

Comisión Chilena del Cobre
Dirección de Estudios

**FACTORES QUE DETERMINAN EL ATRACTIVO DE UN PAIS PARA LAS
INVERSIONES EN EXPLORACIÓN: UN APORTE DESDE LA ECONOMETRÍA
(DE / 20 / 2008)**

Registro de Propiedad Intelectual
© N° 176997

INDICE

	Pág.
RESUMEN	4.
1. INTRODUCCIÓN	5.
2. REVISIÓN DE ANTECEDENTES	7.
3. DESCRIPCIÓN DE LAS SERIES DE DATOS	10.
4. MODELOS Y RESULTADOS	11.
5. CONCLUSIONES	21.
6. REFERENCIAS	23.

Resumen

El presente estudio busca contribuir a la discusión acerca de los factores que determinan la competitividad de los países para atraer inversiones en minería. Los objetivos específicos del trabajo son dos: entregar mayor soporte empírico a la visión alternativa de la competitividad en minería, la cual resalta la importancia del clima de inversión de los distritos mineros como elemento fundamental en su atractivo; y encontrar una forma funcional, sustentada en la teoría económica, que permita entender cómo ambos factores, el potencial geológico y el clima de inversión, se relacionan para explicar la competitividad de los países para atraer inversión en minería. Para ello, el estudio desarrolla modelos econométricos de corte transversal basados en los trabajos anteriores realizados por Khindanova, aportando una metodología distinta para la búsqueda de la estructura en que se relacionan el potencial geológico.

Los resultados del estudio muestran que la participación de los países en la asignación de los gastos de exploración, variable que puede ser usada como un indicador de competitividad minera de largo plazo, no está determinada únicamente por el potencial geológico de sus territorios. Los modelos estimados muestran que tanto el potencial geológico como el clima de inversión son determinantes a la hora de explicar el atractivo de los países, y que su relación con la competitividad no es desarrollada en forma individual y aditiva, sino que se expresa a través de una interrelación de ambas variables.

1. Introducción

A partir de la década de los 60's y hasta finales de los 70's la industria minera vio incrementarse la participación de empresas estatales en sus mercados. Sin embargo, a partir de mediados de los 80's y tras el fracaso de varios estados en explotar sus riquezas naturales por cuenta propia, muchos países optaron por la privatización de sus empresas mineras estatales y por una apertura de sus territorios a capitales privados. Es así como en la actualidad la industria minera está dominada por empresas privadas que buscan y desarrollan proyectos a lo largo de todo el mundo, incluyendo una importante participación de grandes corporaciones mineras multinacionales. Es en virtud de esto que hoy en día los países que buscan desarrollar su minería deben competir por el capital privado y por atraer la experiencia de las empresas mineras internacionales que buscan nuevas oportunidades de negocios alrededor del mundo.

La visión tradicional de la competitividad en minería, basada en la Teoría de las Ventajas Comparativas y el Intercambio Comercial¹, plantea que la competencia entre países para atraer inversión en minería está basada principalmente en la riqueza natural de sus territorios. Esta teoría destaca la importancia de la calidad y cantidad de los recursos minerales, y le entrega menor relevancia a otros factores que también pueden incidir en el atractivo de un país para el desarrollo de las actividades mineras (tales como disponibilidad de mano de obra calificada, infraestructura apropiada, estabilidad social, etc.). Como resultado de esto, los países con mayor cantidad y mejor calidad de recursos atraerán mayor cantidad de inversión, y sólo una vez agotados dichos recursos el capital irá fluyendo hacia otros destinos menos atractivos (Tilton 2002). De este modo, bajo esta visión los países pueden hacer poco o nada para incentivar el desarrollo de su industria minera local.

Por otro lado, a partir de las experiencias negativas vividas durante las décadas de los 70's y 80's por diversos países considerados ricos en recursos minerales, los que fueron incapaces de explotar sus recursos e incrementar sus participaciones en la producción

¹ En Tilton (1983) se realiza un intento por validar la teoría de las ventajas comparativas y el intercambio comercial en minería.

de metales y minerales, desde mediados de los 80's se generó una corriente alternativa de pensamiento acerca de los factores que influyen en la competitividad de los países para atraer inversiones en minería. Esta visión alternativa propone la existencia de 2 factores esenciales que determinan la competitividad de un país para atraer inversión para desarrollar las actividades mineras: el potencial geológico y el clima de inversiones (Johnson 1990, Tilton 1992, Fraser Institute varios años). Según esta visión, si bien es esencial la existencia de recursos minerales para generar una industria minera local, también es necesario que el país que tiene estos recursos genere las condiciones adecuadas para que las empresas puedan explotarlos de manera eficiente y productiva, generando beneficios tanto para los inversionistas de la empresa como para la sociedad. Estas condiciones estarían dadas por el clima de inversión generado a través de las diversas variables que deben enfrentar las empresas a la hora de desarrollar un proyecto minero. Dentro de estas variables que componen el clima de inversión, usualmente se nombran las siguientes: disponibilidad de infraestructura adecuada, existencia de recursos humanos y capital intelectual especializado, estabilidad social y política, institucionalidad y regulación clara y confiable, régimen tributario adecuado, normativa específica para la actividad minera, etc².

