



**Escuela de Postgrado GERENS**

**Maestría en Gestión Minera**

**MMBA - 2014**

**“EVALUACION DEL IMPACTO DE LA ACCIDENTABILIDAD EN LA  
PRODUCTIVIDAD DE LAS MINAS PERUANAS:  
CASO DE ESTUDIO: EMPRESAS DE LA BVL EN LA GRAN Y  
Y MEDIANA MINERIA”**

Trabajo de investigación presentado de acuerdo a los reglamentos de la  
Escuela de Postgrado GERENS para obtener el grado de Magíster en Gestión  
Minera, por:

Jhon Randy Baldera León \_\_\_\_\_

Jorge Felipe Medina Ruesta \_\_\_\_\_

Luis Carlos Uriarte Pérez \_\_\_\_\_

**ASESORES: Arturo Vásquez Cordano y Rodrigo Priale Zevallos**

Lima, 26 de Julio del 2017

© Jhon Randy Baldera León, Jorge Felipe Medina Ruesta, Luis Carlos Uriarte  
Pérez, 2017

**Todos los derechos reservados.**

## DEDICATORIA

Nuestra tesis la dedicamos con mucho amor y cariño a nuestras queridas esposas que con su esfuerzo y sacrificio han permitido avanzar en nuestro desarrollo personal a través de esta maestría.

A nuestros compañeros y amigos quienes compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante estos dos años estuvieron a nuestro lado apoyándonos a lograr nuestros objetivos

*Nuestro mayor agradecimiento a toda la Plana  
Docente de la Escuela de Postgrado GERENS,  
al Doctor Eduardo Litano Boza y al Magister  
Walter Sánchez Sánchez por su valioso apoyo  
en la elaboración de nuestra tesis*

# Resumen Ejecutivo

La salud y la seguridad de los trabajadores es un objetivo principal de las Empresas Mineras y el estado, su mejora logra disminuir las lesiones personales, reducir las pérdidas de tiempo, incrementar la productividad, disminuir pérdidas de capital y disminuir los riesgos de conflictos sociales. La seguridad es necesaria para velar por el bienestar de los trabajadores y para mantener una seguridad adecuada en las minas, las empresas deben aplicar acciones permanentes y tener índices de siniestralidad bajos.

Un trabajo seguro, es un desempeño bien hecho y productivo, por lo que se puede concluir que a mayor seguridad mayor será la productividad de la empresa. Una correcta gestión de los riesgos aportará a la productividad en el corto y mediano plazo, pero en el largo plazo será una base importante para mantener la sustentabilidad de la empresa.

Debido a que la información sobre costos mineros no es fácilmente accesible, los estudios sobre productividad minera no son muy frecuentes.

El objetivo principal del estudio es evaluar el impacto de la accidentabilidad en la productividad de las minas peruanas, y probar estadísticamente que tiene un efecto negativo muy significativo sobre la productividad.

El estudio se basa en el análisis estadístico de los índices de accidentabilidad y de productividad obtenidos, entre los años 2010 y 2014 de operación, por las diferentes minas metálicas peruanas tanto del tipo subterráneas como las del tipo superficiales y que cotizan en la Bolsa de Valores de Lima. Los datos e información básica se han obtenido de OSINERGMIN y de la Bolsa de Valores de Lima.

En la sección 5 se describe el marco legal por el cual están normados los procedimientos, índices y responsabilidades relacionados a los accidentes laborales, el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. N° 024-2016-EM y la Ley N°29783 sobre Seguridad y Salud en el Trabajo. Así mismo se entregan antecedentes que ayudan a contextualizar de

mejor forma los alcances de esta tesis. Los estudios clasifican accidentes, formulan hipótesis y los verifica por medio de modelos, también se hace una comparación entre los más recientes e importantes

Como hipótesis de la investigación se tiene  $H_1 =$  “El incremento de los índices de accidentabilidad influye negativamente en la productividad de las minas”. También se definen las variables del modelo conceptual y la terminología empleada.

El propósito del presente trabajo de investigación es analizar el efecto de las variables, índice de accidentabilidad, ICA; eficiencia de uso de los activos fijos o productividad de los activos fijos, AFTMD; trabajadores de terceros, TERC; capacidad de producción diaria, TMD; sobre la productividad, PR, de las empresas mineras durante el periodo 2010-2014. La unidad de análisis está conformada por 15 compañías mineras nacionales representativas cuyos valores listados se cotizan en la Bolsa de Valores de Lima. Están incluidas 10 empresas del tipo subterráneo y 5 del tipo superficial.

En la sección 6 se indica el método de recolección de datos y se analiza el impacto de los determinantes sobre la variable endógena, PR, en el periodo de referencia, bajo el modelo de datos de panel mediante el uso del software estadístico de aplicación económica, Econometrics E-views para el análisis de los datos en series de tiempo e información de corte transversal. Los modelos de datos de panel combinan datos de corte transversal y un periodo de tiempo, para nuestro caso el anidamiento de los datos se hace a través del modelo de efectos aleatorios, el cual fue definido a través del Test de Hausman.

Están definidas las variables del modelo, y luego de realizar un análisis descriptivo y un análisis correlacional se obtiene la forma matemática del modelo. Este modelo explica también que la productividad está muy influenciada por el método de explotación aplicado y la capacidad de tratamiento de las minas.

Finalmente se incluyen algunas conclusiones que reflejan el propósito del presente estudio, y algunas recomendaciones para mejorar el desempeño general en materia de seguridad y su diagnóstico.

# Executive Abstract

The health and safety of the workers is a main objective of the Mining Companies and the state, its improvement manages to reduce personal injuries, reduce time losses, increase productivity, decrease capital losses and reduce the risks of social conflicts. Safety is necessary to ensure the welfare of workers and to maintain adequate safety in mines, companies must take permanent actions and have low accident rates.

A safe job, is a well done and productive performance, so you can conclude that the greater security will be the productivity of the company. Correct risk management will contribute to productivity in the short and medium term, but in the long run will be an important basis to maintain the sustainability of the company.

Because information on mining costs is not easily accessible, studies on mining productivity are not very frequent.

The main objective of the study is to evaluate the impact of the accident rate on the productivity of the Peruvian mines, and to prove statistically that it has a very significant negative effect on productivity.

The study is based on the statistical analysis of the accident and productivity indexes obtained between the years 2010 and 2014 of operation by the different Peruvian metallic mines, both underground type and of the surface type, and which are listed on the Stock Exchange from Lima. The data and basic information have been obtained from OSINERGMIN and from the Lima Stock Exchange.

Section 5 describes the legal framework by which procedures, indexes and responsibilities related to occupational accidents are regulated, the Safety and Occupational Health Regulations in Mining DSN ° 024-2016-EM and Law No. 29783 on Safety and Health at Work. Also given are antecedents that help to better contextualize the scope of this thesis. Studies classify accidents, formulate hypotheses and verify them by means of models, also makes a comparison between the most recent and important ones.

As a hypothesis of the investigation we have H1 = "The increase in accident rates has a negative impact on the productivity of the mines". The variables of the conceptual model and the terminology used are also defined.

The purpose of this research is to analyze the effect of variables, accident rate, ICA; Efficiency of use of fixed assets or productivity of fixed assets, AFTMD; Third-party workers, TERC; Daily production capacity, TMD; On the productivity, PR, of the mining companies during the period 2010-2014. The analysis unit is made up of 15 representative national mining companies whose listed securities are listed on the Lima Stock Exchange. There are 10 companies of the underground type and 5 of the superficial type.

Section 6 shows the data collection method and analyzes the impact of the determinants on the endogenous variable, PR, in the reference period, under the panel data model using the statistical application software, Econometrics E-views for the analysis of the data in time series and cross-section information. The panel data models combine cross-sectional data and a period, in our case the nesting of the data is done through the random effects model, which was defined through the Hausman Test.

The variables of the model are defined, and after performing a descriptive analysis and a correlational analysis the mathematical form of the model is obtained. This model also explains that productivity is strongly influenced by the method of exploitation applied and the treatment capacity of the mines.

Finally, we include some conclusions that reflect the purpose of the present study, and some recommendations to improve overall safety performance and diagnosis.

# INDICE

RESUMEN EJECUTIVO	v
EXECUTIVE SUMMARY	vii
CAPITULO 1: INTRODUCCION Y MOTIVACION DE LA TESIS	1
1.1. Objetivos de la tesis	3
1.1.1. Objetivos Generales	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
1.2. Preguntas de la investigación	4
CAPITULO 2: JUSTIFICACION DEL ESTUDIO	5
2.1. Deficiencias/vacíos actuales en el conocimiento del problema	5
CAPITULO 3: MARCO CONCEPTUAL	6
3.1. Marco Legal	6
3.2. Estudios recientes sobre Accidentabilidad y Productividad	6
3.2.1. Comparación Internacional de Sistemas de Salud y Seguridad Laboral	6
3.2.2. Análisis de Índices de Accidentabilidad en la Construcción de Proyectos EPCM para la Minería	7
3.2.3. Evaluando el riesgo y regulando los estándares de seguridad en la industria del petróleo y gas: La experiencia Peruana	8
3.2.4. Midiendo la productividad en la Minería Chilena	14
3.2.5. Productividad y Seguridad en la minería del carbón: Evidencia de desastres y muertes	15
3.3. Comparación entre estudios recientes	19
3.4. Modelo conceptual propuesto	21
3.5. Hipótesis de la investigación	21
3.6. Definición de las variables	21
3.6.1. Definición de Índices de Accidentabilidad OSHA	22
CAPITULO 4: DISEÑO DE LA INVESTIGACION	24
4.1. Alcance de la investigación	24
4.2. Método de recolección de datos	24
4.3. Modelo de datos	27
4.3.1. Modelo de efectos fijos	27

4.3.2. Modelo de efectos aleatorios	28
4.3.3. Definición de variables del modelo	29
4.3.4. Forma general del modelo	32
CAPITULO 5: ANALISIS DE RESULTADOS	34
5.1. Análisis descriptivo	34
5.2. Análisis correlacional	35
5.3. Resultado del modelo de datos de panel	37
5.4. Forma matemática del modelo	39
CAPITULO 6: CONCLUSIONES	42
CAPITULO 7: RECOMENDACIONES	44
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	45
ANEXOS	46

# Capítulo 1: Introducción y Motivación de la tesis

El Peru es tradicionalmente un país minero y este sector es considerado como el principal aportante al crecimiento de la economía, pues contribuye a la generación de divisas necesarias para mantener el equilibrio macroeconómico.

En el periodo 2010 - 2016 la economía creció un promedio de 5.2%, y en el 2016 el PBI Minero fue de 21.1%. El incremento del PBI minero está relacionado directamente con un crecimiento importante de las exportaciones del sector: de 17,439 millones de dólares a 21,652 millones de dólares en el periodo observado, es decir, un aumento de 19.5% entre 2007 y el 2016, según se observa en el gráfico siguiente. En el 2016 las exportaciones mineras metálicas representaron un 58.8% de las exportaciones totales<sup>1</sup>.



Fuente: Ministerio de Energía y Minas. Boletín Estadístico de Minería-Enero 2017.

La salud y la seguridad de los trabajadores es un objetivo principal de las Empresas Mineras y el estado, su mejora logra disminuir las lesiones personales, reducir las pérdidas de tiempo, incrementar la productividad, disminuir perdidas de capital y disminuir los riesgos de conflictos sociales. La seguridad es necesaria para velar por el bienestar de los trabajadores y para mantener una seguridad adecuada en las minas, las empresas deben aplicar acciones permanentes y tener índices de siniestralidad bajos. En este contexto, así como se han dado cambios de tipo social,

<sup>1</sup> Ministerio de Energía y Minas. Boletín Estadístico de Minería-Enero.

tecnológico, legal y ético, también la seguridad ha ido evolucionando a través del tiempo:

- El 12 de marzo de 1950 entra en vigencia el Código de Minería-DL 1125, no tuvo una adecuada evolución en la administración de la seguridad, y fue derogada en 1973.
- En 1973 se da el DS N° 034-73-EM, y en 1992 se da el DS N° 023-92-EM, ambos basados en paradigmas tradicionales, como su acción reactiva y orientado al control de lesiones entre otros. Así mismo mediante DS N°014-92-EM se aprueba el Texto Unico Ordenado de la Ley General de Minería, estableciéndose en el Título Bienestar y Seguridad, ciertas obligaciones que los titulares de la actividad minera tienen frente a sus trabajadores.
- En los años 1997 y 1998 se crean instituciones como ACOMIPE e ISEM, y el Ministerio de Energía y Minas estructura un Proyecto del Reglamento de Seguridad e Higiene Minera. También, a través de Empresas Extranjeras, ingresan al país Sistemas de Seguridad como NOSA, ISTECH, DUPONDM DNV, etc.
- En el 2001 se promulga el DS N° 046-2001-EM donde el Jefe de Seguridad tiene como función desarrollar la Gestión de Seguridad
- En el 2010 se da el DS N° 055-2010-EM que aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.
- En el 2011 se da la Ley N° 29783, cuyo objetivo es promover una cultura de prevención de riesgos laborales en el país.
- El 26 de Julio del 2016 se aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería mediante el DS N° 024-2016-MEM, que además de lo establecido en el DS N°055-2010-EM realiza las adecuaciones a las disposiciones establecidas por el Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo en materia de seguridad y salud en el trabajo

La productividad minera tiene una relación directa con la seguridad. Un trabajo seguro, es un desempeño bien hecho y productivo, por lo que se puede concluir que a mayor seguridad mayor será la productividad de la empresa. Es decir que los accidentes laborales generan una merma importante y si no se aplican las medidas

preventivas correspondientes el impacto en la productividad puede ser mayor. Una correcta y oportuna gestión de los riesgos aporta a la productividad en el corto y mediano plazo, y en el largo plazo será importante para mantener la sustentabilidad de la empresa. Las evaluaciones de la productividad permiten medir el desempeño de las empresas, identificar los procesos clave y priorizar las causas de pérdidas, con el objetivo de adoptar medidas de mejoramiento acertadas

Debido a que la información sobre costos mineros no es fácilmente accesible, los estudios sobre productividad minera no son muy frecuentes. En el Perú, la mayor parte de la minería es desarrollada por empresas extranjeras, y la productividad del proceso minero no es tratado adecuadamente. El Ministerio de Energía y Minas no publica estadísticas al respecto, y la información publicada permite hacer un cálculo simple de la productividad de la mano de obra, pues no se cuenta con información sobre dotación de capital y de mano de obra

El tratamiento estadístico de los accidentes permite conocer el grado de accidentabilidad de todas las empresas del sector. El Anexo I muestra las tendencias de la productividad y accidentabilidad de las minas peruanas, se observa que las minas a cielo abierto tienen una mayor productividad y un menor índice de accidentabilidad con respecto a las minas subterráneas

Este estudio contribuye a cuantificar cuánto de la disminución de la productividad es explicada por el grado de accidentabilidad en las operaciones mineras.

