



Dyna

ISSN: 0012-7353

[dyna@unalmed.edu.co](mailto:dyna@unalmed.edu.co)

Universidad Nacional de Colombia  
Colombia

Franco-Sepúlveda, Giovanni; Villa-Posada, Luz Viviana; Henao-Gómez, Cristian Camilo  
Projections in the national mining development plan (NMDP) using @risk  
Dyna, vol. 81, núm. 187, octubre, 2014, pp. 193-198  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Colombia

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49632363025>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's homepage in [redalyc.org](http://redalyc.org)

[redalyc.org](http://redalyc.org)

Scientific Information System  
Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal  
Non-profit academic project, developed under the open access initiative

# Projections in the national mining development plan (NMDP) using @risk

Giovanni Franco-Sepúlveda <sup>a</sup>, Luz Viviana Villa-Posada <sup>b</sup> & Cristian Camilo Henao-Gómez <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Planeamiento Minero, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. [gfranco@unal.edu.co](mailto:gfranco@unal.edu.co)

<sup>b</sup> Grupo de Planeamiento Minero, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. [lvilla@unal.edu.co](mailto:lvilla@unal.edu.co)

<sup>c</sup> Grupo de Planeamiento Minero, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. [cchenao@unal.edu.co](mailto:cchenao@unal.edu.co)

Received: December 3th, 2013. Received in revised form: June 27th, 2014. Accepted: August 13th, 2014.

## Abstract

The mining industry in Colombia has reached an important position in the international market and the national economy, so, in order to describe the dynamics of the mining market, analyze the structure of the industry and make a comparison with estimates mineral production released at the National Mining Development Plan (PNDM) Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), the @Risk tool is implemented. This tool and methodology defined in this article, allows for uncertainty and risk estimates in a simulation that generates a projection with a time horizon to 2019 the historical mining (extraction considering among years 1970 to 2013) of coal, gold and limestone, building alternative models that can be replicated by the mining institution in their respective futures PNDM and its updates.

**Keywords:** Economy; Deterministic; Stochastic; Model; Projection; Uncertainty; Risk.

## Proyecciones en el plan nacional de desarrollo minero (PNDM) utilizando @risk

### Resumen

La industria de la minería en Colombia ha alcanzado una importante posición en el mercado internacional y en la economía nacional; por esto, con el fin de describir la dinámica del mercado minero, analizar la estructura de la industria y hacer una comparación con las estimaciones de producción de minerales dadas a conocer en el Plan Nacional de Desarrollo Minero (PNDM) de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), se implementará la herramienta @Risk. Esta herramienta y la metodología que se define en el presente artículo, permite incluir la incertidumbre y el riesgo en las estimaciones, en una simulación que genera una proyección con un horizonte temporal al año 2019 de la extracción histórica (teniendo en cuenta la extracción entre los años 1970 al 2013) de carbón, oro y calizas, construyendo modelos alternativos que pueden replicarse por la institucionalidad minera en los futuros PNDM y en sus respectivas actualizaciones.

**Palabras clave:** Economía; Determinístico; Estocástico; Modelo; Proyección; Incertidumbre; Riesgo.

### 1. Introducción

La propuesta expuesta por el Plan Nacional de Desarrollo Minero como medio de planeamiento y orientación de la dirección, negocio e inversión gubernamental con relación a estrategias planteadas para el desarrollo del sector minero colombiano, refleja que el sector en el ámbito nacional, ha experimentado variaciones representativas en el crecimiento de la producción, en el interés por la exploración de yacimientos minerales y en la inversión para ellas.

