

# Modelo de equilibrio parcial del sector minero para una economía pequeña y abierta como la peruana

Carlos Casas

Alexandra Málaga

Diciembre, 2016

## Abstract

La minería juega un papel importante en la economía, pero hasta el momento no se ha desarrollado un modelo que busque identificar cómo los *shocks* que le afectan impactan en toda la economía. Por ello, se desarrolla un modelo de equilibrio parcial que busca identificar los efectos de un *shock* sobre el precio de las minerales, los cuales impactan sobre la exploración minera y, de esa manera, aumentan la persistencia de un *shock* en la economía. Los resultados preliminares guardan coherencia con lo observado en la economía peruana.

# Contenido

<b>I.</b>	<b>¿Por qué el sector minero es importante y deberíamos estudiarlo? .....</b>	<b>2</b>
<b>II.</b>	<b>¿Cómo se comporta e influye el sector minero en el resto de la economía? .....</b>	<b>5</b>
<b>III.</b>	<b>Revisión de literatura sobre modelos de equilibrio parcial y general del sector de explotación de recursos naturales .....</b>	<b>15</b>
	<i>A. Modelos de equilibrio parcial .....</i>	<i>16</i>
	<i>B. Modelos de equilibrio general .....</i>	<i>19</i>
<b>IV.</b>	<b>Planteamiento del modelo de equilibrio parcial del sector minero .....</b>	<b>21</b>
<b>V.</b>	<b>Resultados y predicciones.....</b>	<b>28</b>
<b>VI.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>33</b>
<b>VII.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>34</b>
<b>VIII.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>37</b>
	<i>Anexo 1: Código mod .....</i>	<i>37</i>

## **I. ¿Por qué el sector minero es importante y deberíamos estudiarlo?**

El Perú es un país tradicionalmente minero. La exploración, descubrimiento, desarrollo y producción de oro, cobre, plata, zinc y otros minerales impactan en la economía de manera positiva y negativa, debido al carácter cíclico de la industria a nivel mundial. Esta actividad sigue afectado de manera importante al Perú en el ámbito económico, político y social.

Al 2014, la minería es para el Perú la responsable del 14.7% del Producto Bruto Interno (PBI). A ella se le debe el 60% del total de las exportaciones. Y, por lo tanto, es generadora de empleo directo e indirecto en el Perú: el 5.1% de la Población Económicamente Activa (PEA) es empleada por trabajos relacionados con ella. Territorialmente, la minería constituye un porcentaje importante del PBI en diversos departamentos, entre ellos están Pasco (44%), Madre de Dios (43%), Ancash (23%) y Cajamarca (19%) (INEI, 2014).

Por otro lado, el sector minero colabora con el sustento de al menos un tercio de la población, considerando a los dependientes de cada trabajador. Ello debido a que brinda tanto empleo directo como indirecto a 2 millones de personas (Ministerio de Energía y Minas, 2015). Estos obtienen ganancias en promedio según el subsector al que pertenecen. Por ejemplo, las empresas del sub sector minería e hidrocarburos estarían dispuestos a pagar la suma de S/. 2 820. Por su parte, la que mejor remuneraría al personal contratado es el de petróleo y gas con un monto de S/. 3 434 (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, 2014).

El hecho de que los proyectos mineros estén atados a un determinado espacio geográfico –es decir, que no puedan trasladarse de lugar cuando las cosas no salen bien y que deban encontrar una forma de convivencia con la población en sus zonas de intervención– hace que sean más vulnerables en comparación de otros sectores.

De esta manera, el mantener buenas relaciones con las comunidades colindantes se ha convertido en una necesidad, mas no en una opción (Tanaka y Huber, 2007). El gran aumento de la actividad minera en el país ha sido acompañado por el incremento de conflictos y violencia alrededor de las operaciones mineras a gran escala, principalmente ubicados en la zona rural andina caracterizada por sus altos niveles de pobreza. Temiendo que los proyectos mineros contaminen sus tierras y fuentes locales de agua, las comunidades han tratado de bloquearlos y han expresado frustración por la ausencia de mejoras en su calidad de vida, pese a las ganancias generadas por las compañías mineras que operan en su vecindad (Slack, 2009 ).

Como en cualquier actividad económica, el pago de impuestos de parte del sector minero cumple un rol de suma importancia para el crecimiento y desarrollo del país. Los recursos fiscales generados por la minería ascienden a entre el 20% a 25% de la recaudación total impositiva. Dichos recursos fiscales son aprovechados para financiar los programas sociales, amortizar la deuda pública o cubrir el presupuesto de inversión del Estado. Asimismo, el canon minero, por su parte, es el principal contribuyente en la construcción de infraestructura para el desarrollo en las regiones del Perú en el marco del proceso de descentralización<sup>1</sup>.

El futuro de la minería parece ser alentador. Según el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), la exploración de nuevos yacimientos mineros, como la explotación de los mismos, se encuentra en crecimiento. Así tenemos que Perú, el tercer mayor productor mundial de cobre, zinc y estaño, duplicaría la producción anual de metal rojo para el 2016 al llegar a 2,8 millones de toneladas (Mt) anuales tras culminar proyectos como Las Bambas (US\$5.100mn), que acaba de ser adquirido por China Minmetals; la ampliación por US\$4.600mn de Cerro Verde, de Freeport McMoRan Copper & Gold; y Constancia (US\$1.700mn), de Hudbay Minerals. Le siguen Quellaveco (US\$3.300mn) de Anglo American; el depósito Tía María (US\$1.300mn) de Southern Copper; el proyecto aurífero Chucapaca (US\$1.000mn) de Buenaventura; la mina de oro y plata Crespo (US\$111mn) de Hochschild Mining; y el proyecto de metal amarillo Ollachea (US\$165mn) de Minera IRL, que obtuvieron la mayoría de los permisos necesarios (Emery, 2014).

Para el 2017, el BCRP proyecta mayores exportaciones mineras, principalmente de cobre, debido a la expansión de Toquepala y el incremento en la producción de Las Bambas. Por el lado de las exportaciones, es así que se espera un crecimiento de 5,4 por ciento en 2016 y 7,9 por ciento en 2017, impulsadas por el inicio de operaciones de los proyectos mineros, principalmente de cobre, y por la expansión de Toquepala y el incremento en la producción de Las Bambas.

La información brindada previamente solo da señales de lo importante que es el sector minero para el crecimiento económico del Perú y que, por lo mismo, mucho de lo que ocurre en este mercado repercute sobre la economía en general.

---

<sup>1</sup> El canon minero es una transferencia presupuestal a los gobiernos locales financiada con el 50% de los impuestos de las empresas mineras. La distribución de esta transferencia depende en primera instancia de la cercanía de los distritos a la zona de influencia de las actividades mineras, es decir, si pertenecen al distrito, a la provincia o al departamento en el que se desarrolla la actividad extractiva; y en segunda instancia la distribución depende de la población y las necesidades básicas insatisfechas de cada distrito.

A pesar de la importancia positiva o negativa de la minería en el Perú no se ha realizado abundante investigación al respecto. Más aún, es evidente la ausencia de investigación relacionada al comportamiento del sector minero en sí y su impacto en la economía. Una de las carencias en el país es no contar con modelos de simulación que permitan estimar el efecto que tiene un *shock* específico a la minería sobre el resto de la economía a través de los distintos canales de distribución existentes.

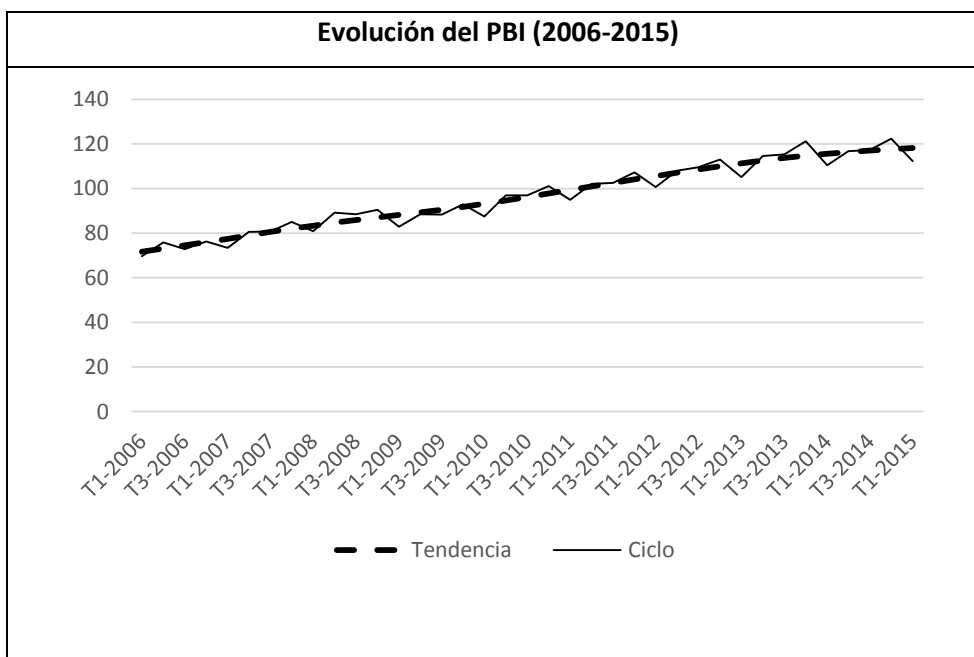
Por lo mencionado, la investigación es altamente relevante, debido a que se plantea un modelo de equilibrio parcial que permita analizar los efectos que pueden tener los cambios en variables claves asociadas a las industrias extractivas –como cambios en precios– en el desempeño del sector minero.

En la próxima sección, desarrollamos un conjunto de hechos estilizados con el fin de presentar la información que disponemos sobre las variables agregadas del sector minero y para mostrar de manera descriptiva las relaciones que proponemos más adelante como resultado de la simulación del modelo de equilibrio parcial planteado en esta investigación.

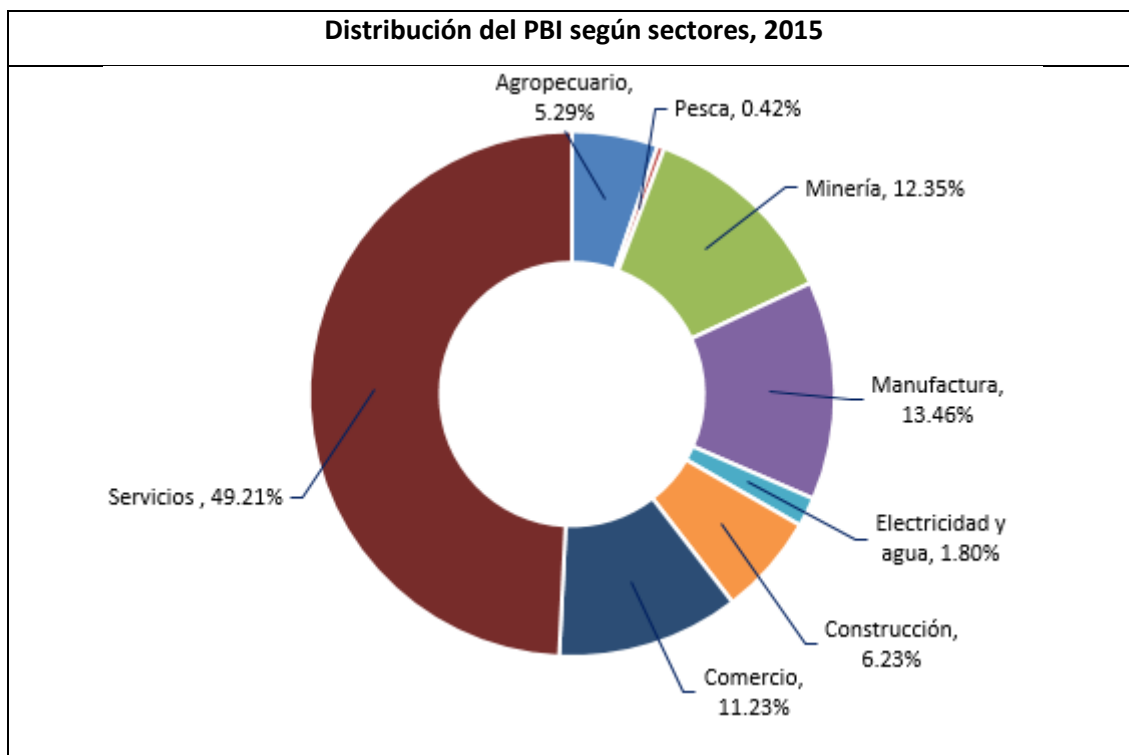
## II. ¿Cómo se comporta e influye el sector minero en el resto de la economía?

