\$ 312 millones.

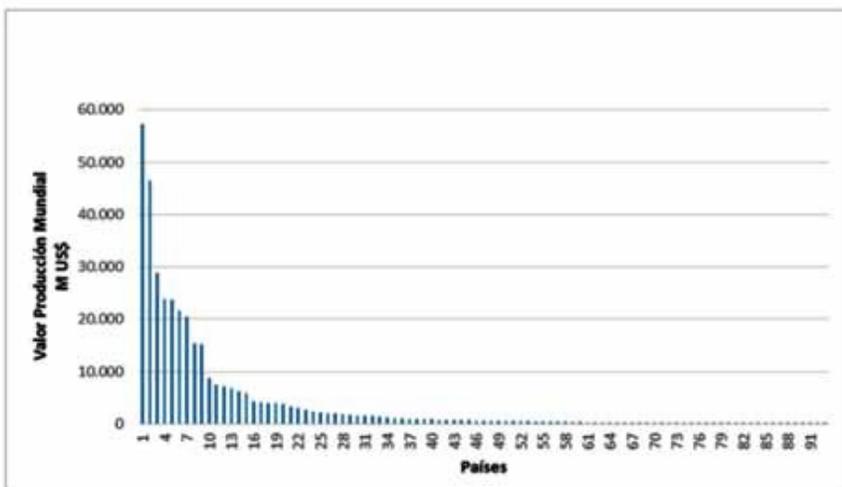
Cuadro 2. Rangos de inversión en Exploración Minera a Nivel Mundial – 2014²

Número de países con rangos de Inversión e Exploración				Estadísticas en millones US\$			
MUS\$	0.1 - 126	126-312	312-1487	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación S.
Países	76	9	8	112,1	1487,4	0,1	248,5

Variable Independiente - Potencial Geológico

En este análisis, como Potencial Geológico de los países, se utiliza las Reservas de Mineral transformadas a unidades monetarias (Reservas) y el Valor de la Producción Minera (VPM; Gráfico 4). Las reservas de 33 países fueron obtenidas del United States Geological Survey (USGS) "Mineral Commodity Summaries 2015" y los datos del VPM fueron obtenidos del estudio de la Escuela de Postgrado Gerens "El Perú en la Industria Minera Mundial 2013". El VPM para cada país resulta de la multiplicación de la producción anual de cada producto minero (en contenido fino del metal) por el precio promedio anual del metal. El VPM usado, corresponde solo a metales básicos y metales preciosos, excluyendo al hierro y PGMs.

Gráfico 4. Valor de la Producción Minera Mundial – 2013³



Variable Independiente - Clima de Inversión

Como indicador del clima de inversión, se utiliza el Índice de Libertad Económica (ILE), publicado por la Heritage Foundation y el Wall Street Journal. Este índice refleja las condiciones económicas imperantes en cada país. Se calcula como un promedio ponderado de las puntuaciones por igual de 10 indicadores del ambiente económico: libertad de negocios, libertad en el comercio internacional, libertad fiscal, gasto del sector estatal, libertad monetaria, libertad de inversión, libertad financiera, derechos de propiedad, libertad frente a la corrupción y libertad laboral. Los valores del índice varían entre 0 y 100. El puntaje más alto indica condiciones o las políticas más favorables a la libertad económica en un país. Los valores del ILE 2014 revelan que Australia tiene el entorno económico más favorable para las inversiones entre los países analizados pues su puntaje del ILE es el más alto (82,03). Zimbabue tiene el nivel más bajo (35,54). La mediana es igual a 58,91 y la media es igual a 59,98. Uganda tiene el valor de la media.

Indicadores del tamaño de los países y otras variables

Siguiendo la definición de Khindanova (2007), la población se utilizó como medida de control del tamaño de los países. Los datos fueron obtenidos de la publicación "The World Factbook 2014" de la Agencia Central de Inteligencia de los Estados Unidos (CIA).

