

# NPV analysis as a function of the discount rate and cost of re-handling implementing SIMSCHEd DBS to open pit mining

Carolina Navia-Vásquez, María Camila Monsalve-Hinestroza & Giovanni Franco-Sepúlveda

*Grupo de Planeamiento Minero, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. cnaviav@unal.edu.co, mcmonsalveh@unal.edu.co, gfranco@unal.edu.co*

Received: August 24<sup>th</sup>, 2016. Received in revised form: December 20<sup>th</sup>, 2016. Accepted: January 12<sup>th</sup>, 2017.

## Abstract

The function of all software is to model situations that look like reality, in order to find the most viable conditions for developing a mining project, since in these what is sought is to increase revenue and reduce costs by making better decisions. In this industry investors seek to obtain the highest income in exploiting underground resources, with the aim of achieving return on investment. In this article the discount rate and the cost of rehandling of a mineral deposit hypothetical gold and copper is evaluated using the SIMSCHEd DBS software. In turn a search for information, which can give clarity to the concepts with which you are working, is done. Based on the simulations performed with the two economic variables you can select the optimal net present value (NPV) for future flows.

*Keywords:* Rehandling cost; discount rate; NPV; Simsched DBS.

# Análisis del VPN en función de la tasa de descuento y el costo de remanejo implementando SIMSCHEd DBS para una explotación minera a cielo abierto

## Resumen

La función de todo software es modelar situaciones que se asemejan a la realidad, con el fin de encontrar las condiciones más viables para desarrollar un proyecto minero, lo cual implica incrementar ingresos y reducir costos mediante la toma de decisiones. En esta industria los inversionistas buscan obtener los ingresos más altos a la hora de explotar los recursos del subsuelo, con el objetivo de lograr el retorno a la inversión. En el presente artículo se evalúa la tasa de descuento y el costo de remanejo de un depósito mineral hipotético de oro y cobre, utilizando el software SIMSCHEd DBS. A su vez se hace una revisión bibliográfica la cual permite dar claridad a los conceptos utilizados. Con base a las simulaciones realizadas con las dos variables económicas se pretende seleccionar el valor presente neto (VPN) más óptimo para los flujos futuros.

*Palabras clave:* Costo de remanejo; tasa de descuento; VPN; Simsched DBS.

## 1. Introducción

Uno de los grandes problemas en la industria minera se encuentra en los costos de operación. En minería y en la mayoría de las industrias, los procesos de innovación están enfocados a la cadena de valor, es decir, a disminuir costos y afectaciones ambientales desde los procesos de perforación, operación y posteriormente en el cierre.

Si el consumo en estos costos de operación minera disminuye, los ingresos serían mayores y el VPN incrementaría. Los proyectos y los inversionistas mineros buscan rentabilidad y viabilidad económica obteniendo una ganancia por encima de la necesaria para mantener su actividad [1].

En el momento de elegir el valor de la tasa de descuento y el costo de remanejo en un proyecto, se debe realizar un análisis económico cuidadosamente ya que el principal

**How to cite:** Navia-Vásquez, C., Monsalve-Hinestroza, M.C. & Franco-Sepúlveda, F., Análisis del VPN en función de la tasa de descuento y el costo de remanejo implementando SIMSCHEd DBS para una explotación minera a cielo abierto. Boletín de Ciencias de la Tierra, (41), 81-86, 2017.

objetivo es maximizar el VPN del proyecto y su rentabilidad económica.

Los programas computacionales en minería han sido ficha clave cuando se pretende optimizar procesos y maximizar el VPN en un proyecto minero, estos programas de innovación tecnológica buscan disminuir riesgos e incertidumbres al tomar una decisión para el desarrollo de un proyecto.

Simsched DBS es un software minero creado en Brasil por un grupo de profesionales expertos en el área computacional y en el área de minería. Este programa cuenta con alta tecnología innovadora para determinar la programación directa de bloques, decidiendo cuáles bloques serán explotados, cuándo y cuál será el destino de cada uno de ellos, a partir de un modelo de bloques importado, donde el resultado final será una simulación en 3D [2].