En la actualidad esta visión alternativa de la competitividad lleva más de 20 años desde su planteamiento formal, generando un amplio consenso en los diversos círculos de la actividad minera; sin embargo, hasta el momento han sido escasos los intentos por sustentar sus planteamientos a través de evidencia empírica. Los trabajos de Khindanova (2005, 2006 y 2007, distintas versiones de un mismo estudio) son el único esfuerzo conocido por utilizar datos reales y modelos econométricos para encontrar una relación de causalidad entre una medida de competitividad e indicadores del potencial geológico y del clima de inversión de los países.

Si bien el estudio de Khindanova es un avance significativo en la búsqueda de esta relación entre la competitividad minera y los factores que la sustentan, todavía existen

² Para una completa revisión acerca de la visión tradicional y la visión alternativa sobre la competitividad en minería, remitirse a Tilton (1992).

grandes espacios para aportar a la discusión sobre la validez de la visión alternativa y sobre la forma en cómo se relacionan las variables explicativas de la competitividad.

El objetivo de este estudio es contribuir con mayor sustento empírico a la visión alternativa de la competitividad en minería y encontrar una forma funcional, sustentada en la teoría económica, que permita entender cómo ambos factores, el potencial geológico y el clima de inversión, se relacionan para explicar la competitividad de los países para atraer inversión en minería. Para ello, se propone la construcción de modelos econométricos de corte transversal que determinen la competitividad de un país a través de una relación entre una medida de potencial geológico y una medida de clima de inversión. Una vez obtenida la relación existente entre ambas variables será posible extender los alcances de la investigación para mejorar el entendimiento acerca del comportamiento de las empresas mineras frente a alternativas en su elección de los objetivos y las etapas de desarrollo de los proyectos mineros, y frente a los cambios que puedan enfrentar en las condiciones de inversión.

Para ello, el estudio está estructurado de la siguiente manera. En la sección 2 se revisan los principales aspectos de los estudios de Khindanova, sus aportes y las dudas que dejan planteadas. Luego, la sección 3 describe las variables y los datos utilizados en el presente estudio. En la sección 4 se propone el modelo general a estimar, la metodología empleada para establecer la especificación de los modelos estimados, y los resultados de las estimaciones de esos modelos. Finalmente, la sección 5 entrega las principales conclusiones del estudio y plantea posibles líneas de investigación futura como continuación a este trabajo.

2. Revisión de Antecedentes

Como se planteó en la introducción, los únicos estudios conocidos dedicados a relacionar el potencial geológico y el clima de inversión con la competitividad de los distritos mineros en forma empírica son los desarrollados por Khindanova (2005, 2006 y 2007).

El objetivo de estos trabajos es identificar la relevancia del potencial geológico y del ambiente de inversión en la localización de la inversión en exploración. Para ello, Khindanova emplea 3 tipos de modelos diferentes: modelos generales semilogarítmicos, modelos generales log-lineales y modelos truncados log-lineales (sin embargo, sus resultados muestran que no existen diferencias significativas en la estimación al utilizar modelos generales o modelos truncados). En todos los modelos especificados la variable dependiente es el logaritmo de los gastos de exploración por país, y las variables independientes son el potencial geológico y el clima de inversión. Así, la formulación general de los 3 modelos es:

$$LExpl_i = f(IPG_i, ICI_i) = \alpha + \beta_1 * IPG_i + \beta_2 * ICI_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

en donde **LExpl_i** es el logaritmo del gasto en exploración, **IPG_i** es un índice de potencial geológico y **ICI_i** es un índice del clima de inversión en el país i.

Sin embargo, al no existir indicadores confiables y ampliamente disponibles para el potencial geológico y el clima de inversión en minería, la autora buscó variables alternativas que pudieran usarse como proxy's de las variables independientes reales. Para el potencial geológico se utilizaron diversas medidas asociadas a la participación de la producción minera en la producción nacional de los países (porcentaje de exportaciones primarias sobre el total de exportaciones, porcentaje de exportaciones mineras sobre el total de exportaciones, porcentaje de participación del PIB minero en el PIB total, etc.) y a la abundancia de minerales (estimación de recursos y reservas mineras, producción minera, número y extensión de concesiones mineras, extensión territorial del distrito minero, etc.). En cuanto al clima de inversión en minería se usaron sólo 2 variables proxy's, el Índice de Gobernabilidad del Banco Mundial y el Índice de Libertad Económica publicado por la Heritage Foundation y el Wall Street Journal.