Ya Cochilco había mencionado que los resultados al utilizar la población como variable explicativa adicional resultaban débiles y no satisfactorios, por lo que se ha visto por conveniente utilizar otras variables alternativas en lugar de la población por países, entre los que se encuentran: el Índice de Contribución de la Minería (ICM) del

International Council on Mining & Metals, Report "The role of mining in national economies (2nd edition)"; la Altitud sobre el nivel del mar (rango y promedio de altitud) obtenida de la publicación "The World Factbook 2014"; el Índice de Potencial Minero (IFraser) del Fraser Institute Annual "Survey of Mining Companies 2014"; el Índice de Competitividad (Icompetit) del World Economic Forum "The Global Competitiveness Report 2014-2015"; y el número de Conflictos Socio Ambientales (CSA) del Environmental Justice Atlas (1,472 casos reportados hasta el 18-05-2015 en el mundo).

En el Cuadro 3 se presenta las estadísticas de las variables explicativas: Potencial Geológico (Reservas y VPM), Clima de Inversión (ILE), Indicadores del Tamaño y de la Situación Social de los Países, y otras. Una diferencia significativa entre los valores promedios y medianos de las reservas y el VPM, observado en el Cuadro 3, sugiere una distribución muy desigual: Existen sólo unos pocos países con mayores reservas y VPM (aproximadamente un tercio de los países), mientras que la mayoría de los países tienen reservas y VPM menores (dos tercios aproximadamente de los países). Para reducir las variaciones de estas variables, se utilizó logaritmos en el modelo de Khindanova

Cuadro 3. Estadísticas del Potencial Geológico, Clima de Inversión, Indicadores del Tamaño, Situación Social de los Países, otros y los datos del Perú¹⁻⁸.

Medida	Estadísticas					PERU
	Promedio	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación S.	
Reservas (Ton Equiv. Au)	6.094.06 (Polonia)	1.622.66 (Kazakhstan)	40.582.79 (Chile)	23.72 (Irati)	10.094.61	16.998.85
Valor Producción Minera Mundial (MU\$)	3.886.13 (Argentina)	574.28 (New Zealand)	57.216.63 (China)	0.40 (Uganda)	9.207.37	23.811.63
Índice de Libertad Económica	59.98 (Uganda)	56.91 (Burkina Faso)	82.03 (Australia)	35.54 (Zimbabue)	9.35	57.46
Población (Millones)	65.03 (Inglaterra)	15.87 (Guatemala)	1.267.82 (China)	0.66 (Suriname)	194.51	31.42
Superficie (Km cuadrados)	1.175.008.89 (South Africa)	309.500.00 (Oman)	16.377.742.00 (Rusia)	9.241.00 (Chipre)	2.532.866.39	1.279.996.00
Conflictos Socio Ambientales (Número)	16.61 (Bulgaria)	6.00 (Etiopia)	199.00 (India)	- (Suiza)	28.45	33.00
Índice Potencial Minero-Geológico (Fraser I.)	62.07 (Paraná)	60.10 (Indonesia)	93.10 (Finland)	28.00 (Egipto)	16.71	90.24
Índice Competitividad	4.14 (Slovakia)	4.10 (Guatemala)	5.54 (USA)	2.79 (P New Guinea)	0.59	4.24
Índice de Contribución de la Minería (ICM)	61.06 (USA)	61.36 (Argentina)	96.82 (Mauritania)	17.65 (D.R Congo)	19.14	65.35
Altitud m (Rango)	3.532.83 (Rwanda)	2.954.00 (Philippines)	9.002.00 (China)	513.66 (Uruguay)	1.963.59	6.802.00
Altitud m (Promedio)	1.804.35 (España)	1.471.50 (Etiopia)	4.347.00 (China)	256.63 (Uruguay)	992.53	3.367.00

Modelos y Resultados

En esta sección se analiza la importancia del potencial geológico y del clima de inversión para los gastos de exploración siguiendo los modelos previos, como: logaritmo lineal, normalizado y modelo de competitividad.

