

Manual del Usuario para los programas de estrategias al consumo de reservas minerales

El presente manual es una guía para la correcta utilización y uso de los 3 programas que resuelven la problemática del consumo de recursos minerales. Los tres programas se encuentran desarrollados en el entorno de Python 3.9.8. por lo tanto, se recomienda al usuario que cuente con una versión de Python superior a 3.7.0.

Índice de Contenido

Instalación de programas y librerías requeridas	3
Ingreso de datos al Programa Algoritmo de Lane.	4
Paso N°1: Creación del archivo en formato csv para la distribución del tonelaje en función de las leyes.	4
Paso N°2: Creación de la carpeta de trabajo	6
Paso N°3: Apertura de la plataforma "Visual Studio Code"	6
Paso N°4: Adición de los parámetros económicos y técnicos a la interfaz gráfica (GUI)	7
Paso N°5: Visualización de la Solución	9
Ingreso de datos para el Programa Algoritmo GRG Iterativo	10
Ingreso de datos para el Programa Algoritmo GRG Multi Año	10

Índice de Tablas

Tabla 1: Formato que debe cumplir el archivo csv. de la distribución de leyes para el tonelaje.	5
Tabla 2: Parámetros Económicos y Técnicos que escogió el usuario.	8
Tabla 3: Valores de entrada del Vector Factores Optimizantes Recomendados.	10
Tabla 4: Valores de entrada para el Nuevo Vector Factores Optimizantes Recomendados.	10

Índice de Figuras

Figura 1: Búsqueda y descarga del software Python desde la aplicación Microsoft Store.	3
Figura 2: Búsqueda de la aplicación "CMD".	3
Figura 3: Escritura del código de instalación para la librería "numpy"	3
Figura 4: Descarga de la plataforma Visual Studio Code.	3
Figura 5: Selección del lenguaje de programación Python en la plataforma "Visual Studio Code".	4
Figura 6: Búsqueda e instalación del paquete de idioma español para la plataforma Visual Studio Code.	4
Figura 7: Primer paso del cambio de los separadores decimales en el software Microsoft Excel.	5
Figura 8: Segundo paso del cambio de los separadores decimales en el software Microsoft Excel.	5
Figura 9: Tercer paso del cambio de los separadores en el software Microsoft Excel.	5
Figura 10: Base de datos a modo de ejemplo que ilustra el separador decimal, las leyes en porcentaje y el tonelaje.	5
Figura 11: Creación de la carpeta "Nuevo Proyecto" que contiene el programa "Algoritmo de Lane.py" y el archivo "Esmeralda.csv".	6
Figura 12: Ventana Inicial de la aplicación "Visual Studio Code".	6
Figura 13: Selección de la carpeta de trabajo "Nuevo Proyecto".	6

Figura 14: Verificación de los archivos "Esmeralda.csv" y "Algoritmo de Lane.py" en el entorno de Visual Studio Code.	7
Figura 15: Selección del tipo de terminal recomendado para el usuario para la ejecución del programa.	7
Figura 16: Acercamiento al botón que debe apretar el usuario para que seleccione el tipo de terminal.	7
Figura 17: Interfaz Gráfica (GUI) del programa computacional "Algoritmo de Lane".	7
Figura 18: Interfaz Gráfica (GUI) con los parámetros que el usuario debe ingresar según los datos de la Tabla 2.	8
Figura 19: Menú de acción para poner pausa y "stop" al programa.	9
Figura 20: Menú de acción para reproducir y poner "play" para volver a correr el programa.	9
Figura 21: Información Gráfica de la solución que entrega el programa "Algoritmo de Lane".	9
Figura 22: Generación del archivo "Resultados del Algoritmo de Lane" en la carpeta de trabajo "Nuevo Proyecto".	9
Figura 23: Información del archivo de salida en formato .xlsx con la información económica, leyes de corte y leyes medias.	9
Figura 24: Información del archivo de salida en formato .xlsx del tonelaje de los distintos materiales movidos por cada etapa de procesamiento.	9
Figura 25: Descripción de la función del factor optimizante " σ " para hallar el máximo VAN.	10
Figura 26: Parámetros Adicionales que el usuario debe completar para crear el vector de factores optimizantes.	10
Figura 27: Excel de salida con la nueva columna denominada "Factor Optimizante".	10
Figura 28: Descripción de la función del Nuevo factor optimizante "RO" para hallar el máximo VAN para el "Algoritmo GRG Multi Año".	11
Figura 29: Selección en la Interfaz Gráfica de la opción "A".	11
Figura 30: Selección en la Interfaz Gráfica de la opción "B".	11
Figura 31: Adición de nueva columna llamada "RO" para la solución del programa "GRG Multi Año".	11

Instalación de programas y librerías requeridas

La primera acción que debe realizar es llevar a cabo la instalación del software Python, esto es posible desde la aplicación “Microsoft Store” donde el usuario podrá descargar este lenguaje de programación de forma totalmente gratuita, se recomienda la descarga e instalación de Python en su versión 3.9 (ver Figura 1).

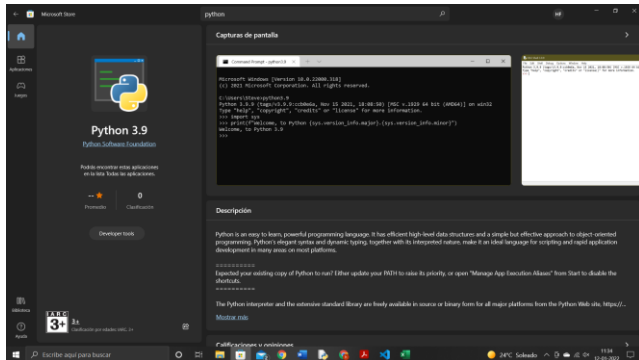


Figura 1: Búsqueda y descarga del software Python desde la aplicación Microsoft Store.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Además, para la resolución de múltiples secuencias de código y del procesamiento del cálculo computacional, Python hace uso de librerías virtuales que facilitan y apoyan el trabajo con planillas de entrada de datos del tipo CSV. Para la correcta utilización de los programas, el usuario debe contar en su disco duro con la instalación de 7 librerías de apoyo al lenguaje de programación Python, a continuación, se muestra el código de instalación que el usuario debe colocar en la aplicación “Símbolo del Sistema” o también llamada “CMD”:

- pip install numpy
- pip install pandas
- pip install matplotlib
- pip install sklearn
- pip install scipy
- pip install sympy
- pip install tkinter

Cabe destacar que, si el usuario no instala alguna de las 7 librerías anteriores, el programa no podrá ser ejecutado correctamente. En primer lugar, el usuario debe escribir en búsqueda de aplicaciones la palabra “CMD” (ver Figura 2). Después, dentro de la aplicación CMD, el usuario debe escribir la primera sentencia “pip install numpy” (ver Figura 3) y darle clic al “Enter”, de esta forma el disco duro instalara todo el paquete de apoyo “numpy” y una vez que aparezca que el paquete fue instalado de forma satisfactoria, podrá instalar la segunda librería llamada “pandas” y así con el resto de las librerías.