Las variables que se importan a este programa son la densidad del mineral, las leyes de corte respectivas de cada mineral, ángulos de talud, recuperación del mineral y valores económicos tales como tasa de descuento y costo de remanaje que influyen significativamente dentro de un proyecto minero. Simsched DBS es un software que brinda numerosas facilidades al usuario, ya que, este es el que determina las restricciones del depósito y los valores que se pretenden simular.

Este artículo desarrolla un análisis sobre un depósito mineral hipotético de oro y cobre, identificando los cambios en el VPN de acuerdo con la variación de la tasa de descuento y el costo de remanaje, haciendo uso del programa Simsched. Por medio de las simulaciones se busca encontrar un valor para el VPN que sea viable y maximice la rentabilidad económica, a su vez indique que las decisiones tomadas sean acertadas y se acerquen a la realidad.

## 2. Metodología

En la elaboración del presente artículo se llevó a cabo un proceso lo cual tiene como primer paso la instalación de las licencias del software, seguido se ingresa la base de datos suministrada por la misma empresa encargada del programa, dicha base de datos llamada MARVIN, la cual contiene información de un depósito hipotético cobre – oro.

Al ingresar dicha base de datos el programa arroja valores mínimos y máximos de diferentes variables que se deben tener en cuenta para la simulación, como lo son las dimensiones del bloque (Ix, Iy, Iz), porcentaje de cobre, partes por millón de oro, densidad, valor económico del proceso y del botadero. En la Fig. 1 se muestra la información arrojada por el software después de hacer lectura de la base de datos.

Posterior al análisis de la información suministrada, se procede con el ingreso de los datos numéricos para el modelamiento del bloque, esta información en función al tamaño del depósito que se desea simular, en este caso se toman dimensiones de 15 m x 15 m x 10 m y se parte del origen, como se muestra en la Fig. 2.

	ix	iy	iz	cu_%	au_ppm	density	economic value process	economic value waste
Minimum	1	1	1	0.000	0.000	0.000	-317520.000	-66825.000
Maximum	61	60	17	1.464	1.417	2.750	1290000.000	-0.247

Figura 1. Información arrojada por el software después de hacer lectura de la base de datos.

Fuente: Elaboración propia en software Simsched DBS.

Variable	Unit
1 CU_%	%
2 AU_PPM	PPM

Figura 2. Consideraciones para el modelamiento del bloque.

Fuente: Elaboración propia en software Simsched DBS.

Al ingresar estos valores se puede tomar la decisión de ver el modelo o de continuar con la programación directa de bloques, eligiendo las diferentes vistas del modelo simulado en 3D, resultado que se observa en las Figs. 3, 4, 5 y 6.

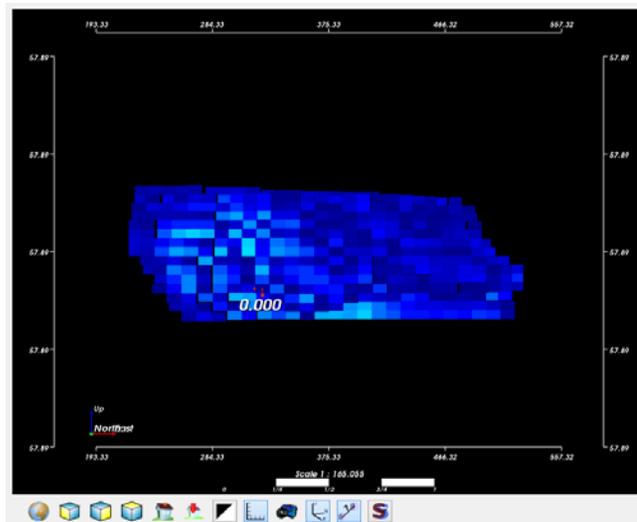


Figura 3. Vista lateral izquierda del modelo de bloques.

Fuente: Elaboración propia en software Simsched DBS.