El Producto Bruto Interno (PBI) peruano ha crecido en los últimas dos décadas con una tendencia al alza hasta el año 2013. Dicho comportamiento se debió básicamente al incremento en las inversiones públicas y privadas, lo cual movilizó la demanda interna y externa, repercutiendo a su vez en el consumo. En el 2015, se observó crecimiento económico, 3.26%, debido a la entrada en operación de dos proyectos de inversión mineros en diciembre del 2015: la ampliación de Cerro Verde por US\$ 1,5 mil millones y Las Bambas por US\$ 1,2 mil millones. Estos impulsaron el crecimiento del sector minero en 22.36% respecto al año anterior, de modo que este sector alcanzó a representar el 12.35% del PBI.

**Gráfico 1: PBI total y por sectores, en miles de millones de US\$ (2006 – 2015).**



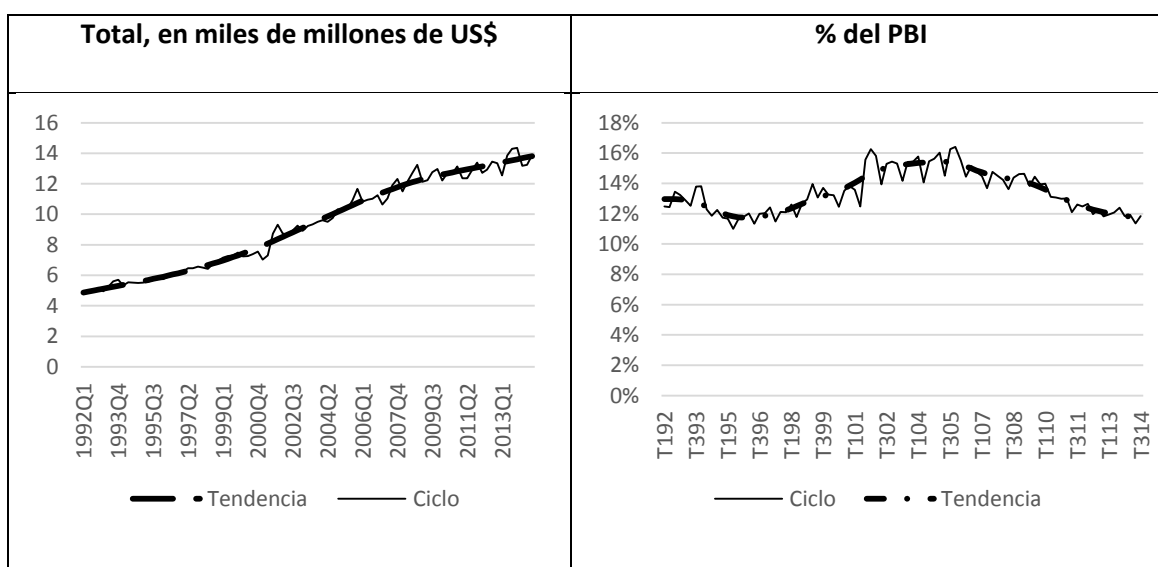
Fuente: INEI y BCRP, 2016.



Fuente: INEI y BCRP, 2016.

Asimismo, el PBI minero e hidrocarburos y el PBI presentan una correlación positiva de 0.94. Esto se refleja en el hecho de que el primero de ellos presentó un crecimiento siguiendo básicamente el comportamiento del PBI.

**14Gráfico 2: PBI minero e hidrocarburos (2006 – 2015)**

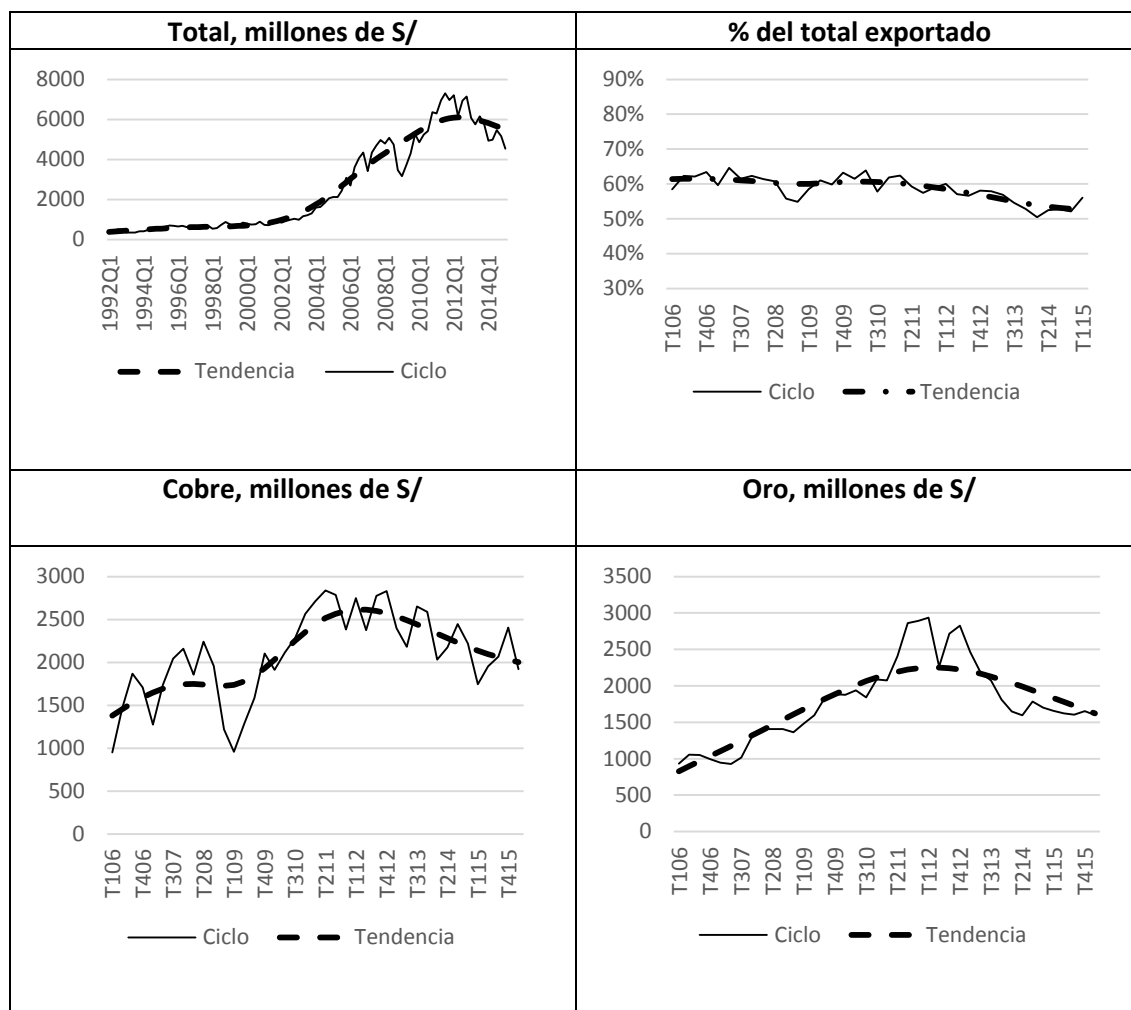


Fuente: BCRP, 2016.

En el Perú, las exportaciones dependen principalmente de los productos mineros, tal es así que, en el periodo analizado, estos representan el 61% del total de exportaciones. La

importancia del sector minero sobre el grueso de las exportaciones genera que los precios de las materias primas afecten a las exportaciones en general: la dirección a la baja a partir del año 2013 en las exportaciones mineras e hidrocarburos, al igual que el PBI, se debió principalmente a la caída en el precio de los minerales.

**Gráfico 3: Exportaciones minera total y de principales minerales (2006 – 2015)**

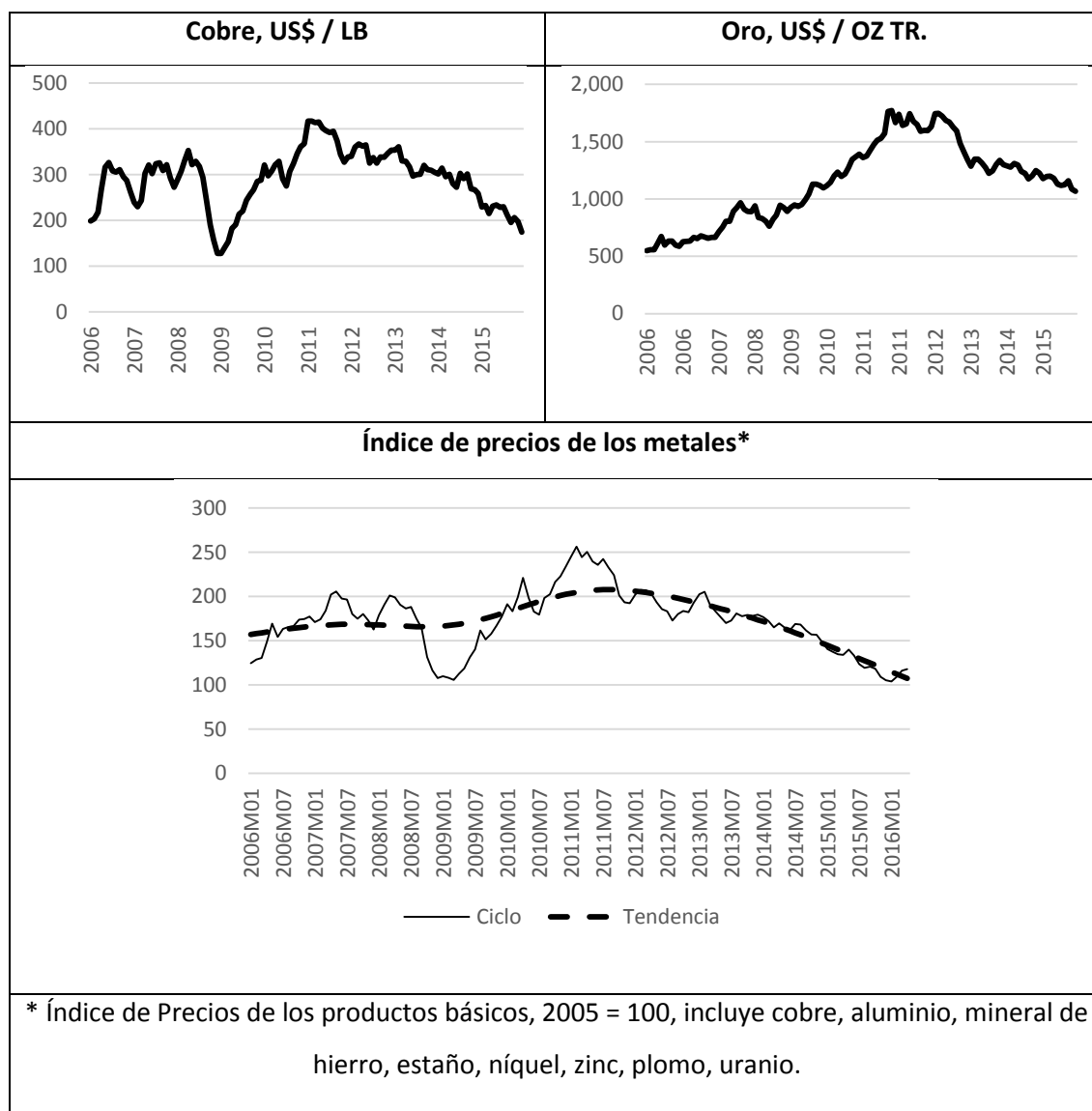


Fuente: BCRP, 2016.