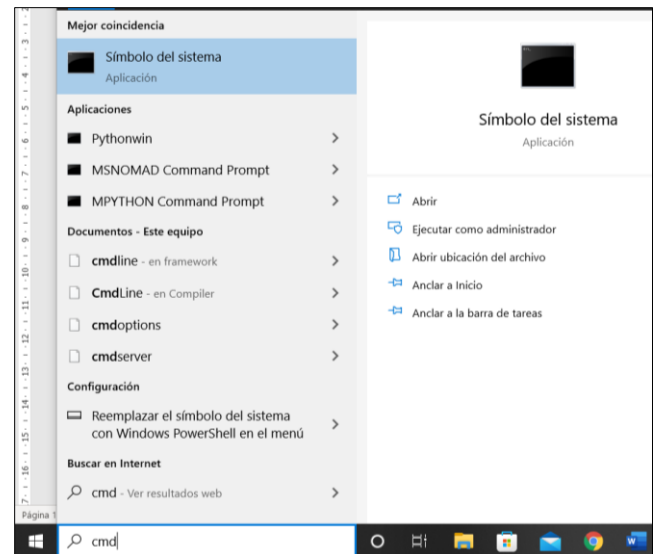


Figura 2: Búsqueda de la aplicación “CMD”.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

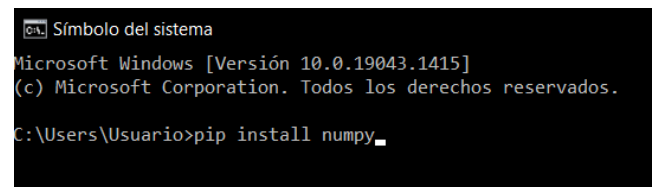


Figura 3: Escritura del código de instalación para la librería “numpy”.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Una vez instalada las 7 librerías que son capaces de desarrollar y correr correctamente los programas en Python, se debe instalar una plataforma para Python y esta es Visual Studio Code, la cual ayuda a potenciar en gran medida el tiempo en que tarda el programa en calcular la solución al problema, además que sirve para poder insertar la base de datos, así como para obtener la solución en un archivo CSV. Para esto, debe descargar la aplicación “Visual Studio Code” desde el siguiente enlace: <https://code.visualstudio.com/>

Cuando se encuentre en la página de descarga de la aplicación, haga clic en “descargar” (ver Figura 4). Recuerde que antes de descargar debe seleccionar si su ordenador es Windows o Mac.

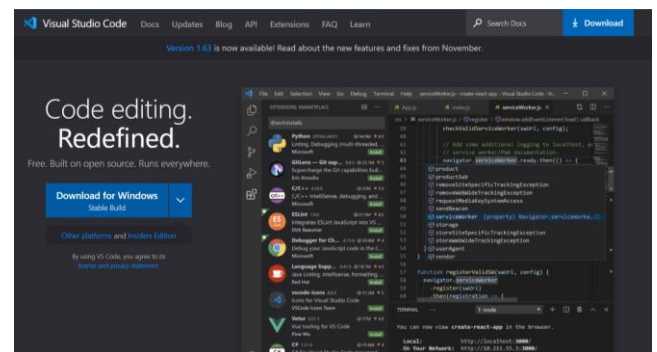


Figura 4: Descarga de la plataforma Visual Studio Code.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Una vez descargada la plataforma en su ordenador, debe ejecutar el instalador, cuando la instalación hace terminado, debe abrir la plataforma “Visual Studio Code” en donde aparecerá una serie de menús y entradas, en la esquina superior izquierda “donde aparece una lupa” debe escribir “Python” y deberá instalar dentro de la plataforma Visual Studio Code el lenguaje de programación Python, esto es para indicarle a la plataforma que el lenguaje de programación con el que leerá todos los archivos a futuro será el lenguaje Python. (ver Figura 5).

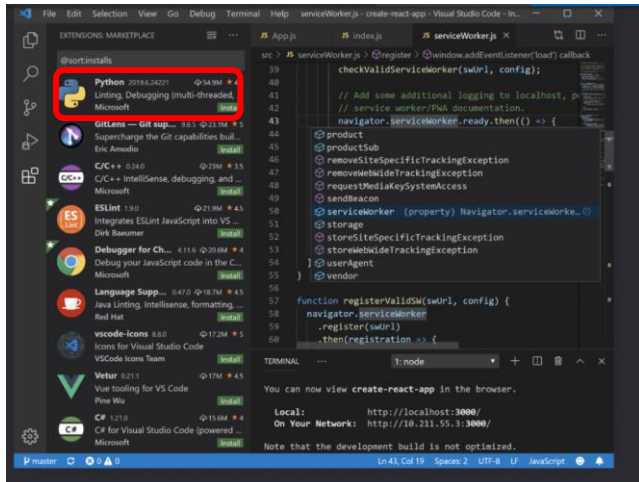


Figura 5: Selección del lenguaje de programación Python en la plataforma "Visual Studio Code".

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Además, la plataforma Visual Studio Code, se encuentra en inglés, pero puede cambiar el idioma a español, agregando un paquete de descarga de idioma español, para ello debe escribir en el rectángulo de búsqueda superior izquierdo desde extensiones, la siguiente sentencia “Spanish Language Pack for Visual Studio Code” (ver Figura 6), una vez seleccionado el paquete, debe darle clic a instalar.



Figura 6: Búsqueda e instalación del paquete de idioma español para la plataforma Visual Studio Code.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Una vez que tenga el programa Python con una versión superior a 3.7.0 en conjunto con las 7 librerías de apoyo y de la plataforma “Visual Studio Code”, podrá disfrutar del

arranque de cada uno de los 3 programas desarrollados en el entorno de Python.

Ingreso de datos al Programa Algoritmo de Lane.

