

IMPACTO ECONÓMICO DE PROYECTOS DE INVERSIÓN MINERA: ANÁLISIS DE LA MATRIZ DE INSUMO-PRODUCTO APLICADA A LA REGIÓN DE COQUIMBO

THE ECONOMIC IMPACT OF MINING INVESTMENT PROJECTS: AN ANALYSIS OF THE INPUT-OUTPUT MATRIX APPLIED TO THE COQUIMBO REGION

Pablo E. Pinto Cornejo¹, Cristian Morales Letzkus², Rodrigo Sfeir Yazigi³, Guillermo Honores Marín⁴

Clasificación: trabajo empírico-investigación
Recibido: 31 – Agosto- 2017 / Aceptado: 1- Diciembre- 2017

Resumen

Este estudio analiza el potencial impacto económico de un proyecto de inversión y operación minera en la región norte de Coquimbo en Chile. Se utiliza una estimación basada en la matriz de insumo-producto (MIP). El análisis de las inversiones previstas en la fase de construcción de un proyecto de inversión, se estima que cada dólar invertido generará 80 centavos de dólar adicionales en producción. Con base en la inversión, se calculan, además, los efectos en empleo directo e indirecto. Solo el efecto directo se estima en 10.000 nuevos empleos en la economía en la fase de construcción, que por efectos del estudio se considera en tres años. En este ejercicio se utilizan datos de un proyecto minero con inversiones del orden de los \$ 2.500 millones de dólares. En la fase de operación, cada dólar invertido en el proyecto minero genera un estimado de 49 centavos de dólar adicionales y un empleo anual directo total que depende del gasto corriente. La vida de proyectos mineros supera, en general, los 20 años de operación. La estimación de gasto de operación corriente supuso un monto de \$ 300 millones de dólares anuales para el proyecto. Se utiliza la matriz insumo-producto regionalizada al año 2013 y sus efectos sobre el producto y empleo, a partir de los encadenamientos productivos del sector minero con los demás sectores económicos. Beneficios y limitaciones del uso de la MIP se discuten desde la perspectiva de estudios de esta naturaleza.

Palabras clave: matriz insumo producto, regionalización matriz insumo producto, impacto económico, minería.

¹ Es secretario de Investigación y profesor asociado de Estrategia de la Escuela de Ciencias Empresariales de la Universidad Católica del Norte (Chile). Correo electrónico: ppinto@ucn.cl, Universidad Católica del Norte, Escuela de Ciencias Empresariales, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile. Tel.: +56-51-2205916.

² Es director de la Escuela de Ciencias Empresariales de la Universidad Católica del Norte, Coquimbo-Chile, y profesor asociado en el área de Economía. Correo electrónico: cmorales@ucn.cl, Universidad Católica del Norte, Escuela de Ciencias Empresariales, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile. Tel.: +56-51-2209840.

³ Es secretario docente de la Escuela de Ciencias Empresariales de la Universidad Católica del Norte, Coquimbo-Chile, y profesor asistente en el área de Economía. Correo electrónico: rsfeir@ucn.cl, Universidad Católica del Norte, Escuela de Ciencias Empresariales, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile. Tel.: +56-51-2209846.

⁴ Es investigador y profesor *part-time* de la Escuela de Ciencias Empresariales de la Universidad Católica del Norte en Chile. Correo electrónico: guillermo.honores@ucn.cl, Universidad Católica del Norte, Escuela de Ciencias Empresariales, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile. Tel.: +56-51-2206818.

Nuestro especial agradecimiento al doctor Patricio Aroca, de la Universidad Adolfo Ibáñez, investigador principal del proyecto Fondef IDEA CA13110061 (2013-2015): Medidor de Impacto y Derrames de Proyectos Regionales en Chile, por desarrollar y facilitar la matriz insumo-producto regionalizada ocupada en este estudio.

Abstract

This study analyzes the potential economic impact of a mining investment and operation project in the northern region of Coquimbo in Chile. The estimates are based on the Input-Output Matrix regionalized to the year 2013. According to the analysis of the project's investments planned during the construction phase, it is estimated that each dollar invested in the project will generate 80 additional cents in production. Depending on the investment levels, the effects on direct and indirect employment are also calculated. Only the direct effect of the project is estimated at approximately 10 thousand new jobs during the construction phase. The construction phase is estimated to last for three years. In this exercise, data of a mining project with investments in the order of US\$ 2,500 million are used. In the operation phase, each dollar invested in the mining project generates an estimated 49 additional cents and a total direct annual employment that depends on the annual expenditure. The life of mining projects exceeds, in general, 20 years of operation. The current operating expense estimate amounts to US\$ 300 million per year for the project. The effects on the total product and employment are calculated from the interactions of the economic value chain of the mining sector with the other sectors of the regional economy using the Input-Output Matrix regionalized to the year 2013. Benefits and limitations of the use of IPM are discussed and reflected upon from the perspective of studies of this nature.

Keywords: Input-Output Matrix, Regionalizing Input-Output Matrices, Economic Impact, Mining.

Introducción

En este estudio se analiza el potencial impacto económico de un proyecto de inversión y operación minera en la región de Coquimbo. Para esto se utiliza una matriz de insumo-producto regionalizada identificando los efectos sobre el producto y el empleo a partir de las interacciones o encadenamientos productivos del sector minero con los demás sectores de la economía regional.

La minería ha sido el sector económico protagonista de la senda de crecimiento que ha sostenido la economía chilena en las últimas décadas. Según estimaciones del Banco Central, en el año 2015 el producto interno bruto (PIB) minero de Chile (estimativamente USD 23.182 millones) ponderó un 9,6 % a precios corrientes de la producción interna bruta total del país, siendo el segundo sector económico con mayor peso relativo dentro de la economía nacional.

La región de Coquimbo representa el 3 % de la producción nacional y se caracteriza por una vocación productiva concentrada en el sector minero, con un aporte del 24,1 % al PIB regional, muy superior al 9,6 % que este sector posee a escala nacional. El PIB de la región de Coquimbo, el cual incluye la valorización total del gasto agregado de las actividades económicas definidas por la autoridad monetaria, representó en el 2015 un total de aproximadamente USD 6.016 millones. Durante los tres últimos años (del 2013 al 2015), la región de Coquimbo alcanzó una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) negativa del 3,5 % del PIB, muy inferior al promedio nacional, que alcanzó un crecimiento del 1,4 %

anual. Esta situación no se reflejaba entre los años 2008 y 2012, cuando la TCAC regional alcanzó el 4,3 % *versus* el 3,2 % nacional. Esto implica que los vaivenes del precio de los *commodities* mineros afectan en mayor medida a la región de Coquimbo que al promedio nacional. Lo anterior ha implicado también una contracción del aporte porcentual de la minería regional sobre el total del sector nacional, pasando de representar un 10 % del PIB minero de Chile en los años 2011 y 2012 a contribuir con un 7,7 % a finales del 2015⁵.