## **1.1. Objetivos de la tesis**

### **1.1.1. Objetivos Generales**

- Evaluar el impacto de la accidentabilidad en la productividad de las minas peruanas.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Evaluar estadísticamente la situación de la seguridad en las minas consideradas para el estudio.

- Probar estadísticamente que la accidentabilidad tiene un efecto negativo muy significativo sobre la productividad.
- Dar recomendaciones y establecer medidas que permitan mejorar la seguridad en las minas peruanas.

## **1.2. Preguntas de la investigación**

- ¿Con respecto a los resultados de seguridad (índices de accidentabilidad) y productividad, qué diferencias existen entre las diferentes categorías de las minas peruanas?
- ¿Cómo afecta la ocurrencia de accidentes en la productividad de las minas?

## **Capítulo 2: Justificación del estudio**

La seguridad debe estar integrada en cada una de las fases de los procesos productivos con el objetivo de lograr la máxima eficacia en la Gestión de Riesgos Laborales. Existe una preocupación constante del Estado en la protección de la integridad de los trabajadores, el patrimonio de las empresas titulares y de las empresas contratistas, y además del cuidado del medio ambiente

El estudio se basa en el análisis estadístico de los índices de accidentabilidad y de productividad obtenidos por las diferentes minas peruanas entre los años 2010 y 2014 de operación.

La información obtenida permitirá a los Gerentes mejorar el control de las actividades operativas e implementar planes de seguridad para reducir la probabilidad de accidentes. Así mismo permitirá, a las autoridades sectoriales y fiscalizadoras (MEM, OSINERGMIN y SUNAFIL), evaluar los resultados de la gestión de Seguridad y Salud Ocupacional en la Gran y Medina Minería a nivel nacional.

### **2.1. Deficiencias y vacíos actuales en el conocimiento del problema**

En los estudios realizados anteriormente y que han sido analizados, solo se presentan resultados generales de proyectos realizados por Contratistas en Chile y en todas las minas de carbón de EE. UU (Valverde y Betancour, 2013, Gowrisankaran, He, Lutz y Burgess, 2014). En forma específica, no se ha evaluado el impacto de la ocurrencia de accidentes en la productividad de las minas del país.

El estudio se aplica a las minas peruanas tanto del tipo subterráneas como las del tipo superficiales y que cotizan en la Bolsa de Valores de Lima. Para las comparaciones correspondientes, se ha tenido en cuenta las estadísticas de accidentes y de producción de cada una de ellas.

Los datos e información básica se han obtenido de OSINERGMIN y de la Bolsa de Valores de Lima BVL, como se detallará más adelante.

## **Capítulo 3: Marco Conceptual**

La OIT define un accidente laboral como un suceso derivado del trabajo o que ocurre dentro del mismo y que ocasiona lesiones incapacitantes o no incapacitantes. Este suceso puede tener como consecuencia la incapacidad del trabajador para realizar su labor o la muerte, interrupción del proceso productivo y consecuentemente la pérdida de productividad. Adicionalmente hay un impacto social importante por lo que las empresas están cada vez más comprometidas en la prevención y disminución de su incidencia<sup>2</sup>.

### **3.1. Marco legal**

Todo lo relacionado a la seguridad y salud de los trabajadores mineros esta normado por el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, DS 024-2016-EM promulgado el 26 de Julio del 2016; y por la Ley 29783 sobre Seguridad y Salud en el Trabajo promulgada el 26 de Julio del 2011.

### **3.2. Estudios recientes sobre Accidentabilidad y Productividad**

En esta sección se dan antecedentes que ayudan a contextualizar de mejor manera los alcances de esta tesis. Los estudios clasifican accidentes, formulan hipótesis y los verifica por medio de modelos.

Los proyectos mineros y sus riesgos asociados requieren de gran cantidad de recursos. Por lo tanto, es muy importante generar y promover un ambiente de trabajo seguro en sus diferentes etapas y así disminuir los índices de accidentabilidad.

#### **3.2.1. Comparación Internacional de Sistemas de Salud y Seguridad Laboral**

Brahm, Singer, Valenzuela, y Ramírez (2011) hacen un análisis comparativo de los costos y beneficios ofrecidos por el sistema de mutuales privados para enfrentar los riesgos actuales de seguridad y salud en el trabajo.

---

<sup>2</sup> Arancibia (2012)

El informe compara el sistema chileno de forma cualitativa respecto a países de la OCDE mediante un modelo econométrico. Este modelo permite explicar la tasa de accidentabilidad y la tasa de fatalidad laboral en términos de las variables socioeconómicas de diferentes países (PIB per cápita, consumo de alcohol, industrias predominantes en la economía).

Los aspectos de este estudio aplicables a la tesis son:

- La parte G, referida a la comparación cuantitativa de los sistemas de Seguridad y Salud Laboral de los países de la OCDE.

### 3.2.2. Análisis de Índices de Accidentabilidad en la Construcción de Proyectos EPCM para la minería

Arancibia (2012) desarrolla un estudio cuya finalidad es realizar un análisis de los índices de accidentabilidad obtenidos por los contratistas de construcción, durante la ejecución de proyectos EPCM para la minería en el periodo 2007 – 2011. El proceso de la investigación se presenta en la Ilustración 3.1.

El análisis de los índices de accidentabilidad se realiza a través de la búsqueda de relaciones de dependencia con la ubicación geográfica de los proyectos, el tipo de obras, la magnitud del proyecto y la condición de uso del terreno.

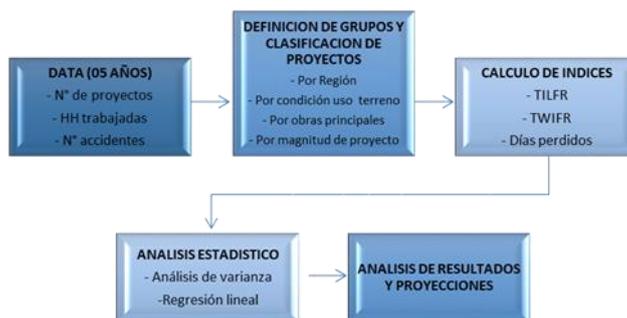
*ILUSTRACION 3.1: Proceso de la Investigación - Proyectos PCM*



Fuente: Tesis, Arancibia (2012)  
Elaboración propia

El aporte del autor se resume esquemáticamente en la siguiente *Ilustración 3.2*:

### ILUSTRACION 3.2: Indices de Accidentabilidad - Proyectos PCM



Fuente: Tesis, Arancibia (2012)  
Elaboración propia

Los aspectos de este estudio aplicables a la tesis son:

- El capítulo 3, referido a la definición de los índices de accidentabilidad basados en la legislación vigente
- Los capítulos 4 y 5, referidos al tratamiento (agrupamiento y análisis estadístico), análisis de resultados, así como las proyecciones posibles
- El uso de Indicadores de Desempeño Positivo, los cuales deben estar enfocados en la medición de factores o sucesos que indiquen un progreso o logros en materia de seguridad, en vez de medir retrocesos como lo hacen los índices de accidentabilidad.

### **3.2.3. Evaluando el riesgo y regulando los estándares de seguridad en la industria del petróleo y gas: La experiencia peruana<sup>3</sup>**

Vásquez, Salvador, García y Fernández (2013) elaboran un estudio para evaluar los riesgos y la regulación de las normas de seguridad en la industria de petróleo y gas.

En el Cuadro 3.1 se presenta un resumen de los riesgos generados por las actividades de petróleo y gas en la selva peruana, están organizados por tipos y por la probabilidad de los eventos.

Los autores proponen el siguiente marco teórico para analizar las regulaciones de las normas de seguridad en la mencionada industria: La inversión en medidas de seguridad para cumplir con las normas es una actividad costosa para las empresas,

<sup>3</sup> Traducción libre del artículo denominado "Assessing risk and regulating safety standards in the oil and gas industry: the Peruvian experience" de Vasquez, *et al* (2013)

por lo que es necesario hacer un análisis del nivel óptimo de seguridad teniendo en cuenta los costes y beneficios de las políticas de seguridad. Este análisis de costo-beneficio puede ser modelado con la siguiente ecuación:

$$ESCS = ESD(u) - TSC(u)$$

ESCS: Costo social que se espera de proporcionar seguridad

ESD ( $u$ ): Valor esperado de daños sociales.

TSC ( $u$ ): Costo esperado de proporcionar seguridad.

( $u$ ): Nivel de esfuerzo de seguridad ejercida por la industria del petróleo y gas:

Suponen que la ESD ( $u$ ) y TSC ( $u$ ) son funciones convexas; en el caso de TSC ( $u$ ), es una función creciente de  $u$  que significa que el coste de mejorar las condiciones de seguridad es más alto ya que la empresa ejerce un mayor nivel de esfuerzo de seguridad. ESD ( $u$ ) es una función decreciente de  $u$ , lo que significa que el daño social esperado disminuye a medida que el esfuerzo de seguridad de las empresas mejora. ESCS, ESD ( $u$ ) y TSC ( $u$ ) se representan en la Figura 3.1.

El objetivo del Estado es establecer un estándar de seguridad,  $u_+$ , que minimiza el costo social que se espera de proporcionar seguridad. La Figura 3.1 muestra que este objetivo se logra cuando el costo marginal esperado de proporcionar la seguridad (punto D, donde la derivada de TSC representada por la recta tangente es el costo marginal) es igual, en valor absoluto, a la reducción marginal en el daño social que se espera (punto F). Esta condición de equilibrio se alcanza en  $u_+$ , lo que representa el nivel óptimo de seguridad que el Estado debe aplicarse en la industria del petróleo y el gas.

En caso de que una empresa ejerza un esfuerzo de seguridad,  $u_0$ , que está a menos de  $u_+$ , se observa en la Figura 3.1 que el costo marginal esperado de proporcionar la seguridad es menor que el daño social marginal esperado. En este escenario, el riesgo de un accidente aumenta más allá de su nivel óptimo (logrado cuando  $u_+$  es elegido); en otras palabras, hay demasiado riesgo de un accidente que nace por la sociedad. Matemáticamente, podemos valorar este exceso de riesgo para la sociedad mediante la medición de la pérdida social, SL, por un esfuerzo de seguridad por debajo de su nivel óptimo, la cual se muestra como el área sombreada

definida por la región CDEF en la Figura 3.1. Esta pérdida social se muestra o aparece porque un esfuerzo de seguridad por debajo de la norma aumenta el daño social esperado debido al mayor riesgo de un accidente. La expresión matemática de esta pérdida social, en el supuesto de que es posible identificar perfectamente funciones ESD ( $u$ ) y TSC ( $u$ ) es

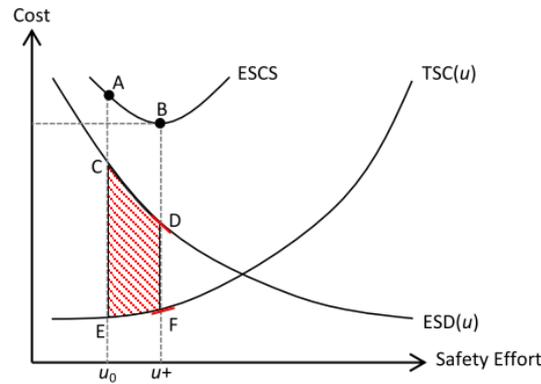
$$SL = \int_{u^0}^{u^+} [ESD(u) - TSC(u)] du$$