Durante el periodo analizado (2006 – 2015), los precios de los minerales se comportaron de manera volátil; en general, el precio de los *commodities* actuó de esa forma, afectando no solo el PBI en el Perú, sino la estabilidad económica en el resto del mundo. Por ejemplo, el oro que en el 2012 llegó a costar 1670 dólares por onza, en el 2015 solo logró cobrar 1210 dólares por onza. Así también, el cobre pasó de costar 361 en el 2011 a 269 en el 2015. Tal es así que el índice de precios de minerales se vio afectado de tal forma que pasó de ser 256 en el segundo mes del 2011 a ser 103 en el mismo periodo cuatro años después.



**Gráfico 4: Precio del cobre, oro e índice de precios de minerales (2006 - 2015)**



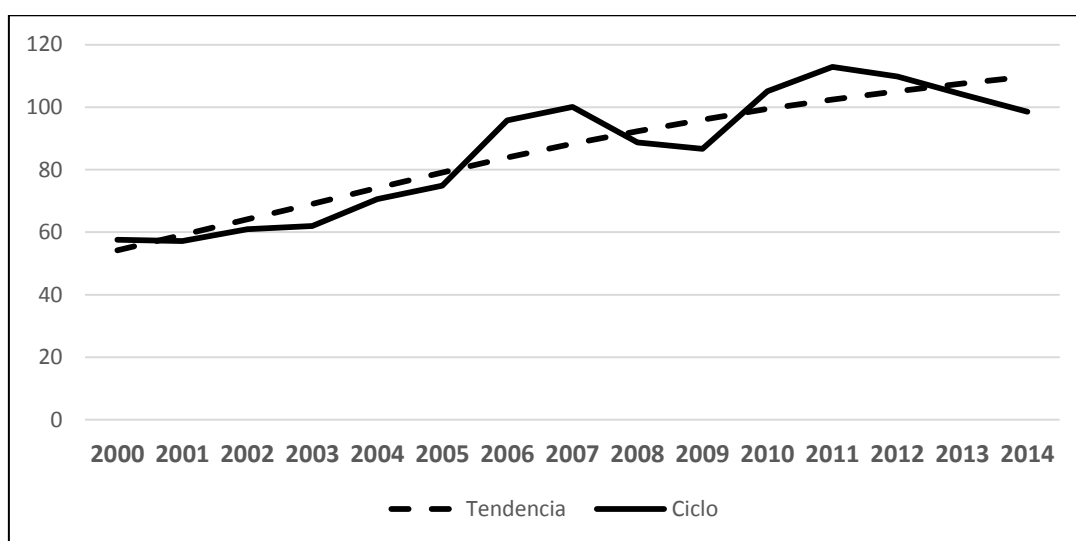
Fuente: BCRP, Fondo Monetario Internacional (FMI)

Como se deriva de lo anterior, es posible explicar una gran proporción del comportamiento de las principales variables del sector minero por los cambios en los precios de los metales. Más aún, la repercusión de los precios de los minerales no se limita al sector minero y probablemente también repercute sobre el comportamiento de toda la economía. Ello se podría explicar desde la correlación que tienen los precios de los metales y los términos de intercambio –que miden la evolución del precio relativo de las exportaciones y de las importaciones de un país–, que es de 0.88.

Detalladamente, los términos de intercambio presentaron un crecimiento hasta el 2013, y luego descendieron, del mismo modo que el PBI, el PBI minero y el precio de los metales. Así, la economía en general se ve afectada por las fluctuaciones en dicha variable.

La reducción en el precio de los *commodities* que afecta significativamente los términos de intercambio en los últimos meses, incide también en el comportamiento de las exportaciones, inversión y PBI general.

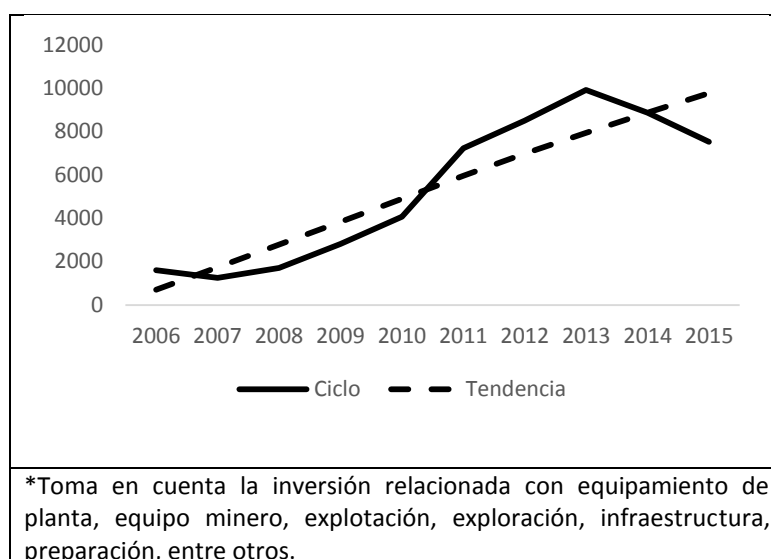
**Gráfico 5: Términos de Intercambio (2006 – 2014)**



Fuente: BCRP, 2015.

Con respecto al sector minero en particular, según el MINEM, el Perú es el primer productor de zinc, plomo y oro en Latinoamérica; mientras que en plata y cobre es el segundo, en la región y en el mundo, respectivamente. No obstante, a excepción de los precios y montos exportados según mineral, no se cuenta con series de tiempo largas de las principales variables del sector minero, como la explotación, la exploración, la infraestructura, las reservas, los trabajadores, los salarios, etc., sino que estas empiezan en el 2006.

**Gráfico 6: Inversión\* total en minera, en millones de US\$ (2006 – 2015)**



Fuente: MINEM, 2016.

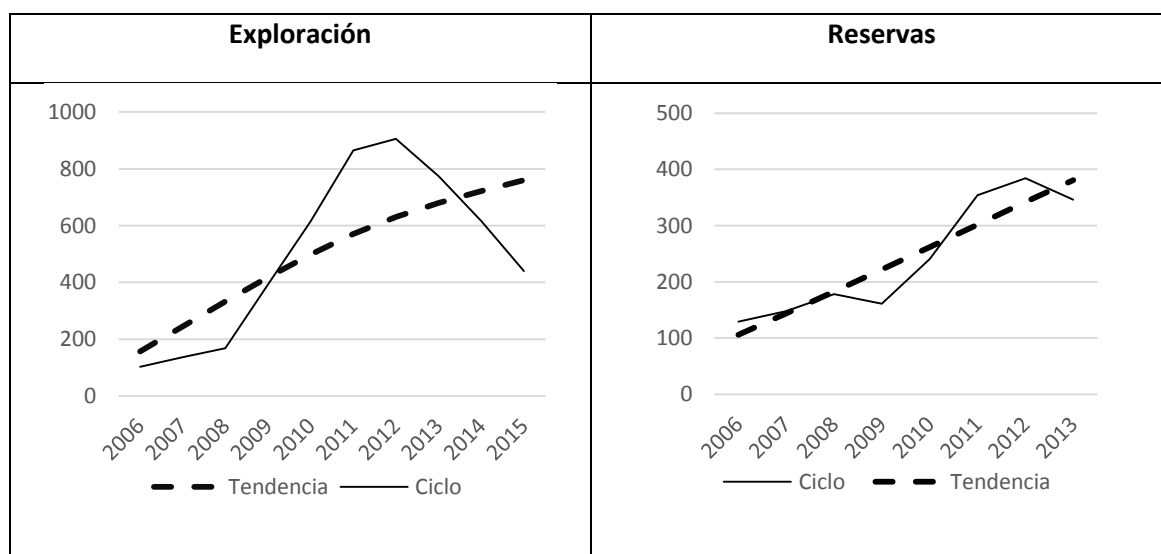
La inversión en minería, por ejemplo, tanto en equipos de planta, equipos mineros e infraestructura y preparación, mantuvo la misma tendencia en el periodo analizado. En el 2012, presentó un pico de casi 10 mil millones de dólares, cuando en el 2006 no alcanzó los 2 mil millones de dólares. En el último año, la inversión en minería llegó a ser de 7.5 mil millones.

En términos desagregados, el ámbito en el que más se invirtió en los últimos años fue en infraestructura, seguido por equipos de plantas. Alcanzando picos de más 3 mil millones de dólares en el 2013, cuando al 2007 no lograba ser si quiera 500 millones. Es así que cuando se halla una relación (0.75) entre el precio de los metales y las reservas se muestra que, debido a la alta correlación, las empresas mineras invierten en más capital ante una subida en los precios de los metales porque este es más productivo, pero adicionalmente por el aumento en las reservas.

En cuanto a los recursos destinados a la exploración de minerales, si bien en el 2007 la exploración del mineral era de 137 millones de dólares, hasta el 2015 prácticamente se ha triplicado, gastando en exploración casi 500 millones de dólares. No obstante, el pico más alto se logró en el 2012, cuando el monto destinado a exploración fue de 900 millones de dólares. Según las cifras presentadas por el MINEM, entre el 2011 y el 2015 se aprobó la exploración de 191 nuevos proyectos en exploración, de los cuales 31 fueron otorgados en el 2015 (Ministerio de Energía y Minas, 2015), entre ellos Haquira, en Apurímac, cuyo potencial mineral es el cobre y el molibdeno; así también Galeno, en Cajamarca, en exploración por cobre.

Al 2013, las reservas de mineral, que surgen producto de los recursos destinados a exploración, ascendieron a 346 millones de dólares. Las reservas que más se han incrementado en el país fueron las de cobre:  $\frac{3}{4}$  de los proyectos de exploración provienen de este metal. El incremento del precio del cobre entre el 2010 y el 2012 coincide con el rápido crecimiento de los recursos destinados a las actividades de exploración en el mismo período. Una correlación de 0.58 entre el índice de precios y la exploración evidencia cierto grado de relación entre ambas variables.

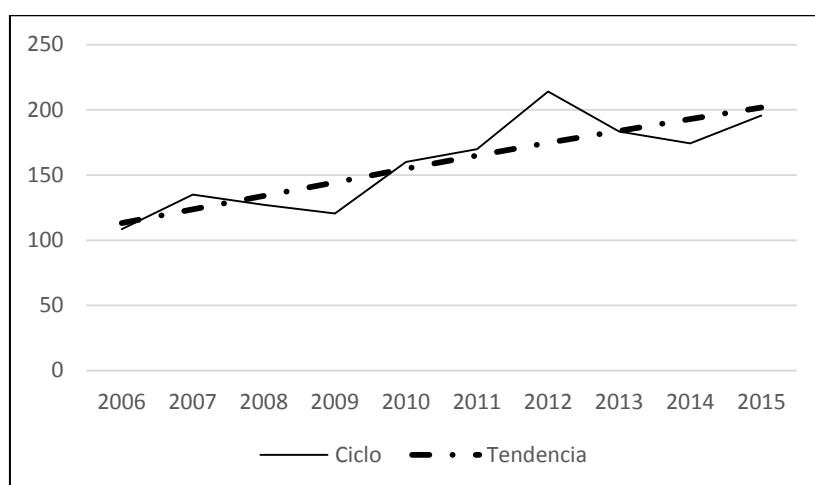
**Gráfico 7: Exploración y reservas de mineral, en millones de US\$ (2006 – 2015)**



Fuente: MINEM, 2016.

Según el Instituto Peruano de Economía (IPE), en el 2012 la minería generaba 180,000 empleos directos y más de 500,000 indirectos. Adicionalmente, 1.9 millones de peruanos dependen de quienes trabajan en dicho sector. Es así que en zonas como Arequipa y Cajamarca, la mano de obra empleada se debe básicamente a este sector (Benavides Ganoza, 2012). Como en cualquier otro sector, en tanto aumente la productividad en él, se requerirá de mayor personal, es así que ante el incremento de nuevos proyectos de exploración, y por lo tanto de reservas, se demandará mayor personal especializado en este ámbito. Esto se sustenta en la alta correlación entre las variables reservas y empleo que asciende a 0.89.