Cuadro 4. Comparación de Resultados de las Ecuaciones del Modelo de Logaritmo Lineal con Khindanova.

Variables	Khindanova	Reservas (Ec1)	VPM (Ec1a)
c	-11,7240	-1,3865	-1,3181
(t)	-7,7500	-0,8478	-1,2548
b ₁ x Ln Superficie	1,0100		
(t)	7,9660		
b ₁ x Ln Reservas		0,5245	
(t)		4,4532	
b ₁ x Ln VPM			0,5452
(t)			7,7638
b ₂ x ILE	0,0310	0,0237	0,0132
(t)	2,2100	1,0276	0,8238
b ₃ x Ln Pob	-0,1850	0,1752	0,0875
(t)	-1,3900	1,0034	0,8443
R ² (ajustado)	0,48	0,50	0,45
N	103	33	93
GL	99	29	89

Modelo Logaritmo Lineal de las Inversiones en Exploración

La formulación del modelo está expresada de la siguiente manera:

$$IIE_i = c + b_1 \ln(\text{reservas}_i) + b_2 \ln(\text{ILE}_i) + b_3 \ln(\text{población}_i) + \epsilon_i \quad (4)$$

Donde: IIE_i = Logaritmo de la inversión en exploración de cada

país, ln(reservas_i) o ln(VPM_i) = Logaritmo de las reservas o del valor de la producción de mineral de cada país, ln(ILE_i) = Índice de libertad económica de cada país, ln(población_i) = Logaritmo de la población de cada país, ε_i = término residual de la expansión, c, b₁, b₂ y b₃ = coeficientes de la regresión e i =

1,....., 93 (cantidad de países).

Utilizando esta formulación (4), se realizó una serie de ensayos, relacionando VPM y el ILE con la población de cada país, y también reemplazando esta última por otras variables. De un total de 8 resultados obtenidos, destacan las ecuaciones Ec1 y Ec1a, cuya comparación con la mejor ecuación de Khindanova se muestran en el Cuadro 4.

El valor de R² ajustado de 0,50 en la regresión (Ec1), es relativamente alto. El coeficiente de Reservas y el coeficiente del ILE tienen signo positivo, tal como se esperan. El coeficiente del potencial geológico implica que, si el potencial geológico mejora en un 1%, entonces las inversiones en exploración crecerán en 0,52% y su estadístico (t) que es igual a 4,45 indica que es una variable fuerte. El coeficiente del clima de inversión muestra que, si el índice de libertad económica crece en 10 unidades, las inversiones en exploración crecen en 0,23%, y si bien el estadístico (t) es positivo, el

valor de éste es muy bajo, lo mismo sucede con el estadístico (t) de la población que no llega a 2. Estos resultados podrían deberse al número pequeño de observaciones (N) que es igual a 33 datos y 29 grados de libertad (GL), por lo cual, una investigación más profunda de la relación de esta variable independiente con los gastos de exploración, quedaría abierta para estudios futuros que consideren un tamaño mayor de muestra.

Comparando la ecuación Ec1 con los valores de Ec1a, en el que se utilizó el VPM como índice de potencial geológico, el valor de R² ajustado es de 0,45, que si bien es una cifra menor, el estadístico (t) de esta variable es de 7,76 que es mucho mayor a 2. Sin embargo, al igual que Ec1, también tiene las mismas debilidades en el ILE y la población en cuanto al estadístico (t), pero con 89 grados de libertad.

Confrontando con los resultados de Khindanova, en el que utiliza como índice de potencial geológico la Superficie territorial de los países, los estadísticos (t) de las variables Ln Superficie y del ILE, son mayores a las dos ecuaciones estimadas, pero la debilidad que tiene es que el signo del Ln Pob es negativa y un estadístico menor al esperado, aun teniendo un R² ajustado de 0,48 menor a la ecuación Ec1, podría considerarse mejor a los dos resultados obtenidos.