Los resultados de las estimaciones realizadas por Khindanova muestran que el mejor indicador del potencial geológico de los países es su extensión territorial (superficie del país), y que no existen diferencias significativas entre el uso del Índice de

Gobernabilidad y el Índice de Libertad Económica como proxy's para el clima de inversión. Los trabajos de la autora también destacan que ambas variables son relevantes a la hora de la definición de la localización de los gastos en exploración, representando alrededor de 50% de la variación en la elección del país en que se invertirá en estas actividades. Todo esto resulta acorde a la visión alternativa de la competitividad en minería, entregando un primer sustento empírico a esta teoría.

Los mayores aportes en las primeras versiones del trabajo de Khindanova (2005 y 2006) son dos: el primero es la formulación de un modelo empírico para mostrar las relaciones entre el nivel de participación de mercado de los países (en este caso participación en el total de los gastos en exploración) y las variables asociadas a la teoría alternativa de competitividad en minería; y el segundo aporte relevante es la búsqueda y evaluación de variables alternativas para la medición del potencial geológico y del clima de inversión en minería.

Por otro lado, en el tercer paper de Khindanova se extienden los modelos presentados en los trabajos anteriores al agregar otras variables al modelo econométrico. Con el fin de ver el efecto del tamaño de las economías locales en la ubicación de los gastos en exploración, la autora introduce el PIB y la población de los países como variables explicativas adicionales. Además, agrega un término de interacción entre el potencial geológico y el clima de inversión para captar posibles impactos del clima de inversión en el potencial geológico y viceversa.

Los resultados de las estimaciones de este segundo conjunto de modelos muestran que tanto el PIB como la población no son elementos significativos para explicar el destino de los gastos en exploración; sin embargo, el término de interacción entre el potencial geológico y el clima de inversión es estadísticamente significativo, lo que abre interrogantes respecto de la especificación del modelo original.

Por tanto, el aporte principal de este tercer trabajo de Khindanova (2007) es mostrar que la relación entre las variables explicativas y la variable dependiente no

necesariamente siguen la especificación aditiva propuesta en sus primeros trabajos (ecuación 1).

Por otro lado, las principales falencias en los trabajos de Khindanova radican justamente en la fundamentación de la especificación de los modelos y en el escaso aprovechamiento de los resultados encontrados. La especificación rígida establecida por Khindanova no se ajusta a lo que se puede esperar del comportamiento de la competitividad de acuerdo a las variables explicativas incluidas.

Por ejemplo, con la especificación aditiva del modelo de Khindanova un país con excelente clima de inversión pero con escaso o nulo potencial geológico igual podrá atraer importantes montos para la exploración, situación que es poco probable en la realidad. Del mismo modo, un país con un alto potencial geológico, pero con una situación de inestabilidad política y social altísima (muy bajo clima de inversión), también podrá optar a una participación importante del total mundial de los gastos en exploración, situación que también se vislumbra como poco factible.

3. Descripción de las Series de Datos

La muestra está conformada por datos de corte transversal por países para el año 2007, y considera las siguientes variables: gastos de exploración totales por país, extensión superficial del territorio de cada país, y el índice de libertad económica por país.

La información sobre los gastos de exploración totales por países fueron obtenidos del estudio "Corporate Exploration Strategies" del Metals Economics Group (MEG, 2007). Los datos incluyen los gastos de exploración en metales no ferrosos, diamantes y minerales radioactivos (uranio principalmente) para el año 2007. Estas series están basadas en una encuesta que realiza el MEG cada año acerca de los planes de inversión en exploración a nivel mundial. En el año 2007 la encuesta fue contestada por 1.980 compañías que realizaron actividades de exploración alrededor del mundo y

que tuvieron presupuestos de exploración igual o mayores a US\$ 100 mil cada una para ese año. El estudio "Corporate Exploration Strategies" del MEG reportó gastos de exploración para 118 países, por un total de US\$ 10.930 millones. 13 de los 118 países no fueron considerados en el estudio debido a que no existen datos para ellos en la serie del Índice de Libertad Económica. Sin embargo, los 105 países incluidos en el estudio representan más de 95% del total de los gastos reportados por el MEG.

De acuerdo a los resultados de Khindanova (2007) discutidos en la sección anterior, en este trabajo se usa la extensión superficial del territorio como medida del potencial geológico de los países. Los datos sobre la superficie de los países fueron obtenidos desde la publicación "World Factbook 2008" de la Agencia Central de Inteligencia de los Estados Unidos (CIA, 2008).