En la última década, la industria de la minería en Colombia ha alcanzado una importante posición en el

mercado internacional y así mismo en la economía nacional; por esto, con el fin de describir la dinámica del mercado minero, analizar la estructura de la industria y hacer una comparación con las estimaciones de producción de minerales dadas a conocer en el PNDM de la UPME, se implementará la herramienta @Risk la cual permite incluir la incertidumbre presente en las estimaciones, en una simulación que permita generar una proyección al año 2019 de producción de carbón, oro y calizas construyendo modelos alternativos para aplicar a la industria minera colombiana y que puedan servir como insumo fundamental en la elaboración de los planes nacionales de desarrollo minero que se definirán en el futuro cercano.

### 1.1. Evolución de las metas de producción

Los elementos que determinan el futuro de la actividad minera, como estrategia para facilitar la vinculación al sector de empresas inversionistas en exploración y desarrollo en Colombia son:

- Capacidad de producción y reservas de las minas actualmente en operación.
- Grado de éxito que obtengan los proyectos que se encuentran en la fase exploratoria.
- Probabilidad de colocar mayor producción minera en el mercado internacional.
- Competitividad del país para atraer nuevas inversiones al sector [1,2].

Partiendo de que en el Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO) se conoce la capacidad de producción minera actual de todos los departamentos del país y en general se cuenta con estimativos basados en los registros de los volúmenes de material producido, no es posible tener un consolidado confiable debido al grado de informalidad que predomina en el país, produciendo estimados sin mayor comprobación técnica (hecho medianamente subsanable con la actual política de fiscalización minera); por eso a continuación se presentan modelos predictivos de la producción minera colombiana por año y las perspectivas del mercado para los minerales de mayor impacto en la economía nacional con relación a los resultados obtenidos en el PNDM establecido por la UPME.

### 2. Proyecciones en el PNDM utilizando modelos determinísticos

Durante el año 2006, la Unidad de Planeación Minero Energética proyectó, con base en la información disponible de entonces en publicaciones oficiales y en comunicados de prensa de las compañías mineras, el desempeño de los productos colombianos que aportan de manera significativa al PIB minero. Los resultados obtenidos forman parte del Plan Nacional de desarrollo minero al 2019 - PNDM2019 [3].

En la actualidad, si se realiza una revisión detallada de los PNDM de 2007 al 2010 y el de la visión a 2019 se puede evidenciar la falta de información y claridad en las proyecciones de algunos datos registrados en dichos documentos, solo en el texto de la visión a 2019 se realizan proyecciones de algunos de los minerales que son influyentes en el PIB nacional que deberían ofrecer mayor información agregada como las metodologías utilizadas para las proyecciones y una coherencia en los años proyectados, esto debido a que se evidencian las diferencias en algunos casos realizando proyecciones hasta el año 2010 y otras hasta el 2019.

En el negocio minero hay que tener en cuenta que los actores fundamentales del desarrollo minero son los inversionistas, los empresarios u operadores de proyectos, la comunidad y la autoridad minera [4], que en el momento de tomar decisiones respecto al mercado dentro de un sistema económico en algún país busquen información contundente y lo más aproximada a la realidad del negocio, no solo en los años anteriores de la inversión, sino también en los años

futuros, es por tal razón que las fuentes de información minera colombiana deben aportar datos que asemejen la realidad del mercado teniendo en cuenta que estamos en un mundo económicamente cambiante y que esta propenso a los riesgos e incertidumbres que se generan en el día a día de los mercados mundiales.

Para que se pueda decir que existe un riesgo, deben estar presentes tres elementos: primero, la posibilidad de que algo suceda (un evento); segundo, que dicho evento contenga cierta incertidumbre y finalmente la espera de un resultado por una inversión. En este sentido entenderemos por riesgo, a la probabilidad de una pérdida o de una menor ganancia a la esperada en una inversión. Pero también el riesgo se hace presente en los créditos y situaciones de negociación o financiación. No habrá que pensarse en el riesgo solamente en el campo de los inversionistas, sino también en toda operación financiera [5].