Modelo Normalizado de las Inversiones en Exploración

Este modelo, es una variante del modelo del logaritmo lineal, pues en lugar de aplicar logaritmos se normalizan llevando a cifras con valores que varían entre 0 y 1. En este entender, el ILE que varía entre 0 y 100, se divide entre 100. Las variables: reservas y el VPM, se expresan en porcentajes.

Por tanto, la regresión a aplicarse corresponde a la siguiente ecuación:

$$%I_i = c + b_1 \% reservas_i + b_2 \%VPM_i + b_3 ILEN_i + \epsilon_i \quad (5)$$

Donde: %I_i = Porcentaje de la

inversión en exploración de cada país, %reservas_i o %VPM_i = Porcentaje de las reservas o del valor de la producción de mineral de cada país, ILEN_i = Índice de libertad económica normalizado de cada país, %población_i = Porcentaje de la población de cada país, ε_i = término residual de la expansión, c, b₁, b₂ y b₃ = coeficientes de la regresión e i = 1,....., 93 (cantidad de países).

De un total de 8 resultados obtenidos, destacan las ecuaciones Ec2 y Ec2a, los mismos se muestran en el Cuadro 5. En la ecuación Ec2, el valor de R² ajustado de 0,48, es el más bajo del conjunto de este modelo, aunque los coeficientes de Reservas y el ILE tienen signos positivos y son significativos. Si bien el estadístico (t) es positivo, la debilidad de esta variable es que no llega a 2, lo mismo sucede con el estadístico (t) de la población que no llega a 2. La explicación de estas debilidades podría deberse al valor de N igual a 33 datos, quedando esta observación abierta para estudios futuros que incluyan una muestra mayor.

Comparando con los valores de la ecuación Ec2a, en la cual se utilizó el VPM como índice de potencial geológico, el valor de R² ajustado se incrementa a 0,59. El coeficiente de VPM y el coeficiente del ILE tienen los signos esperados, y también sus estadísticos (t) son adecuados, pero el signo del coeficiente de la variable población es negativo.

Cuadro 5. Resultados de las Ecuaciones del Modelo Normalizado.

Variables	Reservas (Ec2)	VPM (Ec2a)
c	-0.0472	-0.0221
(t)	-1.3270	-2.0713
b ₁ x % Reservas	0.4853	
(t)	4.1629	
b ₂ x % VPM		0.7410
(t)		9.8423
b ₃ x ILEN	0.0971	0.0439
(t)	1.6967	2.4715
b ₄ x % Pob	0.0672	-0.1274
(t)	0.8440	-2.1740
R ² (ajustado)	0.48	0.59
N	33	93
GL	29	89

Modelo de Competitividad de los Países para las Inversiones Exploratorias

Los modelos anteriores, logaritmo lineal y normalización, establecidos para definir los factores que inciden en la inversión minera, presentan especificaciones aditivas, es decir, están estructurados como una suma de variables; mientras que el modelo de la competitividad de los países, se enfoca en la interacción de las variables del Potencial Geológico y del Clima de Inversión.

Este modelo corresponde al estudio de Cochilco, asumiendo que las condiciones de regularidad del Teorema de las Expansiones de Taylor se cumplen, esta expansión lo desarrolló hasta el segundo orden, sosteniendo que no existe sustento teórico para pensar que las relaciones entre variables explicativas y la variable dependiente sean de orden mayor.

La formulación de Cochilco, que considera la extensión territorial como una variable que cuantifica el Potencial Geológico, podría traer un resultado sesgado ya que, tal variable no excluye las áreas protegidas de un país, así como tampoco excluye las áreas urbanas, donde será muy difícil realizar actividad exploratoria alguna.