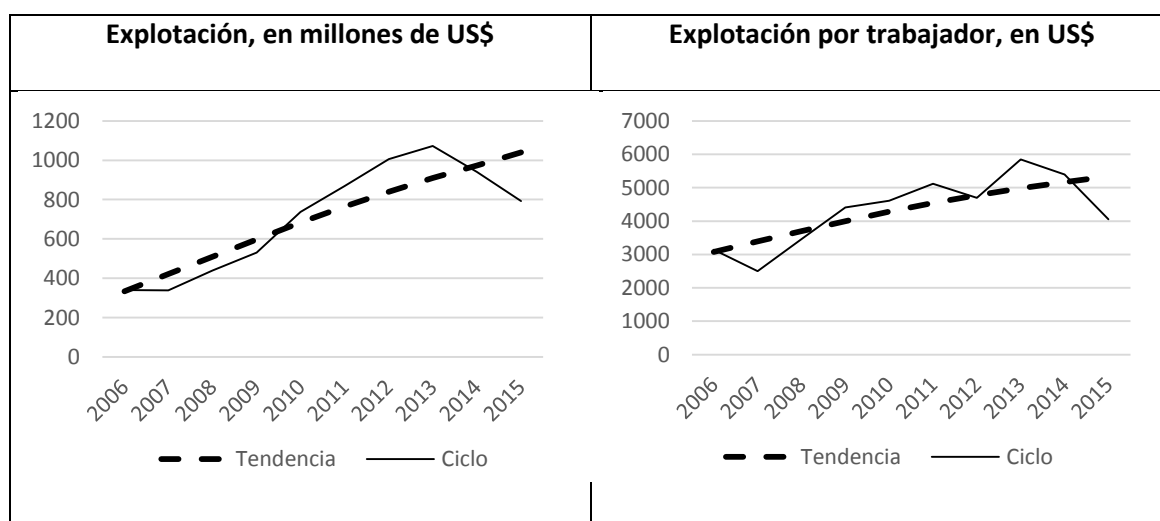
**Gráfico 8: Número de trabajadores directos del sector minero, en miles (2006 – 2015)**



Fuente: MINEM, 2016.

La exploración minera tuvo un pico en el 2011 que fue disminuyendo pasado ese periodo hasta el 2015. Asimismo, este presentó un crecimiento continuo y persistente de al menos 4 años, en el periodo 2008-2011. Tal como se menciona anteriormente, entre el 2011 y el 2015 se aprobó la exploración de 191 nuevos proyectos en exploración, de los cuales 31 fueron otorgados en el 2015. En ese mismo periodo, también se aprobó el plan de minado de la explotación de 48 nuevos proyectos de las mineras Yanacocha, Chinalco, Minsur, Las Bambas, entre otras. A la fecha, las compañías que destacan por sus montos en explotación minera son Antapaccay con 233 millones de dólares, y Horizonte con 163 millones de dólares<sup>3</sup>. Como se puede ver, al igual que los casos anteriores, la explotación presenta una tendencia similar en relación al precio de los minerales. La correlación de 0.43 entre ambas variables pareciera indicar cierta relación causal del precio sobre la explotación, dado que los precios no dependen en medida alguna de las empresas mineras.

**Gráfico 9: Explotación total y por trabajador (2006 -2015)**



Fuente: MINEM

A partir de una visión general de los hechos estilizados en la economía y el sector minero es posible argumentar que cuando suben los precios de los minerales las empresas no solo producen más sino también destinan más recursos a las actividades de exploración. Como consecuencia de dicha exploración, las reservas acumuladas se incrementan. La mayor cantidad y diversidad de las reservas permite a las empresas del sector minero alcanzar cotas más eficientes en el uso de sus recursos, como maquinaria y personal, de modo que la productividad de cada uno de dichos recursos también se incrementa.

Este mecanismo se mantiene mientras los precios de los minerales continúen con una tendencia creciente. En cuanto esta tendencia se desacelera, las empresas disminuyen sus actividades de exploración, pero aún cuentan con reservas, así el *shock* inicial “de aumento en el precio de los minerales” dura un poco más, hasta agotar las reservas acumuladas durante el *shock*. En resumen, proponemos el siguiente canal de transmisión de un *shock* de precios de minerales sobre la producción del sector minero:

↑Precio de los minerales, ↑Exploración, ↑Reservas, ↑Productividad, ↑Producción

Al analizar la duración del efecto de un *shock* de precios de minerales, lo usual es no considerar el efecto de la acumulación de reservas. El canal de transmisión propuesto, si bien no permite explicar un efecto sobre el comportamiento del sector minero en el largo plazo, sí consigue explicar una mayor duración del *shock*. Gráficamente, el canal de transmisión usual es:

↑Precio de los Minerales, ↑Productividad, ↑Producción

En esta investigación exploraremos con mayor detalle las implicancias de incluir el mecanismo de acumulación de reservas al analizar el efecto de un *shock* de precios de minerales sobre el comportamiento del sector minero, específicamente sobre las siguientes variables: exploración, reservas acumuladas, inversión en capital, capital acumulado, trabajo y producción por trabajador.

### III. Revisión de literatura sobre modelos de equilibrio parcial y general del sector de explotación de recursos naturales

Durante los años 90 surgieron voces que cuestionaron los efectos que tenían los recursos naturales sobre el crecimiento. La hipótesis de la maldición de los recursos naturales es un hallazgo empírico descubierto a mediados de 1990 (Auty, 1993) (Sachs & Warner, 1997). En esta se plantea que los países con abundantes recursos naturales crecen menos en promedio. Existen dos corrientes que explican los mecanismos bajo los cuales esta relación se produce. La más antigua es conocida como el fenómeno de la enfermedad holandesa (Corden & Neary, 1982) (Forsyth & Kay, 1981). Según esta corriente, el crecimiento del sector que explota los recursos naturales genera la apreciación del tipo de cambio, que a su vez ocasiona la pérdida de competitividad de las exportaciones. La corriente más moderna se enfoca en la importancia de las instituciones.

Usualmente, aquellas economías abundantes en recursos naturales tienen menor crecimiento y mayor desigualdad, sobre todo si la calidad de las instituciones es mala, no se cumple la ley y existen altos niveles de corrupción (Van der Ploeg, 2011) (Lederman & Maloney, 2007). En cambio, economías con buenas instituciones, apertura comercial y significativa inversión en desarrollo de tecnología logran transformar los ingresos producto de la explotación de sus recursos en mayor crecimiento y menor desigualdad (Van der Ploeg, 2011).

El efecto de los recursos naturales se ha centrado en mayor medida en el impacto que este pueda tener sobre el crecimiento económico. Sin embargo, queda abierto el debate de cómo un incremento fuerte en la presencia de recursos naturales puede contribuir o empeorar el desempeño respecto al crecimiento de un país. Existen los casos de países como Noruega o Australia en donde la abundancia recursos naturales ha servido para impulsar el crecimiento mientras que países africanos como Nigeria son citados como ejemplos de un impacto negativo sobre el crecimiento.

Gracias al incremento de los precios de los minerales y el petróleo de la última década se han dado ciclos expansivos en muchas economías emergentes con fuertes sectores extractivos. Las inversiones que se desencadenaron llevaron a expansiones en el producto, aumento del consumo, empleo y salarios. Por lo que se dio un ciclo económico de *shocks* positivos en los términos de intercambio. De la misma manera, aún cuando los precios han disminuido se observa una desaceleración de las economías donde la presencia de las industrias extractivas



es importante. En la región, los casos de Colombia, Chile y Perú son emblemáticos dado que se espera que el año 2016 crezcan mucho menos que los años previos<sup>2</sup>.

Debido a la importancia del sector minero se han desarrollado diversas investigaciones con el propósito de desarrollar modelos que buscan indagar acerca de los efectos de la minería las economías donde se desarrolla. En esta investigación, utilizaremos un modelo de equilibrio parcial. No obstante, de la revisión de la literatura no se encuentran muchos ejemplos de aplicación de esta metodología. Por ello, se recurre también a analizar los modelos de equilibrio general.

En ambos casos se destaca la investigación de Gross y Hansen (2013), quienes realizan un modelo de equilibrio parcial y luego uno general para explicar el sector minero en Australia y, finalmente, su impacto en la economía en general.

A continuación, se detalla parte de la revisión de literatura relacionada con modelos de equilibrio parcial y general que ayudan a realizar y luego entender los resultados de nuestro modelo.

#### **A. Modelos de equilibrio parcial**

Gross y Hansen (2013) estudian las implicancias de reservas mineras endógenas con un especial énfasis en el efecto que tienen sobre ellas ciertos *shocks* en los precios de los *commodities* en Australia, tomando en cuenta una economía abierta (Gross & Hansen, 2013).

Estos últimos emplearon tanto un modelo de equilibrio parcial como un modelo DSGE para estudiar el impacto de un *shock* en el precio de los *commodities* sobre una economía pequeña y abierta como la australiana. Este *paper* rompe con tres grandes supuestos comúnmente empleados en este tipo de modelos (Gross & Hansen, 2013):

- El stock de recursos naturales en las economías domésticas se mantiene constante.
- Las empresas no toman en cuenta que la cantidad que extraen en el presente, agota la cantidad disponible hacia el futuro.
- Las empresas no invierten en tecnología que puede afectar el nivel de reservas disponibles, como exploración o descubrimiento de nuevas.

---

<sup>2</sup> El Fondo Monetario Internacional (FMI) en el mes de octubre hizo una revisión de sus estimados de crecimiento para el año 2016. En el caso de Chile se prevé que la tasa de crecimiento sea de 2.1 este año comparada con el 2.5% proyectado en octubre del año 2105. En el caso del Perú en cambio, se cree que pasará de 2.7% en el año 2015 a 3.3% para el 2016. En el caso colombiano hay diferencias porque su tasa de crecimiento este año estaría en 2.7% menor que el 3% registrado el año pasado.

De ese modo su importancia reside en que analiza los efectos que tiene un *shock* en el precio de los *commodities* sobre la exploración de nuevos proyectos mineros. Así, este *paper* permite observar el impacto de la evolución del precio de los *commodities* sobre la exploración a largo plazo, lo cual necesariamente tendrá una repercusión en el ciclo económico. Debido que cuando se toma en cuenta que las reservas mineras dependen de la exploración –y que estas se pueden ver afectadas por *shocks* en el precio de los *commodities*–, se considera el efecto directo que ellas tienen en ese sector y el indirecto que tienen sobre otras actividades económicas como en el salario, nivel de precios de la economía y demás, lo cual podría acentuar aún más el efecto de los precios, y por lo tanto el de la exploración. Dadas las similitudes con la situación de la economía peruana este artículo sería un referente importante para la presente investigación.

Una implicancia que cabe resaltar en el modelo de análisis parcial es que las reservas no tienen una dinámica estacionaria en equilibrio; es decir, cambios transitorios en el precio de los recursos pueden generar cambios permanentes en inversión, trabajo, sector de producción de los recursos naturales y reservas.

Además del *paper* de Gross y Hansen, se encuentra el de Pothén (2013), el cual desarrolla un modelo de equilibrio parcial adaptado al mercado de los metales “raros”, como el cerio, itrio y neodimio. Este representa de forma desagregada el sector de la minería y la inversión endógena a las capacidades de extracción. La aplicación del modelo se da en 5 regiones que contienen este tipo de metales: China, el resto de Asia, Estados Unidos, Europa y otros países, simulando los mercados hasta el 2025. Teniendo a China como principal referencia en el mercado de metales raros, este modelo, en su aplicación para analizar el desarrollo en la oferta, demanda y precios de los metales raros hasta el 2020, concluye, por ejemplo, que los precios de los metales raros caería en el 2016 y en adelante se tiene que hacer una distinción entre metales pesados y metales livianos y que el reciclaje tiene los efectos más fuertes sobre los niveles de precios si es que los bienes reciclados pueden entrar de nuevo al mercado, mientras la entrada de los ofertantes no chinos siguen limitados por los retrasos en inversión.