El riesgo y la incertidumbre es algo que se debe considerar desde una perspectiva macro (el gobierno) hasta una micro (empresario o empresa). El riesgo mismo, se considera la principal causa de desaparición o estancamiento de muchas empresas, ya que si estas no lo asumen tienden en un corto plazo a volverse obsoletas y perecer; por tal motivo deberían presentarse datos, gráficos e información más coherentes con el entorno económico y dinámico actual que le permitan a los inversionistas mineros tener más garantías en el momento de capitalizar el negocio dentro del territorio colombiano, que brinde la seguridad sobre la información para que en un caso de crisis, se tenga planeado desde el comienzo de los proyectos una medida de contingencia que permita a las compañías mantenerse en el medio en la escala de tiempo establecido para determinado propósito.

También se debe mencionar que los datos presentados en la visión del PNDM por la UPME sobre las proyecciones del negocio minero en general con índices como el PIB también son elaborados con métodos clásicos, como en el trabajo sobre “Estimación de la producción minera colombiana, basada en PIB minero latinoamericano”, realizada por el ingeniero Jairo Herrera Arango, se presenta una estimación del desempeño a mediano plazo del producto interno bruto -PIB- minero para los países que el Plan Nacional de Desarrollo Minero visión 2019, ha tomado como referencia y, a partir de allí, infiere el comportamiento que la industria colombiana debe asumir frente a estos escenarios con base en la producción de los productos más representativos de la oferta minera nacional (carbón, oro, níquel y materiales para la construcción) [3].

### 3. Metodología

Para el presente artículo la metodología implementada se basa en la recopilación de datos históricos de producción minera nacional desde el año 1970 al año 2012 para minerales tales como el carbón, el oro y las calizas. Con esta información y utilizando una herramienta en la industria mundial como lo es @Risk, se realiza análisis de riesgo utilizando la simulación para mostrar múltiples resultados posibles en un modelo de hoja de cálculo, y que indica qué probabilidad hay de que se produzcan. Esta herramienta

controla matemática y objetivamente un gran número de escenarios futuros posibles, y luego le indica las probabilidades y riesgos asociados con cada uno donde se podrá decidir qué riesgos se desea tomar y cuáles prefiere evitar, tomando la mejor decisión en situaciones de incertidumbre [8], para cada caso específico de estudio se proporciona un resultado y una breve explicación, además de los aportes de la implementación de este método con diversos fines en la industria minera de Colombia.

#### 4. Análisis y discusión

##### 4.1. Modelos estocásticos para las proyecciones con @Risk

Bajo las nuevas expectativas de producción y exportación resulta esencial actualizar las proyecciones de producción de la UPME, con base en los nuevos desarrollos asociados a la industria minera sin caer en falsas esperanzas de producción basadas en las aspiraciones sin fundamento técnico y económico que hoy mueven a muchos inversionistas [3]. Por esto proponemos una metodología para realizar las proyecciones o estimaciones de producción minera basada en los datos históricos de producción para tres minerales específicos como carbón, oro y calizas hasta el año 2019, utilizando el software de simulación @Risk teniendo en cuenta el riesgo y la incertidumbre que en las proyecciones del PNDM visión 2019 no fueron tenidas en cuenta.

El software utilizado para estas proyecciones es un complemento para Microsoft Excel, permite ver todos los resultados posibles de una situación, e indica la probabilidad de que ocurran, no con información perfecta, pero si con la información más completa posible, puede ver lo que podría suceder y la probabilidad de que suceda, además podrá juzgar los riesgos que existen y los que debe evitar; aunque ningún programa de software puede predecir el futuro [6], @RISK permite seleccionar la mejor estrategia basándose en la información disponible.

Cuando se utiliza se utiliza una herramienta como @Risk, básicamente se ingresan los datos de los históricos de producciones de carbón, oro y calizas, se pide que se muestre la media de estos datos, la proyección de los datos a la línea temporal deseada o de análisis, además de las probabilidades de cada tendencia mostradas como un rango con sus respectivos valores de ocurrencia.