**CUADRO 3.1: Clasificación del Riesgo para Actividades de Petróleo y Gas en la Selva Peruana**

Probabilidad (R)	Peligro (IN)			
	Menor	Moderado	Mayor	Catastrófico
<b>Petróleo y Gas: Exploración y Extracción</b>				
Raro			Falla de los sistemas de seguridad (por ejemplo, los disyuntores de purga)	Explosión de pozos debido a fallas en la culminación
Ocasional	Impacto en la calidad del suelo por un derrame de petróleo.			
	Desplazamiento de la fauna silvestre por presencia humana a escala industrial y desaparición de vegetación	Impacto en la salud humana por la contaminación de la calidad del aire debido a las emisiones de gases (NOX, CO2, CO)		
Periódico	Impacto en las aguas superficiales por derrames de petróleo y campos de desechos domésticos			
	Impacto en la calidad del suelo por la pérdida de vegetación			
Frecuente		Emisiones de gases de efecto invernadero.		
<b>Transporte de Hidrocarburos</b>				
Raro				
Ocasional		Impacto en las aguas subterráneas por el drenaje de petróleo o líquidos de gas natural de una tubería rota.		
Periodico	Impacto en la calidad del suelo por derrames de petróleo			
			Impacto en las aguas subterráneas por derrames o filtraciones de hidrocarburos	

Elaborado: Vásquez, Salvador, García y Fernández

FIGURA 3.1: Determinación Óptima de Estándares de Seguridad

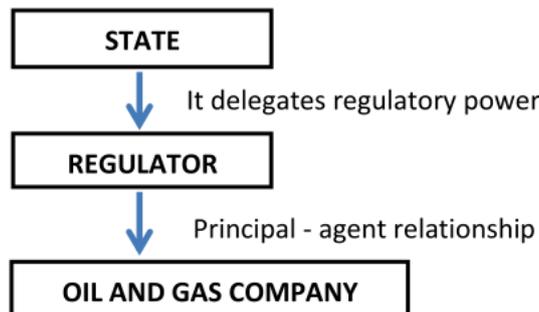


Elaborado: Vásquez, Salvador, García y Fernández (2013)

Para restablecer la condición de equilibrio y eliminar la pérdida social del exceso de riesgo, el Estado necesita inducir a la empresa que ejerza un nivel de esfuerzo consistente con  $u_+$ . Esta es una tarea difícil desde que el Estado no posee información directa acerca del comportamiento en seguridad de las empresas. El Estado delega su poder regulatorio a un organismo especializado regulador. Este organismo es capaz de obtener una mejor información sobre el desempeño de seguridad de la empresa mediante la implementación de estrategias de seguimiento y supervisión, cerrando en cierta medida la brecha de información entre la autoridad pública y la empresa.

El modelo planteado por Vásquez (2012) explica la relación jerárquica entre una compañía de petróleo y gas (el agente sujeto a la regulación) y una agencia reguladora (la principal que tiene el mando del Estado para hacer cumplir las normas de seguridad). Esta relación se presenta en la Figura 3.2.

FIGURA 3.2: Relación entre el Estado y la Compañía



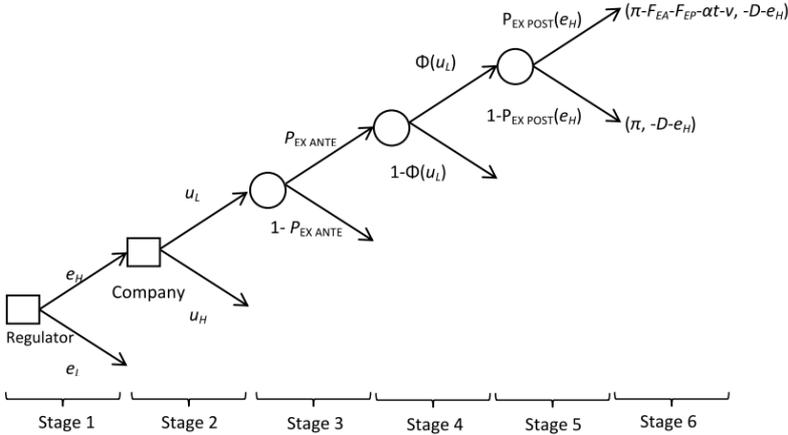
Elaborado: Vásquez, Salvador, García y Fernández (2013).

Una versión simplificada del mencionado modelo aplicado a la normativa de seguridad se ilustra en la Figura 3.3. Se observa la interacción entre la autoridad regulatoria y una compañía de petróleo y gas que realiza una actividad de riesgo a través de la forma ampliada de un juego con seis etapas:

En la primera etapa, el regulador elige el nivel de esfuerzo de monitoreo,  $e$ , que comprometa a supervisar el comportamiento de seguridad de la empresa. Se supone que el regulador puede elegir sólo dos opciones: un alto ( $e_H$ ) o un bajo nivel ( $e_L$ ) de esfuerzo de monitoreo dependiendo de los recursos disponibles.

En la segunda etapa (que comienza en el segundo nodo de decisión), se supone que la empresa puede elegir si desea ejercer un nivel alto ( $u_H$ ) o bajo ( $u_L$ ) esfuerzo de seguridad dada la decisión del regulador con respecto a su esfuerzo de monitoreo en la primera etapa.

**FIGURA 3.3: Versión simplificada del modelo**



Elaborado: Vásquez, Salvador, García y Fernández (2013)

En la tercera etapa, el regulador realiza un seguimiento *ex ante* con el fin de evaluar el grado de cumplimiento de seguridad de la compañía antes de la ocurrencia de un accidente. Este monitoreo puede incentivar a la compañía a reducir a priori la probabilidad de accidentes mediante la inversión en medidas de seguridad. La probabilidad a priori de la detección de las infracciones de seguridad se llama  $P_{EX ANTE}$ . Si el regulador elige  $e_H$ ,  $P_{EX ANTE}$  será alta inducción de la empresa a

probablemente ejercer un alto nivel de esfuerzo de seguridad. Caso contrario, la compañía podría ejercer un bajo nivel de esfuerzo de seguridad.

En la cuarta etapa, donde un accidente puede ocurrir con una probabilidad  $\Phi(u)$ . Si la empresa ejerce  $u_L$ , la ocurrencia de un accidente será más probable. Si la compañía ha elegido  $u_L$ , la probabilidad de un accidente con un alto nivel de esfuerzo de seguridad será mayor en ese escenario que en el caso de que la empresa elige  $u_H$ .

Si ocurre un accidente, el juego sigue a una quinta etapa cuando el organismo regulador puede supervisar lo que sucede con la conducta de la empresa durante el accidente y también puede evaluar cualquier daño social generado. La agencia reguladora puede detectar cualquier infracción y el daño con una probabilidad  $P_{EX POST}$ . Es necesario el uso de evaluaciones previas y seguimiento *ex post* para alinear los incentivos de la empresa hacia el cumplimiento de la seguridad.

Por último, en la sexta etapa observamos los pagos de los jugadores en el juego regulatorio. En este escenario se obtiene  $\pi$  ( $U_L$ ) como ganancia. Con el fin de inducir a la empresa a cumplir con la norma de seguridad,  $u_+$ , el regulador puede aplicar incentivos económicos, tales como multas y sanciones no monetarias.  $F_{EA}$  es la multa prevista por el regulador,  $F_{EP}$  es la multa prevista que el regulador puede aplicar si el control posterior revela una infracción de seguridad, " $\alpha t$ " es igual al valor esperado del costo de oportunidad que la empresa enfrenta si sus instalaciones están cerradas por períodos,  $t$ ,  $v$  es la pérdida privada esperada por la compañía si ocurre un accidente. El pago total que la empresa puede recibir al final del juego es igual a  $\pi - F_{EA} - F_{EP} - \alpha t - v$ , que es el beneficio neto de la empresa puede recibir después de la aplicación de las sanciones del regulador y la internalización de la pérdida privada de la empresa por el accidente.

El modelo descrito anteriormente muestra el conflicto de intereses inherente entre el regulador de la seguridad y de la compañía de petróleo y gas. Mientras que el regulador, en representación del Estado, quiere minimizar el coste social que se espera de los accidentes, la empresa quiere maximizar su beneficio neto esperado.

La teoría económica presentada permite la comprensión de la necesidad de contar con normas de seguridad para controlar el riesgo de accidentes en la industria del petróleo y el gas.

Los aspectos de este estudio aplicables a la tesis son:

- La sección 2, referida a la identificación de los riesgos en las actividades de petróleo y gas, y que también es aplicable a la industria minera.
- La sección 3, donde a través de una perspectiva teórica se define un modelo para hacer un análisis del nivel óptimo de seguridad teniendo en cuenta los costes y beneficios de las políticas de seguridad. Dicho análisis también es compatible con la actividad minera con la suposición de que es posible identificar perfectamente funciones del valor esperado de daños sociales ESD ( $u$ ) y el costo esperado de proporcionar seguridad, TSC ( $u$ ), donde  $u$  es el nivel de esfuerzo de seguridad ejercida por la industria minera

### **3.2.4. Midiendo la productividad en la Minería Chilena**

Valverde y Betancour (2013), abordan la productividad en la minería chilena desde una perspectiva teórica y medir cuantitativamente su evolución en el periodo 2003 - 2012.

El mayor aporte del estudio consiste en: entender que la caída de productividad en el sector extractivo está asociado al factor geológico, y establecer dos metodologías para incorporarlo de manera implícita en el cálculo de la Productividad Total de Factores (PTF):

1. Mediante la ley del mineral al corregir el valor agregado generado en la minería por este índice.
2. Mediante el consumo de energía, dada la relación directa entre ley del mineral, dureza de la roca, profundidad del yacimiento y la intensidad de uso de energía.

Con el modelo planteado se obtiene que entre un 26% y un 33% de la menor productividad que presenta la minería con respecto al año 2003, es producto del factor geológico medido como la ley del mineral.

Los aspectos de este estudio aplicables a la tesis son las metodologías, consideraciones y supuestos establecidos para determinar la productividad en la minería a través de la incorporación del factor geológico.

### **3.2.5. Productividad y seguridad en la minería del carbón: Evidencia de desastres y muertes<sup>4</sup>**

Gowrisankaran, He, Lutz, y Burgess (2014) elaboran un estudio para estimar una función conjunta entre la producción y la seguridad en la industria de la minería del carbón en USA. Para ello hacen uso de datos, registrados durante el periodo 2000 – 2011, que incluyen la producción, las horas-hombre trabajadas, el número de accidentes y las violaciones a la reglamentación en las minas de carbón. El proceso de la investigación se representa en la *Ilustración 3.3*.

El estudio plantea como aporte la formulación de un modelo neoclásico sencillo para formalizar la función de producción de carbón y la seguridad de las operaciones, y el efecto de los desastres. Consideran que el costo esperado de accidentes es una función monótonamente decreciente del nivel de seguridad elegido.

En este modelo la Seguridad y producción de mineral son sustitutos, lo que implica que a mejores resultados de seguridad los niveles de producción de mineral son inferiores. Por lo tanto, este modelo plantea la hipótesis de un equilibrio entre la productividad y el riesgo de accidente. También asumen que los desastres y muertes son eventos de baja probabilidad que reducen el precio relativo de la seguridad (o equivalentemente, aumentan el costo de futuros accidentes). Examinan si las minas reducen efectivamente las tasas de accidentes después de un desastre o una fatalidad, y si existe un costo asociado a la productividad.

En el modelo, la función de beneficios de la mina está influenciada por tres parámetros, dos de estos parámetros optan por maximizar las ganancias: insumos laborales  $X$  y el nivel de seguridad, en los que un valor más alto aumenta el uso de

---

<sup>4</sup> Traducción libre del artículo denominado "Productivity and Safety in Coal Mining: Evidence from Disasters and Fatalities" de Gowrisankaran, *et al* (2014)

los insumos de trabajo o se requiere una norma de seguridad más alto, respectivamente. Los beneficios son determinados por el nivel de producción proporcionada por estos dos parámetros. Los beneficios también se reducen por el costo esperado de accidentes en el futuro. El coste de los accidentes está influenciado por “s”, “α” es una medida de eventos de seguridad pasados y se puede interpretar como las últimas ocurrencias de accidentes dentro de la mina o un desastre en otra mina.

La función de utilidad esperada para una mina se puede expresar como:

$$E [\pi (x, s, \alpha)] = E [F (x, s) - C (s, \alpha)], \quad (1)$$

donde:

- F (x, y), función de producción de la mina, influyen en los beneficios como los salarios y el precio del carbón.
- El segundo término es C (s, α), el costo esperado de accidentes en el presente está influenciado por “s” (el nivel de seguridad) y “α” accidentes anteriores. C () es [0, ∞].

La hipótesis principal plantea que habrá una disminución en la producción y un aumento de la seguridad después de un accidente.

El modelo predice que un evento de fatalidad o de desastre dará lugar a una disminución de la productividad en la extracción de mineral y una disminución en la tasa de accidentes. Se pone a prueba esta hipótesis con una ecuación de estimación en donde cada observación individual mina-trimestre está representado por:

$$Y_{it} = \alpha_i + \sum_{p=1}^P \delta_p \text{shock}_{i,t-p} + \text{Covariates}_{it} \beta + u_{it}$$

En los resultados se evalúan cambios en el comportamiento de la mina después de los desastres en el mismo estado y a nivel nacional. Los autores encontraron que las minas dentro de un estado que experimentan un desastre muestran algunos signos

de aumento de la productividad, pero las minas a nivel nacional disminuyen su productividad después de un desastre.

ILUSTRACION 3.3: Proceso de la Investigación – Minería de Carbón USA



Fuente: Gowrisankaran, He, Lutz, Burgess (2014).  
Elaboración propia.

En general, hay una literatura empírica relativamente limitada sobre la relación entre la seguridad y la productividad. En este trabajo se estudia cuantitativamente el efecto de los desastres y muertes en la actividad de la mina y se ha usado los datos de producción y de la productividad, que son escasamente disponibles.