Para que cada uno de los 3 programas le entregue una solución al problema del consumo de recursos minerales, es preciso que usted le proporcione un conjunto de valores numéricos referentes a parámetros económicos y técnicos como lo es por ejemplo el precio del elemento de interés, costos, recuperaciones, capacidades, etc. Así como también la distribución del tonelaje según la ley o porcentaje del elemento de interés. El usuario debe tener en cuenta las siguientes limitaciones y restricciones que tienen los 3 programas desarrollados:

- El usuario solo podrá elegir un único elemento mineral de interés.
- La solución para el problema del consumo de recursos minerales estará condicionada siempre por las siguientes etapas; Mina, Planta Concentradora y Fundición & Refinería. Donde siempre se asumirá que la Mina posee una capacidad ilimitada y las últimas dos etapas poseen capacidades limitadas de procesamiento del mineral y de producción de cobre fino respectivamente.
- Cada uno de los valores numéricos insertados en la interfaz gráfica, deben tener su separador decimal como el punto y NO como la coma.
- Los parámetros económicos y técnicos deben ser insertados al programa a través de la interfaz gráfica y la distribución de tonelaje – ley debe ser insertada al programa a través de un archivo CSV. El cual debe ser creado previamente por el usuario y debe siempre contener el nombre “ingreso de datos.csv”. Si el nombre no coincide con el nombre anterior, el programa no podrá leer la base de datos.
- Para efectos de los programas con la sigla “GRG” estos necesitaran que el usuario ingrese los parámetros optimizantes, los cuales debe ingresarlos a través de la interfaz gráfica.

Paso N°1: Creación del archivo en formato csv para la distribución del tonelaje en función de las leyes.

La distribución del tonelaje que posee su recurso mineral estará en función de las leyes del elemento mineral de interés y esta distribución del tonelaje es una parte esencial de los parámetros necesarios para determinar la mejor estrategia para el consumo de las reservas minerales. El usuario debe crear en el software Microsoft Excel un archivo que contenga la información básica referente al tonelaje de su recurso mineral en función de intervalos definidos de leyes y ese archivo deberá estar en formato .csv y podrá colocarle cualquier nombre que el usuario desee.

La estructura que debe tener el archivo de entrada .csv debe contener siempre en la primera y segunda columna el intervalo de leyes del elemento mineral de interés y en la tercera columna debe contener el tonelaje que posee cada uno de los intervalos, respetando siempre el siguiente orden entre las columnas creadas en el archivo .csv (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 1: Formato que debe cumplir el archivo csv. de la distribución de leyes para el tonelaje.

Ley de corte mínima	Ley de corte máxima	Tonelaje
Datos	Datos	Datos

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Cabe destacar que siempre el separador decimal de los valores numéricos ingresados al archivo csv, debe ser el punto decimal y NO la coma, para ello es posible cambiar en todo momento el separador decimal del archivo desde la barra superior del programa “Microsoft Excel” desde el icono “Archivo” (ver Figura 7), después debe ir donde dice “Opciones” y allí darle clic donde dice “Avanzadas” (ver Figura 8), desde allí, debe deseleccionar donde diga “usar separadores del sistema” para que usted pueda cambiar los separadores y donde diga “Separador decimal” colocar el punto y donde diga “Separador de miles” escribir la coma y allí podrá colocar los valores numéricos usando el punto como el separador decimal (ver Figura 9).

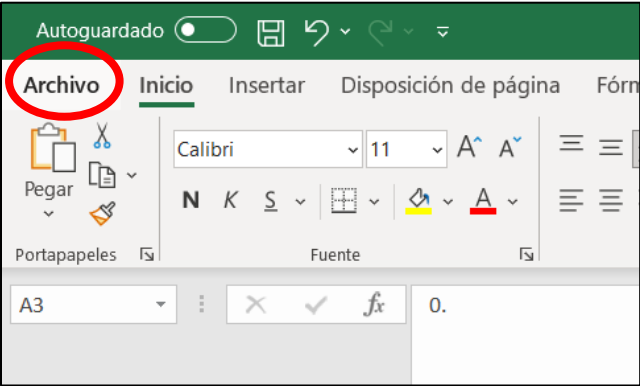


Figura 7: Primer paso del cambio de los separadores decimales en el software Microsoft Excel.
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

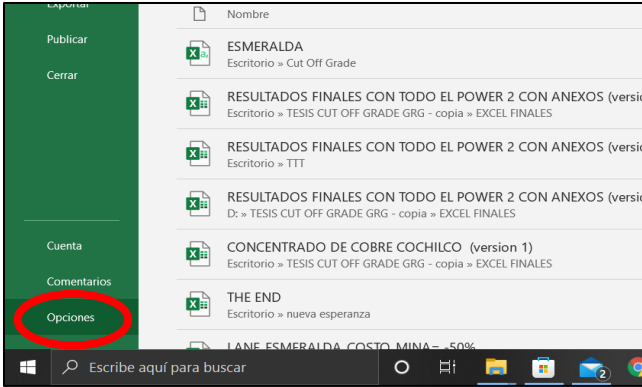


Figura 8: Segundo paso del cambio de los separadores decimales en el software Microsoft Excel.
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

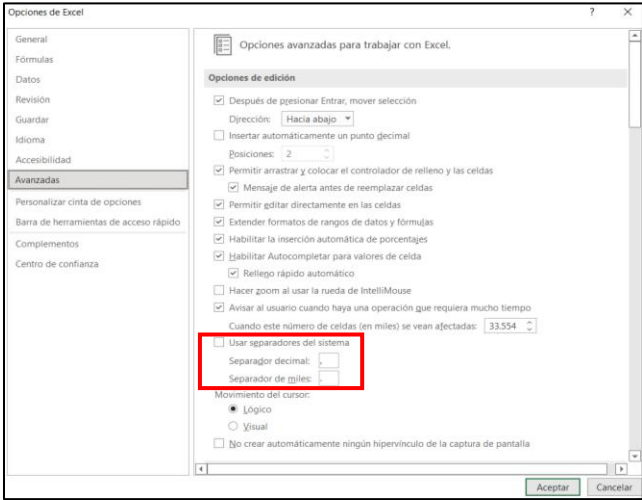


Figura 9: Tercer paso del cambio de los separadores en el software Microsoft Excel.
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

A continuación, se ilustra a modo de ejemplo una base de datos correctamente ingresada al programa. (ver Figura 10).