Teniendo en consideración lo mencionado, se empleará el VPM para cuantificar el potencial geológico, con lo cual, la regresión queda expresada de la siguiente forma:

$$%I_i = c + b_1 \%VPM_i + b_2 \%VPM_i^2 + b_3 ILEN_i + b_4 ILEN_i^2 + b_5 \%VPM_i ILEN_i + \epsilon_i \quad (6)$$

Donde: %I_i = Porcentaje de la inversión en exploración de cada país, %VPM_i = Porcentaje del valor de la producción de mineral, %VPM_i² = Porcentaje del valor de la producción de mineral al cuadrado, ILEN_i = Índice de libertad económica normalizada, ILEN_i² = Índice de libertad económica normalizada al cuadrado, %VPM_i ILEN_i = Producto del %VPM_i por el ILE_i

ε_i = término residual de la expansión, c , b_1 , b_2 y b_3 = coeficientes de la regresión e $i = 1, \dots, 93$ (cantidad de países).

Sobre la base de la Ecuación (6) se analizaron varios planteamientos. En el Cuadro 6 se muestra el resultado de las ecuaciones D, comparando con el mejor resultado de Cochilco.

La ecuación D (con intercepto) que además de considerar las relaciones simples de cada una de las variables independientes en sus dos formas (simple y cuadrada), incluye la interacción entre ambas variables en sus formas básicas y tiene el mayor R^2 ajustado (0,76) que todas las ecuaciones corridas. Sin embargo esta ecuación, presenta dos debilidades: un valor muy alto de la constante (0,0896) y un valor poco significativo del estadístico de la variable de interacción entre el VPM y el ILEN (1,5466).

En el camino para encontrar un arreglo a las debilidades de la ecuación D (con intercepto), se optó por estimar la ecuación D sin intercepto, es decir, considerando la constante con un valor de cero. Los resultados de este ensayo se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Comparación de los Resultados del Modelo de Competitividad con Cochilco.

Variables	COCHILCO	Variables	D con intercepto	D sin intercepto
c	0,0024	c	0,0896	0,0000
(t)	0,1818	(t)	2,1668	0,0000
$b_1 \times \%Superficie$	-2,3236	$b_1 \times \%VPM$	0,9785	0,8667
(t)	-4,7604	(t)	2,7363	2,3994
$b_2 \times \%Superficie^2$	-0,1692	$b_2 \times \%VPM^2$	-6,8551	-6,9358
(t)	-0,0961	(t)	-6,2723	-6,2206
$b_3 \times ILEN$	-0,0060	$b_3 \times ILEN$	-0,3302	-0,0297
(t)	-0,1243	(t)	-2,3641	-1,7417
$b_4 \times ILEN^2$	0,0065	$b_4 \times ILEN^2$	0,2960	0,0485
(t)	0,1399	(t)	2,5238	1,7841
$b_5 \times \%Superficie \times ILEN$	5,2112	$b_5 \times \%VPM \times ILEN$	0,7145	0,9431
(t)	8,7047	(t)	1,5466	2,0544
R^2 (ajustado)	0,77	R^2 (ajustado)	0,76	0,78
N	105	N	93	93
GL	99	GL	87	88

La ecuación D sin intercepto, alcanza un R^2 ajustado de 0,78, y es superior al R^2 ajustado de la ecuación D con intercepto. También en esta nueva ecuación se incrementa el grado de significancia de la variable $\%VPM \times ILEN$ de interacción a 96% y se mantienen los signos de todos los coeficientes a lo obtenido en la

ecuación D con intercepto. Por otro lado, obsérvese que el nivel de significancia estadística de las variables ILEN e $ILEN^2$ se reduce a valores de 1,74 y 1,78, respectivamente. Esto implica que existe un 8,5% y 7,8% de probabilidad, respectivamente, de que esos parámetros sean igual a cero. Esta explicación sustenta que la ecuación D sin intercepto es mejor a los resultados obtenidos por Cochilco en su destacada ecuación.