La minería representa, además, el sector de mayor relevancia en términos de las exportaciones regionales (aproximadamente, 80 % del total regional). Los principales productos mineros de la región son el cobre con USD 2.291 millones al 2016, en el que se destaca la producción de minera Los Pelambres en la provincia del Choapa, cuyo yacimiento es uno de los cinco más ricos del mundo, con reservas del metal rojo estimadas en 2.100 millones de toneladas, y el hierro, donde destaca el yacimiento El Romeral al norte de La Serena. Actualmente, los envíos de hierro a escala regional representan solo el 3 % del total exportado con USD 74 millones al año 2016. No obstante, existe un proyecto minero de la empresa Andes Iron conocido como Dominga en la comuna de La Higuera que podría duplicar la cantidad de hierro que exporta la región y el país y proporcionar significativos impactos económi-

⁵ Los datos del Banco Central se encuentran encadenados del 2008 al 2012 en pesos chilenos del año 2008, y desde el 2013 al 2015 en pesos chilenos del año 2013, por lo que comparaciones directas no aplican. El año 2015, la producción del sector minero regional llegó a los USD 1.723 millones.

cos directos e indirectos en la región. Este estudio analiza los impactos económicos de un proyecto de similar tamaño al de Dominga en la región de Coquimbo.

Los datos de empleo (que por su naturaleza son más recientes) indican que la tasa de cesantía regional asociada al sector minero alcanzó en el trimestre móvil de enero-marzo del 2017 un 10,6 %, muy encima del desempleo regional del 7,3 %. Esta diferencia fue aún mayor durante el trimestre octubre-diciembre del 2015, en que el desempleo del sector minero se elevó hasta un 13,0 %, mientras que el desempleo regional se encontraba en un 6,5 %. La volatilidad en el empleo del sector se observa en las alzas cercanas a los 25 puntos porcentuales en el trimestre móvil abril-junio del 2010 y los 14 puntos en enero-marzo del 2013, y con caídas levemente superiores a los 19 (trimestre julio-septiembre) y 18 (trimestre móvil octubre-diciembre) puntos en los mismos años, respectivamente (véase figura 1).

Un aspecto significativo del sector minero regional es la calidad de su empleo, medido por indicadores como la alta tasa de empleo formal, el cual durante el 2016 representó en promedio el 94 %, siendo un 67 % contratos indefinidos y un 27 % contratos de plazo fijo (véase figura 2).

De manera complementaria, durante el mismo año, el 2,9 % de los ocupados correspondió a empleo por cuenta propia y el 3 % restante a empleo informal (asalariado sin contrato). La alta formalidad que existe en el sector minero se puede relacionar a los exigentes estándares en relación

con la contratación y la seguridad de los proyectos, propias de la explotación minera de mediana y gran escala.

Sobre la evolución de los ocupados del sector según tipo de contrato, se aprecia también el efecto cíclico del precio de los *commodities*. Esta tendencia se aprecia claramente en relación con el número de empleos con contrato indefinido. Sin embargo, en el caso de aquellos trabajadores con contrato de plazo fijo, se observa que estos tienden a comportarse, en algunos periodos, de manera contracíclica, es decir, cuando el sector se contrae, estos aumentan. Esto pareciera ser una respuesta de la industria ante mayor incertidumbre o escenarios adversos, casos en los que optan por la contratación a plazo fijo, sobre la de plazo indefinido, o bien la sustituyen. Generalmente, sin embargo, todas las categorías de empleo decayeron en números absolutos durante el periodo 2010-2017, lo que denota la dinámica actual poco favorable en el sector.

La minería regional, además, explica en gran medida la conmutación positiva interregional —alrededor del 77 % de la conmutación regional, en su gran mayoría, hombres (87 %)—, fenómeno que hace referencia a la parte de la ocupación que desempeña su actividad laboral en una región distinta de la que reside. La conmutación que se origina en la región de Coquimbo tiene como su principal destino las regiones de Antofagasta y Atacama, con el 61,2 % y el 26,6 %, respectivamente.

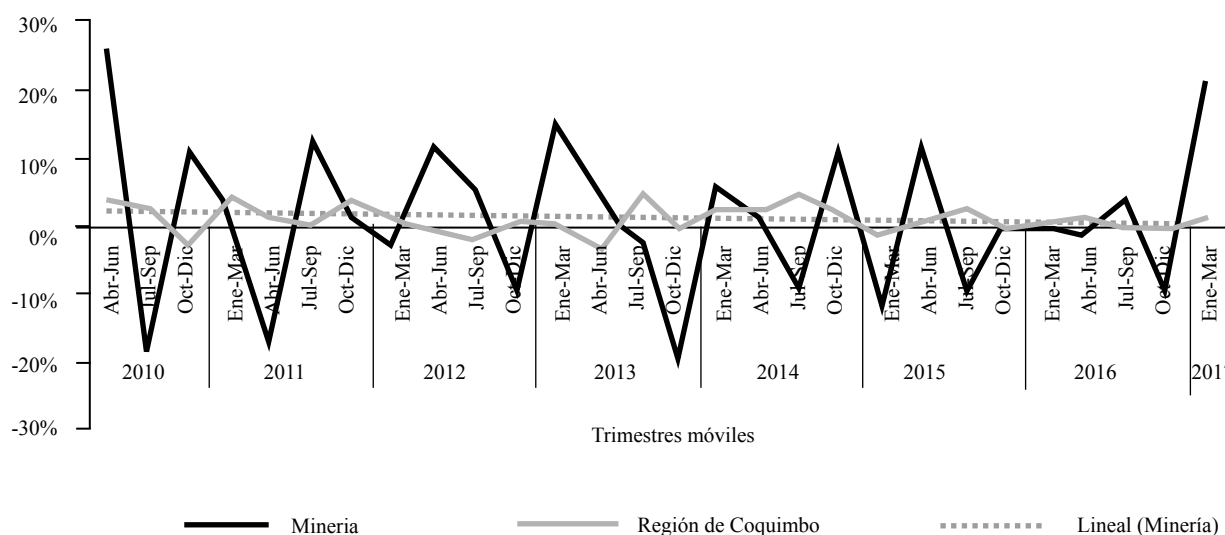


Figura 1. Variación porcentual de ocupados en el sector de la minería en la región de Coquimbo, con respecto al mismo periodo del año anterior, 2010-2017

Fuente: elaboración propia a partir de ENE, 2010-2017.

Nota 1: se considera la región de trabajo de los ocupados y no la residencia. El objetivo es analizar el empleo generado en la región.