Si bien no existen cuantiosas investigaciones relacionadas con el desarrollo de modelos de equilibrio parcial en el sector minero, es permitiente mirar la misma metodología en distintos sectores, con el objetivo de entender el método empleado y tomarlo como insumo para la realización de nuestras simulaciones y que brinden luces sobre cómo interpretarlos de manera adecuada.

Así, por ejemplo, se encuentra el *paper* desarrollado por Tuinstra, Wegener & Westerhoff (2014), que demuestra la existencia de beneficios tras reducir las barreras al comercio desde un modelo de equilibrio parcial dinámico. Gracias al análisis estático comparativo que arroja el modelo se puede ver que una reducción a las barreras del comercio, modelada a través de un pequeño pero positivo arancel, siempre mejora el bienestar. Desde un punto de vista dinámico se encuentra que las interacciones comerciales entre ambas regiones pueden generar fluctuaciones en los precios los cuales obstaculizan el bienestar. Además, se establecen grupos de interés como productores y consumidores de ambas regiones para que presionen por un nivel particular de barreras al comercio, es así que el modelo predice que las variaciones en el tiempo de las barreras comerciales pueden ser otro canal para la inestabilidad del mercado.

En cambio, (Alarcon) desarrolla un modelo de equilibrio parcial para explicar el mercado de aceites de oliva en España, ante distintos escenarios económicos. Para ello, utiliza un modelo de optimización que maximiza el excedente del consumidor y del productor, y minimiza el coste de transporte sujeto a restricciones de producción y de demanda.

Este trabajo ofrece una solución óptima a las cantidades producidas y demandadas en cada zona geográfica, los precios en origen y en destino y las cantidades transportadas entre zonas; pero, su utilidad más importante es que a través de dicha metodología se puede examinar los efectos de distintas situaciones de mercado y las repercusiones de posibles medidas de política agraria desde un análisis de sensibilidad de los coeficientes del modelo o introduciendo nuevas variables y restricciones.

Finalmente, se le prestó particular atención a la investigación de Böhringer & Löschel (2002), en la cual se desarrolla la implicancia que tuvo la salida de Estados Unidos del Protocolo de Kioto en efectividad ambiental, eficiencia económica y la distribución de los costos de cumplimiento para los países aún participantes del protocolo. Sobre la base de un marco multiregional de equilibrio parcial de las curvas del costo marginal decrecientes del carbón, se encontró que la salida americana altera considerablemente las implicancias ambientales y económicas del poder de mercado de la FSU en el mercado de permisos.

Todas estas investigaciones contribuyeron a definir los lineamientos sobre los que se avanzó al realizar el *paper*; asimismo brindaron luces sobre cómo entender los resultados del modelo, y sobre la explicación del mismo.

## B. Modelos de equilibrio general

Del mismo modo, se observa el interés en el desarrollo de modelos de equilibrio general aplicados a economías pequeñas y abiertas que hace énfasis en aquellas que tienen una fuerte presencia de las industrias extractivas. Aliyev (2012) analiza el impacto que tiene la política monetaria en una economía con una fuerte presencia de recursos naturales. En este caso se toma el caso de Azerbaijan y se menciona que el modelo puede aplicarse a otros países en donde se analiza la selección de los instrumentos de política monetaria y los efectos que puede tener sobre el tipo de cambio haciendo especial énfasis en la caso de la enfermedad holandesa. En el caso de Millard (2011) desarrolla un modelo DSGE para el Reino Unido donde resalta el efecto de los precios de la energía y cómo estos afectan a las principales variables macroeconómicas. Veroude (2012) busca adicionar reservas naturales endógenas desde un DSGE. Esta investigación estudia la correlación de un ciclo económico en Australia usando una economía cerrada en un modelo RBC (Veroude, 2012).

La apertura de la economía es un factor importante debido que la producción es exportada y la formación del capital es importada, y esto tiene repercusiones sobre los precios relativos y el tipo de cambio real.

Luego del trabajo de Gross y Hansen (2013), mencionado en la subsección anterior, Acurio Vásquez, Giraud, Mc Isaac, & Pham (2014) realizaron un modelo DSGE en el que capturaron dos hechos estilizados importantes: 1) el impacto de un *shock* de estanflación en el precio del petróleo, junto con 2) la influencia de la productividad energética del capital en la profundidad y longitud de este impacto para construir un modelo nekeynesiano con acumulación de capital en una economía importadora de petróleo (Acurio Vásquez, Giraud, Mc Isaac, & Pham, 2014).

Para la realización metodológica de esta investigación, se toma en consideración los pros y contras en la ejecución de un modelo de equilibrio parcial contra uno general; no obstante, es de nuestro conocimiento que la decisión de qué metodología emplear parte de la intención del investigador, pero esta depende de la viabilidad del tema y disponibilidad de los datos con una metodología con respecto a otra. A pesar de ello, se sabe que los modelos de equilibrio parcial son un excelente primer paso hacia el modelo de equilibrio general. Por lo tanto, dada la carencia de este tipo de investigaciones en el sector minero, se empieza con un modelo de equilibrio parcial y se espera, para futuros *papers*, ampliarlo a general. De ese modo, entender no solo lo que ocurre en el sector, sino también el impacto de él en la economía en general.

Como se deriva de la revisión de la literatura, los modelos de equilibrio general se enfocan en la interrelación entre un sector y la economía, mientras que los modelos de equilibrio parcial se centran en el análisis de un comportamiento de un sector. Pese a que las predicciones sobre el comportamiento de los agentes de los modelos de equilibrio general son más precisas que las predicciones de los modelos de equilibrio parcial, dado el escaso análisis del comportamiento del sector minero en sí para el caso de la economía peruana, optamos por desarrollar un modelo de equilibrio parcial del sector minero que pueda servir como insumo para el desarrollo de un modelo de equilibrio general en futuras investigaciones.

#### **IV. Planteamiento del modelo de equilibrio parcial del sector minero**

Los modelos de equilibrio parcial para un sector de la economía son una herramienta útil para la simulación del comportamiento de un conjunto de empresas ante el cambio en variables económicas relevantes, tales que configuren distintos escenarios de interés de política. A partir de dichos modelos, es factible aproximarse a las variables que las empresas del sector deciden indirectamente como la cantidad producida por el sector, el precio de equilibrio y la demanda de factores de producción (Alarcón).

El sector minero es un caso particular por su orientación al mercado internacional. Así, a diferencia de otros sectores que definen el precio de sus productos a partir de la interacción de oferta y demanda en el mercado interno, las empresas del sector minero toman como dado el precio internacional de los minerales. Es decir, el precio de equilibrio de los minerales se define exógenamente al sector minero nacional por la interacción de oferta y demanda en el mercado internacional.

Por lo demás, las empresas del sector minero se comportan como las empresas de otros sectores. A partir del precio de equilibrio del mercado, las empresas eligen cuánto producir; es decir, cuánto mineral extraer y exportar. El supuesto que sostiene este comportamiento es que el mercado internacional puede adquirir toda la producción, sin importar la cantidad que sea, al precio internacional. A su vez, la decisión de cuánto producir repercute en la demanda por factores de producción como cuántas horas de trabajo contratar y cuánto capital utilizar.

Otra diferencia entre las empresas del sector minero y las empresas de otros sectores es el tratamiento de las reservas de minerales en el planteamiento del modelo. La primera decisión radica en definir si el proceso bajo el cual las empresas mineras acumulan reservas es exógeno o endógeno. Como el objetivo de la presente investigación es profundizar el análisis del comportamiento de las empresas del sector minero, asumimos que las empresas mineras eligen el tamaño de los recursos que destinan a actividades de exploración para incrementar las reservas de minerales acumuladas. Además, asumimos que la actividad de exploración es riesgosa por lo que no siempre deriva en el hallazgo de mayores reservas.

La segunda decisión respecto al tratamiento de las reservas de minerales en el modelo radica en modelar las reservas como un insumo o como un factor de producción. El supuesto detrás de esta decisión consiste en considerar las reservas como homogéneas o como heterogéneas. Si se asume que las reservas son homogéneas, los factores de producción, como capital o trabajo, son igual de productivos sin importar la cantidad de reservas acumuladas por las

empresas mineras. Así, este escenario es equivalente a tratar las reservas de minerales como un insumo de producción, y por ende, modelar la función de producción de las empresas del sector minero como las empresas de otros sectores. En cambio, si se asume que las reservas son heterogéneas, cuanto mayor sea la cantidad de reservas acumuladas, las empresas mineras cuentan con mayor flexibilidad para elegir qué reservas explotar; esto a su vez permite que los otros factores de producción sean más productivos. Es decir, las reservas de minerales son un factor de producción adicional que afecta la productividad del resto de factores de producción. Dado que en esta investigación nos enfocamos en modelar el comportamiento de las empresas del sector minero, escogimos modelar las reservas de minerales como un factor de producción pues las reservas son heterogéneas en diferentes características que afectan la productividad de los demás factores de producción como: la facilidad de extracción del mineral y la proporción de mineral por tonelada de tierra extraída (la ley), entre otros.

A continuación, presentamos con mayor detalle las ecuaciones que conforman el modelo de equilibrio parcial del sector minero<sup>3</sup>. En total son cuatro ecuaciones: la función de producción, la ecuación de movimiento del capital, la ecuación de movimiento de las reservas y la función de costos de exploración. A partir de estas cuatro ecuaciones, planteamos el problema de maximización de beneficios de la firma. A su vez, de la derivación del problema de maximización de beneficios obtenemos las condiciones de primer orden que, según el modelo de equilibrio parcial planteado, rigen las decisiones de las empresas mineras respecto a cuánto producir, cuántas horas laborales contratar, cuánto invertir en acumular capital y cuánto invertir en actividades de exploración.

Respecto a la función de producción (ver Ecuación 1), la producción ( $Y_{jt}$ ), es decir, las reservas extraídas por las firmas del sector minero, depende del trabajo ( $L_{jt}$ ), capital privado ( $K_{jt}$ ) y las reservas acumuladas por la firma ( $R_{jt}$ ). Como mencionamos anteriormente, la inclusión de las reservas en la función de producción implica que los demás factores de producción son más productivos cuanto mayor sea la cantidad de reservas acumuladas. Por su parte, los retornos de cada factor de producción por sí mismos son decrecientes ( $0 < \alpha, \beta, \alpha + \beta < 1$ ), pero en conjunto la función de producción es de retornos constantes a todos los factores. Es decir, al duplicar solo uno de los factores de producción no se logra duplicar la producción; pero, si se duplican todos los factores de producción a la vez, la producción sí se duplica. Además, la tecnología ( $a_t$ ) está asociada al factor trabajo y sigue un proceso autoregresivo.

---

<sup>3</sup> El planteamiento del modelo está basado en el modelo propuesto por Gross y Hansen (2013).

### Ecuación 1: Función de producción de la firma $j$ <sup>4</sup>

$$Y_{jt} = F(L_{jt}, K_{jt}, R_{jt}) = (a_t L_{jt})^\beta (K_{jt})^\alpha (R_{jt})^{1-\alpha-\beta}$$
$$\ln a_t = \rho_a a_t + e_t^a$$

En cuanto a la ecuación de movimiento de capital (ver Ecuación 2), el capital se deprecia a una tasa  $\delta$  y las firmas invierten recursos ( $I_{jt}$ ) para acumular capital. Sin embargo, cuanto mayor es el cambio en la inversión ( $I_{jt}/I_{jt-1} - 1$ ), una menor proporción de los recursos destinados a inversión consigue acumular capital. El tamaño de este costo de ajuste depende del parámetro  $\kappa$ . Así, las empresas mineras acumulan capital de manera más eficiente cuando incrementan la inversión progresivamente y no abruptamente. De esta manera, la inclusión de este costo de ajuste permite replicar la forma de joroba que se observa empíricamente en la trayectoria de la inversión.