	A	B	C
1	leymin	leymax	tonelaje
2	0	0.2	6000000
3	0.2	0.4	5200000
4	0.4	0.6	2300000
5	0.6	0.8	1700000
6	0.8	1	1200000
7	1	1.2	970000
8	1.2	1.4	670000
9	1.4	1.6	890000
10	1.6	1.8	400000
11	1.8	3	560000

Figura 10: Base de datos a modo de ejemplo que ilustra el separador decimal, las leyes en porcentaje y el tonelaje.
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Cabe destacar que las leyes del elemento de interés siempre deben ir expresadas en porcentaje, por ejemplo, si existe un tonelaje de 52 millones de toneladas que poseen una ley de cobre entre un 0.2% y 0.4% de cobre, debe escribir en ley mínima un 0.2 y como ley máxima un 0.4 respectivamente y el tonelaje siempre debe ir expresado en toneladas.

Paso N°2: Creación de la carpeta de trabajo

Una vez que el usuario tenga creado su archivo .csv que contendrá la distribución del tonelaje – ley, usted deberá crear una carpeta de trabajo, la cual puede ser creada en cualquier directorio de su ordenador y puede tener el nombre que usted desee.

La carpeta de trabajo debe contener el archivo de la distribución del tonelaje – ley en formato .csv que a modo de ejemplo llamaremos “esmeralda”, y la carpeta de trabajo la denominaremos como “Nuevo Proyecto”, entonces la carpeta “nuevo proyecto” deberá contener al archivo “esmeralda” y además debe albergar el programa en formato .py que desee ejecutar.

Si, por ejemplo, el usuario desea ejecutar el Algoritmo de Lane, la carpeta “Nuevo Proyecto” debe contener el programa “algoritmo de lane.py” y el archivo “esmeralda.csv” (ver Figura 11).

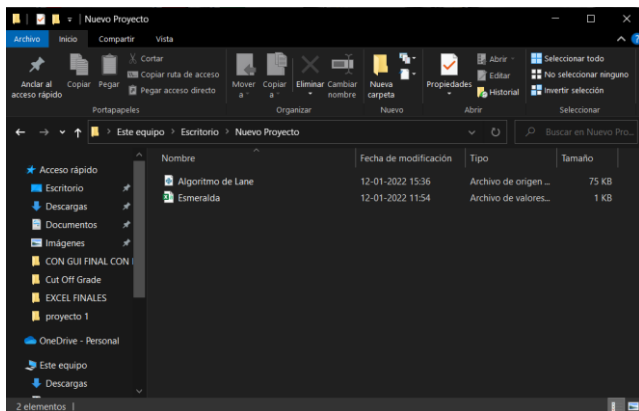


Figura 11: Creación de la carpeta “Nuevo Proyecto” que contiene el programa “Algoritmo de Lane.py” y el archivo “Esmeralda.csv”.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

La creación de la carpeta “Nuevo Proyecto”, además de que contiene el programa computacional que se debe ejecutar (“Algoritmo de Lane”) y de la distribución del tonelaje – ley del recurso mineral (“Esmeralda.csv”), esta carpeta también tiene la función de recibir y albergar un archivo especial, que será la futura solución que el programa “Algoritmo de Lane.py” le entregara al usuario, esta solución estará en formato Excel .xlsx y contendrá la información referente al plan de producción así como la política optima de leyes de corte en cada uno de los periodos de la vida de la mina. El nombre que tendrá el archivo solución será escogido por el usuario al momento de insertar los parámetros económicos y técnicos en la interfaz gráfica (GUI).

Paso N°3: Apertura de la plataforma “Visual Studio Code”

En esta etapa el usuario deberá hacer los siguientes pasos:

1. Abrir la aplicación “Visual Studio Code” y se mostrara una ventana (ver Figura 12).

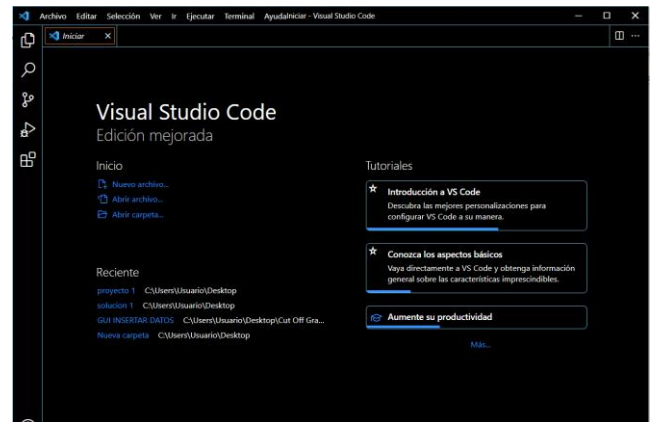


Figura 12: Ventana Inicial de la aplicación “Visual Studio Code”.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

2. Hacer clic donde dice “Abrir carpeta...”.
3. Se debe seleccionar la carpeta “Nuevo Proyecto” (ver Figura 13).

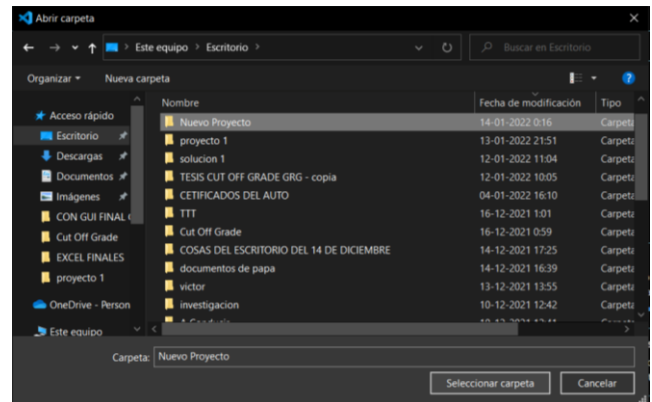


Figura 13: Selección de la carpeta de trabajo “Nuevo Proyecto”.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

4. Una vez que se encuentre en la ventana (ver Figura 14), hacer clic donde dice Algoritmo de Lane y el usuario debe verificar que el recuadro de la izquierda, donde dice Nuevo Proyecto, se encuentre el archivo “Esmeralda.csv” y el “Algoritmo de Lane”.