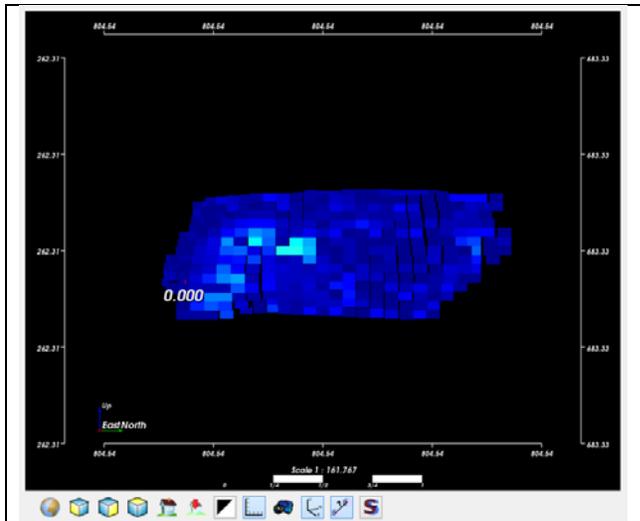


Figura 4. Vista lateral derecha del modelo de bloques.  
Fuente: Elaboración propia en software Simsched DBS.

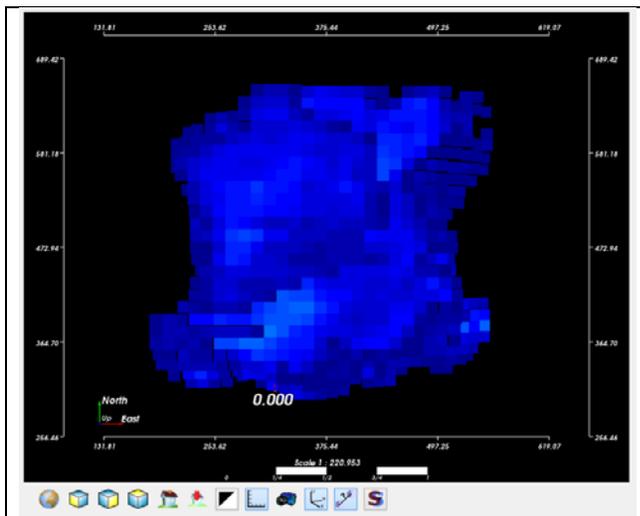


Figura 5. Vista superior del modelo de bloques.  
Fuente: Elaboración propia en software Simsched DBS.

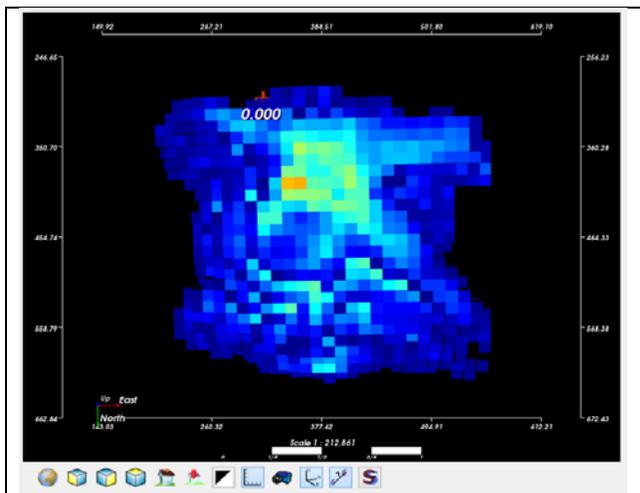


Figura 6. Vista lateral izquierda del modelo de bloques.  
Fuente: Elaboración propia en software Simsched DBS.

Tabla 1.  
Variables económicas y físicas de la mina.

Descripción	Valor	Unidad
Recuperación del Cu	70	%
Recuperación del Au	60	%
Densidad	2.7	t/ m <sup>3</sup>
Ángulo de talud	40	° Grados
Avance vertical	10	m
Fondo mínimo	50	m
Costos fijos	2.4	US\$/t
Tasa de descuento	10	%
Costo de remanejo	0.2	US\$/t

Fuente: Elaboración propia.