##### 4.2. Metodología para ir de lo determinístico hacia lo estocástico

Para comenzar con la descripción del estudio realizado, daremos breve claridad sobre los dos conceptos básicos del tema estudiado, lo determinístico y lo estocástico, que son conceptos aunque no muy mencionados, son muy utilizados en la vida cotidiana para la toma de decisiones.

Se puede definir un modelo determinístico como aquel modelo matemático o modelo sistémico uno a uno en donde la cantidad de variables de entrada darán como resultado la misma cantidad de variables de salida, en donde no se tiene en cuenta el azar ni la incertidumbre. De otro lado, un

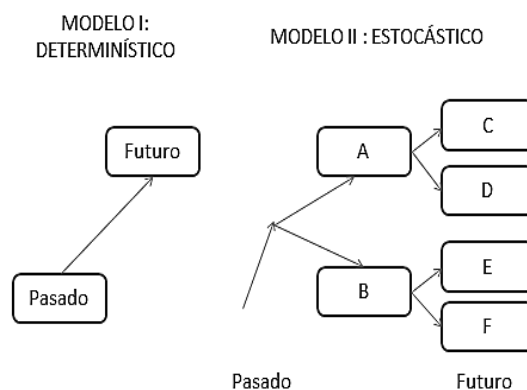


Figura 1. Modelo determinístico y estocástico, representación gráfica. Fuente: Modificado de Modelos estocásticos e incertidumbre [9]

Tabla 1. Históricos de producción de carbón, oro y calizas.

Año	Carbón Mt	Oro kOz-Tr	CalizasMt
1990	21.47	943	8.90
1991	20.03	1119	9.15
1992	21.90	1032	9.52
1993	21.71	883	10.61
1994	22.67	667	11.35
1995	25.74	679	11.60
1996	29.56	709	10.86
1997	32.74	604	11.21
1998	33.56	604	11.11
1999	32.75	1112	8.39
2000	38.24	1190	9.44
2001	43.91	701	9.07
2002	39.48	669	9.05
2003	50.03	1495	9.84
2004	53.89	1213	10.03
2005	59.68	1150	12.02
2006	66.19	504	11.99
2007	69.90	497	13.23
2008	73.50	1103	12.70
2009	72.81	1538	11.45
2010	74.35	1723	11.77
2011	85.80	1797	13.36
2012	89.20	2127	13.52
2013	85.50	2271	N.D.

Fuente: SIMCO

modelo es estocástico es aquel en el cual las variables de salida tienen en cuenta el azar y la incertidumbre apoyados en funciones de distribución de probabilidad. En el Fig. 1 se

puede observar las diferencias fundamentales entre modelo determinístico y estocástico.

Para el desarrollo de este artículo se utilizaron los valores históricos de producción o tasas de extracción entre los años 1990 y 2013 (para la caliza se utiliza la información disponible solamente hasta el año 2012) presentados en la Tabla 1, para el recurso energético carbón térmico y los minerales oro y calizas.

##### a. Modelo de extracción de carbón:

El análisis de la serie de tiempo que mejor se ajusta a los datos de extracción histórica de carbón es RiskMA1 ( $\mu$ ;  $\sigma$ ;

$b1$ ;  $\epsilon_0$ ) que genera un proceso de promedio móvil de primer orden (MA1) con una media  $\mu$ , parámetro de volatilidad  $\sigma$ , coeficiente de promedio móvil  $b1$ , y término de error inicial  $\epsilon_0$ . En el caso de estudio para el carbón se encontraron los siguientes valores:

Media  $\mu = 2783826$

Parámetro de volatilidad  $\sigma = 3615696$

Coeficiente de promedio móvil  $b1 = -0.33649$

Término de error inicial  $\epsilon_0 = -5380525$

Un proceso MA1 es un modelo común para series de tiempo porque es simple y normalmente proporciona un buen ajuste. Se caracteriza por una función de autocorrelación (ACF) que corta hasta 0 después de un retraso de 1 y una función de autocorrelación parcial (PACF) que se reduce geométricamente [6].