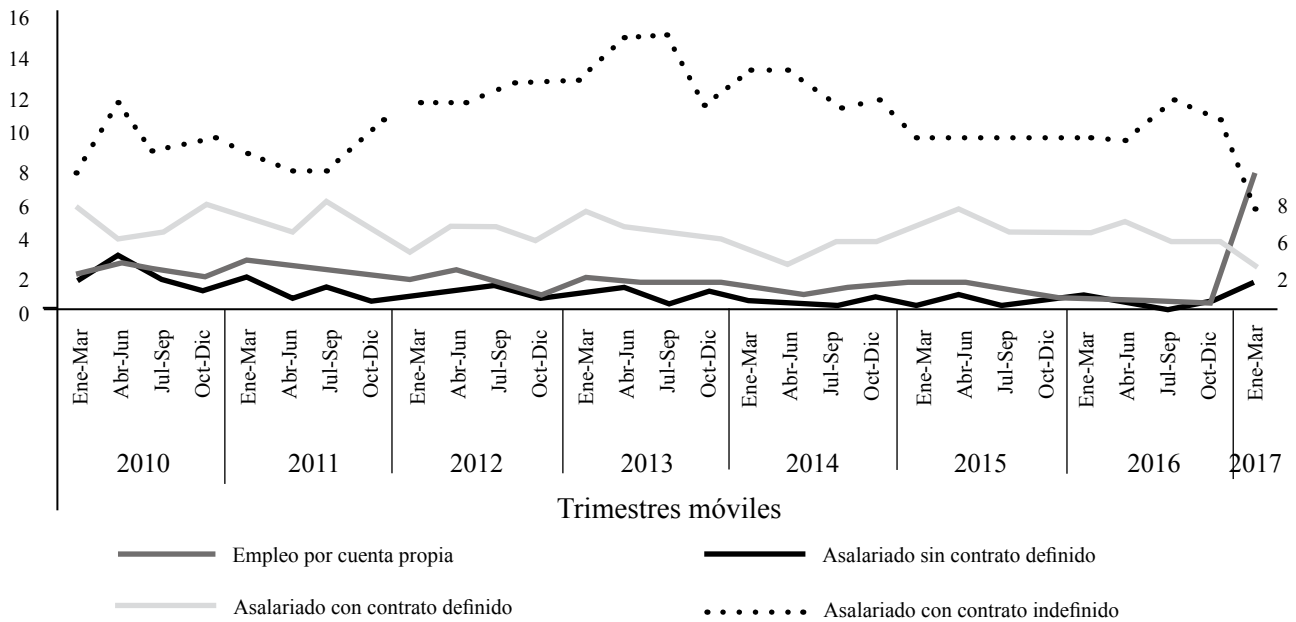


Figura 2. Evolución de ocupados en el sector de la minería en la región de Coquimbo según categoría ocupacional, 2010-2017 (miles de personas)

Fuente: elaboración propia a partir de ENE, 2010-2016.

Nota 1: se considera la región de trabajo de los ocupados y no la residencia. El objetivo es analizar el empleo generado en la región.

Nota 2: se excluye a empleadores y al personal no remunerado de la figura.

Los trabajadores del sector minería promedian 42,4 años de edad y 11,8 de escolaridad (véase tabla 1). En promedio los ocupados en minería son 2 años más jóvenes que la edad promedio de los trabajadores de la región, y su nivel de educación es similar (11,5 años). En dicho sector, sin embargo, existe una menor dotación de trabajadores con educación superior completa, la cual corresponde a una participación del 3,8 % inferior a la que existe a escala regional.

Tabla 1. Características generales de los ocupados, 2016

Características	Minería	Región de Coquimbo
Edad promedio	42,4	44,5
Escolaridad promedio	11,8	11,5
Mujeres (%)	5,0 %	42,4 %
Educación superior completa (%)	10,8 %	14,6 %
Ingreso promedio ocupación principal (pesos chilenos)*	\$ 841.566	\$ 428.676

Fuente: elaboración propia a partir de ENE 2016 y ESI 2015*.

Para medir el impacto de un proyecto minero en la economía regional se utiliza el modelo matriz insumo producto (MIP). La MIP es un esquema contable que describe el flujo de bienes y servicios entre los diferentes agentes que participan en la actividad económica, ya sea como productores de bienes y servicios o como consumidores. La finalidad de la matriz es reconstruir el conjunto de transacciones económicas intersectoriales realizadas en una economía nacional o regional. Ahora bien, en sus comienzos el análisis de insumo-producto se desarrolla y aplica a escala nacional, con el tiempo fue creciendo el interés por realizar análisis desagregados a escala regional de acuerdo con las diferentes formas de organización político-administrativa de los países (Fuentes y Brugués, 2001).

Por esta razón se han ido desarrollando diferentes técnicas de regionalización de las MIP, siendo la del enfoque sintético una de las más usadas por utilizar fuentes de información secundaria que puede ser fácilmente asequible y a bajo costo. Para desarrollar este estudio se ha utilizado la MIP regionalizada de Aroca (2002), actualizada por él mismo autor al año 2013 y se analizarán los multiplicadores de producto y empleo. Los resultados permiten entender cómo se pudiera comportar la economía regional a partir de los datos de inversión y gastos de ope-

ración corriente de un proyecto de inversión minera en el transcurso de los próximos años. Como base de análisis se utilizó una estimación de una inversión inicial igual dividida en tres años y los sucesivos gastos de operación anuales durante otros tres años.

Para estimar el efecto se debe considerar la inversión (*shock* único) y la operación (gasto permanente) del sector. Estos efectos se miden en dos tipos de sistemas: 1) uno abierto que considera las transacciones entre sectores y sus ingresos se extienden y son extraídos más allá de la región, y 2) uno cerrado que asume que todos los ingresos son retenidos en la región (Soza-Amigo y Aroca, 2010). En este estudio, nuestro análisis se basa en un sistema abierto.

De acuerdo con el análisis de las inversiones previstas en la fase de construcción de un proyecto de inversión, se estima que cada dólar invertido generará 80 centavos de dólar adicionales. Dependiendo de los niveles de inversión se calculan, además, los efectos en empleo directo e indirecto. La fase de construcción considera tres años. Es importante notar que el monto total de inversión estimado en este estudio solo incluyó suministros y materiales, mano de obra y subcontratos nacionales (aproximadamente la mitad de la inversión total, basados en datos preliminares) y, por tanto, cualquier monto que supere dicha cifra generará mayor producto y empleo. En este ejercicio se utilizan datos de proyectos con inversiones que bordean los USD 2.500 millones, lo que fue estimado partiendo de la inversión del proyecto Dominga.