Finalmente, como medida del clima de inversiones se utiliza el Índice de Libertad Económica publicado por la Heritage Foundation y el Wall Street Journal (Heritage Foundation 2008). Este índice refleja las condiciones económicas imperantes en cada país, siendo calculado en base a 10 indicadores para áreas específicas del ambiente económico: libertad comercial, libertad en el comercio internacional, libertad fiscal, libertad monetaria, libertad de inversión, libertad financiera, derechos de propiedad, libertad frente a la corrupción y libertad laboral. Los indicadores específicos varían entre 0 y 100, siendo los valores mayores reflejo de mejores condiciones económicas. El índice final es resultado de una suma ponderada de los 10 indicadores específicos, también tomando valores entre 0 y 100.

4. Modelos y Resultados

Como se analizó en la introducción de este estudio, de acuerdo a la visión alternativa la competitividad de los países o destinos mineros puede ser explicada mediante 2 factores: el potencial geológico o riqueza natural del territorio, y el clima de inversión que ofrece el distrito al inversionista minero.

De acuerdo a ello, en este estudio se propone el siguiente modelo general:

$$IC_i = f(IPG_i, ICI_i) + \varepsilon_i \quad (2)$$

en donde IC_i representa un indicador o índice de competitividad, IPG_i un indicador del potencial geológico, ICI_i un indicador del clima de inversión en el país i , y en donde $f()$ es la función que genera el indicador de competitividad de un distrito minero dados los inputs del potencial geológico y el clima de inversión de dicho distrito. El modelo se presenta en su forma general, sin definir la función de relación entre la variable dependiente IC_i y las variables explicativas IPG_i e ICI_i , debido a que la función $f()$ es desconocida (la teoría existente no define la especificación que debe existir entre las variables independientes para explicar la competitividad).

Uno de los problemas que se presentan al desarrollar un modelo de este tipo es la definición de las variables, ya que no existen indicadores confiables para ninguno de los factores incluidos en el modelo. Por ello, es necesario buscar las mejores variables proxy para cada uno de éstos.

Para el índice de competitividad (IC_i), en este trabajo se usó la participación por país de los gastos totales en exploración reportados por el MEG. La participación en los gastos en exploración por país ($PExpl_i$) es un buen indicador de la competitividad de largo plazo para atraer inversión en minería (Jara et al. 2008)³.

Por otro lado, existen diversas variables que pueden ser utilizadas como proxy del indicador de potencial geológico (IPG_i). Los resultados de Khindanova muestran que para el objetivo de este estudio un buen indicador del potencial geológico es la extensión territorial o superficie de los países. La superficie de los países es un buen indicador de la riqueza natural de un distrito minero, por cuanto es razonable pensar que a mayor superficie existen más posibilidades de contar con distintos ambientes

³ Según Jara et al. (2008) el mejor indicador de la competitividad de largo plazo en minería es la participación del país en los gastos de exploración grass roots o exploración básica por mineral específico; sin embargo, por simplicidad en el análisis realizado en este trabajo se utiliza la participación en los gastos totales de exploración. En la sección final de este estudio se propone como trabajos futuros la extensión del análisis utilizando como indicadores de competitividad los gastos de exploración desagregados por etapas y por objetivos de exploración.

geológicos que permitan albergar mayor cantidad y diversidad de recursos minerales. Sin embargo, para ser consistentes con la medida elegida como indicador de competitividad, la variable proxy para el potencial geológico utilizada será el porcentaje de superficie del país con respecto a la superficie de todos los países considerados en la muestra (**PLand_i**) (superficie del país sobre la suma de las superficies de todos los países considerados en la muestra), y no la transformación logarítmica de las superficies de los países.

Finalmente, y siguiendo también los resultados de Khindanova, se eligió el Índice de Libertad Económica como proxy para el indicador de clima de inversión (**ICI_i**). Si bien el clima de inversión abarca una gama bastante más amplia de variables que el índice de libertad económica (tales como disponibilidad de infraestructura apropiada, tecnologías de punta y mano de obra calificada, estabilidad política y social, institucionalidad confiable y libre de corrupción, regulación minera y fiscal adecuada, etc.), países con mejores indicadores de libertad económica presentan mejores indicadores de gobernabilidad y ambiente propicio para la inversión (usualmente existe una alta correlación entre indicadores de libertad económica y otros indicadores relacionados al atractivos para la inversión). Como el Índice de Libertad Económica se mueve entre 0 y 100, y el resto de las variables entre 0 y 1, se optó por normalizar dividiendo el Índice de Libertad Económica por 100, obteniéndose el Índice de Libertad Económica Normalizado (**NIEF_i**), que es la variable utilizada en el análisis como proxy para el clima de inversión.