#### b. Modelo de extracción de oro:

El análisis de la serie de tiempo que mejor se ajusta a los datos de extracción histórica de oro es RiskBMMR ( $\mu$ ;  $\sigma$ ;  $\alpha$ ;  $Y_0$ ) genera un movimiento browniano con un proceso de reversión a la media con parámetro de media de término largo  $\mu$ , parámetro de volatilidad  $\sigma$ , parámetro de velocidad de reversión  $\alpha$ , y valor  $Y_0$  en tiempo 0. En el caso de estudio para el oro se hallaron los siguientes valores:

Media de término largo  $\mu = 49951$

Parámetro de volatilidad  $\sigma = 721551$

Parámetro de velocidad de reversión  $\alpha = 2.4524$

Valor en tiempo 0  $Y_0 = 17085601$

A diferencia del movimiento browniano estándar, un modelo con reversión a la media tiende a una media de equilibrio a largo plazo. Cuando la serie está sobre el nivel, tenderá a reducirse, y viceversa. El parámetro  $\alpha$  gobierna la velocidad de esta reversión, y un nivel mayor implica una reversión más rápida [6].

#### c. Modelo de extracción de caliza:

El análisis de la serie de tiempo que mejor se ajusta a los datos de extracción histórica de caliza es RiskMA1 ( $\mu$ ;  $\sigma$ ;  $b1$ ;  $\epsilon_0$ ) genera un movimiento browniano con un proceso de reversión a la media con parámetro de media de término largo  $\mu$ , parámetro de volatilidad  $\sigma$ , parámetro de velocidad de reversión  $\alpha$ , y valor  $Y_0$  en tiempo 0. En el caso de estudio para las calizas se encontraron los siguientes valores:

Media de término largo  $\mu = 0.0036696$

Parámetro de volatilidad  $\sigma = 0.12916$

Parámetro de velocidad de reversión

$\alpha = -0.25527$

Valor en tiempo 0  $Y_0 = 0.04109$

Teniendo en cuenta los tres modelos anteriores y a manera de resumen, se presentan a continuación en la Tabla 2 las proyecciones o rutas de muestra de los niveles de producción o extracción (para carbón, oro y calizas) en un horizonte temporal al año 2019 que se encontraron utilizando @Risk.

A manera de resumen, en las Tablas 3, 4 y 5 se pueden apreciar los valores comparativos de las proyecciones de extracción al año 2019 de carbón, oro y calizas realizadas en el Plan Nacional para el desarrollo minero vision al año

Tabla2.

Rutas de muestra al 2019 para las tasas de extracción de Carbón, Oro y Calizas en Colombia.

Año	Carbón (Mt)	Oro (oz-tr)	Calizas (Mt)
2013			15.4
2014	90.0	943698	15.7
2015	92.8	1119896	18.3
2016	95.6	1180715	19.0
2017	98.4	1231602	22.8
2018	101.2	1281633	24.3
2019	104.0	1331591	30.3
2020	106.8	1381543	33.5

Fuente: Cálculos propios

Tabla3.

Comparativo de proyecciones de extracción de carbón en Colombia al año 2019.

Carbón (Mt)	Pndm 2019	Proyecciones 2008	Giplamin 2013
2013	127.6	139.2	96.8
2014	129.4	141.3	105.9
2015	131.6	142.8	115.9
2016	134.0	143.3	126.9
2017	134.1	143.7	138.9
2018	134.1	144.1	152.1
2019	134.3	144.7	166.5

Fuente: Cálculos propios

Tabla 4.

Comparativo de proyecciones de extracción de oro en Colombia al año 2019.