El aporte de los autores se resume esquemáticamente en la *Ilustración 3.4*.

Los aspectos de este estudio aplicables a la tesis son: la modelación y estimación de índices de accidentabilidad y de productividad; el tratamiento (agrupamiento y análisis estadístico) y análisis de resultados.

ILUSTRACION 3.4: Modelamiento y Estimación – Minería de Carbón USA



Fuente: Gowrisankaran, He, Lutz, Burgess (2014)  
Elaboración propia

### 3.3. Comparación entre estudios importantes recientes

CUADRO 3.2: Comparación de estudios importantes recientes

CRITERIOS DE COMPARACIÓN	<p><u>“Índices de accidentabilidad en construcción de Proyectos EPCM”</u> <b><u>Arancibia (2012)</u></b></p>	<p><u>“Evaluando el riesgo y regulando los estándares de seguridad en la industria del petróleo y gas: La experiencia peruana”</u> <b><u>Vásquez, Salvador, García y Fernández (2013)</u></b></p>	<p><u>“Midiendo la Productividad en la Minería Chilena”</u> <b><u>Valverde y Betancour (2013)</u></b></p>	<p><u>“Productividad y Seguridad en la minería de carbón”</u> <b><u>Gowrisankaran, He, Lutz y Burgess (2014)</u></b></p>
<b>Data involucrada</b>	Datos de accidentabilidad y HH trabajadas por Contratistas en Proyectos EPCM para la minería (2007 – 2011).	La inversión en medidas de seguridad para cumplir con las normas es una actividad costosa para las empresas. El análisis costo-beneficio puede ser modelado teniendo en cuenta que el costo social que se espera de proporcionar seguridad (ESCS) es igual a la diferencia entre el valor esperado de daños sociales, ESD ( $u$ ), y el costo esperado de proporcionar seguridad, TSC ( $u$ ), donde $u$ es el nivel de esfuerzo de seguridad ejercida por la industria del petróleo y gas.	Para explicar las tasas de accidentabilidad y de fatalidad laboral y compararlas en los países de la OCDE, se consideran variables a nivel de los sistemas SSL (gasto total, gasto en prevención), a nivel de salud de la población (consumo de alcohol, tasa de suicidio), a nivel de fuerza laboral (porcentaje de sindicalización, participación femenina), entre otras (2000-2005).	Datos de accidentes, producción y HH trabajadas en todas las minas de carbón de EEUU (2000 -2012).
<b>Aplicabilidad</b>	El análisis es aplicable a todo tipo de actividades y/o procesos subsumidos.	El estudio es aplicable en las industrias del petróleo y gas, y minera global.	El análisis es aplicable a toda la industria en general y evalúa el impacto que tienen sobre la accidentabilidad las actividades de prevención que se realizan en las empresas.	El análisis es aplicable a la actividad minera en general.
<b>Procesamiento de data</b>	El proceso estadístico involucra análisis de varianza y regresiones.	Hace un análisis teórico para evaluar los riesgos y la regulación de las normas de seguridad en la industria de petróleo y gas.	En el proceso estadístico, se analizan los datos de gastos en prevención de los SSL, lo cual permite evaluar en forma integral el sistema chileno en	El proceso estadístico involucra análisis de varianza y regresiones.

			comparación con los países de la OCDE.	
<b>Índices analizados</b>	La información solo permite el análisis de Accidentabilidad.	La expresión matemática de la pérdida social esperada debido al mayor riesgo de un accidente, supone que es posible identificar perfectamente funciones ESD ( $u$ ) y TSC ( $u$ ) mencionadas anteriormente.	La información permite el análisis de la accidentabilidad y fatalidad laboral para los países de la OCDE.	La información permite un análisis adecuado de los Índices de Accidentabilidad relacionados a la productividad.
<b>Modelamiento</b>	No cuenta con una metodología para definir algún modelo.	Se formula un modelo para hacer un análisis del nivel óptimo de seguridad teniendo en cuenta los costes y beneficios de las políticas de seguridad.	Se estima un modelo econométrico que permite analizar los efectos que los esfuerzos de prevención tienen sobre la tasa de accidentabilidad a nivel de empresas.	Formula un modelo que interrelaciona la seguridad y productividad en función de la producción. Existe muy poca experiencia en el análisis y uso de este tipo de modelos. El modelo requiere ser validado en el entorno de la actividad minera actual.
<b>Resultados</b>	No es posible pronosticar los índices de accidentabilidad con tiempo perdido.	El modelo descrito muestra un conflicto de intereses entre el regulador de la seguridad representante del estado y la compañía de petróleo y gas. Mientras que el regulador quiere minimizar el coste social que se espera de los accidentes, la empresa quiere maximizar su beneficio neto esperado. La teoría económica presentada permite la comprensión de la necesidad de contar con normas de seguridad para controlar el riesgo de accidentes en la industria del petróleo y el gas.	El modelo econométrico obtenido permite: realizar comparaciones del desempeño del sistema de SSL entre los países de la OCDE; y realizar una predicción para Chile.	Permite hacer estimaciones del comportamiento de la seguridad y analizar el impacto de factores económicos en su evolución.

### 3.4. Modelo conceptual para el proyecto de investigación

Considerando que el objetivo central de la investigación propuesta es “*Evaluar el impacto de la accidentabilidad en la productividad de las minas peruanas*” el modelo conceptual tiene como propósito presentar las dimensiones de comparación de los proyectos mineros a fin de identificar posibles factores que afecten los índices de accidentabilidad.

### 3.5. Hipótesis de la investigación

- H.1. El incremento de los índices de accidentabilidad influye negativamente en la productividad de las minas.
- H.2. A mejores resultados de seguridad, los niveles de producción son inferiores.

### 3.6. Definición de las variables

Para orientar el análisis estadístico de las características de los proyectos mineros y su asociación con los índices de accidentabilidad, se empleará el siguiente modelo conceptual que comprende las siguientes variables:

CUADRO 3.3: Variables del modelo conceptual

VARIABLE DEPENDIENTE	DATOS
<i>Productividad laboral</i>	1.Producción (TM/año de mineral). 2.Horas-Hombre trabajadas (HH/año).

VARIABLE INDEPENDIENTE	DATOS
<i>Índice de Accidentabilidad</i>	1.Horas-Hombre trabajadas (HH/año).
<i>Eficiencia de uso de activos fijos</i>	2.Número de accidentes leves (MTI).
<i>Proporción de trabajadores de terceros</i>	3.Número de accidentes incapacitantes o con tiempo perdido (LTI).
<i>Producción diaria</i>	4.Número de accidentes fatales. 5.Valor de los activos fijos por empresa (MM\$). 6.Número de trabajadores en planilla de la empresa. 7.Número de trabajadores de terceros (Empresas Contratistas). 8.Producción anual por empresa (TMD/año)
VARIABLE DUMMY	DATOS
<i>Método de explotación</i>	1: Minas que aplican métodos subterráneos. 0: Minas que aplican métodos superficiales.

### **3.6.1. Definición de índices de accidentabilidad OSHA**

The Occupational Safety and Health Act o Ley OSH se promulgo en USA el año 1970 y dio lugar a la creación de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) que establece y hace cumplir las normas de protección y prevención de riesgos de seguridad y salud en el trabajo.

#### *LESION CON NECESIDAD DE PRIMEROS AUXILIOS (First Aid Injury – FAI)*

Lesión de gravedad menor que requiere tratamiento de primeros auxilios.

#### *LESION CON NECESIDAD DE TRATAMIENTO MEDICO (Medical Treatment Injury – MTI)*

Lesión de trabajo que requiere de un tratamiento más especializado.

#### *LESION CON TIEMPO PERDIDO (Lost Time Injury – LTI)*

Lesión con pérdida de tiempo por más de un día o una discapacidad permanente. Incluye las fatalidades.

#### *TOTAL DE LESIONES DE TRABAJO (Total Work Injuries – TWI)*

Suma de todas las lesiones: FAI, MTI, LTI y fatalidades.

#### *DIAS DE TRABAJO PERDIDOS (Lost Time - LT):*

Total de días laborales perdidos debido a una LTI.

#### *ÍNDICE DE FRECUENCIA DE LESIONES (Injury Frequency Ratio – FAIFR – MTIFR – LTIFR – TWIFR):*

Es el número de lesiones, según corresponda, por las horas laborales trabajadas, por cada millón de horas de trabajo:

$$FAIFR = \frac{FAI \times 1,000,000}{HH},$$

$$MTIFR = \frac{MTI \times 1,000,000}{HH},$$

$$LTIFR = \frac{LTI \times 1,000,000}{HH},$$

$$TWIFR = \frac{TWI \times 1,000,000}{HH}.$$

#### *TASA DE SEVERIDAD (TS)*

Días perdidos multiplicada por cada millón de horas hombre y dividida por el total de horas-hombre trabajadas.

$$TS = \frac{LT \times 1,000,000}{HH}.$$

#### *INDICE DE SEVERIDAD (IS)*

Total de días perdidos por lesiones incapacitantes, LT, divididos por la cantidad total de lesiones de trabajo (TWI).

$$IS = \frac{LT}{TWI}$$

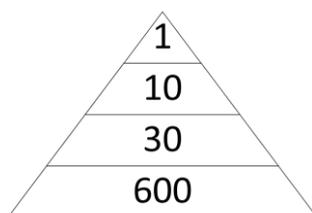
#### *ÍNDICE CONSOLIDADO DE ACCIDENTABILIDAD (ICA)*

Es un índice que se construye transformando los accidentes leves (MTI), e incapacitantes (LTI), en su equivalente en accidentes fatales. El ICA por lo tanto pretende cuantificar todos los accidentes de la empresa, expresándoles en una unidad común, que corresponde a los accidentes fatales. Para expresar los accidentes leves e incapacitantes en términos de accidentes fatales se usa la evidencia empírica.

$$ICA = \frac{MTI}{FAL} + \frac{LTI}{FAI} + AF$$

La Pirámide de Bird o teoría de la pirámide de accidentalidad, es la representación gráfica de la proporcionalidad que existe entre los incidentes (eventos que no generan pérdida) y los accidentes con daños a la salud del trabajador. Los niveles de la pirámide muestran que para eliminar los accidentes más graves se debe prevenir los accidentes leves, la pirámide contiene los siguientes niveles:

- 1 accidentes fatales, que puede ser mortal o incapacidad permanente
- 10 accidentes graves con pérdida de tiempo, con o sin daño material
- 30 accidentes leves con daños materiales, con o sin lesión
- 600 casos de riesgo en donde no se produjo lesión ni daño



Para una aplicación a nuestro caso de estudio, los factores de proporcionalidad FAL y FAI se han estimado para el periodo 2010 – 2014 considerando todos los accidentes leves, incapacitantes y fatales ocurridos en las unidades mineras metálicas del estrato de Régimen General, según data proporcionada por OSINERGMIN

En el Cuadro 3.4 se presenta la estimación de los factores para el cálculo del Índice Consolidado de Accidentabilidad y poder evaluar el desempeño de las unidades mineras en operación.

*CUADRO 3.4: Calculo de factores para el Índice Consolidado de Accidentabilidad*

<b>AÑO</b>	<b>ACC. LEVES</b>	<b>ACC. INCAP</b>	<b>ACC.FATALES</b>
2010	5,226	1,155	45
2011	6,572	1,154	45
2012	4,414	1,198	47
2013	9,127	1,059	40
2014	3,611	1,052	23
<b>TOTAL</b>	<b>28,950</b>	<b>5,618</b>	<b>200</b>
<b>FACTOR</b>	<b>145</b>	<b>28</b>	<b>1</b>

Fuente: OSINERGMIN  
Elaboración propia

## **Capítulo 4: Diseño de la Investigación**

### **4.1. Alcance de la investigación**

El propósito del presente trabajo de investigación es analizar el efecto de las variables, índice de accidentabilidad, ICA; eficiencia de uso de activos fijos o productividad de los activos, AFTMD; proporción de trabajadores de terceros TERC; toneladas métricas de mineral producidas, TMD sobre la productividad, PR, de las empresas mineras durante el periodo 2010-2014.

La unidad de análisis está conformada por 15 compañías mineras nacionales representativas cuyos valores listados se cotizan en la Bolsa de Valores de Lima:

1. Castrovirreyna Compañía Minera S.A.
2. Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.
3. Compañía Minera Atacocha S.A.A.
4. Compañía Minera Milpo S.A.A.
5. Compañía Minera Poderosa S.A.
6. Compañía Minera Raura S.A.
7. Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A.A.
8. Compañía Minera Santa Luisa S.A.
9. MINSUR S.A.
10. Shougang Hierro Perú S.A.A.
11. Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.
12. Sociedad Minera Corona S.A.
13. Sociedad Minera El Brocal S.A.A.
14. Southern Perú Copper Corporation-Sucursal del Perú.
15. Volcán Compañía Minera S.A.A.

### **4.2. Método de recolección de datos**

Para analizar el impacto de los determinantes sobre la variable endógena, PR, en el periodo de referencia, se estimó bajo el modelo de datos de panel mediante el uso del software estadístico de aplicación económica,

Econometrics E-views para el análisis de los datos en series de tiempo e información de corte transversal.

Según Baronio-Vianco (2014), el principal objetivo de aplicar y estudiar los datos en panel es capturar la heterogeneidad no observable, ya sea entre agentes económicos o de estudio, así como también en el horizonte temporal, dado que esta heterogeneidad no se puede detectar con estudios de series temporales ni con los trabajos de corte transversal. Mediante un modelo econométrico de datos de panel se incluye una muestra de interés para un período determinado de tiempo; es decir, combina ambos tipos de datos en su dimensión temporal y estructural para analizar información disponible según las variables de estudio.

