



PREPARARSE PARA LA INCERTIDUMBRE

Gracias al uso de modelos matemáticos estocásticos el grupo de Planeamiento Minero de la UN en Medellín puede mejorar la toma de decisiones en proyectos mineros al tener en cuenta variables cuya ocurrencia es incierta o de difícil predicción.

La operación y rentabilidad de una mina dependen de un gran número de factores: las condiciones geológicas del yacimiento, las tecnologías disponibles para la labor de extracción o las condiciones del mercado para el mineral específico que se está explotando.

Estos factores no son sencillos de determinar y se ven influidos por muchas otras variables. Es difícil saber qué se va a encontrar en un yacimiento, cómo se transformará en 5 o 10 años la tecnología que se usa en una mina o qué eventos afectarán la demanda y los precios de los recursos minerales.

“Lo que pretendemos en la planeación minera estocástica es tener en cuenta las incertidumbres asociadas a la explotación de un yacimiento mineral” explica el coordinador del grupo de Planeamiento Minero, Giovanni Franco. Y esto se refiere no solo a las variables que están obviamente relacionadas con la operación sino también a las que parecen no tener conexión alguna con ella.

Tradicionalmente se han usado modelos determinísticos que representan procesos donde las mismas condiciones iniciales producirán invariablemente los mismos resultados, sin contemplar la existencia del azar o la incertidumbre. Con los modelos estocásticos se busca tener en cuenta qué es lo que va a pasar al caracterizar una sucesión de variables aleatorias y su evolución en función de otra específica.

“Se hace un análisis de la historia su comportamiento para predecir qué sucederá con ellas bajo ciertas condiciones en el tiempo, construyendo múltiples escenarios futuros y asignándoles una función de distribución de probabilidad” para tener una mayor certidumbre sobre si ocurrirá X o Y con las variables estudiadas. Es algo similar a lo que se usa en los pronósticos meteorológicos con la probabilidad de lluvia para el día.

Y así como los reportes del clima ayudan a que uno elija la ropa que usará o si lleva un paraguas, los modelos estocásticos mineros permiten una planeación óptima de la explotación minera al conocer la probabilidad de que suceda algo que afecte su operación. “Obviamente uno va viendo día a día cómo es la evolución de esos escenarios y cuál es su nivel de adherencia a la realidad, cuál es la desviación estándar” que se presenta, amplía el docente - investigador Franco.

Por ejemplo, en las crisis financieras mucha gente se vuelca a comprar oro gracias a la confianza que tienen en que su valor sea constante o incremental en el tiempo y esto influye en sus precios. Lo que buscan los investigadores de GIPLAMIN es adelantarse a esas crisis para poder ajustar la producción en la mina y enfrentar, en este caso, un escenario de mayor demanda aurífera.

Ahora, un modelo no es mejor necesariamente por la cantidad de variables que incluya sino por tener las que pesan más en el resultado que se desea hallar. En el área tecnológica puede ser cualquier innovación que impacte el consumo energético de la labor extractiva, de transformación de minerales o de refinación y comercialización.





En el área geológica puede ser la dificultad para hacer un mapa geológico detallado del territorio a explotar por los costos que esto significa. “Con procesos estocásticos tenemos en cuenta la incertidumbre de los minerales que pueden estar presentes en los espacios entre las perforaciones exploratorias mejorando la predicción del modelo geológico” afirma Franco.

Este enfoque en el planeamiento minero es relativamente reciente y cuando el grupo empezó labores en el 2010 no se hablaba en el país de este tema ni del potencial beneficio que brinda para la actividad minera ya que no solo significa mejorar la planeación para enfrentar situaciones inciertas sino tener una actividad minera que sea lo más beneficiosa posible y con el menor impacto en su entorno.

Cierre minero y ambiental

Gracias al trabajo que se ha venido adelantando en el grupo con la planeación minera estocástica se ha abordado un tema muy importante de cualquier proyecto minero: los costos de cierre y los costos ambientales.

Los costos ambientales son entendidos como el conjunto de servicios directos e indirectos que el ecosistema intervenido ofrecía y que por la operación minera deja de brindar: funciones de retención de oxígeno, de transformación de dióxido de carbono, de producción y filtración de agua y muchas más.

Además, si es una operación a cielo abierto se suman los costos de oportunidad al no poder hacer otras actividades simultáneamente como agricultura o ganadería. Los costos de cierre se refieren a todas las acciones que se deben realizar para que, cuando acaba la vida útil del proyecto, el área donde éste se desarrolló pueda tener una actividad productiva a futuro.