### Ecuación 2: Ecuación de movimiento del capital de la firma $j$

$$K_{jt+1} = (1 - \delta)K_{jt} + \left[ 1 - \frac{\kappa}{2} \left( \frac{I_{jt}}{I_{jt-1}} - 1 \right)^2 \right] I_{jt}$$

En relación a la ecuación de movimiento de reservas (ver Ecuación 3), las reservas ( $R_{jt}$ ) disminuyen con las reservas extraídas ( $Y_{jt}$ ) y se acumulan con la inversión en exploración ( $D_{jt}$ ). Como mencionamos anteriormente, la exploración es una actividad incierta, por lo que la variable aleatoria  $\omega_t$  solo es conocida en  $t$ . Además, es una variable independiente e idénticamente distribuida con  $E(\omega_t) = 1$ . Es decir, la probabilidad de que una unidad de exploración resulte en una unidad de reserva nueva es igual en todos los períodos y este resultado no depende del estado de la economía. Esta forma de modelar la acumulación de reservas asume que es posible encontrar reservas infinitamente siempre que se destinen los recursos suficientes a la actividad de exploración. Pero, para contraponer esta propiedad, el costo de explorar es mayor a medida que el *stock* de reservas sea más abundante (Pindyck, 1978).

### Ecuación 3: Ecuación de movimiento de reservas

$$R_{jt} = R_{jt-1} + \omega_t D_{jt-1} - Y_{jt-1}$$

---

<sup>4</sup> La función de producción también puede ser expresada como  $F(L_{jt}, K_{jt}, R_{jt}) = R_{jt} f(l_{jt}, k_{jt})$ .



Así, como se puede ver en la Ecuación 4, los costos de exploración dependen de las reservas ( $R_{jt}$ ) y del ratio de los recursos destinados a exploración sobre las reservas disponibles ( $D_{jt}/R_{jt}$ ). Como mencionamos en el anterior párrafo, a medida que se han acumulado más reservas los costos de explorar se incrementan. Este supuesto refleja que, a medida que más territorio ha sido explorado, las actividades de exploración se desarrollan en zonas más inaccesibles, lo cual incrementa los costos de exploración. Asimismo, a medida que el ratio de exploración se aleja más del ratio de equilibrio, el costo de explorar es mayor. Este supuesto puede ser entendido de manera similar al supuesto de costo de ajuste de la inversión. Bajo este supuesto, las empresas mineras destinan recursos a las actividades de exploración con mayor eficiencia cuando incrementan dichos recursos de manera progresiva y no abruptamente. Al igual que el costo de ajuste de la inversión, la inclusión de este costo de ajuste en las actividades de exploración consigue replicar la forma de joroba que también se observa empíricamente en la trayectoria de los recursos destinados a actividades de exploración.

**Ecuación 4: Función de costos de exploración**

$$C(D_t, R_t) = \left(\frac{R_{jt}}{\phi}\right) e^{\phi\left(\frac{D_{jt}}{R_{jt}} - \frac{D}{R}\right)}$$

A continuación, presentamos el problema de maximización de beneficios de la firma (ver Ecuación 5). La extracción de minerales –producción– es realizada por un continuo de firmas de competencia perfecta que deciden los recursos destinados a trabajo ( $L_{jt}$ ), inversión ( $I_{jt}$ ), y exploración ( $D_{jt}$ ) para maximizar el valor presente de sus beneficios ( $\Omega_{jt}$ ) sujeto a las ecuaciones de movimiento de capital y de reservas.

**Ecuación 5: Problema de maximización de beneficios de la firma**

$$\max \Omega_{jt} = E_t \sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{(1+r)^t} [SP_t^R F(L_t, K_t, R_t) - wPL_{jt} - SP^*J(K_{jt}, I_{jt}, I_{jt-1}) - PC(D_t, R_t)]$$

Sujeto a:

$$K_{jt+1} = (1 - \delta)K_{jt} + \left[1 - \frac{\kappa}{2} \left(\frac{I_{jt}}{I_{jt-1}} - 1\right)^2\right] I_{jt}$$

$$R_{jt} = R_{jt-1} + \omega_t D_{jt-1} - Y_{jt-1}$$

Todo el mineral extraído es exportado a precios internacionales ( $P_t^R$ ) y el valor exportado expresado en moneda nacional con el tipo de cambio nominal ( $S$ ) es el ingreso de la firma. Respecto a los costos de la firma, el trabajo es contratado en el mercado local y la remuneración corresponde al salario real del mercado local ( $w$ ) expresado en moneda nacional a través del nivel de precios local ( $P$ ). Por su parte, el capital es importado por lo que el cambio del capital de cada período ( $J(K_{jt}, I_{jt}) = (K_{jt+1} - K_{jt})$ ) es adquirido en moneda extranjera según el nivel de precios externo ( $P^*$ ). Por último, los costos de exploración  $C(D_t, R_t)$  son asumidos en el mercado local al nivel de precios interno.

Dado que la tendencia del *stock* de reservas es estocástica<sup>5</sup>, el estado estacionario de  $D_t$ ,  $L_t$  y  $K_t$  está definido para el ratio respecto a las reservas, como:  $d_t = D_t/R_t$ ,  $l_t = L_t/R_t$  y  $k_t = K_t/R_t$ . De ese modo, presentamos en la Ecuación 6 las condiciones de primer orden que se derivan del problema de maximización planteado en la Ecuación 5. Estas condiciones conforman un sistema de ecuaciones que define el estado estacionario de las cinco variables endógenas del sistema. Estas son las siguientes: ratio trabajo-reservas ( $l_t$ ), ratio exploración-reservas ( $d_t$ ), ratio capital-reservas ( $k_{t+1}$ ), precio sombra de una unidad adicional de reservas ( $q_t^R$ ) y precio sombra de una unidad adicional de capital ( $q_t^K$ ) en función a las tres variables exógenas, que son tecnología ( $\alpha_t$ ), éxito de las actividades de exploración ( $\omega_t$ ) y precio de los minerales ( $P_t^R$ ), a través de funciones de política.

#### Ecuación 6: Condiciones de primer orden (CPO)

$$(SP_t^R + q_t^R)F_L = wP_t \quad (1)$$

$$(SP_t^R + q_t^R)F_K - SP^*\delta = \frac{1}{(1+r)} \left( (r - \delta)q_t^K - (q_t^K - q_{t-1}^K) \right) \quad (2)$$

$$(SP_t^R + q_t^R)F_R = \frac{1}{(1+r)} \left( r q_t^R - (q_t^R - q_{t-1}^R) \right) + PC_R \quad (3)$$

$$q_t^K = SP^*J_{I_t}(K_{jt}, I_{jt}, I_{jt-1}) + \left( \frac{1}{1+r} \right) SP^*J_{I_t}(K_{jt+1}, I_{jt+1}, I_{jt}) \quad (4)$$

$$q_t^R \omega_t = PC_D \quad (5)$$

<sup>5</sup> Como se puede ver en la ecuación de movimiento de reservas (Ecuación 3), las reservas se comportan como un proceso de raíz unitaria. Esto se contrapone, por ejemplo, al comportamiento del capital. Como se puede ver en la ecuación de movimiento del capital (Ecuación 2), el capital no se comporta como un proceso de raíz unitaria porque el capital, a diferencia de las reservas, se deprecia en cada período a la tasa  $\delta$ .

A continuación explicamos cada una de las condiciones de primer orden:

- La primera CPO implica que en el óptimo el beneficio de un trabajador adicional es igual a su remuneración.
- La segunda CPO implica que el beneficio marginal de importar capital es igual al costo de oportunidad de dichos recursos como la rentabilidad de un uso alternativo y el cambio en el valor de venta del activo adquirido.
- La tercera CPO implica que el beneficio marginal de acumular reservas es igual al costo de oportunidad de los recursos invertidos como la rentabilidad de un uso alternativo, el cambio en el valor de las reservas y el hecho que acumular reservas incrementa el costo de la inversión futura en exploración.
- La cuarta CPO implica que en el beneficio de una unidad adicional de inversión, expresado a través del precio sombra de una unidad adicional de capital  $q_t^K$ , es igual al costo marginal de invertir que considera el hecho que un crecimiento más acelerado de la inversión incrementa el costo de ajuste de invertir.
- La quinta CPO implica que en el óptimo el costo marginal de explorar es igual al beneficio marginal esperado, donde  $q_t^R$  representa el precio sombra de una unidad adicional de reservas.

Otras variables endógenas se definen a partir de otras condiciones ya mencionadas. El ratio producto sobre reservas ( $y_t$ ) se define a partir de la función de producción (ver Ecuación 1). El ratio inversión sobre reservas ( $i_t$ ) se define a partir de la ecuación de movimiento del capital (ver Ecuación 2). Otra variable de interés es el producto per cápita que se obtiene a partir de la división entre los ratios producto-reservas ( $y_t$ ) y el ratio trabajo-reservas ( $l_t$ ).

En la Tabla 1 presentamos los valores supuestos para los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  de la función de producción (ver Ecuación 1),  $\delta$  y  $\kappa$  en la ecuación de movimiento del capital (ver Ecuación 2),  $\phi$  en la función de costos de exploración (ver Ecuación 4) y  $\rho_p$  del proceso autoregresivo de los precios de los minerales. Para definir los valores de los parámetros tomamos como referencia a Gross y Hansen (2013) y a Basu *et al* (2013). Dado que no existen investigaciones similares del sector minero para el caso peruano, no hay otros valores de referencia que podamos utilizar para establecer los parámetros además de los definidos por las investigaciones mencionadas para otras pequeñas economías abiertas.

Además, incluimos los valores asumidos para los principales precios de la economía que el sector minero toma como dados.

**Tabla 1: Calibración de parámetros y precios**

Descripción	Parámetro	Valor
<b>Parámetros del sector minero</b>		
Exponente del factor capital	$\alpha$	0.40
Exponente del factor trabajo	$\beta$	0.25
Tasa de depreciación	$\delta$	0.02
Parámetro de costo de ajuste de la inversión	$\kappa$	0.05
Parámetro de costo de exploración	$\phi$	0.90
Parámetro proceso autoregresivo de $P_t^R$	$\rho_p$	0.90
<b>Precios tomados como dados por el sector minero</b>		
Salario real	$w$	0.75
Tasa de interés real	$r$	0.06
Tipo de cambio nominal	$S$	3.00
Nivel de precios local	$P$	2.30
Nivel de precios de capital externo	$P^*$	2.00

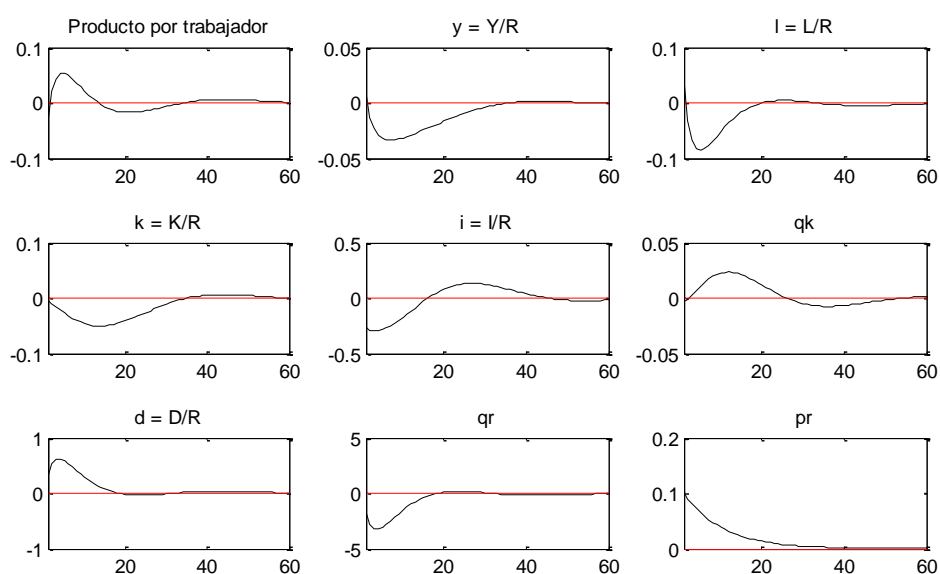
Fuente: Elaboración propia, 2016.