De esta manera, la especificación del modelo general sobre competitividad queda de la siguiente forma:

$$Pexpl_i = f(PLand_i, NIEF_i) + \varepsilon_i \quad (3)$$

Una vez definidas las variables a utilizar en los modelos, se procedió a buscar la especificación adecuada de la relación entre las variables independientes. Como la forma exacta de la función **f()** es una función multivariada desconocida, la búsqueda

de su expresión a través de expansiones de Taylor es un procedimiento aceptable (Guzmán et al. 2005, Guzmán y Fujiono 2007).

La ecuación (3) tiene 2 variables explicativas, por lo tanto $f : \mathfrak{R}^2 \rightarrow \mathfrak{R}$. Si se asume que las condiciones de regularidad del Teorema de las Expansiones de Taylor se cumplen, entonces la expansión de Taylor de segundo orden para la función $f(\mathbf{x})$ viene dada por la siguiente ecuación:

$$f(\mathbf{x}) = f(\mathbf{x}_0) + \nabla f(\mathbf{x}_0)^T (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + \frac{1}{2} (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)^T \mathbf{H} f(\mathbf{x}_0) (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + \mathbf{R}(\mathbf{x}) \quad (4)$$

en donde $\mathbf{x} = (\mathbf{PLand}_i, \mathbf{NIEF}_i)$ y $\mathbf{x}_0 = (\mathbf{PLand}_0, \mathbf{NIEF}_0)$ es un vector de las variables explicativas para algún "país inicial". Resolviendo el gradiente y la matriz hessiana, y luego evaluando las derivadas en el vector inicial \mathbf{x}_0 , para el caso particular de este estudio la ecuación (4) puede ser reescrita como:

$$\begin{aligned} PExpl_i &= f(\mathbf{PLand}_i, \mathbf{NIEF}_i) + \varepsilon_i \\ PExpl_i &= \beta_0 + \beta_1 \mathbf{PLand}_i + \beta_2 \mathbf{PLand}_i^2 + \beta_3 \mathbf{NIEF}_i + \beta_4 \mathbf{NIEF}_i^2 + \beta_5 \mathbf{PLand}_i \mathbf{NIEF}_i + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (5)$$

en donde los β_i son los parámetros a ser estimados. En esta ecuación el término ε_i reemplaza al término residual de la expansión de Taylor $\mathbf{R}(\mathbf{x})$ (4). La expansión de Taylor se desarrolló hasta su segundo orden, ya que no existe sustento teórico para pensar que las relaciones entre las variables explicativas y la variable dependiente sean de orden mayor. Además, se comprobó que varios términos de tercer orden no aportan mayor información para la explicación de la variable dependiente.

Una vez encontrada la especificación general a través del método de expansiones de Taylor, el paso siguiente es realizar la estimación de los parámetros para todos los posibles casos. Siendo 5 los parámetros (sin considerar la constante β_0 que se estima en todos los casos), y teniendo la posibilidad de tomar subconjuntos de variables, existen 120 modelos diferentes posibles de estimar. Sin embargo, la estimación de estos 120 modelos y luego la elección del mejor es ineficiente (exceso de información y dificultad en la elección del "mejor" modelo) y carece de fundamentos. Por ello, se optó por

realizar una estimación secuencial de los modelos e ir introduciendo los resultados de las primeras estimaciones en la decisión sobre los siguientes modelos a estimar.

De esta forma, el primer paso fue la estimación de los modelos más simples generados a través de la ecuación (4), definidos como los modelos que cuenta con una variable independiente (Modelos A). Los resultados de estas estimaciones se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados Estimación Modelos A

Modelo	A1	A2	A3	A4	A5
β_0	0,0010 (0,4472)	0,0061 (2,6302)	-0,0356 (-2,4293)	-0,0207 (-2,4831)	-4,70E-08 (-2,60E-05)
β_1 (<i>PLand_i</i>)	0,8985 (9,6057)				
β_2 (<i>PLand_i²</i>)		6,4238 (6,7442)			
β_3 (<i>NIEF_i</i>)			0,0761 (3,1290)		
β_4 (<i>NIEF_i²</i>)				0,0833 (3,8070)	
β_5 (<i>PLand_i x NIEF_i</i>)					1,6261 (13,1703)
R² Ajustado	0,4674	0,2996	0,0779	0,1148	0,6238
N	105	105	105	105	105
Grados de Libertad	103	103	103	103	103

Fuente: Elaborado en Cochilco.