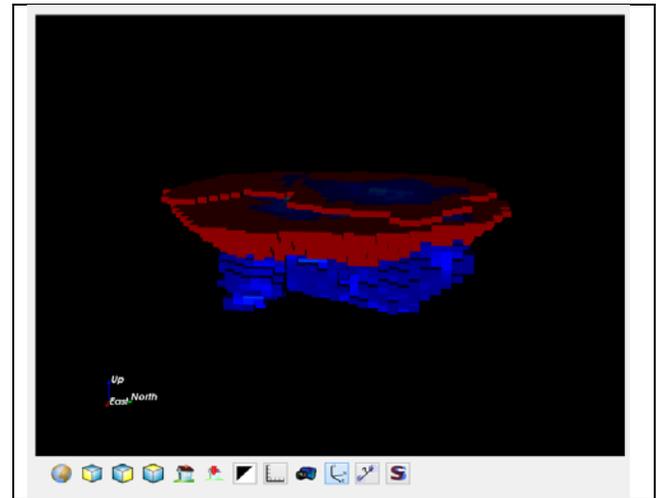


Figura 7. Simulación en 3D del depósito.  
Fuente: Elaboración propia en software Simsched DBS.

Continuando con la simulación se habilita la opción de habilitar valores a las variables económicas y físicas de la mina, para nuestro caso de estudio se asignan valores tal como se muestra en la Tabla 1.

Estos valores son editados por el usuario con el objetivo de obtener los periodos, vistas en 3D de los bloques programados y superficies. En la Fig. 7 se puede observar la simulación en 3D en el software Simsched del depósito en estudio.

Al obtener los resultados y gráficos de acuerdo a la información editada, se procede a un análisis conceptual de las dos variables económicas que se trabajan con el fin de analizar cómo afecta el VPN del proyecto y cuáles serían los valores más óptimos.

### 2.1. Tasa de descuento

Todo proyecto minero se evalúa utilizando la tasa de descuento, con el fin de actualizar flujos futuros para traerlos al presente [3].

La tasa de descuento desempeña una labor de suma importancia sobre la evaluación económica de un proyecto, esta permite determinar la viabilidad y rentabilidad de un proyecto minero, este es el aspecto más importante y difícil

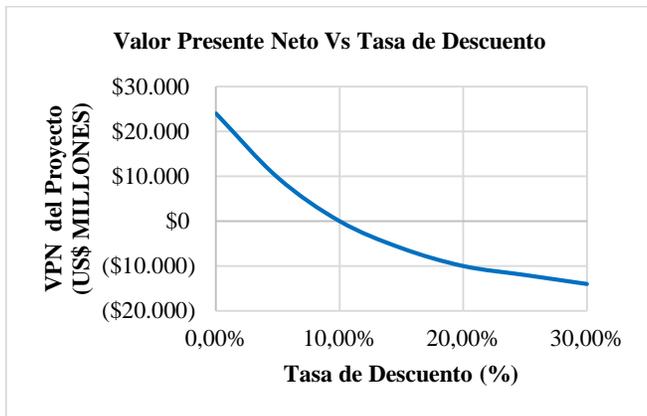


Figura 8. Valor presente neto Vs tasa de descuento.

Fuente: Elaboración propia a partir de [5].

del análisis del flujo de caja. El proyecto en estudio puede ser aceptado o rechazado en función de la tasa de descuento e incluso cuando otros factores como la tasa de interés, vida de la mina y las leyes de corte del mineral se utilizan como entradas para el cálculo del VPN, [4].

Desafortunadamente, es difícil seleccionar la mejor tasa de descuento en un proyecto minero. Sin embargo, es posible determinar una tasa de descuento apropiada para un proyecto identificando los factores de riesgos en proyectos mineros en general y los riesgos relacionados en nuestro caso de estudio.

El porcentaje de la tasa de descuento más rentable en un proyecto minero de gran magnitud varía entre el 0% y 30%, donde los proyectos más exitosos cuentan con una tasa entre el 10% al 15% [5]. Esto es ilustrado en la Fig. 8.

La tasa de descuento y el cambio en el flujo de caja, cambia significativamente los ingresos y los costos de un proyecto.