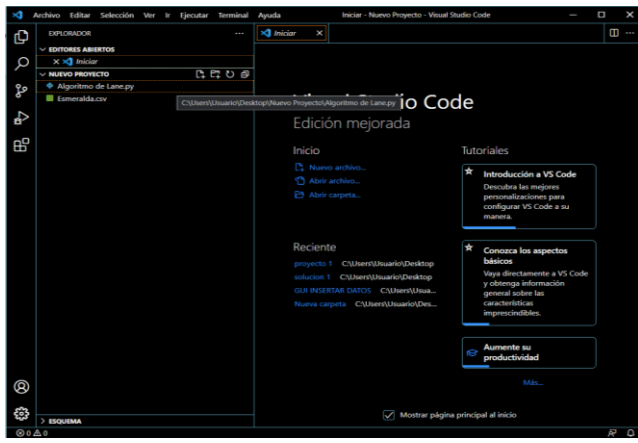


Figura 14: Verificación de los archivos "Esmeralda.csv" y "Algoritmo de Lane.py" en el entorno de Visual Studio Code.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

- Una vez que el usuario haga clic en "Algoritmo de Lane.py", la ventana (ver Figura 14) cambiara a una ventana que mostrara el código escrito en el lenguaje de programación en Python (ver Figura 15) y desde allí, debe hacer clic en la pequeña flecha que se encuentra al costado superior derecho (círculo rojo) ver Figura 16.

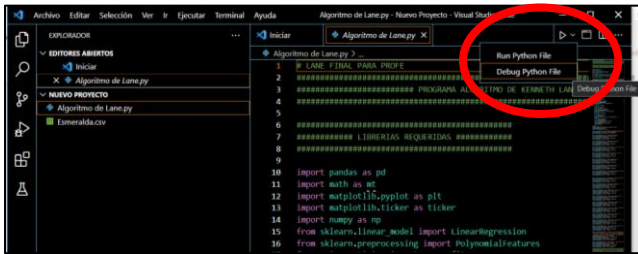


Figura 15: Selección del tipo de terminal recomendado para el usuario para la ejecución del programa.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

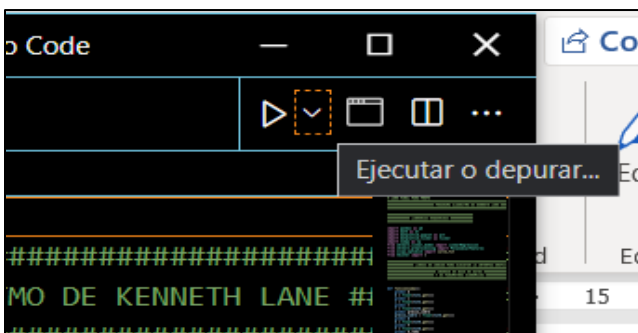


Figura 16: Acercamiento al botón que debe apretar el usuario para que seleccione el tipo de terminal.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

- Una vez haga clic en la pequeña flecha que apunta hacia abajo (ver Figura 16), debe hacer clic donde diga "Debug Python File", de esta forma, el programa comenzará su ejecución y se abrirá la ventana de interfaz gráfica (GUI). La razón de que el usuario en esta etapa escoja la opción "Debug Python File" y no la opción "Run Python File" es que la primera opción

le ofrecerá al usuario la posibilidad de pausar en cualquier momento la ejecución del programa e incluso dejar su ordenador en estado de suspensión, y después retomar la ejecución del código desde la iteración en que el usuario lo dejó pausado. Esto ofrece una gran ventaja, ya que para la ejecución de los programas tipo "GRG" que demoran un mayor tiempo de procesamiento, el usuario puede dejar en pausa la ejecución del algoritmo y continuarlo en cualquier momento a futuro y no afectara en nada.

Paso N°4: Adición de los parámetros económicos y técnicos a la interfaz gráfica (GUI)

Después de que el usuario haga clic en "Debug Python File", la aplicación Visual Studio Code comenzará la ejecución del programa y con ello se desplegará una ventana, la cual corresponderá a la interfaz gráfica (GUI) donde el usuario debe colocar los parámetros económicos y técnicos referentes al problema del consumo de reservas minerales (ver Figura 17), cabe destacar que, en todo momento durante la ejecución del algoritmo, estos parámetros se mantendrán como una constante.

Figura 17: Interfaz Gráfica (GUI) del programa computacional "Algoritmo de Lane".

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

En la interfaz gráfica el usuario deberá introducir dos nombres, el primero corresponderá al archivo input que contiene la distribución de tonelaje – ley y que deberá escribirlo en el rectángulo de color celeste de la Figura 17, cabe destacar que el usuario solo debe escribir en aquel rectángulo el nombre del archivo que se encuentra en formato .csv pero SIN la terminación .csv, por ejemplo si el archivo se llama "Esmeralda.csv", el usuario deberá escribir en el rectángulo celeste SOLO la palabra "Esmeralda", sin la terminación ".csv" y respetando las mayúsculas y minúsculas.

También el usuario debe colocar el nombre del archivo que contendrá la solución en formato Excel de su resultado, debe escribirlo SIEMPRE SIN la terminación ".xlsx", por ejemplo, en

el rectángulo naranjo puede escribir “Resultados del Algoritmo de Lane”.

Para la adición de los valores numéricos en las casillas de color rosado, que corresponderán a los valores de los parámetros técnicos y económicos, el usuario debe escribirlos considerando SIEMPRE que el separador decimal es el PUNTO y NO la COMA.

Supongamos a modo de ejemplo que el usuario deberá colocar los datos expuestos en la Tabla 2 en el programa, entonces el usuario deberá escribirlos como aparecen en la Figura 18.

Cabe destacar que, para efectos de los datos referentes a la tasa de descuento, recuperación de la planta concentradora, ley del concentrado y pérdida metalúrgica de la fundición & refinería, el usuario debe escribirlas en porcentaje SIN INCLUIR al final del dato numérico el símbolo %, por ejemplo, si estos datos corresponden los descritos por la Tabla 2 el usuario debe escribirlos como aparecen en la Figura 18.

Tabla 2: Parámetros Económicos y Técnicos que escogió el usuario.