Como se aprecia en el Modelo A1, la variable independiente PLand (superficie del país) logra explicar un porcentaje importante de la participación de los gastos en exploración. Es decir, el potencial geológico por sí solo es un factor determinante en cuanto a la competitividad de un país en atraer inversiones en minería. Por otro lado,

en el Modelo A3 se puede apreciar que si bien la variable relacionada al clima de inversiones (NIEF) es estadísticamente significativa, ésta explica un porcentaje bajo de la participación en los gastos de exploración (medida de competitividad). Por otro lado, en forma individual los cuadrados de las variables explicativas no generan un aporte relevante con respecto a las variables básicas (comparación entre Modelos A1 y A2 y entre Modelos A3 y A4). Finalmente, lo más destacable de la Tabla 1 es la información entregada por el Modelo A5. En éste se puede apreciar que en forma individual, la variable conjunta entre el potencial geológico y el clima de inversión es la que mejor explica el comportamiento de la competitividad de los países.

El siguiente paso fue la estimación de todos los modelos que incluyeran 2 variables explicativas (Modelos B). Dado que se tienen 5 variables independientes, y que el orden de las variables en los modelos no es relevante, en este caso se tienen 10 modelos distintos.

Tabla 2. Resultados Estimación Modelos B

Modelo	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
β_0	-0,0029 (-1,2873)	-0,0342 (-3,2287)	-0,0225 (-3,7372)	0,0013 (0,9290)	-0,0341 (-2,8011)	-0,0206 (-2,9826)	-0,0027 (-1,6482)	0,0241 (0,9401)	-0,0236 (-2,5777)	-0,0158 (-3,0212)
β_1 (<i>PLand_i</i>)	1,7766 (7,1258)	0,8699 (9,7168)	0,8575 (9,7954)	-2,3764 (-8,5706)						
β_2 (<i>PLand_i²</i>)	-8,3349 (-3,7648)				6,2453 (6,8642)	6,1562 (6,9149)	-7,258 (-5,6636)			
β_3 (<i>NIEF_i</i>)		0,0599 (3,3842)			0,0680 (3,3572)			-0,1652 (-1,8441)	0,0403 (2,6266)	
β_4 (<i>NIEF_i²</i>)			0,0657 (4,136)			0,0740 (4,0677)		0,2297 (2,7920)		0,0448 (3,2025)
β_5 (<i>PLand_i x NIEF_i</i>)				5,2694 (12,0998)			2,7541 (12,1503)		1,5680 (12,8421)	1,5423 (12,7332)
R² Ajustado	0,5165	0,5278	0,5394	0,7792	0,3631	0,3914	0,7110	0,1350	0,6442	0,6548
N	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
Grados de Libertad	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102

Fuente: Elaborado en Cochilco.

De los resultados de la Tabla 2 se refuerza lo obtenido en la estimación de los modelos A. Los modelos con mejores resultados en la estimación son los Modelos B4, B7, B9 y B10. El común denominador de estos modelos es la inclusión de la variable de interrelación entre el potencial geológico y el clima de inversión.

Como medida de reforzar lo encontrado, se procedió a estimar los 5 modelos posibles con 4 de las variables explicativas incluyendo siempre la variable de interrelación entre ***PLand_i*** y ***NIEF_i*** (Modelos C). Además, como elemento extra se estimó el modelo general incluyendo todas las variables generadas por la expansión de Taylor (Modelo D). Los resultados de estas estimaciones se presentan a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados Estimación Modelos C y D

Modelo	C1	C2	C3	C4	C5	D
β_0	0,0052 (0,3541)	0,0024 (0,1827)	0,0009 (0,1760)	0,0010 (0,1169)	0,0103 (0,5908)	0,0024 (0,1818)
β_1 (<i>PLand_i</i>)		-2,3584 (-7,2453)	-2,3394 (-4,9889)	-2,3486 (-5,1950)	1,6445 (7,1294)	-2,3236 (-4,7604)
β_2 (<i>PLand_i²</i>)	-6,3861 (-4,9092)		-0,1406 (-0,0810)	-0,1270 (-0,0736)	-7,5316 (-3,6921)	-0,1692 (-0,0961)
β_3 (<i>NIEF_i</i>)	-0,0656 (-1,2813)	-0,0054 (-0,1133)		0,0005 (0,0359)	-0,1272 (-2,0918)	-0,0060 (-0,1243)
β_4 (<i>NIEF_i²</i>)	0,0875 (1,8315)	0,0057 (0,1259)	0,0010 (0,0737)		0,1737 (3,1013)	0,0065 (0,1399)
β_5 (<i>PLand_i x NIEF_i</i>)	2,5496 (10,8014)	5,2389 (10,0291)	5,2328 (9,1778)	5,2458 (9,6684)		5,2112 (8,7047)
R² Ajustado	0,7233	0,7748	0,7748	0,7748	0,6024	0,7725
N	105	105	105	105	105	105
Grados de Libertad	100	100	100	100	100	99

Fuente: Elaborado en Cochilco.