Dentro de los factores que influyen para determinar la tasa de descuento se encuentran los siguientes:

- Riesgos económicos
- Riesgos técnicos
- Riesgos políticos

Las incertidumbres o los riesgos en los proyectos mineros son generalmente más grandes en comparación con las otras industrias. Estos riesgos pueden surgir de las estimaciones de las reservas, demanda del mineral en el mercado, precios de mineral, extracción, riesgo del país, etc.

## 2.2. Costo de Remanejo

Un proyecto minero consta de diferentes etapas en las que se debe hacer una adecuada planificación y/o modelación, en estas se involucran costos de operación, errores asociados a mediciones y estimaciones [6].

El término “Costo de remanejo” se define como el valor económico que se debe asumir cuando el material que ya ha transitado por el proceso de beneficio, aún presenta concentraciones significativas de mineral de interés, este costo está en función de la cantidad de material que se beneficia, el tipo de transporte, y el método de beneficio. Otra

forma de maximizar el VPN es calculando la ley de corte crítica que se torne beneficiosa para los botaderos, con el fin de procesar de nuevo el mineral para reducir costos de operación y así incrementar flujos de cajas. La incertidumbre de la ley del mineral puede provocar discrepancias entre las expectativas de planificación y producción real, controlar dicha incertidumbre puede ser una forma óptima de incrementar el VPN al valor deseado o planificado [7].

El costo de remanejo es un variable importante que influye significativamente en el cálculo del costo sobre producción.

El costo de descuento sobre la producción es determinado por la ecuación (1):

$$C_{op}(t) = T_{OP}(t) \times C_{op,RH}(t) \quad (1)$$

Donde  $C_{op}(t)$  es el tonelaje costo de descuento de la sobre producción del mineral;  $T_{OP}(t)$  es llamado el tonelaje de la sobre producción del mineral y  $C_{op,RH}(t)$  son los costos de las reservas y el remanejo sumado a la pérdida del valor del mineral para el procesamiento del próximo periodo [7].

En el diseño de botaderos, una consideración particular tiene que ser dada a las necesidades de recuperación si el costo es para ser minimizado, la pendiente general del rostro volcado tiene que reducirse para evitar la erosión y así permitir la implementación de mejores suelos y vegetación. El diseño debe considerarse volcado de terrazas para reducir al mínimo la cantidad de material remanejado ya que el costo de remanejo disminuye en proporción al cuadrado de la inversa de la cantidad de terrazas en el que un botadero puede derrumbarse. Por lo tanto, un botadero construido usando tres terrazas tendrá solamente una novena parte de los costos de explanación de un botadero de altura similar sin terrazas [8].

De la misma manera es posible maximizar el VPN como función de la variación de la ley de corte sino también en los planes a corto y largo plazo de los camiones y las palas disponibles en las minas, que se generan en la operación minera con el fin de disminuir costos operativos para así aumentar la producción, teniendo en cuenta los parámetros económicos, periodos de tiempo, incertidumbre en los tiempos de carga y viaje, y las leyes del mineral [9].

## 3. Resultados

Se varió la tasa de descuento en incrementos de 0.5 en un rango de 5% hasta 15%. Ya que estos valores son los más competitivos en la industria minera. Se encontró que al disminuir la tasa de descuento el VPN se incrementaba mientras que si la tasa de descuento aumentaba el valor del VPN del proyecto disminuía.

En este caso de estudio también se realizó un análisis detallado en el valor igual a cero de la tasa de descuento, donde el programa simuló el VPN más alto en este punto. Se concluyó que la tasa de descuento de este depósito no puede ser igual a cero, así se obtenga el VPN mayor, ya que el objetivo es formar un equilibrio con las variables físicas y económicas de la mina para su buen funcionamiento en el futuro.

Tabla2.  
Variaciones económicas de la tasa de descuento para el cálculo del VPN.