Parámetros Económicos	Valor	Unidad
Costo Mina	3.5	usd/ton de material
Costo Planta	6.5	usd/ton de mineral
Costo de Comercialización Cátodo	1100	usd/ton de cobre fino
Precio del Cobre	300	cusd/lb de cobre
Tasa de Descuento	10	%
Costo Fijo Anual	20000000	usd/año
Costo de Rehabilitación del Botadero	0.027306	usd/ton de estéril
Capacidad de la Planta Concentradora	15000000	Ton de Mineral
Capacidad de producción de cátodos de la refinería	100000	Ton de Cobre Refinado
Recuperación de la Planta Concentradora	88	%
Ley del Concentrado de Cobre	30	%
Perdida Metalúrgica de la Fundición y Refinería	3.5	%
Cargo TC	126	usd/TMS de concentrado
Cargo RC	12.6	cusd/lb de cobre
Precio del Concentrado de cobre	1708.611	usd/ton de concentrado

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

INGRESO DE DATOS ALGORITMO DE LANE

INGRESO DE PARAMETROS ECONOMICOS

Costo Mina en usd/ton	3.5
Costo Planta en usd/ton	6.5
Costo de venta en usd/ton de cobre fino	1100
Precio del Cobre en usd/lb	300
Tasa de Descuento en %	10
Costo Fijo en usd	20000000
Costo de Rehabilitación del Botadero usd/ton de estéril	0.027306
Capacidad de la Planta Concentradora en toneladas	15000000
Capacidad de producción de la Refinería en toneladas	100000
Recuperación de la Planta Concentradora en %	88
Ley del Concentrado de Cobre en %	30
Perdida Metalúrgica de la Fundición y Refinería en %	3.5
Carga TC en usd/TMS de concentrado	126
Carga RC en usd/lb	12.6
¿Quieres incluir Economías de Escalas? ESCRIBE SOLO LA PALABRA SI O NO	NO
Costo de extracción del estéril en usd/ton (SI NO QUIERE Economías de Escalas DEBE INGRESAR SOLO EL NUMERO 0)	0

ALGORITMO DE LANE

Consideraciones sobre el Ingreso de Datos:
Todos los datos ingresados no deben llevar espacios, es decir, solo ingrese el número considerando en todo momento el separador decimal como el punto y NO como la coma.
Para el ingreso de la ley del concentrado, recuperación metalúrgica, recuperación de la planta concentradora y tasa de descuento debe ingresarlos en porcentaje % si cada uno de estos parámetros valen, por ejemplo un 30%, 3.85%, 88% y 10%, respectivamente debe ingresar los números 30, 3.85, 88 y 10 respectivamente sin el símbolo de porcentaje, es decir, solo ingresar el número.
Ingresar el Título del Archivo en formato 'txt' que contiene la base de datos de la distribución de tonelaje - Ver el Título que muestra NUNCA debe llevar al final el carácter 'csv', por ejemplo si el archivo se llama 'diamante.csv', solo escribir la palabra 'diamante' y el archivo DEBE estar en la carpeta de trabajo.
Esmeralda
Ingresar el Título del Archivo Excel que contenga sus resultados NO DEBE AGREGAR al final del nombre el carácter 'xlsx'
Resultados del Algoritmo de Lane
PRESIONE PARA INGRESAR DATOS

Figura 18: Interfaz Gráfica (GUI) con los parámetros que el usuario debe ingresar según los datos de la Tabla 2.
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Los cuadros de color amarillo indican la adición de las economías de escalas (ver Figura 18), en el cuadro superior amarillo el usuario solo debe escribir la palabra “SI” o “NO”, lo cual le indicara al programa que si quiere incluir las economías de escalas o no desea incluirlas respectivamente.

Si se escribe la palabra “SI”, se estará incluyendo las economías de escalas y el usuario le estará indicando al programa que existe una diferencia en el costo de extracción del mineral y de extracción del estéril y en caso contrario no se está considerando las economías de escalas y solo existirá un único costo de extracción del mineral.

Si el usuario escribe “SI”, deberá escribir en el cuadro amarillo inferior, el valor numérico del costo de extracción del estéril en las unidades de usd/ton de estéril y en caso de que el usuario NO DESEE la incorporación del costo de extracción del estéril, deberá escribir en el cuadro inferior amarillo el numero 0 (ver Figura 18).

Una vez que el usuario haya completado cada uno de los campos de la interfaz gráfica, debe hacer clic al botón rojo que dice “PRESIONE PARA INGRESAR DATOS”, una vez presionado el botón, el programa comenzara la ejecución y calculara la solución optimizadora al problema.

Herramientas especiales durante la ejecución del programa

Una vez que haga clic en el botón “PRESIONE PARA INGRESAR DATOS”, el programa comenzara su ejecución y comenzaran a correr líneas de código en un rectángulo interno dentro de la ventana de Visual Studio Code (ver Figura 19), es en este punto, donde en la misma ventana de la aplicación aparecerá un rectángulo pequeño con diferentes botones de acciones (ver Figura 20), en donde el usuario podrá pausar la ejecución del código en cualquier momento con el botón pausa (cuadro amarillo de la Figura 19) y con el botón play (cuadro rojo de la Figura 20), podrá volver a iniciar a ejecución del algoritmo

desde la iteración donde lo dejo pausado, esto último es de gran ayuda al usuario, ya que le permite en cualquier instante dejar en pausa la ejecución del programa e incluso poner en suspensión su ordenador, y después volver a iniciar su pc y poner play para poder volver a inicial desde la iteración que quedo anteriormente, esto último es muy útil cuando el programa demora mucho tiempo como lo son los programas del tipo “GRG”, que demoran alrededor de 20 a 30 min aproximadamente. Para detener definitivamente la ejecución del programa, el usuario puede en cualquier momento hacer clic en el cuadrado anaranjado de la Figura 19.

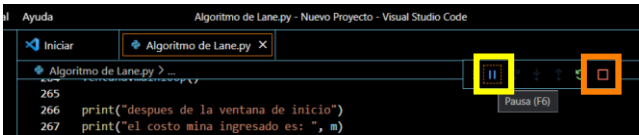


Figura 19: Menú de acción para poner pausa y "stop" al programa.
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

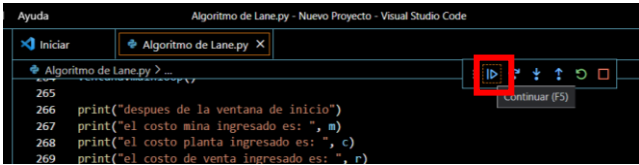


Figura 20: Menú de acción para reproducir y poner "play" para volver a correr el programa.
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Paso N°5: Visualización de la Solución

Una vez el programa haya concluido la ejecución del código, este le mostrara en pantalla una ventana que contendrá 6 gráficos que muestran la información más relevante con respecto a la solución y contienen la política de leyes de corte optimizadora, el Valor Actual Neto en cada uno de los periodos, el tonelaje de material que debe extraer la mina, el tonelaje de mineral que debe ser enviado a la planta concentradora, la cantidad de producto fino y por último la cantidad de concentrado de cobre que podrá ser vendido en un mercado intermedio (ver Figura 21).