En la fase de operación, cada dólar invertido en un proyecto minero genera estimativamente 49 centavos de dólar adicionales y un empleo anual directo total que depende del gasto corriente. La vida de proyectos mineros supera, en general, los 20 años de operación. Nuestra estimación de gasto de operación corriente supone un monto que rodeará los USD 300 millones anuales.

El estudio tiene, como cualquier análisis, algunas limitaciones. En primer término, al utilizar la matriz insumo producto aparecen problemas de datos agregados (promedios para cada sector económico), que impiden el análisis individualizado en la empresa. Además, la forma de valorizar monetariamente los flujos en la matriz es equivalente a los flujos físicos de bienes y servicios, lo que supone que el sistema de precios es perfectamente homogéneo, que no sucede en la práctica. Los valores obtenidos son también estimaciones en base al comportamiento pasado de la economía regional y no garantiza que ella se repita o mantenga en el futuro. Finalmente, el impacto económico utiliza medidas parciales y no incluye, entre otros, la valorización económica de factores sociales, ambientales y los efectos positivos inducidos en la economía, por ejemplo, el gasto realizado por los trabajadores producto de sus salarios generados por el proyecto en

beneficio de la economía regional y nacional. El estudio de dichos factores escapa al marco de análisis definido para el presente análisis.

Marco teórico

El modelo de la matriz insumo producto (MIP) fue desarrollado inicialmente por Wassily Leontieff, Premio Nobel de Economía en 1973 y, posteriormente, por Richard Stone, Premio Nobel de Economía en 1984. La finalidad de la matriz es reconstruir el conjunto de transacciones económicas intersectoriales realizadas en una economía nacional o regional. De esta manera, las MIP son un esquema contable que describe el flujo de bienes y servicios entre los diferentes agentes que participan en la actividad económica, ya sea como productores de bienes y servicios o como consumidores. La MIP concentra los principales agregados que caracterizan una economía, así como su composición sectorial. La base estadística del análisis insumo producto radica en la denominada matriz de transacciones intersectoriales (Fuentes, 2005).

Es importante tener en consideración que el modelo de la matriz insumo producto al trabajar con datos agregados, tanto de ramas de actividad económica como de productos puede tener problemas que afectan la calidad de la información (Schuschny, 2005), como por ejemplo:

- Dado que los numerosos productos de un sector pueden ser insumos de ellos mismos, los resultados de cada uno serán válidos solo para un producto promedio del sector.
- Debido al nivel de agregación de la información, cuyo origen corresponde a numerosas empresas, cada una con su propio nivel de eficiencia, las diferencias de eficiencia y productividad quedan ocultas en la agregación sectorial.
- Se supone que cada empresa pertenece a un solo sector económico, a pesar de poder producir múltiples productos.
- La recolección de microdatos y su agregación siempre trae aparejado un error que el analista desconoce al trabajar con matrices de insumo-producto.
- La consistencia y el balanceo de los cuadros, así como los errores de truncado numérico o redondeo son, también, fuentes posibles de error.

Esto determina que las MIP tengan algunas limitaciones, como:

- Al trabajar con productos promedios, estos son considerados sustitutos perfectos, lo que no permite analizar la cadena de valor intrasectorial.

- Al suponer que los coeficientes técnicos son fijos se invalida la posibilidad de que operen economías o deseconomías de escala, asignándoles a todas las empresas la misma tecnología de producción y los mismos niveles de eficiencia.
- La forma de valorizar monetariamente las tablas supone que los flujos monetarios de la matriz Leontief son equivalentes a los flujos físicos de bienes y servicios, lo que supone que el sistema de precios es perfectamente homogéneo, que no sucede en la práctica.

A pesar de estas limitaciones, las MIP son ampliamente utilizadas para evaluar las interrelaciones e interdependencias existentes entre los diferentes sectores productivos de una economía y medir el impacto de los programas o proyectos de inversión pública o privada en la producción de bienes y servicios. Las MIP se utilizan para calcular los efectos multiplicativos que poseen los sectores productivos dentro de una economía, permitiendo caracterizar y cuantificar las transacciones generadas entre sectores y en relación con la demanda final de bienes y servicios. Los impactos de un cambio en la demanda final generado por un incremento en el consumo, en la inversión, en el gasto del Gobierno o en las exportaciones son medidos a través de los multiplicadores de producto, de ingreso y de empleo. Esto permite estudiar los efectos directos que se generan en el mismo sector económico (en este caso, la minería), como el efecto de los montos gastados en otros sectores (por ejemplo, la construcción) para satisfacer el incremento de la demanda.

Material y métodos

La regionalización de una MIP puede llevarse a cabo a través de métodos directos (*full survey method*) o indirectos (*non survey method* y *partial survey method*). Debido a los altos costos y múltiples dificultades para implementar el método directo, cada vez cobran mayor relevancia los métodos indirectos (Fuentes, 2005).

El presente estudio utiliza la MIP regionalizada por Aroca (2002) y actualizada por el mismo autor al 2013. Para este se utilizó el método indirecto RAS (método biproportional sintético de ajuste).

Los datos de la mayoría de las tablas *input-output* (I-O), son compilados a través de mediciones (o censo) de las empresas industriales en la región de interés o en un territorio geográfico delimitado. Compilando los datos para las mediciones basadas en tablas, las industrias son usualmente agrupadas de acuerdo con un esquema de clasificación estandarizada, como lo es la Clasificación

Industrial Internacional Uniforme (CIIU), elaborada por la Comisión de Estadísticas de las Naciones Unidas.

Los datos medidos en una industria son usualmente recolectados por establecimiento, que son unidades económicas medidas generalmente en localizaciones individuales donde se encuentran situadas las operaciones industriales. La información recolectada desde un establecimiento en particular es asignada a una categoría acorde a sus productos primarios (producción principal). Miller y Blair (2009) presenta el siguiente ejemplo: supongamos un manufacturero que fabrica productos de metal: cubiertas de acero y barras de acero. Si el manufacturero produce más cubiertas de acero que barras, el valor entero de su producción es asignado a la categoría de la industria cubiertas de acero. El total de producción de una industria es registrada como la suma de la producción de todo el establecimiento asignado a la industria, incluyendo ambas características del establecimiento o producción primaria y secundaria (producción de cubierta de aceros y barras de acero). Sin embargo, tal procedimiento no es exacto.

Una forma alternativa de construcción de tablas I-O que entrega mayor confiabilidad de la cuenta de producción secundaria es usar y recolectar datos industriales de acuerdo con dos esquemas de clasificación distintos. Estos son:

- a) Cuentas industriales, las cuales recopilan datos industriales y asignan estos datos a la cuenta de una industria donde una categoría industrial es un grupo de establecimientos clasificados por un código de clasificación industrial de acuerdo con productos primarios.
- b) Cuentas de productos, las cuales recopilan datos en términos de las características —primario o secundario— de los productos del código de clasificación industrial, si el producto es un bien o un servicio primario o secundario.