A partir de los resultados de las Tablas 1, 2 y 3, el modelo que mejor resultados entrega es el Modelo B4. Este resultado es reforzado por la estimación de los modelos C2, C3, C4 y D, ya que en todos ellos las únicas variables estadísticamente significativas son las incluidas en el Modelo B4. Además, cabe destacar la robustez de la estimación, lo que se puede apreciar en la escasa variación de los valores de los parámetros para **$PLand_i$** y para **$PLand_i \times NIEF_i$** en todos estos modelos.

Sin embargo, la estimación del Modelo B4 presenta un problema en cuanto a su justificación económica. El parámetro del potencial geológico tiene signo cambiado con respecto a lo que la teoría plantea. Esta situación puede tener 2 posibles causas. La primera es que la especificación del “modelo real” que relaciona el potencial geológico y el clima de inversión con la competitividad de los países en minería no pueda ser expresado a través del método de expansiones de Taylor de segundo orden. En este caso puede ser que, a lo largo de los rangos definidos para estas variables, la relación entre las variables explicativas presente formas no lineales o variaciones que no pueden ser expresadas a través de un polinomio de grado 2. La segunda posibilidad es que existan quiebre estructurales en el “modelo real”, los que se ven expresados al incluir la variable del potencial geológico como variable independiente y como parte del término de interrelación. Sin embargo, ambas posibilidades necesariamente deben tener un sustento en la teoría detrás de los modelos.

Una posible explicación de un quiebre estructural en los datos viene dada por el análisis del comportamiento de las empresas. En términos generales se puede esperar que, dado un potencial geológico constante, las empresas preferirán invertir en los países con mejores climas de inversión. Sin embargo, en la realidad se aprecia que una vez que los países alcanzan un nivel adecuado en el clima de inversión, las empresas definirán el destino de sus inversiones casi exclusivamente por el potencial geológico de los distritos mineros; bajo ese umbral de condiciones para la inversión, las empresas consideran los factores económicos, políticos y social de los países de destino, además de su riqueza natural.

Teniendo en consideración esta explicación de un posible quiebre estructural en los datos, se procedió a comprobar su existencia y con ello definir un nuevo modelo que incluyera este quiebre. El resultado fue el siguiente modelo general:

$$PEXPL_i = f(PLAND_i, NIEF_i) + \varepsilon_i = \phi_0 + \phi_1 PLAND_i d_{x,i} + \phi_2 PLAND_i NIEF_i (1 - d_{x,i}) + \varepsilon_i \quad (5)$$

en donde $d_{x,i}$ es una variable dummy que introduce el quiebre estructural, y que está definida de la siguiente forma:

$$d_{x,i} = \begin{cases} 0 & \text{si } NIEF_i < x, \text{ siendo } 0 < x < 1 \\ 1 & \text{si } NIEF_i \geq x, \text{ siendo } 0 < x < 1 \end{cases}$$

De esta manera y en forma iterativa se generaron diversos modelos para distintos valores de x hasta encontrar el modelo que tuviera mejor ajuste y en donde todos los parámetros fueran significativos. El resultado final de la estimación del modelo con quiebre estructural se presenta a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados Estimación Modelo Final

Modelo Final	
ϕ_0	0,0005 (0,4010)
ϕ_1 ($PLAND_i \times D_{60}$)	1,8641 (20,7959)
ϕ_2 ($PLAND_i \times NIEF_i \times (1 - D_{60})$)	0,7526 (6,0056)
R² Ajustado	0,8114
N	105
Grados de Libertad	102

Fuente: Elaborado en Cochilco.

Como se aprecia en la Tabla 4, el modelo final define el umbral del clima de inversión en 60; esto implica que en los países que tienen un Índice de Libertad Económica mayor o igual a 60, su competitividad viene dada casi exclusivamente por su potencial geológico. Por otro lado, en los países con Índice de Libertad Económica menor a este umbral, su participación de mercado se ve afectada por la calidad de su clima de inversión en interacción con su potencial geológico.

Para finalizar el análisis de resultados, el Modelo Final muestra otros elementos importantes de destacar. La constante del modelo es estadísticamente no significativa, y su valor estimado es cercano a cero; por tanto, se puede asumir que la función no tiene término constante. Esto está en conformidad con la teoría, por cuanto si se tiene un territorio extremadamente pequeño (cercano a cero), y/o un índice de libertad muy bajo (también cercano a cero), la competitividad del país para atraer inversión en minería debiera ser cercana a cero.