Esta técnica permite realizar un análisis dinámico al incorporar la dimensión temporal de los datos, lo que enriquece el estudio, particularmente en períodos de grandes cambios. La aplicación de esta metodología permite analizar dos aspectos de suma importancia cuando se trabaja con este tipo de información y que forman parte de la heterogeneidad no observable: i) los efectos individuales específicos; y, ii) los efectos temporales.

De los efectos individuales específicos son aquellos que afectan de manera desigual a cada uno de los agentes de estudio contenidos en la muestra (individuos, empresas, bancos) los cuales son invariables en el tiempo y que afectan de manera directa las decisiones que tomen dichas unidades. Usualmente se identifica este tipo de efectos con cuestiones de capacidad empresarial, eficiencia operativa, capitalización de la experiencia, acceso a la tecnología.

La característica esencial de un panel de datos es su dimensión temporal, dado que sus formas con observaciones sobre una gran variedad de minas tomados en distintos momentos en el tiempo, en el presente estudio en años. No obstante, el hecho diferenciador del panel del presente estudio es que habitualmente las observaciones provienen de las mismas minas en diferentes momentos del tiempo. Es decir, que los datos de panel permiten eliminar el

sesgo de variable omitida, cuando éstas son constantes en el tiempo en un estado dado.

Dado el modelo siguiente:

$$y_{it} = \alpha + \beta X_{it} + U_{it} ,$$

donde:

$U_{it}$ : Terminio de error

$\mu_i$  : Efectos no observables, difieren entre las unidades de estudio, pero no en el tiempo

$\nu_t$  : Efectos no cuantificables que varían en el tiempo, pero no entre las unidades de estudio

$\omega_{it}$ : Terminio de error netamente aleatorio

Si:

$$U_{it} = \mu_i + \nu_t + \omega_{it} \quad \text{dado: } \nu_t = 0 .$$

Entonces, las variantes de los componentes de errores:

- i. Supone en  $\mu_i$ , un efecto fijo para cada unidad de corte transversal. En este caso, la heterogeneidad no observable se incorpora a la constante del modelo.
- ii. Supone tratar  $\mu_i$ , como una variable aleatoria no observable que varía entre individuos, pero no en el tiempo.

Para Gujarati y Porter (2010), una alternativa al modelo de regresión de efectos fijos es el modelo de componentes del error o del modelo de efectos aleatorios. Una ventaja de este último consiste en la economía de los grados de libertad, en vista de que no se tiene que calcular N interceptos de corte transversal.

Si 
$$U_{it} = \mu_i + \omega_{it} .$$

Bajo los supuestos de:

$$\mu_i \sim N\langle 0, \sigma_\mu^2 \rangle,$$

$$\omega_{it} \sim N\langle 0, \sigma_\omega^2 \rangle,$$

$$E\langle \mu_i \omega_{it} \rangle = 0; E\langle \mu_i \mu_j \rangle = 0; \langle i \neq j \rangle$$

$$E\langle \omega_{it} \omega_{is} \rangle = E\langle \omega_{it} \omega_{ij} \rangle = 0; \langle i \neq j; t \neq s \rangle.$$

Es decir, los componentes del error individuales no están correlacionados entre sí y no están auto correlacionados en las unidades de series de tiempo ni en las de corte transversal. También es muy importante observar que  $\omega_{it}$  no está correlacionado con ninguna variable explicativa del modelo. Como  $\varepsilon_i$  es un componente de  $\omega_{it}$ , es posible que el segundo esté correlacionado con las variables explicativas. Si en efecto es así, el modelo de componentes de error producirá una estimación inconsistente de los coeficientes de regresión. La prueba de Hausman indica si  $\omega_{it}$  está correlacionado con las variables explicativas.

### 4.3. Modelo de datos

Según Montero (2011), los modelos de datos de panel combinan datos de corte transversal y un periodo de tiempo. Mediante esta combinación es posible realizar un seguimiento por cada individuo al disponer de mayor información en datos; sin embargo, si todas las cualidades relevantes del individuo no son observables entonces los errores individuales estarán correlacionados con las observaciones y los mínimos cuadrados ordinarios serán inconsistentes pues estarán sesgados. La solución es la utilización de un modelo de datos de panel mediante el anidamiento de los datos: el de efectos fijos y el de efectos aleatorios.

#### 4.3.1. Modelo de efectos fijos:

Dado el modelo base:

$$y_{it} = X_{it} + \varepsilon_{it}; \quad \text{Si: } \text{Cov}\langle X_{it}, \varepsilon_{it} \rangle \neq 0.$$

El modelo de efectos fijos implica menos supuestos sobre el comportamiento de los residuos. Entonces, el modelo a estimar es:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta X_{it} + \mu_{it}.$$

Si:

$$\alpha_i = \alpha + v_i$$

Entonces:

$$y_{it} = \alpha + \beta X_{it} + v_i + \mu_{it}$$

Es decir, supone que el error  $\varepsilon_{it}$ , puede descomponerse en dos elementos, una parte fija, constante para cada individuo ( $v_i$ ) y, otra aleatoria que cumple los requisitos del método estadístico de los mínimos cuadrados ordinarios,

$$\text{MCO, } \mu_{it}, \varepsilon_{it} = v_i + \mu_{it}$$

lo que es equivalente a obtener una tendencia general por regresión dando a cada individuo un punto de origen, ordenada, distinto.

#### 4.3.2. Modelo de efectos aleatorios

Dado el modelo:

$$y_{it} = \alpha + \beta X_{it} + v_i + \mu_{it}$$

$v_i$  Es una variable aleatoria:  $\bar{X} = v_i, \text{Var} \langle v_i \neq 0 \rangle$

La especificación es similar al modelo de efectos fijos de estimaciones más consistentes; sin embargo, el modelo de efectos aleatorios es más eficiente dado que la varianza estimada es menor.

Dado que los modelos de datos de panel permiten capturar la heterogeneidad no observable mediante un componente fijo o aleatorio, es necesario identificar cuál componente es relevante para efectos de la investigación propuesta; por tanto, se aplica el test de Hausman, mediante el cual es posible determinar que

estimador es conveniente para el modelo, este test utiliza el  $\chi^2$ , estadístico chi-cuadrado, que según Montero (2005), determina si las diferencias son sistemáticas y significativas entre dos estimaciones. El test evalúa la consistencia para efectos del presente trabajo del 5% de significancia.

El test de consistencia plantea como hipótesis nula,  $H_0$  e hipótesis alternativa,  $H_1$ :

$H_0$ : Estimadores de efectos fijos = estimadores de efectos aleatorios

$H_1$ : Estimadores de efectos fijos  $\neq$  estimadores de efectos aleatorios

La regla de decisión establece que si la probabilidad asociada al estadístico chi-cuadrado es mayor al nivel de significancia se acepta la hipótesis nula,  $H_0$ ; es decir, no hay diferencia sistemática entre efectos fijos y efectos aleatorios, y por tanto es preferible estimar el modelo mediante efectos aleatorios. Ahora, si la probabilidad asociada al estadístico chi-cuadrado es menor al nivel de significancia se rechaza  $H_0$ ; y, por tanto, es preferible estimar el modelo de efectos fijos.

#### **4.3.3. Definición de las variables del modelo**

Según la especificación teórica para una función de productividad es preciso utilizar variables explicativas que representen los factores de escala y los factores de accidentabilidad.

Dado que el objetivo del presente trabajo es estimar la relación entre la productividad y la accidentabilidad para un conjunto de empresas mineras en el Perú en el periodo referencial 2010-2014, se han considerado las siguientes variables explicativas: ICA, AFTMD, TERC, TMD y una variable dummy METEXP. La definición y denominación de las variables se muestran en el Cuadro 4.1.

Cabe indicar que luego de evaluar los indicadores de seguridad disponibles (días perdidos, índice de frecuencia, índice de severidad e índice de accidentabilidad) se optó por estimar y usar ICA debido a que permitía obtener mejores resultados.

## EFICIENCIA DE USO DE ACTIVOS FIJOS PARA UNA PRODUCCION DIARIA: AFTMD

Para este modelo, la variable de escala utilizada como proxy para cuantificar la eficiencia en el uso de los activos es AFTMD. En el presente estudio es igual al valor de los activos fijos, expresado en unidades monetarias, dividido por la producción diaria para cada unidad de análisis, según las estadísticas de la Bolsa de Valores de Lima y, de OSINERGMIN

$$AFTMD = \frac{ACTIVOS\ FIJOS\ (MM\$)}{TMD}$$

La variable AFTMD se puede interpretar como una variable que pretende medir “la productividad de los activos fijos”. Si AFTMD aumenta, la productividad es menor y viceversa.

Por tanto, un aumento en el nivel de inversión en las empresas mineras para producir una misma tonelada de mineral por día, es decir, un aumento de la variable AFTMD, generaría una disminución de la productividad.

*CUADRO 4.1: Definición de las variables de estudio:*

<b>Variable</b>	<b>Concepto</b>	<b>Medición</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Fuente</b>
<b>Variable Endógena</b>				
Productividad	Capacidad de producir por unidad de trabajo para cada empresa minera.	Producción metálica TM/año respecto al número de horas hombre trabajadas por año.	<b>PR</b>	OSINERGMIN
<b>Variables Exógenas</b>				
Índice Consolidado de accidentabilidad	Índice que sirve para clasificar a las empresas mineras según sus accidentes laborales.	Medición que transforma todos los accidentes leves MTI e incapacitantes LTI en adición equivalente a accidentes fatales. Se estima en 145 accidentes leves y 28 accidentes incapacitantes por cada accidente fatal respectivamente.	<b>ICA</b>	OSINERGMIN
Trabajadores de terceros		Proporción de trabajadores que pertenecen a Empresa Contratistas.	<b>TERC</b>	OSINERGMIN
Producción diaria	Capacidad de producción o tratamiento diario de mineral.	Toneladas métricas tratadas por día	<b>TMD</b>	OSINERGMIN
<b>Variables de Control</b>				
Eficiencia de uso de los Activos físicos	Repartición de recursos privados definida como el valor monetario de las existencias de capital físico de dominio en una producción segura.	Valor nominal de los activos físicos, en millones de dólares, por cada tonelada métrica de capacidad de producción diaria.	<b>AFTMD</b>	Bolsa de Valores de Lima, BVL
<b>Variable Dummy</b>				
Método de Explotación	Estrategia global que permite la excavación y extracción de un cuerpo mineralizado del modo técnico y económico más eficiente.	1 = Subterráneo 0 = Superficial	<b>METEXP</b>	OSINERGMIN

Fuente:

Base de datos estadísticos del proyecto de tesis

Elaboración propia.

#### 4.3.4. Forma general del modelo

Al agrupar las observaciones de series de tiempo y los datos transversales, la ecuación o modelo de la productividad de las empresas mineras en el periodo 2010-2014 está expresado en logaritmos, según el soporte teórico de los modelos de datos de panel y según los objetivos e hipótesis de la presente investigación. El modelo se especifica como:

$$Ly_{it} = \alpha + \beta_1 LX_{1it} + \beta_2 LX_{2it} + \beta_3 LX_{3it} + \beta_4 LX_{4it} + \beta_5 D_{5it} + \mu_{it}$$

Para cada  $\alpha_n$  le corresponde un  $X_n$ , donde  $n=1, 2, 3, 4$ .

Por tanto:

$$\log\langle PR_{it} \rangle = \alpha_0 + \beta_1 \log\langle ICA_{it} \rangle + \beta_2 \log\langle AFTMD_{it} \rangle + \beta_3 \log\langle TERC_{it} \rangle + \beta_4 \log\langle TMD_{it} \rangle \\ + \beta_5 \langle METEXP_{5it} \rangle + \mu_{it}$$

$$LPR_{it} = \alpha_0 + \beta_1 LICA_{it} + \beta_2 LAFTMD_{it} + \beta_3 LTERC_{it} + \beta_4 LTMD_{it} + \beta_5 METEXP_{it} \\ + \mu_{it}$$

donde L=LOG; expresa para cada variable, en logaritmos

Y: Productividad, PR

$X_1$ : Índice Consolidado de Accidentabilidad, ICA

$X_2$ : Productividad de los activos fijos, AFTMD

$X_3$ : Trabajadores de terceros, TERC

$X_4$ : Producción diaria, TMD

$D_5$ : Método de Explotación, METEXP: 1= Subterráneo, 0 = Superficial.

$\forall_i = 1, 2, 3, \dots, 15$ ; donde cada sub - i, representa la i-ésima unidad transversal, es cada identificador transversal en términos de cada empresa minera.

$i = 1$ : Castrovirreyña Compañía Minera S.A.

$i = 2$ : Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.

$i = 3$ : Compañía Minera Atacocha S.A.A.

$i = 4$ : Compañía Minera Milpo S.A.A.

$i = 5$ : Compañía Minera Poderosa S.A.

$i = 6$ : Compañía Minera Raura S.A.

$i = 7$ : Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A.A.

$i = 8$ : Compañía Minera Santa Luisa S.A.

$i = 9$ : MINSUR S.A.

$i = 10$ : Shougang Hierro Perú S.A.A.

$i = 11$ : Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.

$i = 12$ : Sociedad Minera Corona S.A.

$i = 13$ : Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

$i = 14$ : Southern Perú Copper Corporation-Sucursal Del Perú.