Con estas definiciones, contabilizar la producción secundaria es la única diferencia entre las cuentas de la industria y la cuenta de productos, si no existiera la producción secundaria, las cuentas de industria y las cuentas de productos serían idénticas. En principio, no existe razón porque el número y definición de los productos debiera tener una relación uno a uno con la definición y clasificación de los sectores industriales. Los flujos antes descritos se pueden definir en dos matrices: matriz de producción y matriz de uso o absorción, lo que entrega un cuadro completo de la actividad interindustria.

En la matriz de producción, las filas describen la producción por industria en la economía y las columnas describen las industrias que generan este producto, donde los elementos fuera de la diagonal son la producción secundaria.

La matriz de uso indica los productos que se requieren como insumos en el proceso de producción industrial. En otros términos, registra el destino de los productos —primarios o secundarios— desde una industria a otras industrias o a la demanda final. Además, no solo registra productos al proceso producción industrial, sino también su valor agregado, tales como salarios, remuneraciones, impuestos, utilidades y otros. Sin embargo, para efectos de análisis es de mayor utilidad trabajar con una matriz de actividad por actividad o de industria por industria.

Dadas las definiciones de las cuentas de productos por industria, se pueden derivar las correspondientes matrices de requerimientos. De allí se deriva el siguiente procedimiento para que los cálculos sean más sencillos e ilustrativos. Dentro de esa perspectiva es necesario construir una matriz industria por industria.

El procedimiento común para pasar de las MIP industria-producto a la matriz industria-industria es descrito por Miller y Blair (2009, p. 163), como sigue:

Sea:

g : vector fila del valor bruto de la producción, por sectores (precios básicos).

q : vector columna del valor bruto de la producción, por productos (precios básicos).

U : matriz de uso (absorción).

V_i : matriz de producción.

Sean dos matrices auxiliares, las que se denominan D y B

$$D = Vt' \times Inversa(diag(q)) \quad (1)$$

$$B = U \times Inversa(diag(q)) \quad (2)$$

De esta forma, la MIP industria por industria con las matrices auxiliares D , B y la $diag(g)$, es de la siguiente forma:

$$Z_n = D * B * (diag(g)) \quad (3)$$

Donde Z_n corresponde a la matriz de flujos intermedios, lo que unido al valor agregado y la demanda final constituyen la MIP industria por industria. En efecto, para la obtención de la MIP industria por industria se necesitan la matriz de producción y la matriz de uso regional.

Para la actualización de la MIP regional se utiliza el método como método RAS (Stone y Brown, 1962). Teóricamente, el método RAS se puede resumir en la estimación

de una nueva matriz sobre la base de una matriz existente siempre que se posea la suma de las filas y columnas de la matriz final deseada. El método RAS presenta un ajuste biproporcional, pues aplica una doble corrección sobre filas y columnas. Las siguientes ecuaciones y coeficientes representan la base del método RAS siguiendo una nomenclatura convencional. Los dos vectores que representan las ventas intermedias (U) y las compras intermedias del producto (V) de una industria o sector se pueden representar de la siguiente forma:

$$U = \begin{bmatrix} U_1 \\ \vdots \\ U_n \end{bmatrix} \text{ con } U_i = \sum_{j=1}^n z_{ij}; V = \begin{bmatrix} V_1 & \dots & V_n \end{bmatrix}$$

$$\text{con } V_j = \sum_{i=1}^n z_{ij} = \quad (4)$$

Donde:

$\sum_{j=1}^n z_{ij}$ = el total de ventas intermedias por sector, para cada sector dado i .

$\sum_{i=1}^n z_{ij}$ = es el total de compras intermedias por sector, para un sector dado j .

Este método parte de una matriz de coeficientes para un año base denotado por la siguiente expresión:

$$A(0) = \begin{bmatrix} a_{11}(0) & a_{12}(0) & a_{13}(0) \\ a_{21}(0) & a_{22}(0) & a_{23}(0) \\ a_{31}(0) & a_{32}(0) & a_{33}(0) \end{bmatrix} \quad (5)$$

donde:

$A(0)$ = matriz del año base.

$a_{ii}(0)$ = coeficientes técnicos del año base.

Además, se debe poseer el valor bruto del producto para los sectores de un año objetivo denominado año 1, $X(1)$, el total de ventas y compras intermedias, es decir, los vectores $U(1)$ y $V(1)$ respectivamente. Con esta información se procede a actualizar la matriz.

$$X(1) = \begin{bmatrix} X_1(1) \\ X_2(1) \\ X_3(1) \end{bmatrix}, U(1) = \begin{bmatrix} U_1(1) \\ U_2(1) \\ U_3(1) \end{bmatrix} y$$

$$V(1) = \begin{bmatrix} V_1(1) & V_2(1) & V_3(1) \end{bmatrix} : \quad (6)$$

La primera iteración se basa en que $A(0) \leq A(1)$, es decir, los coeficientes de la matriz inicial son idénticos a los que se espera estimar. Una vez realizado el ajuste a las filas y columnas se itera modificando R y S un número n de veces, hasta el punto en el cual se produzca la diferencia mínima entre $A(0) \leq A(n)$

En términos algebraicos y, en forma general, se expresa de la siguiente manera:

$$A^3 = \begin{bmatrix} R^2 & R^1 \end{bmatrix} A(0) \begin{bmatrix} S^1 \end{bmatrix} : \quad (7)$$

$$A^4 = \begin{bmatrix} R^2 & R^1 \end{bmatrix} A(0) \begin{bmatrix} S^1 & S^2 \end{bmatrix} : \quad (8)$$

$$A^5 = \begin{bmatrix} R^3 & R^2 & R^1 \end{bmatrix} A(0) \begin{bmatrix} S^1 & S^2 \end{bmatrix} : \quad (9)$$

$$A^6 = \begin{bmatrix} R^3 & R^2 & R^1 \end{bmatrix} A(0) \begin{bmatrix} S^1 & S^2 & S^3 \end{bmatrix} : \quad (10)$$

$$\vdots = \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$A^{2n} = \begin{bmatrix} R^n & \dots & R^1 \end{bmatrix} A(0) \begin{bmatrix} S^1 & \dots & S^n \end{bmatrix}$$

Así, es posible encontrar la matriz de coeficientes técnicos para un periodo determinado y actualizar una matriz insumo producto para el o los años que se deseen.

En el modelo de Leontief simplificado, los elementos de la denominada matriz inversa de Leontief $(I-A)^{-1}$ indican la cuantía en que debe aumentar la producción de un sector i -ésimo para que la demanda final de un sector j -ésimo se incremente en una unidad. A partir de los elementos de esta matriz se pueden obtener coeficientes que recojan la capacidad de generar o absorber crecimiento de los distintos sectores de la economía.