Finalmente, destacar el ajuste y la significación de los parámetros. En el Modelo Final ambos parámetros son altamente significativos, y el ajuste del modelo es el mayor ajuste obtenido durante la investigación.

5. Conclusiones

En la actualidad la teoría alternativa sobre los factores que afectan la competitividad en la minería es ampliamente aceptada por el mundo minero, sin embargo su estudio y sustento basado en datos objetivos es escaso. Además, si bien los únicos trabajos relacionados a esta materia realizaron aportes significativos, todavía existen grandes espacios para avanzar en la discusión sobre la validez de la teoría y en cómo esta se expresa en la relacionan entre el potencial geológico y el clima de inversiones para explicar la competitividad de los distritos mineros.

A través de modelos econométricos de corte transversal, en este trabajo se muestra que la participación de los países en la asignación de los gastos de exploración, variable que puede ser usada como un indicador de competitividad minera de largo

plazo, no está determinada únicamente por el potencial geológico de sus territorios. Los modelos estimados muestran que tanto el potencial geológico como el clima de inversión son determinantes a la hora de explicar el atractivo de los países, y que su relación con la competitividad no es desarrollada en forma individual y aditiva, sino que se expresa a través de una interrelación de ambas variables.

Estos resultados son un aporte importante para la toma de decisiones estratégicas de los países que quieren basar su crecimiento y desarrollo a través de la creación y/o fortalecimiento de sus industrias mineras locales. Los hallazgos encontrados muestran que para desarrollar la actividad minera no es suficiente con contar con recursos naturales de calidad y en cantidad, sino que también es necesario entregar a las empresas un clima de inversión que promueva una industria minera eficiente y competitiva.

Los resultados del estudio también abren posibilidades para la realización de nuevas investigaciones. En futuros trabajos se investigará el comportamiento temporal de la competitividad y de las variables que la determinan, y como estos factores presentan comportamientos distintos si son analizados en forma individual para cada mineral y para cada etapa de desarrollo de los proyectos mineros.

En definitiva, este estudio contribuye al entendimiento sobre el comportamiento y la interacción entre las variables que explican el atractivo de los países para atraer inversiones en minería, y entrega nueva evidencia empírica a la visión alternativa de la competitividad en minería. Además, el trabajo abre nuevas oportunidades para la realización de investigaciones en el futuro.

6. Referencias

CIA (2008) The World Factbook 2008. Central Intelligence Agency, Estados Unidos. <http://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>

Fraser Institute (varios años) Fraser Institute Annual Survey of Mining Companies. Fraser Institute, Canadá. <http://www.fraserinstitute.ca/>

Guzmán, J.I., Nishiyama, T. y Tilton, J.E. (2005) Trends in the intensity of copper use In Japan since 1960. Resources Policy, Vol. 30, N°1, 21-27.

Guzmán, J.I. y Fujiono, H. (2007) What determines cash costs in the copper industry? Colorado School of Mines, documento de trabajo, 2007.

Heritage Foundation (2008) Índice de Libertad Económica. Heritage Foundation, Estados Unidos. <http://www.heritage.org/Index/>

Jara, J.J., Lagos, G. y Tilton, J.E. (2008) Using exploration expenditures to assess the climate for mineral investment. Resources Policy, Vol. 33, N°4, 179-187.

Johnson, C.J. (1990) Ranking countries for minerals exploration. Natural Resources Forum, agosto de 1990, 178-186.

Khindanova, I. (2005) The location of investment in non-fuel minerals exploration: intercountry comparisons. Colorado School of Mines, documento de trabajo, 2005.

Khindanova, I. (2006) The location of investment in non-fuel minerals exploration: intercountry comparisons. Colorado School of Mines, documento de trabajo, 2006.

Khindanova, I. (2007) The location of investment in non-fuel minerals exploration. Colorado School of Mines, documento de trabajo, 2007.

MEG (2007) Corporate Exploration Strategies 2007. Metals Economics Group, Canada.

Tilton, J.E. (1983) Comparative advantage in mining. International Institute for Applied Systems Analysis, Austria. Unpublished working paper, 83-91.

Tilton, J.E. (1992) Mineral endowment, public policy and competitiveness : A survey of issues. Resources Policy, Vol. 18, N°4, 237-249.

Tilton, J.E. (2002) Creating wealth and competitiveness in mining. Colorado School of Mines, documento de Trabajo, diciembre de 2002.

Documento elaborado en la Dirección de Estudios por:

José Joaquín Jara Donoso

Directora de Estudios:

Ana Zúñiga

Publicado el 30 de Diciembre de 2008