Las variables que pueden influir en los costos ambientales y de cierre van desde las dimensiones de la fosa, la cantidad de material removido, las áreas que van a ocupar los botaderos y las piscinas de relaves, cuánto del material que se remueve es estéril y cuánto es el mineral buscado, entre otras.

David Oliveros es investigador en GIPLAMIN y desde su pregrado está trabajando en este tema. En su proyecto de maestría busca proponer y estudiar metodologías que incluyan estos costos *durante* la operación de la mina y no al cierre, que es lo que generalmente ha sucedido.

En su investigación está recabando datos geológicos, ambientales y sociales de un proyecto minero de carbón a cielo abierto para contar con información real y precisa en la elaboración de distintos modelos: unos que no incluyan los costos ambientales y de cierre como ha sido la práctica habitual y otros en que sí se tienen en cuenta.

Luego realiza simulaciones para evaluar la variación de los comportamientos económicos y ambientales del proyecto en cada uno de los casos y así poder sacar conclusiones sobre lo que significaría la internalización de costos a lo largo de la operación. Se busca obtener el *valor presente neto* y la *vida útil del proyecto*.

El primero es el flujo de caja a lo largo de los años que va a tener la operación con base en las tasas de extracción que dependen de variables como la recuperación del mineral, su concentración, la recuperación metalúrgica, el precio, los tonelajes obtenidos, los gastos operativos, los pagos de impuestos, las regalías, etc.





Se suma el balance de caja de cada año a valores actuales para obtener un horizonte temporal tentativo que nos indique la potencial vida útil del proyecto. Esto facilita la toma de decisiones para optimizar la operación y adelantarse a potenciales problemas, mitigando consecuencias no deseadas y definiendo las acciones de cierre y rehabilitación ambiental necesarias con sus correspondientes costos.

Con estos modelos se podría saber si no es viable la explotación del recurso minero porque sus costos ambientales y/o de cierre serían insalvables. “Esa es la finalidad de la investigación, que tanto para proyectos nuevos como los ya iniciados se evalúe la viabilidad económica, ambiental y social” afirma Oliveros.

“Esto no quiere decir que las empresas van a tener menos rentabilidad” aclara el investigador. “Hemos encontrado que es posible incluir estos costos y aumentar la rentabilidad del proyecto”

Una mirada al futuro

Con estos procesos de planificación minera estocástica se logra que los factores cuya aparición o influencia tienen un grado de incertidumbre, puedan ser tenidos en cuenta en la modelación del proyecto para tomar decisiones que hagan más eficiente la operación y que pueda responder a cualquier potencial escenario.

Además, también se lograría que las actividades mineras tuvieran una mayor claridad de los costos ambientales y de cierre y pudieran proyectarlos durante toda la vida útil de la mina con el objetivo de saber los recursos de los que deben disponer para adelantar unos procesos óptimos de manejo ambiental y social.

Estas metodologías también serían una herramienta muy importante para que el Estado, quien es el administrador de los recursos minerales y el que otorga las licencias para su explotación, pueda hacer una vigilancia y monitoreo más efectivo para que la actividad sea rentable para todos: empresas, comunidades y Nación.

Por eso, el grupo de Planeamiento Minero de la UN en Medellín busca estrechar los lazos con la industria y los distintos programas de ingeniería de minas del país para que este enfoque sean más conocido y la actividad minera sea más eficiente y con una gran responsabilidad ambiental y social.

Palabras claves: planeación minera estocástica; explotación minera; variables aleatorias; función de distribución; costos de cierre; costos ambientales; servicios directos e indirectos; costos de oportunidad; vida útil del proyecto; viabilidad económica, ambiental y social;





Mina a cielo abierto en el Cerrejón. (Tomada de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cerrej%C3%B3n_3.jpg)



Los costos ambientales de una operación minera como las funciones de retención de oxígeno, de transformación de dióxido de carbono, de producción y filtración de agua son factores que se deben considerar anticipadamente para el cierre adecuado de una mina. (Foto tomada de <https://prensa.compumet.info/plan-de-cierre-de-minas/>).





Los costos de cierre se refieren a todas las acciones que se deben realizar para que, cuando acaba la vida útil del proyecto, el área donde éste se desarrolló pueda tener una actividad productiva a futuro (Foto tomada de portal de Agencia de Noticias UNAL - Creative Commons por Petrucc licencia bajo BY CC 3.0).





La planificación minera estocástica permite que los factores cuya aparición o influencia tienen un grado de incertidumbre sean tenidos en cuenta en la modelación del proyecto para una operación más eficiente y que pueda responder a cualquier potencial escenario. (Foto tomada de tecnologiaminera.com).