## V. Resultados y predicciones

A continuación, explicamos la predicción del modelo planteado respecto al comportamiento de las empresas en el sector minero ante un *shock* positivo y persistente en los precios de los minerales ( $pr$ ). Al principio, las firmas optan por destinar más recursos a sus actividades de exploración ( $D$ ) para encontrar más reservas de minerales porque el incremento en los precios de los minerales ha reducido el precio sombra de las reservas ( $qr$ ). Después del *shock* inicial, este incremento en la exploración desvía el ratio exploración-reservas ( $D/R$ ) por encima del ratio en estado estacionario, lo cual genera un incremento en los costos de exploración y, por ende, desacelera el crecimiento de la exploración. Sin embargo, el efecto de la reducción del precio sombra de las reservas domina al efecto del incremento de los costos de exploración. En consecuencia, el ratio exploración-reservas ( $d$ ) se incrementa.

En el mediano plazo, a medida que se acumulan más reservas, el beneficio marginal de las reservas se reduce a velocidad decreciente porque los retornos de las reservas son decrecientes y porque el precio de los minerales también se reduce decrecientemente. En consecuencia, el precio sombra de las reservas ( $qr$ ) vuelve al equilibrio a velocidad decreciente (ver panel  $qr$  del Gráfico 10). Igualmente, la exploración y las reservas vuelven a la senda de crecimiento en estado estacionario. Esta trayectoria se manifiesta en la reducción del ratio exploración-reservas ( $d$ ) a velocidad decreciente hasta alcanzar el equilibrio (ver panel  $d = D/R$  del Gráfico 10).

**Gráfico 10: Impulso respuesta ante un *shock* ortogonal en el precio de los minerales**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

En un principio, el incremento de las reservas ( $R$ ) reduce el ratio inversión-reservas ( $i$ ) pese a que la inversión ( $I$ ) no haya cambiado. Estos cambios en el ratio inversión-reservas incrementan ligeramente el costo de ajuste de invertir, lo cual se refleja en un incremento lento y ligero del precio sombra del capital ( $qk$ ). A su vez, el incremento del precio sombra provoca una mayor reducción del ratio inversión-reservas ( $i$ ) a través de la reducción de la inversión ( $I$ ). Es decir, el efecto inicial sobre el ratio inversión-reservas se retroalimenta aunque a velocidad decreciente.

A medida que los cambios en la inversión se reducen y el costo de ajuste de invertir se reduce, el precio sombra del capital vuelve al estado estacionario. Dado que los efectos se retroalimentan, el precio sombra del capital vuelve al estado estacionario de manera oscilante y con cada oscilación de menor magnitud (ver panel  $qk$  del Gráfico 10).

Las variaciones del precio sombra del capital ( $qR$ ) se reflejan en las variaciones de la inversión ( $I$ ) pues mantienen una relación inversa; la inversión se reduce cuando el precio sombra del capital aumenta, y se incrementa cuando el precio sombra del capital cae. Dado que la trayectoria de las reservas es decreciente y no oscilante, el efecto reservas sobre el ratio inversión-reservas ( $i$ ) solo incrementa la amplitud de la oscilación de manera decreciente. Por consiguiente, la trayectoria del ratio inversión-reservas ( $i$ ) es oscilante, de gran amplitud al principio y con cada vez menor amplitud (ver panel  $i = I/R$  del Gráfico 10).

Como inicialmente la inversión ( $I$ ) se reduce y las reservas ( $R$ ) se incrementan, el ratio capital-reservas ( $k$ ) se reduce fuertemente al principio. A medida que los cambios en la inversión ( $I$ ) son menores, los costos de ajuste se reducen, el precio sombra del capital se reduce y la inversión se incrementa a mayor velocidad que el incremento en las reservas, entonces el ratio capital-reservas ( $k$ ) se incrementa. Al igual que en el ratio inversión-reservas, el comportamiento oscilante del precio sombra del capital genera una trayectoria oscilante del ratio capital-reservas ( $k$ ) (ver panel  $k = K/R$  del Gráfico 10).

El incremento inicial de los precios de los minerales provoca un incremento de la productividad del factor trabajo, y por consiguiente las firmas contratan más trabajo ( $L$ ) y el ratio trabajo-reservas ( $l$ ) también se incrementa. Después del incremento inicial de los precios de los minerales, las reservas ( $R$ ) se incrementan en mayor medida que el incremento en el trabajo, por lo que el ratio trabajo-reservas ( $l$ ) cae. El ratio se incrementa hasta llegar al estado estacionario a medida que las reservas acumuladas se agotan y el incremento de los precios de los minerales se desvanece (ver panel  $l = L/R$  del Gráfico 10).

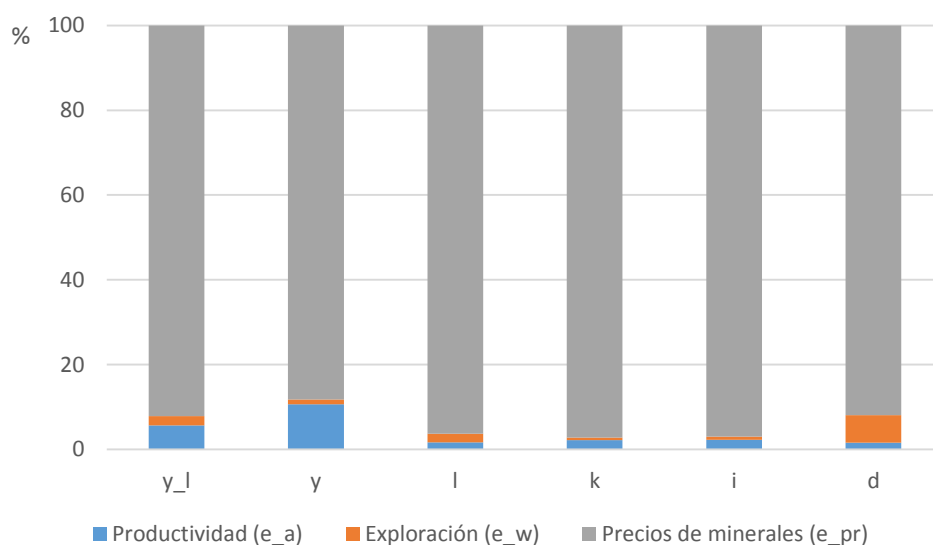
Al igual que el ratio capital-reservas ( $k$ ) y el ratio trabajo-reservas ( $l$ ), el ratio extracción-reservas ( $y$ ) está dominado por el efecto del incremento de las reservas (denominador). Solo en el primer período se incrementa el ratio extracción-reservas porque domina el efecto del incremento de contratación de trabajadores (ver panel  $y = Y/R$  del Gráfico 10).

Por último, el producto por trabajador cae en el momento inicial porque en ese momento el crecimiento del producto es generado completamente por el incremento en trabajadores contratados. A partir de dicho momento, el crecimiento del producto es derivado por el incremento en las reservas, por lo que el producto por trabajador se incrementa. Una vez que el efecto por incremento de reservas se agota, el producto por trabajador continúa la dinámica del capital hasta alcanzar el estado estacionario.

En resumen, un *shock* persistente de precios de minerales sí afecta el empleo del sector minero y el producto por trabajador, pero de manera temporal. En el corto plazo, dado que la inversión en exploración es endógena, las empresas mineras destinan más recursos a las actividades de exploración y para ello contratan más trabajadores. En el mediano plazo, este comportamiento se mantiene, por lo que las empresas han acumulado más reservas de minerales y empiezan a destinar más recursos a la acumulación de capital para explotar las nuevas reservas. En el largo plazo, cuando el *shock* sobre el precio de los minerales termina, las empresas mineras dejan de acumular más reservas. Finalmente, el efecto del *shock* persiste hasta que las empresas agotan las reservas acumuladas durante el *shock*. En conclusión, al endogenizar la inversión en exploración se consigue un efecto más persistente de un *shock* de precios de minerales sobre el producto por trabajador y el empleo en el sector minero, pero este efecto se agota a medida que las nuevas reservas acumuladas son agotadas.

Por otro lado, el modelo también permite conocer la proporción de la varianza de cada variable explicada por cada tipo de *shock*. En el modelo planteamos tres fuentes de variabilidad: productividad ( $e_t^a$ ), exploración ( $\omega_t$ ) (ver Ecuación 3) y los precios de los minerales ( $e_t^{pr}$ ). Como se puede observar en el Gráfico 11, el *shock* de precios de minerales explica la mayor parte de la variabilidad del modelo debido a la mayor persistencia y tamaño del *shock* en comparación a las otras fuentes de variabilidad. En el caso de los factores de producción del sector minero, prácticamente la toda la variabilidad es explicada por los *shocks* de precios de minerales. Como se esperaba, la probabilidad de que la inversión en exploración resulte en reservas acumuladas ( $\omega_t$ ) explica en mayor medida la variabilidad del ratio exploración-reservas ( $d$ ). De igual manera, los *shocks* de productividad afectan en mayor medida la variabilidad del producto por trabajador y del ratio producto-reserva.

**Gráfico 11: Descomposición de varianza**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Por otro lado, se realiza una comparación entre los resultados de la simulación contra los datos observados entre los años 2006-2013. Los valores presentados en la Tabla 2 corresponden a diversos momentos de las tasas de crecimiento de las siguientes series: el producto per cápita ( $y_l$ ), ratio producto-reservas ( $y$ ), ratio trabajo-reservas ( $l$ ), ratio capital-reservas ( $k$ ), ratio inversión-reservas ( $i$ ) y ratio exploración-reservas ( $d$ ). Las variables están expresadas en ratios respecto a las reservas porque según el modelo planteado todas las variables son raíz unitaria y cointegran con las reservas. Por ende, solo existe estado estacionario para los ratios. Además, están expresadas en tasas de crecimiento para facilitar la lectura de que en el estado estacionario la tasa de crecimiento de los ratios debe ser cero. Así, los valores simulados representan diversos momentos de las series de tasas de crecimiento obtenidas a partir del impulso respuesta presentado anteriormente, y los valores observados representan diversos momentos de las tasas de crecimiento del componente tendencial de las variables obtenido a partir de los filtros Hodrick y Prescott y Baxter y King. La comparación entre ambos valores debe ser tomada con cautela pues, la simulación corresponde a los valores predichos por el modelo ante un *shock* temporal pero persistente de precios de minerales, mientras que los valores observados son el resultado de diversos *shocks* y no solo de un *shock* de precios de minerales.



**Tabla 2: Comparación entre momentos simulados y observados**

Variable	Simulación				Valores Observados 2006-2013			
	$E(x)$	$\sigma_x$	$\rho_1$	$\sigma_{xy}$	$E(x)$	$\sigma_x$	$\rho_1$	$\sigma_{xy}$
y_l	0.7944	0.0985	0.8211	-0.8277	1.7188	0.4275	0.9981	0.9976
y	0.8966	0.0441	0.8829	1.0000	0.1367	0.0680	0.9988	1.0000
l	0.1022	0.1372	0.8311	0.9153	0.0807	0.0174	0.9987	0.9920
k	2.1775	0.0469	0.9769	0.6771	0.2445	0.1972	0.9922	0.9756
i	-1.7345	0.5012	0.8574	0.6087	0.4148	0.4411	0.9742	0.9095
d	0.5200	0.9226	0.9017	-0.6276	0.2011	0.1683	0.9964	0.9876

Fuente: Anuario 2014, MINEM. Elaboración propia, 2016.

Finalmente, una posible ampliación de la presente investigación es incluir el sector minero de equilibrio parcial en un modelo de equilibrio general. La amplitud y persistencia de los cambios en el modelo de equilibrio general probablemente sean menores porque considera los mecanismos salarios y tipo de cambio. En el caso de los salarios, la mayor demanda de trabajadores del sector minero incrementaría el salario real local por lo que la cantidad de trabajadores contratados sería menor. En el caso del tipo de cambio, el mayor ingreso de divisas producto del incremento de la producción del sector minero apreciaría el tipo de cambio por lo que el incremento del precio de los minerales es contrarrestado por la apreciación del tipo de cambio.