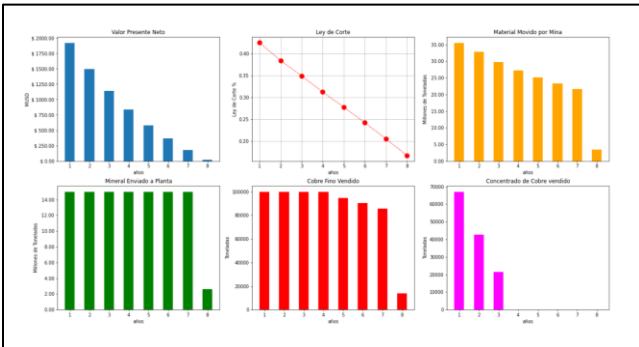


Figura 21: Información Gráfica de la solución que entrega el programa "Algoritmo de Lane".
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Además de que el usuario pueda visualizar la solución, el programa es capaz de generar un archivo de salida en formato Excel, el cual se creara en la misma carpeta de trabajo “Nuevo

Proyecto”, la cual se generara al mismo instante en que el programa tenga la solución a su problema. (ver Figura 22).

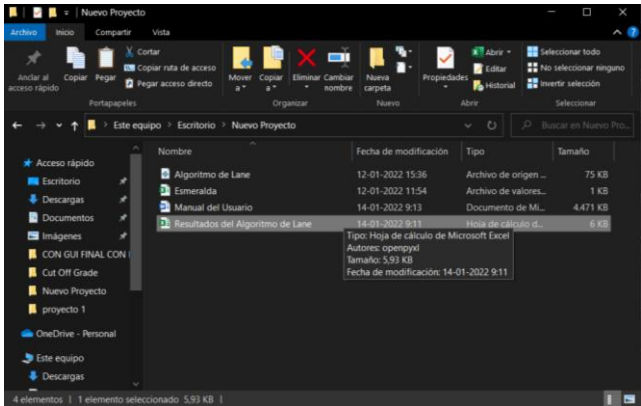


Figura 22: Generación del archivo "Resultados del Algoritmo de Lane" en la carpeta de trabajo "Nuevo Proyecto".
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

El archivo de salida denominado como “Resultados del Algoritmo de Lane” contiene toda la información relevante a la solución del problema y entrega la mejor estrategia al problema del consumo de reservas minerales, tomando en consideración el recurso “Esmeralda” y los parámetros económicos y técnicos de la Tabla 2. El archivo de salida contiene la solución en formato numérico, lo cual facilitara al usuario la información exacta de leyes de corte, valores del VAN entre otros parámetros importantes del plan minero (ver Figura 23 y Figura 24).

	A	B	C	D	E	F
	Años	Ley de Corte en %	Beneficio Anual en usd	beneficio actualizado en usd	VAN en usd	
1	0	1	0.425250746	423761851.1	423761851.1	1917379460
2	1	2	0.384373821	391445308.1	355859371	1493617609
3	2	3	0.349223094	365967018.2	302452081.1	1137758238
4	3	4	0.312186252	337302425.3	253420304.5	835306157.1
5	4	5	0.277445371	317073886.4	216565730.8	581885852.6
6	5	6	0.241814053	298451188	185314706.5	365320121.8
7	6	7	0.204647393	278106675	156983967.8	180005415.3
8	7	8	0.167005466	44862288.33	23021447.46	23021447.46
9						
10						
11						

Figura 23: Información del archivo de salida en formato .xlsx con la información económica, leyes de corte y leyes medias.
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

G	H	I	J	K
ley media en %	Ton de Material	Ton de Mineral	Ton de Producto	Ton de concentrado
0.9047287	35519479.09	15000000	100000	67095.64199
0.850930128	32799119.93	15000000	100000	42565.72314
0.804667867	29804600.64	15000000	100000	21472.05008
0.75592327	27189074.94	15000000	99781.8717	0
0.718116537	25121205.79	15000000	94791.38284	0
0.683727489	23303433.11	15000000	90252.02855	0
0.647856627	21667976.22	15000000	85517.07481	0
0.611527068	3495110.275	2614714.319	14070.92352	0

Figura 24: Información del archivo de salida en formato .xlsx del tonelaje de los distintos materiales movidos por cada etapa de procesamiento.
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Es importante destacar que el archivo de salida en formato .xlsx contiene la información referente al tonelaje que extrae la mina, indicado en la columna “Ton de Material”, tonelaje

que debe ser enviado a la planta de procesadora, indicado en la columna “Ton de Mineral”, tonelaje de producto fino de cobre, mostrado por la columna “Ton de Producto” y por último el tonelaje de concentrado de cobre que puede ser vendido en el mercado intermedio, mostrado por la columna “Ton de concentrado”. **CADA VALOR NUMERICO DE TODAS LAS COLUMNAS REFERENTES A LOS TONELAJES SE ENCUENTRAN EN TONELADAS.**

Ingreso de datos para el Programa Algoritmo GRG Iterativo

Los pasos para poder ejecutar e insertar los datos al programa GRG Iterativo, son los mismos pasos que los descritos para la ejecución del Algoritmo de Lane, solo que existe un paso adicional dentro de la inserción de los parámetros técnicos y económicos en la interfaz gráfica (GUI) y estos son los datos de entrada que el usuario debe llenar para construir el denominado “vector de factores optimizantes”, este vector lo que hace es elevar el valor numérico de la solución de la ley de corte optima reportada por el Algoritmo de Lane, de esta forma, el programa “Algoritmo GRG Iterativo” calcula el valor del VAN para múltiples planes mineros, en donde cada uno de estos planes mineros estará ligado a un valor característico de “ σ ”, donde sigma es un número que hace aumentar el valor numérico de la ley de corte optima reportada por el algoritmo de Lane (ver Figura 25).