Análisis de Resultados y Aplicación de Nuevas Variables

Analizando detenidamente los resultados obtenidos y aquellos que intuitivamente se esperaban, se puede observar que en las formulaciones de Khindanova la variable población constituye una variable no significativa, así como en parte de las ecuaciones que siguieron las formulaciones del modelo normalizado de Cochilco. En esas ecuaciones (Ec1, Ec1a y Ec2, Cuadros 4 y 5) donde se consideró esta variable, dio resultados positivos, cuando el supuesto esperado debía ser negativo, pues, una mayor población no sería un

aspecto favorable para la inversión en un país. Esto se puede explicar que a partir del supuesto de que un país que esté totalmente poblado, no tendrá espacios para realizar exploraciones, o al menos será muy difícil reubicar a la población; por tanto, las inversiones no fluirían a dicho país.

Por otro lado, la extensión territorial, utilizada por Cochilco en sus estudios adolece de la sustracción de las áreas protegidas y áreas urbanas que debía de hacerse a la extensión territorial de cada país.

Estas debilidades en ambas variables, se pueden corregir en cierta medida, considerando como cociente la superficie de un país y la población del mismo.

Teniendo en cuenta las observaciones antes indicadas se plantea lo siguiente:

- Emplear Superficie/Población en reemplazo de la variable población en las ecuaciones logarítmicas y normalizadas.

$$IIE_i = c + b_1 I(\text{reservas } \text{ó} \text{ (IVPM)}_i) + b_2 ILE_i + b_3 I((\text{Superficie/Población})_i) + \varepsilon_i \quad (7)$$

$$\%IE_i = c + b_1 (\text{reservas } \text{ó} \text{ (IVPM)}_i) + b_2 ILEN_i + b_3 ((\text{Superficie/Población})_i) + \varepsilon_i \quad (8)$$

Los resultados de la aplicación de estas fórmulas se muestran en los Cuadros 7 y 8.

Comparando los resultados de las ecuaciones Ec1-1 y Ec1a-1, se puede notar que usando la nueva variable Sup/Pob se corrige el signo del coeficiente de la variable Población de Khindanova, y aunque no se obtiene el estadístico adecuado del ILE en Ec1-1 y Ec1a-1, se tiene una solidez en su estadístico del ratio y un R^2 ajustado mucho más alto.

Observando el Cuadro 8, si bien es cierto que la variable población en la ecuación Ec2a responde a la predicción intuitiva (signo negativo), al reemplazarse esa variable por el ratio Sup/Pob (Ec2a-1), se obtiene un mayor valor en el R^2 ajustado.

También, es importante señalar que la nueva variable ratio Sup/Pob, no podría ser tratada como una única variable que acompañe a la variable

ILE, pues, los resultados no se ajustarían a la realidad. Esto se puede demostrar con el supuesto de que si dos países tienen el mismo ratio de Sup/Pob y el mismo ILE, debían de tener por tanto el mismo resultado para ser atractivos a la inversión en exploración, lo cual, probablemente no se ajustaría a la realidad, pues, ya que el ratio proviene de dividir la superficie entre el número de habitantes de un país, podría obtenerse el mismo resultado de dos datos distintos, como por

ejemplo, que el país A tenga una extensión de 100 Km² y una población de 50 Habitantes, y el país B tenga una extensión de 50 Km² y una población de 25 Habitantes. Obviamente el ratio será igual a 2 para ambos países, pero el país A debería de tener un mayor atractivo que el país B, por el mayor espacio territorial que posee. En tal sentido, el ratio Sup/Pob o la densidad demográfica, debía de acompañar siempre a cualquier otra variable proxy del Potencial Geológico.

Por otro lado, antes de que Khindanova publicara su último estudio (marzo, 2015), se observó que los inversionistas tienen una inclinación por invertir en destinos más próximos a ellos. Khindanova, en su último estudio, incluye ese factor definido por la "Proximidad Geográfica de los Países Destinos de las Inversiones respecto a los Países Fuentes de la Inversión". La expresión matemática de ese estudio es la siguiente (cuatro variables explicativas):

Cuadro 7. Comparación de los Resultados de las Ecuaciones del Modelo Logarítmico Lineal con Khindanova reemplazando Pob. x Sup/Pob.