Los vectores necesarios para actualizar —en nuestro caso, consumo intermedio, ventas intermedias y valor bruto de la producción— no se encuentran disponibles. Entonces, en función del único dato disponible —PIB— es posible realizar la actualización.

Para la estimación de los consumos intermedios agregados por filas (u), (Tilanus, 1966) propone el siguiente modelo:

$$u = q - d \quad (11)$$

Los consumos intermedios agregados por filas (u) se definen por diferencia entre los *output* totales (q) y la demanda final (d) y:

$$q = (1 - A)^{-1} \times d \quad (12)$$

Donde: $(I - A)^{-1}$ es la inversa de Leontief.

Entonces, sustituyendo (8) en la primera expresión (7) y operando convenientemente se obtiene:

$$u = \begin{bmatrix} (1 - A)^{-1} \times d - d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1 - A)^{-1} - 1 \end{bmatrix} \times d \quad (13)$$

Según esta ecuación es necesario contar con los valores de la demanda final para obtener el consumo intermedio, pero este dato no se encuentra disponible para las regiones. Por lo tanto, el primer paso para la actualización de las matrices es tomar el PIB regionalizado por actividad económica que representa el valor agregado y por el cual se obtendrán las ventas intermedias.

Para lograr esto se utiliza la misma lógica que propone Tilanus (1966) expresada en la ecuación 9, pero la diferencia radica en que en lugar de obtener los coeficientes técnicos a través del valor bruto de la producción-fila, se hace a través del valor bruto de la producción-columna. Esto implica obtener una nueva matriz de coeficientes técnicos, análoga a la de Leontief, con la cual se obtienen las ventas intermedias utilizando el valor agregado que reemplazará a (d) en la ecuación.

Si bien los análisis de insumo-producto se desarrollan y aplican a escala nacional, con el tiempo fue creciendo el interés por realizar análisis desagregados a escala regional de acuerdo con las diferentes formas de organización político-administrativa de los países (Fuentes y Brugués, 2001).

Por esta razón, se han ido desarrollando diferentes técnicas de regionalización de las MIP, siendo la del enfoque sintético una de las más usadas por utilizar fuentes de información secundaria la que puede ser fácilmente asequible y a bajo costo. Para desarrollar el presente informe se ha utilizado la MIP regionalizada de Aroca (2002) actualizada al año 2013 y se analizarán los multiplicadores de producto y empleo.

Para estimar el efecto se debe considerar la inversión (*shock* único) y la operación (gasto permanente) del sector. Estos efectos se miden en dos tipos de sistemas: 1) uno abierto que considera las transacciones entre sectores y sus ingresos se extienden y son extraídos más allá de la región, y 2) uno cerrado que asume que todos los ingresos son retenidos en la región (Rivera y Aroca, 2014). En este estudio, nuestro análisis se basa en un sistema abierto.

El multiplicador de producto resulta de las compras efectuadas por un sector económico, es decir, el efecto derivado de aumentos en la demanda de este sector sobre los sectores proveedores de insumos para el sector económico (encadenamiento productivo). Estos multiplica-

dores miden el efecto en su sector y en otros sectores económicos.

Una forma de complementar la información es calcular, en adición del multiplicador de producto, los multiplicadores de ingreso y empleo que dan una idea de cómo se ven afectados los ingresos de los habitantes de una región y de cómo afecta el empleo las actividades del sector analizado.

El multiplicador de ingreso captura el impacto de los cambios de la demanda final neta sobre el ingreso obtenido por las familias, por proveer sus servicios de trabajo al proceso de producción. El vector de efectos ingresos para los sectores puede definirse como:

$$E^{inc} = W' B \text{ es decir } E_j^{inc} = \sum_{i=1}^n w_i b_{ij} \text{ con } w_i = \frac{S_i}{x_i}$$

y mide el impacto sobre el ingreso salarial, originado por un cambio unitario en la demanda final neta del sector j .

Aquí la matriz $B \equiv b_{ij} = (I - A)^{-1}$

El multiplicador de empleo captura el impacto de los cambios de la demanda final neta sobre el nivel de empleos por sector. El vector de efectos empleos para los sectores se puede definir como:

$$E^{lab} = n' B \text{ es decir } E_j^{lab} = \sum_{i=1}^n n_i b_{ij} \text{ con } n_i = \frac{n_i}{x_i}$$

Donde n_i es el nivel de empleo del sector, es decir, el número de empleados (equivalentes de tiempo completo). Esto significa que n_i es empleos del sector por cada peso de su producto y suele denominarse como el coeficiente de requerimientos directos de empleo. E_j^{lab} mide el impacto sobre el nivel de empleo originado por un cambio unitario en la demanda final neta del sector j .

Para este estudio, se analizarán los efectos de producto y empleo.

Resultados y discusión

Para el análisis de la matriz insumo producto se consideró un sistema abierto, lo que tiene en consideración que el dinero generado por el proyecto puede ser gastado fuera de la economía regional. Esta medida es más conservadora, dado que los multiplicadores de una economía cerrada son mayores, pudiendo llegar en algunos casos a duplicar los efectos de un sistema abierto (Soza-Amigo y Aroca, 2010).

A continuación, se presentan los multiplicadores del producto para los sectores de minería, construcción e industria manufacturera (véase tabla 2). En el sector de minería, el efecto total de insertar un dólar en el mercado es la generación de 49 centavos de dólares adicionales. Para el sector

construcción insertar un dólar genera 70 centavos adicionales en el mercado. El efecto mayor se puede observar en el sector de industria manufacturera, donde por cada dólar insertado se generan 1,02 dólares adicionales.

Tabla 2. Multiplicadores del producto de los sectores de minería, construcción e industria manufacturera

Sector	Minería	Construcción	Industria man.
Agropecuario-silvícola	0,03	0,05	0,34
Pesca	0,01	0,05	0,05
Minería	1,21	0,15	1,07
Industria manufacturera	0,04	0,01	0,02
Electricidad, gas y agua	0,05	1,01	0,01
Construcción	0,01	0,14	0,06
Comercio, hoteles y restaurantes	0,03	0,09	0,07
Transporte y comunicaciones	0,05	0,09	0,04
Servicios financieros y empresariales	0,04	0,00	0,00
Propiedad de vivienda	0,00	0,01	0,01
Servicios sociales	0,01	0,00	0,00
Administración pública	0,00	1,70	2,02
	1,49		

Fuente: elaboración propia a partir de MIP regional 2013

La evaluación de impacto de un proyecto minero puede medirse por el gasto que hace el proyecto directamente en los diferentes sectores de la economía que se ven afectados y este impacto es conocido como *efecto directo*. Este se mide a través de las compras que hace el proyecto directamente a las empresas de los diferentes sectores de la economía, incluido el sector al cual pertenece el proyecto.