## VI. Conclusiones

La importancia del sector minero en la economía peruana es significativa. La contribución al PBI, la generación de exportaciones y la recaudación generada por este sector en los últimos quince años ha sido significativa. De hecho, buena parte del crecimiento sostenido observado durante los últimos años ha venido impulsado, entre otros factores, por el buen desempeño de la minería. Así hemos visto que la exploración minera aumentó significativamente lo que llevó al desarrollo de varios proyectos mineros que entraron en su etapa de construcción y que han venido entrando en operación hasta en el presente año. Esto ha ocurrido a pesar de que los efectos de los precios elevados de los metales haya desaparecido.

Los mecanismos de propagación de un *shock* positivo del precio de los minerales son la inversión exploración que lleva al desarrollo de nuevos proyectos y el tiempo para construir de estos proyectos (a lo Kydland y Prescott). Por ello un mayor nivel de precios lleva a una mayor inversión en exploración que determina que sea rentable explotar dichas reservas. Cuando se toma la decisión de desarrollar un proyecto, el monto a invertir, el tiempo de ejecución y la demanda por servicios que se derivan de los mismos genera una expansión del producto y del empleo que son persistentes. Sin embargo si no se produce exploración no habrá nuevos proyectos a desarrollar y la producción minera quedara estancada y el efecto beneficioso cesa.

En esta investigación se ha buscado desarrollar un modelo de equilibrio parcial que sea consistente con la historia contada que es lo que sucedió en la economía peruana en la década pasada. Los resultados son prometedores y plantea una agenda de investigación para el futuro en el desarrollo de modelos más elaborados que permitan llegar a un modelo de equilibrio general. Este tipo de modelos permiten contabilizar todas las retroalimentaciones que genera la expansión de un sector productivo como el minero.

En cuanto a las lecciones de política que se generan a partir de estos primeros resultados podemos decir que el margen es reducido dado que no somos capaces de generar un cambio en los precios debido al carácter pequeño y abierto de la economía peruana. Sin embargo queda una ventana que puede ser explotada. Esta está vinculada a incentivos a la inversión en exploración que no sean tributarios pero que pueden contener esquemas de admisión temporal de maquinarias y equipos orientados para este fin, la disminución de asimetrías de información y la reducción de los niveles de conflictividad social asociado a la minería que ha creado un ambiente adverso a nuevas inversiones. En este caso el Estado puede jugar un rol importante al proveer información y acompañar a los inversionistas en exploración.

## VII. Bibliografía

- Acurio Vásquez, V., Giraud, G., Mc Isaac, F., & Pham, N.-S. (2014). The Effects of Oil Price Shocks in a New-Keynesian Framework with Capital Accumulation. *Documents de travail du Centre d'Economie de la Sorbonne*.
- Alarcon, S. (s.f.). *Un modelo de equilibrio parcial para el mercado de aceite de oliva*.
- Alarcón, S. (s.f.). *Un modelo de equilibrio parcial*. Madrid: Dept. Economía y CC.SS. Agrarias. U. Politécnica de Madrid.
- Auty, R. (1993). *Sustaining Development in Mineral Economies: The Resource Curse Thesis*. London: Routledge.
- Banco Central de Reserva del Perú. (2015). *Reporte de inflación. Diciembre 2015. Panorama actual y proyecciones macroeconómicas 2015-2017*. Lima: BCRP.
- Benavides Ganoza, R. (2012). *La minería responsable y su aporte en el Perú*. Lima: Instituto Peruano de Economía.
- Böhringer, C., & Löschel, A. (2002). Market Power in International Emissions Trading: The Impacts of U.S. Withdrawal from the Kyoto Protocol. *Centre for European Economic Research (ZEW)*.
- Brosio, G. (2006). The assignment of revenue from natural resources. En E. Ahmad, & G. Brosio, *Handbook of Fiscal Federalism* (págs. 431-458). Boston: Edward Elgar Pub.
- Casas Tragodara, C. (2011). *Investigación sobre ingresos fiscales por explotación de recursos naturales en Perú*. Lima: BID.
- Castillo, P., Montoro, C., & Tuesta, V. (2006). *Hechos estilizados de la economía peruana*. Lima: Banco Central de Reserva del Perú.
- Collier, P., & Goderis, B. (2007). Commodity Prices, Growth, and the Natural Resource Curse: Reconciling a Conundrum. *Documento de Trabajo 274 del Centre for the Study of African Economies*. Oxford: Universidad de Oxford.
- Corden, W. M., & Neary, J. P. (1982). Booming Sector and De-Industrialisation in a Small Open Economy. *Economic Journal*, 92(368), 825-848.

- Emery, A. (Septiembre de 2014). *Principales proyectos mineros de Perú para el 2017*. Obtenido de <http://www.bnamericas.com/es/features/mineria/principales-proyectos-mineros-de-peru-para-el-2017>
- Forsyth, P., & Kay, J. (1981). Oil Revenues and Manufacturing Output. *Fiscal Studies*, 2(2), 9-17.
- Gavin, M., & Perotti, R. (1997). *Fiscal Policy in Latin America*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Granado, J., Gupta, S., & Hajdenberg, A. (2010). *Is Social Spending Procyclical?* Washington: FMI.
- Gross, I., & Hansen, J. (2013). Reserves of Natural Resources in a Small Open Economy. *Economic Research Department Reserve Bank of Australia*.
- Hostland, D., Kyobe, A., & Nakatani, K. (2011). *An Empirical Estimation of Debt Accumulation Episodes*. Washington: FMI.
- Iacoviello, M. (2015). <http://www2.bc.edu/>. Obtenido de Boston Collage webpage: <http://www2.bc.edu/~iacoviel/teach/0809/EC751.html>.
- INEI. (2014). *PBI por Departamentos 2004- 2013*. Lima: Departamento de Cuentas Nacionales - INEI.
- Kaminsky, G. L., Reinhart, C., & Vegh, C. (2004). *When it Rains, it Pours: Procyclical Capital Flows and Macroeconomic Policies*. Cambridge.
- Lederman, D., & Maloney, M. (2007). *Natural resources: neither curse nor destiny*. Washington D.C.: World Bank and Stanford University Press.
- Mankiw, N., & Torre, I. (2007). El macroeconomista como científico y como ingeniero. *Instituto de Desarrollo Económico Y Social*, 3-23.
- Mehlum, H., Moene, K., & Torvik, R. (2006). Institutions and the resource curse. *The Economic Journal*, 116(508), 1-20.
- Ministerio de Energía y Minas. (2015). *Panorama General 2015*. Ministerio de Energía y Minas, Lima.
- Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2014). *Principales resultados de la encuesta de demanda ocupacional en el Sector Minería e Hidrocarburos*. Lima.

- Moghadam, R., & Canuto, O. (2011). *Managing Volatility in Low-Income Countries: The Role and Potential for Contingent Financial Instruments*. FMI.
- Pothen, F. (2013). The metal resources (METRO) model: A dynamic partial equilibrium model for metal markets applied to rare earth elements. *Econstor*.
- Raddatz, C. (2008). Have External Shocks become more Important for Output Fluctuations in African Countries? En D. S. Go, & J. Page, *Africa at a Turning Point? Growth, Aid, and External Shocks*. Washington: World Bank.
- Sachs, J. D., & Warner, A. M. (1997). Natural resource abundance and economic growth. *HIID Discussion Paper N8 517, Harvard Institute for International Development*.
- Sala-i-Martin, X., & Subramanian, A. (2003). Addressing the Natural Resource Curse: An Illustration from Nigeria. *IMF Working Paper wp/01/139*. Washington: IMF.
- Slack, K. (Marzo de 2009 ). *Conflictos Mineros en el Perú: Condición Crítica* . Obtenido de <http://www.source-international.org/wp-content/uploads/2012/11/Informe-Mineria-y-Conflictos.pdf>
- Talvi, E., & Vegh, C. A. (2000). *Tax Base Variability and Pro-cyclical Fiscal Policy*. Cambridge: NBER.
- Tanaka y Huber. (2007). *Minería y conflicto social*. Obtenido de <http://cies.org.pe/sites/default/files/files/articulos/economiaysociedad/01-revesz.pdf>
- Tuinstra, J., Wegener, M., & Westerhoff, F. (2014). Positive welfare effects of trade barriers in dynamic partial equilibrium model. *Journal of Economic Dynamics & Control*.
- Van der Ploeg, F. (2011). Natural Resources: Curse or Blessing? *Journal of Economic Literature*, 49(2), 366-420.
- Veroude. (2012). The Role of Mining in an Australian Business Cycle Model. *Paper presented at the 56th Australian Agricultural and Resource Economics*.

## VIII. Anexos

### Anexo 1: Código mod

```
%-----  
% 1. Definir variables y parámetros  
%-----  
  
var y_l y_l k i qk d qr a pr w;  
varexo e_a e_w e_pr;  
  
parameters alpha beta delta kappa phi dr rho_a sigma_a rho_pr sigma_pr sigma_w rwage  
rrate tc p pi;  
  
%-----  
% 2. Calibración  
%-----  
  
alpha = 0.40;  
beta = 0.25;  
delta = 0.02;  
kappa = 5;  
phi = 0.90;  
dr = 0.47;  
rho_a = 0.95;  
sigma_a = 0.01;  
rho_pr = 0.90;  
sigma_pr = 0.1;  
sigma_w = 1;  
rwage = 0.75;  
rrate = 0.06;  
tc = 3;  
p = 2.3;  
pi = 2;
```

```

%-----
% 3. Modelo
%-----

model;
% (1) Producto per capita
exp(y_l)=exp(y)/exp(l);
% (2) Función de producción
exp(y) = exp(a)^(beta)*exp(l)^(beta)*exp(k)^(alpha);
% (3) Demanda de trabajo
(tc*exp(pr)+exp(qr))*beta*exp(a)^(beta)*exp(l)^(beta-1)*exp(k)^(alpha) = rwage*p;
% (4) Demanda de capital
(tc*exp(pr)+exp(qr))*alpha*exp(a)^(beta)*exp(l)^(beta)*exp(k)^(alpha-1) - (tc*pi)*delta =
(1/(1+rrate))*((rrate-delta)*exp(qk)-(exp(qk)-exp(qk(-1))));
% (5) Demanda de reservas
(tc*exp(pr)+exp(qr))*(1-beta-alpha)*exp(a)^(beta)*exp(l)^(beta)*exp(k)^(alpha) =
(1/(1+rrate)) * (rrate*exp(qr)-(exp(qr)-exp(qr(-1)))) + p*((1/phi)-exp(d))*(exp(d)-
dr))*exp(phi*(exp(d)-dr));
% (6) Q de Tobin reservas
exp(qr)*exp(w) = p*(exp(d)-dr)*exp(phi*(exp(d)-dr));
% (7) Q de Tobin capital
exp(qk)=(tc*pi)*(1-(kappa/2)*((exp(i)/exp(i(-1)))-1)^2-kappa*((exp(i)/exp(i(-1)))-1)
*(exp(i)/exp(i(-1)))) + (tc*pi)*(1/rrate)*kappa*((exp(i+1))/exp(i))-1*(exp(i+1))/exp(i))^2;
% (7) Ecuación de movimiento del capital
exp(k) = exp(i) + (1-delta)*exp(k(-1));
% (8) Proceso autoregresivo de la tecnología
a = rho_a *a(-1) +e_a;
% (9) Proceso autoregresivo de los precios de los minerales
pr= rho_pr*pr(-1)+e_pr;
% (10) Probabilidad de descubrir reservas
w = e_w+1;
end;

```

```

%-----
% 4. Resolución
%-----

initval;
a = 0;
pr = 0;
k = 1.8;
l = 0.2;
d = 0;
qr = 0;
end;

shocks;
var e_w = sigma_w^2;
var e_pr = sigma_pr^2;
%var e_a = sigma_a^2;
end;

steady;

stoch_simul(hp_filter = 1600, order = 1, irf = 200);

```