Oro (t)	Pndm 2019	Proyecciones 2008	Giplamin 2013
2013	116.8	75.3	55.9
2014	130.4	104.7	55.9
2015	143.9	105.9	51.9
2016	159.9	107.2	48.6
2017	179.0	130.0	45.6
2018	202.3	104.5	43.3
2019	231.0	106.0	41.2

Fuente: Cálculos propios

Tabla5.

Comparativo de proyecciones de extracción de calizas en Colombia al año 2019.

Calizas (Mt)	Pndm 2019	Proyecciones 2008	Giplamin 2013
2013	N.D.	20.5	12.2
2014	N.D.	21.2	12.1
2015	N.D.	22.1	12.0
2016	N.D.	23.3	11.9
2017	N.D.	24.0	11.8
2018	N.D.	24.9	11.7
2019	N.D.	26.0	11.7

Fuente: Cálculos propios

2019 – PNDM 2019 [2], la Estimación de la Producción Minera Colombiana, basada en proyecciones del PIB minero latinoamericano – Proyecciones 2008[3] y GIPLAMIN 2013 (cálculos de los autores).

#### 5. Aportes de la implementación del método en la minería del país

Los métodos de análisis estocásticos que se han desarrollado en los últimos años en el país son de alguna

manera nulos, en la mayoría de estudios, metodologías, diseños etc. Se ha venido trabajando de la forma clásica o convencional que es la metodología de cálculos determinísticos donde no se tiene en cuenta el riesgo y la incertidumbre; un caso específico es el ya mencionado en los PNDM, que se realizaron para una visión general de la minería hasta el año 2019.

Se puede mencionar como aporte fundamental para los cálculos de proyecciones teniendo en cuenta el riesgo y la incertidumbre, el estar bien informados acerca de los riesgos financieros existentes que supondrá una mejora ante posibles situaciones adversas a las empresas, ya que se evitan situaciones que pueden disminuir la evolución, crecimiento y expansión de una compañía [5,7], logrando en la economía nacional una gran confianza inversionista a futuro basada en datos económicos veraces con los que se puede planificar un proyecto y la extracción o explotación de los recursos minerales de Colombia.

El conocimiento de términos económicos y financieros determinísticos que muchas veces se leen de manera complicada, permite al inversionista o empresario medio, identificar los riesgos básicos a los que están expuestos; con este análisis se lograría un cambio de visión de dichos empresarios y se pone en evidencia el problema de lograr un conocimiento completo sobre a qué tipo de riesgo se enfrenta cada empresa. El analista de riesgos, deberá considerar fundamentalmente, saber donde residen las mayores incertidumbres, así como identificar hasta qué punto los riesgos se pueden mitigar de manera diferente.

Es posible en futuros análisis para el Plan Nacional de Desarrollo Minero, tener en cuenta las proyecciones de extracción que se presentan en este artículo y en las cuales se pueden estudiar las posibles relaciones de los modelos propuestos con variables tales como el Producto Interno Bruto (PIB), la Inversión Extranjera Directa (IED), los precios de los metales en la London Metal Exchange (LME), el Dow Jones Industrial Average (DJIA), la balanza de pagos, los niveles de exploración geológica – minera en Colombia, el número de empleos generados en el sector minero, entre otras.

## 6. Conclusiones

Es indispensable una actualización continua de la información requerida para hacer un análisis del comportamiento de la industria minera colombiana, pues se encuentran discrepancias entre las entidades mineras con relación a la información de disponibilidad pública y de uso esencial en el análisis de inversiones mineras en el país.

Si Colombia desea convertirse en un país minero, que fundamente su crecimiento y desarrollo económico en la extracción de los recursos naturales no renovables, es necesario contar con Planes de Desarrollo Minero cuantitativos, es decir, con Planes de Desarrollo Minero que tengan como base para proponer las políticas públicas mineras: Modelos cuantitativos de planeación; Optimización; Modelos econométricos, Modelos estocásticos, Redes neuronales, Algoritmos genéticos, Riesgo, Incertidumbre, Corto y largo plazo, Precios, Software minero, entre otros.