Variables	Khindanova	Reservas (Ec1-1)	VPM (Ec1a-1)
c	-11,7240	-13,1063	-4,9935
(t)	-7,7500	-4,6919	-3,4915
b ₁ x Ln Superficie	1,0100		
(t)	7,9660		
b ₁ x Ln Reservas		0,5463	
(t)		5,5005	
b ₁ x Ln VPM			0,5147
(t)			8,2554
b ₂ x ILE	0,0310	0,0095	0,0116
(t)	2,2100	0,4563	0,7744
b ₃ x Ln Pob	-0,1850		
(t)	-1,3900		
b ₃ x Ln Sup/Pob		0,3510	0,4238
(t)		2,1013	3,6408
R ² (ajustado)	0,48	0,55	0,52
N	103	33	93
GL	99	29	89

$$L \text{ exploration}_i = c + b_1 \ln \text{land}_i + b_2 \text{econfreedom}_i + b_3 \ln \text{population}_i + b_4 \text{distance}_i + \varepsilon_i \quad (9)$$

Para el cuarto factor o variable, considera la distancia (kilómetros) entre los países destinos de la inversión y los países fuentes. En el presente estudio no se incluyó este factor de Khindanova por no contarse con los datos desgregados de los países fuentes de la inversión en exploración.

Este último estudio de Khindanova, respalda a considerar más variables adicionales a lo efectuado hasta la fecha con la formulación general, lo cual podría conllevar a resultados más sólidos y acordes a lo percibido en inversión en exploración a nivel mundial.

Cuadro 8. Resultados de las ecuaciones del Modelo Normalizado reemplazando Pob. x Sup/Pob.

Variables	VPM (Ec2a)	VPM (Ec2a1)
c	-0,0221	-2,6411
(t)	-2,0713	-2,5918
b ₁ x % VPM	0,7410	0,6446
(t)	9,8423	10,3478
b ₂ x ILEN	0,0439	4,5446
(t)	2,4715	2,6655
b ₃ x % Pob	-0,1274	
(t)	-2,1740	
b ₃ x % Sup/Pob		0,2734
(t)		3,3637
R ² (ajustado)	0,59	0,62
N	93	93
GL	89	89

En este sentido, siguiendo esa tendencia, se ha visto por conveniente agregar la variable "situación social" de los países a los modelos antes seguidos, para evaluar los efectos que podría tener en los resultados econométricos, sabiendo que esta variable hoy en día es casi determinante para poner en marcha un proyecto minero. El ratio superficie/número de conflictos socio ambientales (Sup/CSA), es la variable utilizada para la situación social, por lo cual, el planteamiento sería el siguiente:

$$\%IE_i = c + b_1 \%VPM_i + b_2 ILE_i + b_3 \%(\text{Sup/Pob})_i + b_4 \%(\text{Sup/CSA})_i + \varepsilon_i \quad (10)$$

En el siguiente cuadro se muestra el resultado de la mejor ecuación siguiendo dicho planteamiento:



Milpo y Votorantim Metais:
desarrollo de proyectos
de clase mundial para
construir una de las
mayores empresas
mineras de América
Latina

Una sólida estructura, una gestión eficiente, procesos bien establecidos y operaciones social y ambientalmente responsables han consolidado una posición favorable para **Milpo y Votorantim Metais** en la producción de zinc, cobre y otros sub-productos.

Conozca más sobre nuestros principales resultados y acciones en milpo.com



una empresa parte de



[f /MineraMilpo](https://www.facebook.com/MineraMilpo) [in /company/985355](https://www.linkedin.com/company/985355)

Cuadro 9.
Resultado Final con 4 variables explicativas.