Tasa de Descuento (%)	VPN acumulado (M\$)
15	1136.68
14.5	1145.42
14	1154.29
13.5	1163.29
13	1172.41
12.5	1181.67
12	1191.06
11.5	1200.59
11	1210.25
10.5	1220.70
10	1230.02
9.5	1240.13
9	1250.38
8.5	1260.80
8	1271.37
7.5	1282.10
7	1293.00
6.5	1304.06
6	1315.30
5.5	1326.72
5	1338.31

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestran en las Tablas 2 y 3 los resultados que se obtuvieron de las simulaciones en el programa Simsched para determinar los valores óptimos en este depósito hipotético.

Durante el análisis de la variable costo de remanaje se realizan 20 simulaciones teniendo como valor mínimo 0.025 y como valor máximo 0.5 \$/t, claramente se percibe que la variable no afecta en ningún intervalo el valor del VPN acumulado, resultado que se obtiene al momento de añadir los procesos al programa, condicionalmente no se habilita la opción de agregar algún porcentaje de mineral a los botaderos. El principal objetivo en los procesos de beneficio es una recuperación del 100%, que en la práctica no se alcanza, por ende en los botaderos siempre se cuenta con un porcentaje considerable (mínimo) de mineral de interés.

Tabla3.  
Variaciones en el costo de remanaje utilizados para el cálculo del VPN.

Variación del Costo de Remanaje (\$/t)	VPN Acumulado (M\$)
0.5	1230.02
0.475	1230.02
0.45	1230.02
0.425	1230.02
0.4	1230.02
0.375	1230.02
0.35	1230.02
0.325	1230.02
0.3	1230.02
0.275	1230.02
0.25	1230.02
0.225	1230.02
0.2	1230.02
0.175	1230.02
0.15	1230.02
0.125	1230.02
0.1	1230.02
0.075	1230.02
0.05	1230.02
0.025	1230.02

Fuente: Elaboración propia.

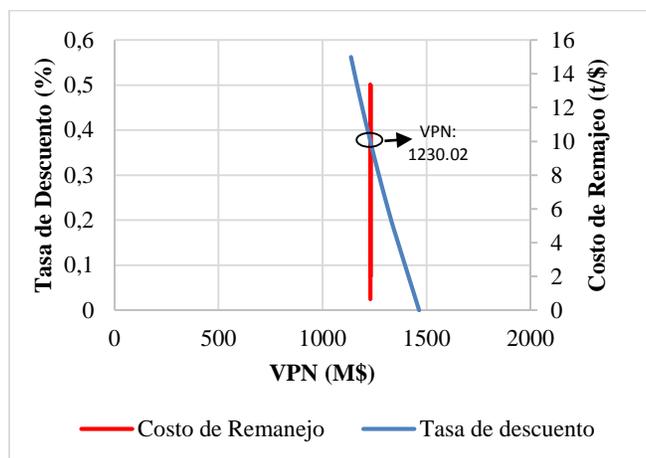


Figura 9. Intersección del VPN de la tasa de descuento y el costo de remanaje.

Fuente: Elaboración propia.

Con lo anterior se argumenta el resultado obtenido en la simulación, y se evidencia la incertidumbre entre una condición hipotética y las condiciones reales dentro de un proyecto minero, condiciones que deben adecuarse.

El valor más óptimo de la tasa de descuento para un inversionista y la rentabilidad de este proyecto teniendo en cuenta el costo de remanaje y las variables físicas del depósito fue del 10%.

En los resultados de las Tablas 2 y 3 se logró observar que en el valor 10 % de la tasa de descuento y cualquier valor del costo de remanaje, el VPN será de \$ 1230.02 ^ 6. En la Fig 9 se puede observar el punto de equilibrio entre la tasa de descuento y el costo de remanaje.

#### 4. Conclusiones

Se enumeran a continuación algunas conclusiones:

- El valor de la tasa de descuento cambia notablemente los flujos futuros de este depósito. Esto se ve reflejado en grandes cantidades de dinero que se analizaron solo variando la tasa de descuento en el programa, por esta razón si la tasa es baja los flujos futuros suben y aumentan el valor del proyecto, y así no se presentarán afectaciones económicas para los inversionistas y el proyecto en cuestión.
- La tasa de descuento más rentable para este depósito hipotético fue del 10%, ya que el VPN acumulado en este valor muestra un equilibrio tanto en las variables económicas y físicas de la mina.
- La tasa de descuento determina la viabilidad de un proyecto y esta nunca puede tomar un valor igual a cero, ya que los flujos futuros serian iguales a los del presente y el dinero no cambia en el tiempo.
- Al variar el costo de remanaje este no afecta el flujo de caja, resultado derivado de no ingresar al programa el porcentaje de recuperación en los botaderos, por lo que se infiere que los botaderos solo contiene estéril.