$i = 15$ : Volcán Compañía Minera S.A.A.

$\forall_t = 1, 2, 3, 4, 5$ ; donde cada sub -  $t$ , representa el tiempo del periodo del estudio,  $j$ , denota la serie de tiempo del periodo,  $T$ , 2010-2014:

$t = 1$ : 2010  $t = 2$ : 2011  $t = 3$ : 2012  $t = 4$ : 2013  $t = 5$ : 2014

Por tanto, el presente estudio tiene como máximo quince unidades transversales en un periodo de cinco años. El resultado de la muestra "n", es:

$$n = (i) (t) = (15) (5) = 75$$

El panel de datos tiene 75 observaciones. Dado que cada empresa minera de la muestra presenta cinco observaciones para cada año, durante el periodo 2010 - 2014; entonces, el análisis se realizará bajo la definición de un panel balanceado.

## Capítulo 5: Análisis de resultados

### 5.1. Análisis descriptivo

Para tener una visión diferenciada de los resultados, se compara el desempeño de las empresas de la muestra según el tipo de minería. El primer grupo de cinco empresas mineras de tipo cielo abierto o superficial conformado por:

- MINSUR S.A.<sup>5</sup>
- Shougang Hierro Perú S.A.A.
- Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.
- Sociedad Minera El Brocal S.A.A.<sup>6</sup>
- Southern Peru Copper Corporation - Sucursal del Perú.

El segundo grupo de diez empresas mineras de tipo subterránea integrado por:

- Castrovirreyna Compañía Minera S.A.
- Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.
- Compañía Minera Atacocha S.A.A.
- Compañía Minera Milpo S.A.A.
- Compañía Minera Poderosa S.A.
- Compañía Minera Raura S.A.
- Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A.A.
- Compañía Minera Santa Luisa S.A.
- Sociedad Minera Corona S.A.
- Volcán Compañía Minera S.A.A.

En el Gráfico 5.1 se presenta el promedio y la desviación estándar de las empresas según tipo de minería durante el periodo 2010-2014. Con respecto a la media se observa lo siguiente:

- La productividad en las empresas que explotan a cielo abierto o superficial es de 2.12 TM/Hr-Hb, y en las empresas con un tipo de minería subterránea es de 0.26 TM/Hr-Hb. Esto evidencia que en las

---

<sup>5</sup> A partir del 2013 inicia las operaciones de la mina superficial Pucamarca.

<sup>6</sup> La producción proviene de la mina superficial Tajo Norte (83%) y de la mina subterránea Marcapunta Norte (17%)

minas superficiales la productividad promedio es ocho veces mayor que en las minas subterráneas.

- El índice consolidado de accidentabilidad en las empresas con tipo de minería subterránea es de 3.58, lo cual representa 1.5 veces los accidentes en las minas a cielo abierto, que es de 2.38.
- Las empresas de tipo superficial son las que tienen menor inversión de activos fijos por TMD producida (0.063 MM\$/TMD) en comparación a las subterráneas (0.089 MM\$/TMD). Lo que implica que la productividad de los activos fijos/capital es menor en las subterráneas en comparación con las superficiales.

Con respecto a la desviación estándar o variabilidad, esta es más alta o el grado de heterogeneidad es mayor en las minas superficiales, por lo que las minas subterráneas presentan una mayor homogeneidad en sus variables analizadas.

- En cuanto a la productividad, las minas subterráneas presentan una desviación estándar de 0.17 y las minas superficiales de 1.90.
- En términos de la inversión, la desviación estándar es de 0.09 en las empresas con minería tipo subterráneas y de 0.11 en las empresas mineras superficiales<sup>7</sup>.

## 5.2. Análisis correlacional

El análisis de correlación mide el grado de relación entre dos variables, aplicadas a las variables del estudio: PR, ICA, AFTMD, TERC, TMD.

En el Cuadro 5.1, se presentan los coeficientes de correlación de las variables en niveles; se aprecia que hay una relación directa entre las variables TMD y PR; así también, se observa una relación inversa de las variables de análisis, ICA, AFTMD, TERC, METEXP, con la variable PR.

Además, del análisis correlacional, la matriz muestra que el índice ICA y el TERC se relacionan negativamente con la productividad y sus correlaciones son significativas<sup>8</sup>; respecto a la variable AFTMD, presenta una asociación

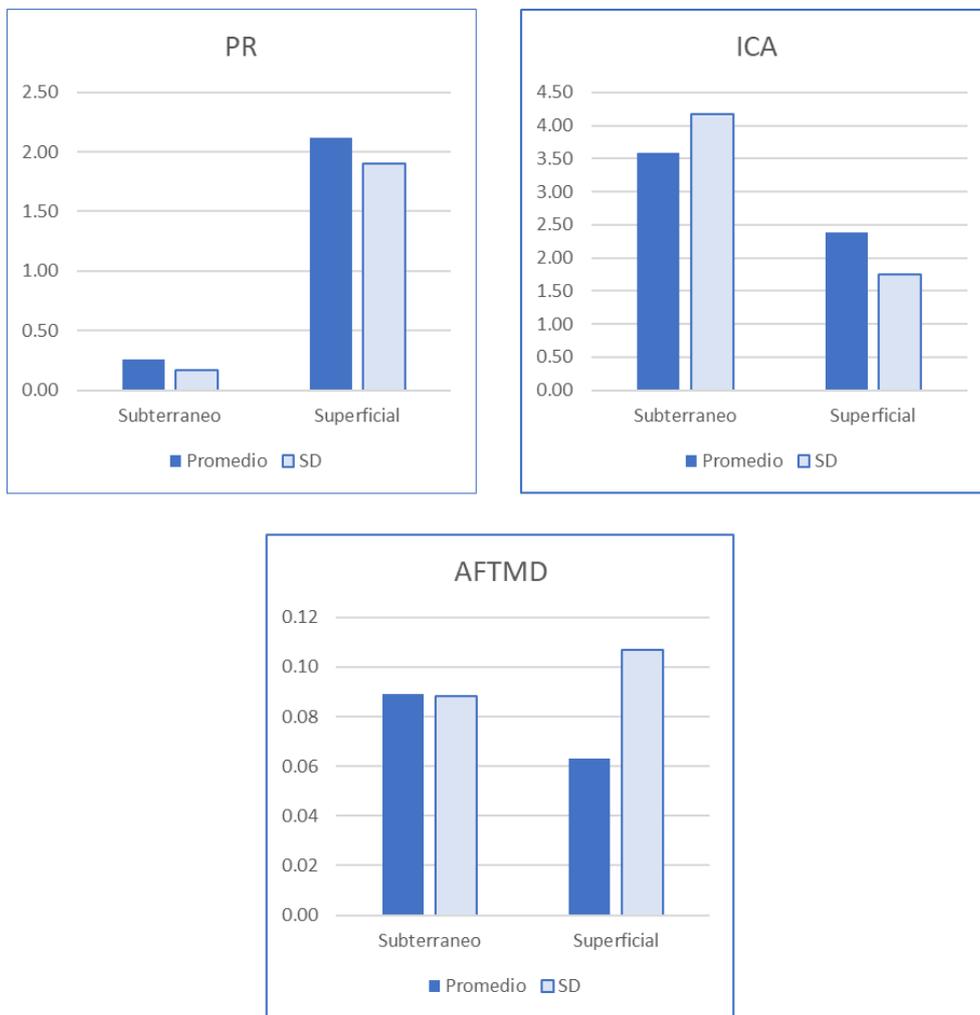
---

<sup>7</sup> Ver Anexo IV: Estadísticas descriptivas, tipo de minería subterránea  
Ver Anexo V: Estadísticas descriptivas, tipo de minería: cielo abierto o superficial

<sup>8</sup> Correlaciones estadísticamente significativas, al 5%

negativa significativa<sup>9</sup> con la productividad lo que refuerza el análisis del Gráfico 5.1.

**GRAFICO 5.1: Promedio y variabilidad de la Productividad (PR), Índice Consolidado de Accidentabilidad (ICA), Eficiencia de uso de Activos (ACTMD) de las Empresas según tipo de Minería - Del 2010 al 2014**



Fuente: Base de datos estadísticos del proyecto de tesis.  
Elaboración propia.

<sup>9</sup> Correlación con un nivel de significancia al 10%, aproximadamente

CUADRO 5.1: Matriz de correlación Variables en niveles

VARIABLES	PR	ICA	AFTMD	TERC	TMD	METEXP
PR	1.00000					
Prob.	-----					
ICA	-0.08559	1.00000				
Prob.	0.46530	-----				
AFTMD	-0.36935	0.25602	1.00000			
Prob.	0.00111	0.02662	-----			
TERC	-0.22945	0.18745	0.03778	1.00000		
Prob.	0.04768	0.10732	0.74761	-----		
TMD	0.93366	0.00281	-0.32347	-0.15273	1.00000	
Prob.	0.00000	0.98090	0.00464	0.19082	-----	
METEXP	-0.74210	0.09535	0.38172	0.18386	-0.71881	1.00000
	0.00000	0.41579	0.00073	0.11433	0.00000	-----

Fuente: Base de datos estadísticos del proyecto de tesis  
Elaboración propia

### 5.3. Resultados del modelo de datos de panel

Para estudiar los efectos de las variables ICA, AFTMD, TERC, TMD y la variable dicotómica METEXP sobre la productividad el estudio analiza el siguiente modelo:

$$\log(PR_{it}) = \alpha_0 + \beta_1 \log(ICA_{it}) + \beta_2 \log(AFTMD_{it}) + \beta_3 \log(TERC_{it}) + \beta_4 \log(TMD_{it}) + \beta_5 (METEXP_{it})$$

$$\equiv LPR_{it} = \alpha_0 + \beta_1 LICA_{it} + \beta_2 LAFTMD_{it} + \beta_3 LTERC_{it} + \beta_4 LTMD_{it} + \beta_5 METEXP_{it}$$

El modelo planteado está expresado en logaritmos con la finalidad de estimar los cambios porcentuales en la productividad ante las variaciones porcentuales en las variables exógenas, mencionadas anteriormente.

El indicador de productividad es fuertemente influenciado por el método de explotación que se aplica y la capacidad de producción de la mina, mientras que los indicadores de seguridad afectan el indicador, pero en una proporción menor de acuerdo a los hallazgos.

DE LOS PARAMETROS:

$\beta_0$ : Intercepto del modelo

$\beta_i$ : Son los parámetros que reflejan el impacto de las variables explicativas sobre la variable endógena: la productividad. Es decir, representa la variación porcentual de la productividad ante una variación porcentual, de forma independiente, de cualquiera de las variables exógenas, *ceteris paribus*; es

decir, manteniendo las demás variables independientes constantes. Los cambios porcentuales se refieren a las variables ICA, AFTMD, TERC, TMD, sobre la variable PR.

## TEST DE HAUSMAN

Para la elección entre el estimador de efectos fijos y el estimador de efectos aleatorios, dada la posible presencia de correlación entre los regresores y los componentes no observables, se realizó el Test de Hausman, y así probar la existencia de diferencias sistemáticas entre los estimadores.

Dependiendo del tipo de relación que exista entre las variables explicativas con la heterogeneidad no observable ( $\mu_i$ ), es que los modelos de datos de panel se estiman utilizando, o bien el estimador de efectos fijos, o el estimador de efectos aleatorios.

El contraste de Hausman es de aplicación directa al caso de los modelos de datos de panel. La condición que determina si el estimador a utilizar es de efectos fijos o efectos aleatorios es:

$$H_0 = E\langle LPR_{it}, LX_{it}, \mu_i \rangle$$

donde  $X_{it}$ , son los regresores del modelo planteado.

El test de Hausman presenta como hipótesis nula que no existe diferencia entre el modelo estimado mediante efectos fijos y efectos aleatorios; mientras que, la hipótesis alternativa indica que hay diferencia entre ambos modelos. Según el test de Hausman la inferencia de una probabilidad inferior al nivel de significancia del 5 %; indica que, se rechaza la hipótesis nula.

La selección del modelo fue estimando previamente la especificación propuesta mediante efectos fijos y de efectos aleatorios para capturar la heterogeneidad no observable del modelo.<sup>10</sup>

La dummy en este modelo se elimina por el efecto del método de diferencias que se utiliza en el estimador.

---

<sup>10</sup> Ver Anexo II, Test de Hausman, Test de efectos aleatorios y de efectos fijos.

## 5.4. Forma matemática del modelo

En una primera estimación del modelo se consideró solo las variables LICA, LAFTMD, LTERC y METEXP, los resultados no reflejaban una significancia estadística importante según lo mostrado en el Anexo III. Finalmente, se incorporó la variable independiente TMD, con lo cual se mejoró la significancia estadística del modelo. Los parámetros estimados se muestran en el Cuadro 5.2<sup>11</sup>:

CUADRO 5.2: Parámetros del modelo elegido

$\beta_1$	LICA	-0.194
$\beta_2$	LAFTMD	-0.314
$\beta_3$	LTERC	-0.633
$\beta_4$	LTMD	0.515
$\beta_5$	METEXPS	-0.239

Fuente: Base de datos estadísticos del proyecto de tesis  
Elaboración propia

RESULTADO DEL MODELO:

$$LPR = -6.493 - 0.194LICA - 0.314LAFTMD - 0.633LTERC + 0.515LTMD - 0.239METEXP$$

En el modelo resalta que los parámetros estimados pueden ser interpretados como el cambio porcentual de la productividad ante variaciones del 1% en las variables exógenas.