Con el apoyo de @Risk y la metodología que se define en el presente artículo, se puede incluir la incertidumbre y el

riesgo en las estimaciones proyectadas con un horizonte temporal al año 2019 de la extracción histórica (teniendo en cuenta la extracción entre los años 1970 al 2013) de carbón, oro y calizas, lo que permite construir modelos alternativos que pueden replicarse por la institucionalidad minera en los futuros PNDM y en sus respectivas actualizaciones.

Se recomienda a la institucionalidad nacional (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Departamento Nacional de Planeación, entre otros) y a la autoridad minera (Ministerio de Minas y Energía, Agencia Nacional de Minería, Servicio Geológico Colombiano, entre otros), por lo menos realizar un trabajo de este tipo cada año, con el fin de tener en cuenta en los modelos los diferentes fenómenos macroeconómicos que se encuentran asociados con la extracción de los recursos minerales en Colombia.

## Agradecimientos

El grupo de Planeamiento Minero GIPLAMIN desarrolló este trabajo investigativo gracias al apoyo del patrimonio autónomo fondo nacional de financiamiento para la ciencia, la tecnología y la innovación, Francisco José de Caldas (Colciencias) y la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

## Referencias

- [1] Unidad De Planeación Minero Energética – UPME, Competitividad del sector minero Colombiano, Bogotá, UPME, 2002.
- [2] Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, Plan Nacional para el desarrollo minero vision al año 2019, Bogotá, UPME, 2006.
- [3] Herrera, J., Estimación de la producción minera colombiana, basada en proyecciones del PIB minero latinoamericano, Bogotá, Ministerio de Minas y Energía, 2008.
- [4] Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, Plan Nacional de desarrollo Minero 2007 – 2010, Bogotá, Scripto Ltda, 2007.
- [5] Salgado, J.P., Globalización, incertidumbre y riesgo, España, Intangible capital, 2005.
- [6] PALISADE, Palisade Latinoamerica. [Online], [fecha de consulta: 24 de abril de 2013], Available at: <http://www.palisade-lta.com/risk/>
- [7] Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, Plan Nacional de desarrollo minero al 2014, Sector minero de cara a la sociedad, Bogotá D.C., 2012.
- [8] PALISADE, 2014, @Risk, analisis de riesgo con simulacion montecarlo, [Online], [fecha de consulta: 25 de febrero de 2014], Available at: <http://www.palisade-lta.com/risk/>
- [9] Segura, J.L., Riesgo e incertidumbre, Material de apoyo, Maestria en gestión de proyectos, Universidad EAN, Bogota D.C., 2011

**G. Franco-Sepúlveda**, es graduado como Ing. de Minas y Metalurgia en 1998, MSc. en Ciencias Económicas en 2006 y candidato a Dr. en Ingeniería, todos de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Colombia. Actualmente Profesor Auxiliar en Dedicación Exclusiva adscrito al Departamento de Materiales y Minerales de la Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Colombia y Director del Grupo de Planeamiento Minero-GIPLAMIN, grupo C - Colciencias.  
ORCID: 0000-0003-4579-8389

**L.V. Villa-Posada**, es graduada como Ing. Geóloga en 2012, de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Colombia. Esp. en Sistemas de Información Geográfica en 2013, de la Universidad de San Buenaventura. Investigadora del Grupo de Planeamiento Minero-GIPLAMIN. Actualmente Ingeniera Geóloga de la Vicepresidencia de Seguimiento y Control en la Agencia Nacional de Minería.  
ORCID: 0000-0001-7565-4998

**C.C. Henao-Gómez**, es graduado como Ing. de Minas y Metalurgia en 2014, de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Colombia. Joven Investigador del Grupo de Planeamiento Minero-GIPLAMIN. Actualmente Ingeniero Planeador de Ingex Grupo Minero S.A.S.  
ORCID: 0000-0002-8517-4610