Un segundo impacto es el que ocurre por las compras que deben realizar las empresas o proveedores a las cuales el proyecto compró directamente. Estos proveedores deben realizar compras para producir los bienes o servicios que demanda el proyecto. Además, las empresas que surtieron de insumos a los proveedores del proyecto minero también debieron realizar demandas para satisfacer a los proveedores. La suma de estos impactos es conocido como *efecto indirecto*. Por lo tanto, el impacto de un proyecto ocurre por las compras que hace directamente la empresa, más todas las transacciones que fueron necesarias para producir la oferta que satisface esas compras.

Para efectos de nuestros cálculos, se estima que el proyecto minero tendrá una inversión inicial que bordeará

los USD 2.500 millones en la etapa de construcción. Para estimar los potenciales impactos económicos de dicha inversión se considera que solo un 47,3 % será destinado a suministros, materiales, mano de obra y subcontratos nacionales. Además, se ha supuesto que la inversión total será dividida en partes iguales durante cada año de construcción. De esta manera, se considera una inversión anual estimada de USD 394 millones, durante tres años. Por el tipo de compras y actividad requerida en la fase de construcción, se considera que los sectores impactados serán la industria manufacturera y construcción, con una inversión anual estimada de USD 131 y USD 263 millones respectivamente. Los resultados indican que dicha inversión anual tendrá un efecto total estimado de USD 711 millones en la economía (tabla 3).

Tabla 3. Efecto estimado de inversión en etapa de construcción sobre producto (millones de dólares)

Sector	Inversión	Directo	Indirecto	Total
Agropecuario-silvícola		\$ 35	\$ 37	\$ 71
Pesca extractiva		\$ 21	\$ 36	\$ 57
Minería		\$ 13	\$ 8	\$ 21
Industria manufacturera	\$ 131	\$ 36	\$ 12	\$ 179
Energía, gas y agua		\$ 2	\$ 5	\$ 6
Construcción	\$ 263	\$ 1	\$ 2	\$ 266
Comercio, restaurantes y hoteles		\$ 32	\$ 14	\$ 45
Transporte y comunicaciones		\$ 12	\$ 20	\$ 32
Servicios financieros y a empresas		\$ 16	\$ 13	\$ 29
Propiedad de vivienda		\$-	\$-	\$-
Servicios sociales y personales		\$ 1	\$ 2	\$ 3
Administración pública		\$ 0	\$ 1	\$ 1
Total	\$ 394	\$ 169	\$ 149	\$ 711

Fuente: elaboración propia a partir de MIP regional 2013.

Nota 1: efecto total incluye inversión inicial.

Además del efecto en el producto (también llamado valor bruto de la producción o ventas del proyecto), la fase de construcción tendrá un efecto en el empleo, el cual consiste en el número de nuevas contrataciones de la región por las demandas que genera el proyecto. Los datos de la MIP regional indican que una inversión anual de USD 394 millones entre los sectores de industria manufacturera y construcción tendrá un efecto directo estimado de aproximadamente 10.000 nuevos empleos en

la economía. Esto corresponde a un estimado de 4.000 nuevos puestos de trabajos para la industria manufacturera y más de 7.000 para construcción, lo que representa un incremento de un 16 % de los ocupados del sector de la industria manufacturera y un incremento del 21 % en el número de ocupados del sector de la construcción a escala regional. Adicionalmente, sumando el efecto indirecto en el número de nuevas contrataciones, se tiene que el proyecto puede alcanzar un impacto total de más de 16.000 nuevas contrataciones, lo cual representa un 5 % en el total de empleo regional (véase tabla 4). Como dato referencial, el empleo total regional promedio al año 2016 alcanzó a las 334.000 personas.

Tabla 4. Efecto estimado de inversión en etapa de construcción sobre empleo

Sector	Inversión	Directo	Indirecto	Total
Agropecuario-silvícola		0	2.724	2.724
Pesca extractiva		0	719	719
Minería		0	62	62
Industria manufacturera	\$131	3.530	329	3.859
Energía, gas y agua		0	68	68
Construcción	\$263	7.146	66	7.212
Comercio, restaurantes y hoteles		0	1.062	1.062
Transporte y comunicaciones		0	430	430
Servicios financieros y a empresas		0	268	268
Propiedad de vivienda		0	0	0
Servicios sociales y personales		0	27	27
Administración pública		0	61	61
Total	\$394	10.676	5.815	16.492

Fuente: elaboración propia a partir de MIP regional 2013.

Para el análisis del impacto del proyecto en su etapa de operación, se han tomado en consideración solo los 3 primeros años de operación. A modo de ejemplo, en la tabla 5 se pueden apreciar los gastos de operación estimados por el proyecto minero para el primer año de operación. Estos gastos se estiman en USD 248 millones, los cuales irán directamente al sector de la minería, siendo el efecto total estimado en la economía de USD 369 millones. Por otro lado, el efecto del segundo y tercer año de operación bordearía los USD 479 y USD 523 millones, respectivamente.

Tabla 5. Efecto estimado del año 1 de etapa de operación sobre producto (millones de dólares)

Sector	Operación	Directo	Indirecto	Total
Agropecuario-silvícola		\$ 2	\$ 6	\$ 8
Pesca extractiva		\$ 0	\$ 3	\$ 3
Minería	\$ 248	\$ 42	\$ 10	\$ 299
Industria manufacturera		\$ 7	\$ 4	\$ 10
Energía, gas y agua		\$ 6	\$ 7	\$ 13
Construcción		\$ 0	\$ 1	\$ 1
Comercio, restaurantes y hoteles		\$ 4	\$ 4	\$ 8
Transporte y comunicaciones		\$ 6	\$ 7	\$ 13
Servicios financieros y a empresas		\$ 6	\$ 4	\$ 10
Propiedad de vivienda		\$-	\$-	\$-
Servicios sociales y personales		\$ 1	\$ 1	\$ 1
Administración pública		\$ 0	\$ 0	\$ 0
Total	\$ 248	\$ 74	\$ 46	\$ 369

Fuente: elaboración propia a partir de MIP regional 2013.

Nota 1: efecto total incluye inversión inicial.

Los gastos de operación del primer año tendrán un efecto total estimado superior a los 3.000 nuevos empleos, de los cuales casi 2.000 serán empleos directos en el sector de la minería (13 % en el número de ocupados de este sector). El proyecto generará estimativamente más de 1.000 nuevos puestos de trabajos indirectos (véase tabla 6).