$\beta_1$ : Parámetro que refleja el impacto que genera el índice consolidado de accidentabilidad respecto a la productividad de las empresas mineras analizadas.

$$\beta_1 = \frac{\partial(LPR_{it})}{\partial(LICA_{it})} < 0$$

$$\uparrow (LICA_{it}) \rightarrow (LPR_{it}) \downarrow$$

Según los resultados mostrados en el Cuadro 5.2, se observa que  $\beta_1 = -0.194$ , refuerza el vínculo teórico relacionado al efecto de LICA sobre la productividad, por tanto, ante un incremento de una unidad porcentual en el

<sup>11</sup> Ver Anexo III; Primera aproximación del modelo. Ver Anexo IV, modelo estimado.

índice de accidentabilidad ICA impacta negativamente en la productividad en 0.19%

$\beta_2$  : Es el parámetro asociado a la variable productividad de capital, medida en logaritmos.

$$\beta_2 = \frac{\partial(LPR_{it})}{\partial(LAFTMD_{it})} < 0$$

$$\uparrow (LAFTMD_{it}) \rightarrow (LPR_{it}) \downarrow$$

La relación inversa implica que una mayor inversión en activos fijos para una determinada producción diaria implica que se requeriría usar más activos para producir una misma cantidad, lo cual implicaría a su vez que la productividad de los activos fijos es menor, y esa menor productividad a su vez tendría un impacto negativo sobre PR. En la ecuación estimada se observa que  $\beta_2 = -0.314$ . Este resultado corrobora las estimaciones que se muestran en el Gráfico 5.1, y también el análisis correlacional, que se reporta en el Cuadro 5.1, es decir, que a mayor inversión por tonelada producida menor será productividad y mejorará el índice ICA. Por lo tanto, con los resultados obtenidos se podría argumentar que, si los activos utilizados por tonelada aumentan 1%, es decir, la productividad de los activos fijos disminuye 1%, la productividad de la mano de obra será afectada negativamente en 0.31%.

$\beta_3$  : Parámetro asociado a la variable independiente que cuantifica el grado de tercerización de la fuerza laboral de la empresa (número de trabajadores de terceros, como porcentaje del total). En la ecuación obtenida se observa que  $\beta_3 = -0.633$ , lo cual implica que a mayor tercerización menor productividad, y que un incremento de 1% en el ratio de tercerización afectaría negativamente la productividad en 0.63.

$$\frac{\partial(LPR_{it})}{\partial(LTERC_{it})} < 0$$

$$\uparrow (LTERC_{it}) \rightarrow (LPR_{it}) \downarrow$$

$\beta_4$  y  $\beta_5$ : El indicador de productividad está fuertemente influenciado por la capacidad de tratamiento diario de mineral (medido con TMD) y por el método de explotación (METEXP). En la ecuación estimada se observa que  $\beta_4 = 0.515$ ,  $\beta_5 = -0.239$ .

$$\frac{\partial(LPR_{it})}{\partial(LTMD_{it})} > 0$$

$$\uparrow (LTMD_{it}) \rightarrow (LPR_{it}) \uparrow$$

Respecto a la significancia estadística de los parámetros estimados, los resultados muestran que las variables independientes ICA, AFTMD, TERC, TMD son estadísticamente significativas con un nivel de confianza superior al 95%, es decir, existe una probabilidad menor del 5% que los parámetros obtenidos para esas variables sea cero. Es decir, tienen un alto poder explicativo, son relevantes, y aportan información para explicar a la productividad de las empresas mineras. La variable independiente METEXP, tiene un nivel de significancia estadística algo menor, del orden del 90%, y por lo tanto existe una probabilidad algo mayor, del orden del 10%, que el parámetro de METEXP sea cero. No obstante, dicho nivel de significancia estadística es aceptable, con lo cual se puede concluir que la productividad de la mano de obra es mayor en las operaciones mineras superficiales que en las subterráneas.

## Capítulo 6: Conclusiones

1. La minería peruana ha sido muy dinámica en los últimos años y ha generado ingresos records por concepto de exportaciones y aportes al fisco. Sin embargo, al mismo tiempo se han producido cambios muy importantes en la productividad que no han sido destacados ni examinados
2. Debido a que la información sobre costos mineros no es fácilmente accesible, los estudios sobre productividad minera no son muy frecuentes. El Ministerio de Energía y Minas no publica estadísticas al respecto, y la información publicada permite hacer un cálculo simple de la productividad de la mano de obra.
3. El tratamiento estadístico de los accidentes en el sector minero constituye una técnica general analítica de gran rendimiento en seguridad al permitir el control sobre el número de accidentes a lo largo de distintos periodos de tiempo, lo cual posibilita conocer la situación sobre el grado de accidentabilidad del sector.
4. La seguridad está integrada en cada una de las fases de los procesos productivos con el objetivo de lograr las condiciones necesarias para la máxima eficacia en la Gestión de Riesgos Laborales. Hay una preocupación constante del Estado por la protección de la integridad física de los trabajadores, del patrimonio de las empresas titulares y de las empresas contratistas, y además del cuidado del medio ambiente. Recientemente fue aprobado el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en minería mediante el D.S. N° 024-2016-EM.
5. La medición del desempeño en seguridad laboral durante los proyectos puede mejorarse complementando el sistema de reportes de índices de accidentabilidad con indicadores de desempeño positivo (IDP). Estos IDP deben estar enfocados a la medición de factores o sucesos que indiquen un progreso o logros en materia de seguridad, en vez de medir retrocesos como lo hacen los índices de accidentabilidad.
6. El modelo planteado es una primera aproximación al problema de cuantificar el impacto de la accidentabilidad en la productividad de las minas

peruanas. Esta información obtenida permitirá a los Gerentes mejorar el control de las actividades operativas y mejorar la gestión de seguridad para reducir la probabilidad de accidentes. Así mismo permitirá, a las autoridades sectoriales y fiscalizadoras (MEM, OSINERGMIN y SUNAFIL), evaluar los resultados de la gestión de Seguridad y Salud Ocupacional en la Gran y Medina Minería a nivel nacional.

7. En relación al modelo, se comprueba el nexo que existe entre la seguridad y la productividad: empresas mineras que exhiben mejores indicadores de seguridad son más productivas. Adicionalmente, los resultados obtenidos permiten concluir que la tercerización de la mano de obra tiene un impacto negativo sobre la productividad. Asimismo, la ecuación estimada sugiere que las operaciones mineras superficiales exhiben una mayor productividad, así como que el tamaño de la operación (economías de escala) influye positivamente sobre la productividad de las empresas. Por último, la productividad del capital (activos fijos) también influye favorablemente sobre la productividad de la mano de obra.

## Capítulo 7: Recomendaciones

1. La inversión en medidas de seguridad para cumplir con las normas es una actividad costosa para las empresas mineras, por lo que es necesario hacer un análisis para determinar el nivel óptimo de seguridad teniendo en cuenta los costes y beneficios de las políticas de seguridad.
2. Extender el análisis incorporando variables de contaminación ambiental dado que estas variables están ligadas a la productividad.
3. Extender el análisis incluyendo a otras unidades de análisis, como las compañías mineras formales, de menor capacidad instalada.
4. Los resultados del estudio proporcionan información para adecuar la investigación; por ejemplo, de empresas productoras de un mismo mineral, por zonas geográficas específicas.
5. Ampliar la muestra para realizar estudios con empresas mineras de un solo tipo de actividad de cielo abierto o de tipo subterráneo, para ello incrementar el número de empresas para realizar análisis inferencial sin restricción en los grados de libertad.
6. Es importante que la cultura de seguridad y salud ocupacional sea internalizada por las empresas en todos los niveles, comprometiéndose desde los altos ejecutivos hasta los obreros, tarea importante a ser cumplida por los comités de seguridad.
7. La baja en la productividad a raíz de la disminución de leyes y al uso de procesos productivos más costosos es un factor común a la minera mundial. Estos aspectos aún no han sido evaluados en la minería peruana, por lo que se recomienda realizar un estudio complementario para analizar el impacto de estos factores en la productividad de las minas.
8. El MEM debe exigir a todas las Empresas Mineras, que adicionalmente a los índices de seguridad reportados vía extranet, también incluyan mensualmente la inversión realizada en seguridad.

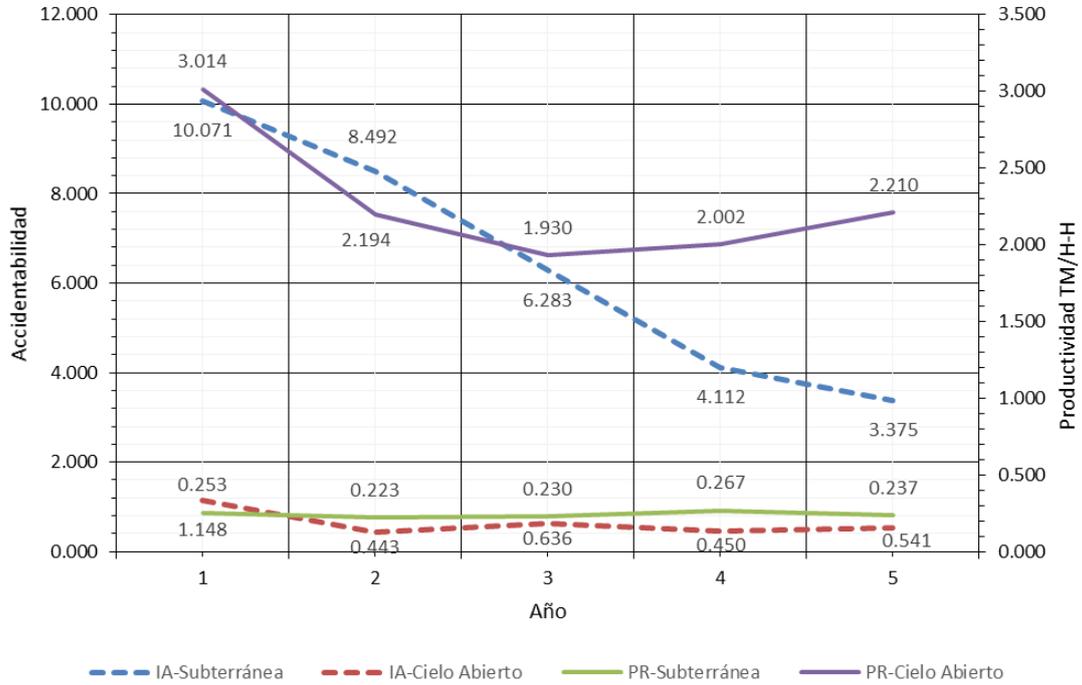
## Referencias Bibliográficas

- Arancibia F. S. (2012). *Análisis de Índices de Accidentabilidad en la Construcción de Proyectos EPCM para la Minería*. Santiago de Chile : Universidad de Chile - Facultad de Ciencias y Matemáticas.
- Baronio, A. y Vianco, A. (2014). *Datos de panel. Guía para el uso de Eviews*. Departamento de Matemática y Estadística. Córdoba : Universidad Nacional de Río Cuarto, Facultad de Ciencias Económicas. Recuperado de <http://www.econometricos.com.ar/wp-content/uploads/2012/11/datos-de-panel.pdf>
- Brahm F., Singer M., Valenzuela L y Ramírez C. (2011). *Comparación Internacional de sistemas de Salud y Seguridad Laboral*. Santiago de Chile : OIT-Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Gowrisankaran G., He C., Lutz E., Burgess J. (November 2014) *Productivity and Safety in Coal Mining: Evidence from Disasters and Fatalities* (pp. 1-26). Arizona-USA : University of Arizona.
- Gujarati, Damodar & Dawn Porter (2010). *Econometría* ( 5a ed.). México D.F. : McGraw-Hill Interamericana.
- Montero, R. (2005). *Test de Hausman*. Documentos de Trabajo en Economía Aplicada. Universidad de Granada, España. Recuperado de <http://www.ugr.es/~montero/matematicas/hausman.pdf>
- Universidad de Granada. (2011). *Efectos fijos o aleatorios: test de especificación*, Documentos de Trabajo en Economía Aplicada. Granada, España. Recuperado de <http://www.ugr.es/~montero/matematicas/especificacion.pdf>
- Valverde J., Betancour M. (2013). *Midiendo la Productividad en la Minería Chilena*. Santiago de Chile : Comisión Chilena del Cobre-Dirección de Estudios.
- Vasquez A., Salvador J., Garcia R. y Fernandez V. (February 2013). *Assessing risks and regulating safety standards in the oil and gas industry: The Peruvian experience*. Working Paper N°30. Lima, Perú : Office of Economy Analysis-OSINERGMIN.