E. El programa Simsched es un programa de programación eficiente, con la que se busca maximizar el VPN de todo proyecto minero, optimizando todos los periodos simultáneamente.

### Agradecimientos

El Grupo de Planeamiento Minero de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (GIPLAMIN) hizo posible esta investigación gracias al apoyo del Patrimonio Autónomo Fondo Nacional del Financiamiento para la ciencia, la tecnología y la innovación, Francisco José de Caldas (COLCIENCIAS-Contrato de Financiamiento de Recuperación Contingente No. FP44842-133-2016), a la empresa Mining Math por el suministro de la licencia del programa versión beta indispensable para el desarrollo del estudio y a la Facultad de Minas (Código QUIPU 201010016417).

### Referencias

- [1] Cadermatori, J., Paéz, S.C. y Soto, D.J.D., Tasas óptimas para el impuesto a la minería del cobre en Chile, Polis, 2014, [en línea]. [Consultado 21 de julio de 2016]. Disponible en: <http://polis.revues.org/9862>.
- [2] Mining Math, Software – SimSched Direct Block Scheduler [on line] 2016. Disponible en: <http://www.simsched.com>.
- [3] Epstein, R., Tasa de descuento en proyectos mineros. Revista Gestión Minera, Universidad de Chile, abril, 2012. [en línea]. Disponible en: <http://www.dii.uchile.cl/wpcontent/uploads/2012/04/REVISTA-GESTION-MINERA-Tasa-de-Descuento-en-Proyectos-Mineros-columna-Rafael-Epstein-abril-2012.pdf>.
- [4] Park, S.-J. and Matunhire, I.I., Investigation of factors influencing the determination of discount rate in the economic evaluation of mineral development projects. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 11, pp. 773-779, 2011.
- [5] Smith, L.D., Discount rates and risk assessment in mineral project evaluations. Canadian Institute of Mining and Metallurgical Bulletin, 88(989), pp. 34-43, 1995.
- [6] Barrios, L. y Renato, G., Estudio de métodos de optimización robusta para el problema de planificación de producción en minería a cielo abierto. Tesis Magíster en gestión de operaciones, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2011, 105 P.
- [7] Behrang, K., Hooman, A. and Clayton, D., A linear programming model for long-term mine planning in the presence of grade uncertainty and a stockpile, International Journal of Mining Science and Technology, [on line], 24(4), pp. 451-459, 2014, [Fecha de consulta 21 de Julio de 2016]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.unal.edu.co/science/article/pii/S2095268614000792>. DOI: 10.1016/j.ijmst.2014.05.006.
- [8] Kennedy, B.A. Surface mining, 2 da Ed, Colorado, Society for mining, metallurgy, and exploration, 1990, pp. 480-490.
- [9] Gurgur, C.Z., Dagdelen, K. and Artittong, S., Optimisation of a real-time multi-period truck dispatching system in mining operations. International Journal of Applied Decision Sciences, (4), pp. 57-79, 2011. DOI:10.1504/IJADS.2011.03809.

**M.C. Monsalve-Hinestroza**, Estudiante de Ingeniería de Minas y Metalurgia, decimo semestre, joven investigador en Colciencias, estudiante auxiliar en Grupo de Planeamiento Minero (GIPLAMIN). Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, Facultad de minas. ORCID: 0000-0001-7090-8100.

**G Franco-Sepúlveda**, 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.

**C Navia-Vásquez**, Estudiante de Ingeniería de Minas y Metalurgia, octavo semestre, joven investigador en Colciencias, estudiante auxiliar en Grupo de Planeamiento Minero (GIPLAMIN). Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, Facultad de Minas. ORCID: 0000-0002-3968-7175.