Como dato referencial, en el 2016 el sector de la minería empleó alrededor de 15.000 personas en la región. El efecto en el empleo del segundo y tercer año de opera-

Tabla 6. Efecto estimado del año 1 de etapa de operación sobre empleo

Sector	Operación	Directo	Indirecto	Total
Agropecuario-silvícola		0	468	468
Pesca extractiva		0	67	67
Minería	\$ 248	1.944	75	2.019
Industria manufacturera		0	100	100
Energía, gas y agua		0	100	100
Construcción		0	27	27
Comercio, restaurantes y hoteles		0	297	297
Transporte y comunicaciones		0	141	141
Servicios financieros y a empresas		0	90	90
Propiedad de vivienda		0	0	0
Servicios sociales y personales		0	11	11
Administración pública		0	18	18
Total	\$ 248	1.944	1.393	3.337

Fuente: elaboración propia a partir de MIP regional 2013.

ción bordea los 4.300 y 4.700 empleos, respectivamente (incluyendo empleos directos e indirectos).

Una forma de entender el encadenamiento del producto que posee el sector de la minería con los demás sectores (sin considerar el encadenamiento con el mismo sector), se puede apreciar que los sectores que más se ven beneficiados por el sector de la minería son transporte y comunicaciones, electricidad, gas y agua, industria manufacturera y servicios financieros y empresariales (véase figura 3).

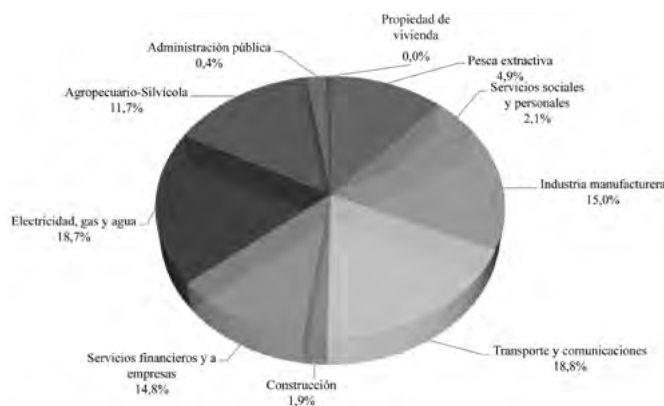


Figura 3. Encadenamiento del producto, sector de la minería con otros sectores

Conclusiones

El análisis de un proyecto minero se ha realizado a partir de consideraciones de impacto económico. Estos incluyen impactos en producto y en empleo, estimados a partir de la matriz insumo producto (MIP) de la región de Coquimbo actualizada al año 2013 y los encadenamientos productivos originados de los montos aproximados de inversión y gastos corriente de operación del proyecto. Se utiliza un cálculo para sistema abierto, lo que significa que flujos de capital y empleo pueden salir de los límites regionales. El proyecto analizado es de tamaño y características similares a las del proyecto Dominga de Andes Iron.

De acuerdo con el análisis de las inversiones previstas en la fase de construcción del proyecto, se estima que cada dólar invertido genera 80 centavos de dólar adicionales y un estimado anual de 10.000 empleos directos con base en la inversión total nacional del proyecto. La fase de construcción considera 3 años. Es importante notar que el monto total de inversión estimado en este estudio solo incluyó suministros y materiales, mano de obra y subcontratos nacionales (aproximadamente el 54 % de la inversión total) y, por tanto, cualquier monto que supere dicha cifra generará mayor producto y empleo.

En la fase de operación, cada dólar invertido genera aproximadamente 49 centavos de dólar adicionales y una cifra anual total de aproximadamente 1.900 empleos directos para el primer año de operación del proyecto. Esta cifra sube a 2.700 en el tercer año de operaciones y se mantiene el multiplicador de 1,49. De igual manera, los gastos corrientes de operación solo incluyen los tres primeros años de operación, y se estima que este monto podría aumentar hasta llegar a plena operación, lo que subiría la contratación directa e indirecta del proyecto. La vida de proyectos mineros de esta naturaleza supera, en general, los 20 años de operación. Solo en términos de inversiones, el proyecto minero estudiado implica una inyección total de recursos estimado en el orden de los USD 2.500 millones, lo que corresponde en montos totales aproximadamente a un tercio de lo que la economía regional produce en un año, y un gasto de operación corriente que bordeará los USD 300 a USD 350 millones anuales en su fase de plena operación.

El presente estudio tiene, como cualquier análisis, algunas limitaciones. En primer término, al utilizar la matriz insumo producto aparecen problemas de datos agregados (promedios para cada sector económico), que impiden el análisis individualizado en la empresa. Además, la forma de valorizar monetariamente los flujos

monetarios en la matriz es equivalente a los flujos físicos de bienes y servicios, lo que supone que el sistema de precios es perfectamente homogéneo, que no sucede en la práctica. Los valores obtenidos son también estimaciones basadas en el comportamiento pasado de la economía regional y no garantiza que ella se repita o se mantenga en el futuro.

Finalmente, el impacto económico utiliza medidas parciales y no incluye, entre otros, la valorización económica de factores sociales, ambientales y los efectos positivos inducidos en la economía, por ejemplo, el gasto realizado por los trabajadores producto de sus salarios generados por el proyecto en beneficio de la economía regional y nacional. El estudio de dichos factores escapa al marco de análisis definido para el este artículo.

Referencias

- Aroca, P. (2002). *Impacto de la minería en la II Región. Dilemas y debates en torno al cobre*. Santiago: Dolmen/Centro de Economía Aplicada.
- Fuentes, N. A. (2005). Construcción de una matriz regional de insumo-producto. Problemas del desarrollo. *Revista Latinoamericana de Economía*, 36(140), 90-112.
- Fuentes, N. A., & Brugués, A. (2001). Modelos de insumo-producto regionales y procedimientos de regionalización. *Revista de Comercio Exterior*, 51(3), 181-188.
- Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: Foundations and extensions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rivera, N., & Aroca, P. (2014). Escalas de producción en economías mineras: el caso de Chile en su dimensión regional. *EURE (Santiago)*, 40(121), 247-270.
- Schuschny, A. R. (2005). *Tópicos sobre el modelo de insumo-producto: teoría y aplicaciones*. Santiago de Chile: United Nations Publications.
- Soza-Amigo, S., & Aroca, P. (2010). Oportunidades perdidas en Magallanes. *Magallania (Punta Arenas)*, 38(2), 89-101.
- Stone, R., & Brown, A. (1962). *A Computable Model of Economic Growth*, vol. 1, A Programme for Growth, The Department of Applied Economics. Londres: Chapman & Hall.
- Tilanus, C. B. (1966). *Input-output experiments: the Netherlands 1948-1961* (vol. 5). Rotterdam: University Press, 1968 [c1966].