## ANEXO I

### PRODUCTIVIDAD Y ACCIDENTABILIDAD DE LAS MINAS PERUANAS

ACCIDENTABILIDAD y PRODUCTIVIDAD



ANEXO II

TEST DE HAUSMAN

Correlated Random Effects - Hausman Test  
Equation: Untitled  
Test period random effects

Test Summary	Chi-Sq. Statistic	Chi-Sq. d.f.	Prob.
Period random	1.133828	4	0.8889

Period random effects test comparisons:

Variable	Fixed	Random	Var(Diff.)	Prob.
LICA	-0.230668	-0.218827	0.000175	0.3711
LAFTMD	-0.296056	-0.306424	0.000195	0.4583
LTERC	-0.636869	-0.647052	0.000118	0.3483
LTMD	0.574420	0.567601	0.000070	0.4146

Period random effects test equation:  
Dependent Variable: LPR  
Method: Panel Least Squares  
Date: 07/19/17 Time: 17:23  
Sample: 2010 2014  
Periods included: 5  
Cross-sections included: 15  
Total panel (balanced) observations: 75

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-7.107576	0.194763	-36.49350	0.0000
LICA	-0.230668	0.043151	-5.345578	0.0000
LAFTMD	-0.296056	0.050253	-5.891308	0.0000
LTERC	-0.636869	0.100196	-6.356234	0.0000
LTMD	0.574420	0.031263	18.37389	0.0000

Effects Specification

Period fixed (dummy variables)

R-squared	0.944042	Mean dependent var	-1.015116
Adjusted R-squared	0.937259	S.D. dependent var	1.305755
S.E. of regression	0.327067	Akaike info criterion	0.714866
Sum squared resid	7.060228	Schwarz criterion	0.992965
Log likelihood	-17.80748	Hannan-Quinn criter.	0.825908
F-statistic	139.1814	Durbin-Watson stat	0.957781
Prob(F-statistic)	0.000000		

## TEST DE EFECTOS FIJOS

Redundant Fixed Effects Tests

Equation: Untitled

Test period fixed effects

Effects Test	Statistic	d.f.	Prob.
Period F	0.285135	(4,65)	0.8866
Period Chi-square	1.304597	4	0.8606

Period fixed effects test equation:

Dependent Variable: LPR

Method: Panel Least Squares

Date: 07/19/17 Time: 17:02

Sample: 2010 2014

Periods included: 5

Cross-sections included: 15

Total panel (balanced) observations: 75

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-6.493240	0.402214	-16.14376	0.0000
LICA	-0.194058	0.042337	-4.583610	0.0000
LAFTMD	-0.314137	0.046886	-6.700001	0.0000
LTERC	-0.633431	0.096628	-6.555348	0.0000
LTMD	0.515197	0.042610	12.09108	0.0000
METEXP	-0.238617	0.141634	-1.684747	0.0966

R-squared	0.945329	Mean dependent var	-1.015116
Adjusted R-squared	0.941368	S.D. dependent var	1.305755
S.E. of regression	0.316177	Akaike info criterion	0.611587
Sum squared resid	6.897771	Schwarz criterion	0.796986
Log likelihood	-16.93452	Hannan-Quinn criter.	0.685615
F-statistic	238.6208	Durbin-Watson stat	0.940750
Prob(F-statistic)	0.000000		

### ANEXO III

#### PRIMERA APROXIMACION DEL MODELO

Dependent Variable: LPR  
Method: Panel Least Squares  
Date: 07/20/17 Time: 11:33  
Sample: 2010 2014  
Periods included: 5  
Cross-sections included: 15  
Total panel (balanced) observations: 75

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-2.243431	0.342847	-6.543538	0.0000
LICA	0.090665	0.061690	1.469684	0.1461
LAFTMD	-0.620097	0.069207	-8.960076	0.0000
LTERC	-0.703915	0.169113	-4.162386	0.0001
METEXP	-1.488742	0.169722	-8.771626	0.0000
R-squared	0.829496	Mean dependent var		-1.015116
Adjusted R-squared	0.819752	S.D. dependent var		1.305755
S.E. of regression	0.554365	Akaike info criterion		1.722355
Sum squared resid	21.51248	Schwarz criterion		1.876855
Log likelihood	-59.58833	Hannan-Quinn criter.		1.784045
F-statistic	85.13664	Durbin-Watson stat		0.590427
Prob(F-statistic)	0.000000			

### ANEXO IV

#### MODELO ESTIMADO

Dependent Variable: LPR  
Method: Least Squares  
Date: 07/19/17 Time: 16:09  
Sample: 1 75  
Included observations: 75

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LICA	-0.194058	0.042337	-4.583610	0.0000
LAFTMD	-0.314137	0.046886	-6.700001	0.0000
LTERC	-0.633431	0.096628	-6.555348	0.0000
LTMD	0.515197	0.042610	12.09108	0.0000
METEXP	-0.238617	0.141634	-1.684747	0.0966
C	-6.493240	0.402214	-16.14376	0.0000
R-squared	0.945329	Mean dependent var		-1.015116
Adjusted R-squared	0.941368	S.D. dependent var		1.305755
S.E. of regression	0.316177	Akaike info criterion		0.611587
Sum squared resid	6.897771	Schwarz criterion		0.796986
Log likelihood	-16.93452	Hannan-Quinn criter.		0.685615
F-statistic	238.6208	Durbin-Watson stat		1.248397
Prob(F-statistic)	0.000000			

Estimation Command:

LS LPR C LICA LAFTMD LTERC LTMD METEXP

Estimation Equation:

$LPR = C(1) + C(2) * LICA + C(3) * LAFTMD + C(4) * LTERC + C(5) * LTMD + C(6) * METEXP$

Substituted Coefficients:

$LPR = -6.49324 - 0.19406 * LICA - 0.31414 * LAFTMD - 0.63343 * LTERC + 0.51520 * LTMD - 0.23862 * METEXP$

## ANEXO V

### PERU: EMPRESAS MINERAS ESTADISTICAS DESCRIPTIVAS. TIPO DE MINERIA SUBTERRANEA

	PR	ICA	AFTMD	TERC	TMD
Mean	0.255	3.584	0.089	0.685	4,764
Median	0.238	1.963	0.057	0.751	2,368
Maximum	0.719	23.206	0.339	0.966	20,888
Minimum	0.008	0.145	0.006	0.128	35
Std. Dev.	0.169	4.169	0.088	0.189	5,306
Skewness	0.942	2.597	1.361	-1.762	2
Kurtosis	3.496	11.454	3.889	5.389	5
Jarque-Bera	7.913	205.094	17.081	37.770	28.510
Probability	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	12.769	179.185	4.461	34.247	238,199
Sum Sq. Dev.	1.401	851.553	0.383	1.754	1,380,000,000
Observations	50	50	50	50	50

## ANEXO VI

### PERU: EMPRESAS MINERAS ESTADISTICAS DESCRIPTIVAS. TIPO DE MINERIA SUPERFICIAL

	PR	ICA	AFTMD	TERC	TMD
Mean	2.120	2.384	0.063	0.646	85,087
Median	1.380	2.128	0.022	0.695	38,646
Maximum	6.476	6.652	0.385	0.867	236,191
Minimum	0.087	0.199	0.005	0.336	2,581
Std. Dev.	1.900	1.756	0.107	0.160	86,469
Skewness	0.786	0.675	2.178	-0.519	1
Kurtosis	2.338	2.695	6.162	2.055	2
Jarque-Bera	3.034	1.994	30.181	2.052	3.254
Probability	0.219	0.369	0.000	0.358	0.197
Sum	52.995	59.596	1.580	16.162	2,127,182
Sum Sq. Dev.	86.660	73.983	0.274	0.617	1.79E+11
Observations	25	25	25	25	25

ANEXO VII

DATA ESTADISTICA DE LAS VARIABLES

EMPRESA	YEAR	PR	ICA	AFTMD	TERC	TMD	METEXP
Castrovirreyna Compañía Minera S. A	2010	0.0081	0.5207	0.3197	0.7631	35	1
	2011	0.0611	0.8438	0.0411	0.9655	350	1
	2012	0.1678	0.4161	0.0589	0.8087	686	1
	2013	0.1583	2.2152	0.0544	0.8653	770	1
	2014	0.2173	0.1451	0.0789	0.6543	710	1
Compañía de Minas Buenaventura S.A. A	2010	0.0906	13.8394	0.1194	0.7859	5,320	1
	2011	0.0843	23.2060	0.1419	0.8155	5,856	1
	2012	0.0778	6.1308	0.1947	0.7917	5,956	1
	2013	0.0708	9.6950	0.2979	0.7678	5,087	1
	2014	0.0829	8.4337	0.3392	0.7941	5,057	1
Compañía Minera Atacocha S.A. A	2010	0.4749	1.9017	0.0318	0.6583	4,393	1
	2011	0.4011	1.7949	0.0317	0.7034	4,402	1
	2012	0.3581	1.7030	0.0255	0.6954	4,159	1
	2013	0.4651	1.5308	0.0204	0.6380	4,230	1
	2014	0.5025	0.2125	0.0158	0.6885	4,402	1
Compañía Minera Milpo S.A. A	2010	0.6975	2.7853	0.0296	0.7336	12,155	1
	2011	0.5624	4.2726	0.0292	0.7924	13,804	1
	2012	0.4090	5.3183	0.0326	0.7646	15,748	1
	2013	0.7194	1.6780	0.0217	0.7684	20,888	1
	2014	0.6045	4.6690	0.0237	0.7753	18,426	1
Compañía Minera Poderosa S. A	2010	0.0639	5.5993	0.1903	0.7286	955	1
	2011	0.0622	4.8060	0.2000	0.6672	1,006	1
	2012	0.0610	6.3437	0.2240	0.7053	1,025	1
	2013	0.0580	8.6679	0.2521	0.7193	1,020	1
	2014	0.0589	3.8441	0.2622	0.6781	1,123	1
Compañía Minera Raura S. A	2010	0.4738	4.9825	0.0060	0.8213	5,034	1
	2011	0.1684	2.1738	0.0157	0.8085	2,013	1
	2012	0.1552	2.2205	0.0197	0.8214	2,033	1
	2013	0.1529	0.5335	0.0185	0.8459	2,072	1
	2014	0.1840	1.4267	0.0205	0.8408	2,028	1
Compañía Minera san Ignacio de Morococha S.A. A	2010	0.3010	1.7423	0.0986	0.1907	1,636	1
	2011	0.2740	1.7641	0.1093	0.1787	1,400	1
	2012	0.2689	0.7869	0.1005	0.2299	1,499	1
	2013	0.2127	0.3725	0.1092	0.2060	1,324	1
	2014	0.2308	0.5229	0.1425	0.1278	979	1
Compañía Minera Santa Luisa S. A	2010	0.3316	1.3916	0.0422	0.5540	1,651	1
	2011	0.1898	0.3629	0.0629	0.6179	1,091	1
	2012	0.2388	2.0244	0.0890	0.6083	1,643	1
	2013	0.2426	1.3629	0.0776	0.5097	1,510	1
	2014	0.2514	1.4628	0.0896	0.4985	1,407	1
MINSUR S. A	2010	0.2572	0.7699	0.2947	0.7142	2,783	1
	2011	0.1326	2.1276	0.3253	0.8049	2,620	1
	2012	0.0870	3.4120	0.3852	0.7332	2,581	1
	2013	0.7051	0.9140	0.0522	0.7234	16,979	0
	2014	0.9033	0.3783	0.0256	0.6946	19,959	0
SHOUGANG HIERRO PERU S.A. A	2010	1.2590	4.8322	0.0280	0.5500	34,112	0
	2011	1.3672	3.5246	0.0282	0.4555	37,826	0

	2012	1.5458	3.4214	0.0261	0.5236	38,646	0
	2013	1.4802	1.7658	0.0318	0.5860	41,851	0
	2014	1.3802	2.7344	0.0387	0.6140	43,905	0
Sociedad Minera Cerro Verde S.A. A	2010	6.4757	1.3497	0.0053	0.6375	208,591	0
	2011	5.2874	1.4645	0.0059	0.7736	207,787	0
	2012	4.7096	1.6334	0.0090	0.6813	205,122	0
	2013	4.6835	1.5713	0.0126	0.7456	224,839	0
	2014	2.0187	6.6516	0.0192	0.8482	236,191	0
Sociedad Minera Corona S. A	2010	0.2706	2.8162	0.0347	0.7588	2,393	1
	2011	0.2558	0.6674	0.0197	0.7448	2,343	1
	2012	0.2371	1.2093	0.0179	0.7396	2,427	1
	2013	0.2078	3.0590	0.0202	0.7605	2,453	1
	2014	0.2401	0.9532	0.0216	0.7581	2,591	1
Sociedad Minera El Brocal S.A. A	2010	0.3733	0.1987	0.0134	0.7547	5,973	1
	2011	0.7447	0.2242	0.0179	0.7795	9,711	0
	2012	0.8004	2.2550	0.0224	0.8271	10,792	0
	2013	0.4293	0.2827	0.0244	0.8672	9,745	0
	2014	0.2677	0.6653	0.1460	0.8025	4,220	1
Southern Peru Copper Corporation-Peru	2010	4.6630	3.4060	0.0124	0.3363	154,989	0
	2011	4.2391	3.4182	0.0126	0.3713	156,855	0
	2012	3.3590	5.2912	0.0135	0.3746	144,543	0
	2013	3.0007	2.3800	0.0143	0.4429	153,383	0
	2014	2.8249	4.9241	0.0155	0.5205	153,180	0
Volcan Compañía Minera S.A. A	2010	0.3364	4.1865	0.0161	0.7211	19,294	1
	2011	0.2643	8.4979	0.0173	0.8514	10,019	1
	2012	0.2342	10.3857	0.0652	0.7971	10,142	1
	2013	0.2699	2.3502	0.0963	0.7624	10,694	1
	2014	0.2596	1.3560	0.1136	0.7658	10,964	1

Fuente: OSINERGMIN - Bolsa de Valores de Lima  
Elaboración propia

PR: productividad  
ICA: Índice Consolidado de accidentabilidad  
AFTMD: Activos Fijos por TMD producida  
TERC: Proporción de trabajadores de terceros  
TMD: Toneladas métricas producidas por día  
METEXP: Método de explotación