G-2	
Con Sup/Pob + Sup/CSA	
c	-3,7604
(t)	-2,7599
b₁ x % VPM	0,5833
(t)	7,8520
b₂ x ILEN	6,2537
(t)	2,7510
b₃ x % Sup/Pob	0,2317
(t)	1,9351
b₄ x % Sup/CSA	0,1658
(t)	1,4101
R² (ajustado)	0,64
N	72
GL	67

La ecuación G-2 que además de tener un R² ajustado (0,64) más alto, soporta la importancia de utilizar más de dos variables en las formulaciones ecuacionales, y además, la forma de expresar la extensión territorial como cociente de la población y del CSA, resulta la mejor de todas las estimadas, presentando los signos de todas las variables conforme a los esperados, con estadísticos (t) adecuados, salvo el que corresponde a la Sup/CSA, cuyo estadístico (t) implica que existe 16% de probabilidad que el parámetro de esa variable sea cero.

CONCLUSIONES

La actividad minera es una de las mayores promotoras del crecimiento económico del país.

Siguiendo las formulaciones de los estudios previos, se han estimado en total 3 modelos: logaritmo lineal, normalizado y modelo de competitividad, con los cuales se aplicaron ecuaciones que arrojaron un total de 37 resultados. Además, aplicando nuevas variables (Sup/Pob y Sup/CSA) que sustituyeron a las variables población y conflictos sociales, se obtuvieron 14 resultados

más. En todas las ecuaciones se analizaron los resultados de la regresión ajustada R², el estadístico (t), la constante c, el número de la muestra, los grados de libertad, así como los signos de las variables.

De todas las ecuaciones, la ecuación D muestra el mayor valor de R² ajustado (0,76), además que incluye la interrelación entre las variables VPM y el ILE. Sin embargo, presenta dos debilidades: un valor relativamente alto de la constante, y un valor poco significativo del estadístico de la variable de interacción. Se supera estas debilidades asignando un valor de cero al intercepto, por lo cual la ecuación D sin intercepto además de corregir esas debilidades llega a tener un R² ajustado igual a 0,78, aunque sus estadísticos del ILE y el ILE² con probabilidades de 8,5% y 7,8% de que tengan un valor de cero, lo cual es aceptable por ser inferior a 10%.

El análisis de todas las ecuaciones estimadas, demuestra que si bien la ecuación D sin intercepto, tiene una buena solidez y el mayor R² ajustado, ésta al incorporar solamente dos variables independientes (VPM e ILE), resulta insuficiente para explicar las inversiones en exploraciones, pues

en la práctica se observa que un país con más VPM e ILE no siempre receptorá una mayor inversión en exploración que otro con un menor VPM e ILE, como es el caso de Sudáfrica, que no receptorá más inversión que Brasil. Igualmente, en los estudios de Cochilco, que solo considera la Superficie y el ILE como variables independientes, los resultados no son tan representativos, pues supuestamente un país con más superficie y más ILE, debía de recibir más inversión que otro con menores valores en esas variables, hecho que no siempre sucede en la realidad.

Los ensayos adicionales que se efectuaron, demuestran que la incorporación de las variables del ratio Sup/Pob, así como también del ratio Sup/CSA, se ajustan de mejor manera a la predicción intuitiva y muestran mejores resultados que sus expresiones invertidas. La incorporación de los ratios tiene un mayor impacto en los modelos normalizados que los logarítmicos.

Así, el mejor resultado que se considera en el presente estudio corresponde a la ecuación G-2 que alcanza un R² ajustado de 0,64 aunque haya una probabilidad de 16% de que el ratio Sup/CSA sea igual a cero.

El resultado hallado demuestra que la inversión en exploración minera depende no solo del potencial geológico y el clima de inversión, sino también es influenciado por la densidad poblacional, y la conflictividad social.

Para la captación de mayores inversiones en exploraciones mineras, el Perú sólo tiene que mejorar las condiciones de su clima de inversión, pues ya cuenta con un gran potencial geológico y una historia minera suficiente que lo hace competitivo con los mayores países mineros.