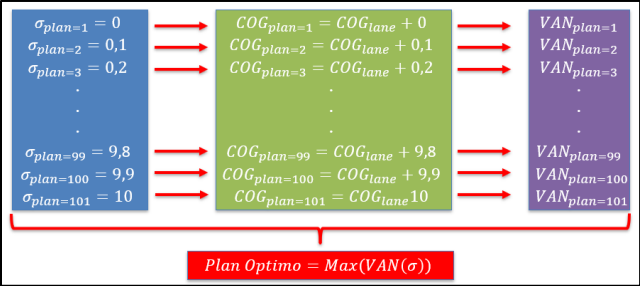


Figura 25: Descripción de la función del factor optimizante “ σ ” para hallar el máximo VAN.
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

El usuario debe especificar el valor inicial, final y el valor del paso que desea que tenga este vector, se recomiendan los valores especificados en la Tabla 3.

Tabla 3: Valores de entrada del Vector Factores Optimizantes Recomendados.

Parámetros del Vector Factores Optimizantes	Valor
Valor Inicial	0
Valor Final	10
Paso	0.1

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

El usuario deberá introducir estos datos numéricos en la siguiente parte de la interfaz gráfica (GUI) del programa “Algoritmo GRG Iterativo” (ver Figura 26).

Parametros de Ingreso del Vector Factor Optimizante:

Ingrese el valor inicial del factor optimizante, recomendación: ingrese el cero

0

Ingrese el valor final del factor optimizante, recomendación: ingrese el 10

10

Ingrese el paso del vector factores optimizantes, recomendación: ingrese 0.1

0.1

Figura 26: Parámetros Adicionales que el usuario debe completar para crear el vector de factores optimizantes.
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Otro aspecto que cambia en la ejecución del “Algoritmo GRG Iterativo”, es la solución obtenida, ya que este nuevo programa crea un archivo en formato .xlsx el cual almacena los valores numéricos de la solución óptima del plan minero, pero en ese caso, se genera una nueva columna llamada “Factor Optimizante” (ver Figura 27), la cual hace referencia al valor numérico del parámetro “ σ ” que hace incrementar al máximo el valor de la ley de corte definida por el Algoritmo de Lane que logra generar el máximo Valor Presente Neto para el Proyecto.

	B	C	D	E	
	Años	Factor Optimizante	Ley de Corte en %	Beneficio Anual en usd	b
	1	2.9	0.500147267	486192784.1	
	2	2.9	0.447012003	442226780.7	
	3	2.9	0.396094125	399452343.9	
	4	2.9	0.356863804	371672609	
	5	2.9	0.314715199	339232877.4	
	6	2.9	0.273525632	315073787.6	
	7	2.9	0.231362799	78370807.72	

Figura 27: Excel de salida con la nueva columna denominada “Factor Optimizante”.
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Ingreso de datos para el Programa Algoritmo GRG Multi Año

La ejecución de este último programa y la inserción de los parámetros técnicos y económicos se realiza de la misma forma y siguiendo los mismos pasos empleados para el “Algoritmo de Lane” y “Algoritmo GRG Iterativo”, con la única diferencia en los valores numéricos que el usuario debe darle al programa “Algoritmo GRG Multi Año” para definir el nuevo vector de factores optimizantes, donde los parámetros que se recomienda que el usuario coloque son los descritos por la Tabla 4.

Tabla 4: Valores de entrada para el Nuevo Vector Factores Optimizantes Recomendados.

Parámetros del Vector Factores Optimizantes	Valor
Valor Inicial	0
Valor Final	30
Paso	0.01

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

La razón de que los valores numéricos que componen el vector “Factores Optimizantes” son diferentes al anterior algoritmo, es que este último programa llamado “Algoritmo GRG Multi Año” se basa en que el programa desconoce el valor numérico de la ley de corte es capaz de maximizar el Valor Presente Neto, por lo tanto, lo que hará el programa es evaluar todos los valores numéricos posibles de leyes de corte que existan dentro de un determinado intervalo de valores, y el algoritmo comienza evaluando la ley de corte marginal y guarda el valor del VAN que se obtiene en el año 1 utilizando la ley de corte marginal, después va incrementando el valor de la ley de corte marginal para así guardar este nuevo VAN y hacer esto con una cantidad grande de leyes de corte, de esta forma se obtiene para el año 1 la ley de corte que hace el VAN máximo y después se actualizan los recursos restantes a través de la resta de los recursos consumidos en el año 1, por lo que se pasa al año 2 y aquí se vuelve a repetir el proceso de búsqueda de la ley de corte que maximiza el VAN (ver Figura 28).

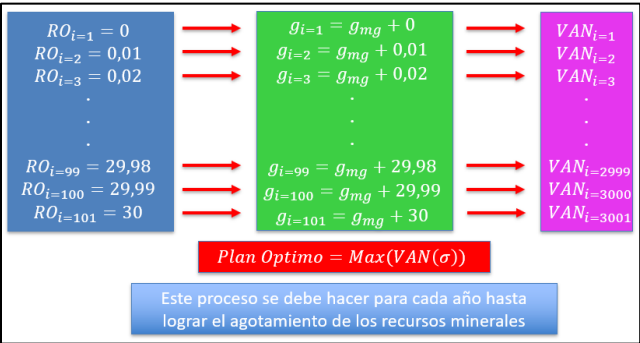


Figura 28: Descripción de la función del Nuevo factor optimizante "RO" para hallar el máximo VAN para el "Algoritmo GRG Multi Año".
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Además del cambio en los valores numéricos recomendados para el Nuevo Vector Factores Optimizantes para el "Algoritmo GRG Multi Año", también se debe agregar en la interfaz gráfica la modalidad de la solución que el usuario desee obtener, ya que con este nuevo método matemático es posible crear dos variantes en el tipo de solución que se le puede ofrecer al usuario y estas son:

- Solución Maximizadora del VAN: si el usuario desea encontrar la solución de la política de leyes de corte que permitan consumir todos los recursos mineros, pero que al mismo tiempo entreguen el mayor VAN posible, debe seleccionar esta opción. (pero no asegura que el vector de leyes de corte optimo sea constante o uniforme), para esto debe escribir la letra "A" (en mayúscula o minúscula) en la interfaz gráfica (ver Figura 29).

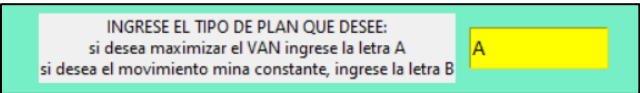


Figura 29: Selección en la Interfaz Gráfica de la opción "A".
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

- Solución Maximizadora del VAN, priorizando el Movimiento Mina Parejo: si el usuario desea encontrar una solución que entregue el vector de leyes de corte optimas, pero que al mismo tiempo el movimiento mina sea constante a lo largo de todo el periodo de producción hasta descender cuando se agoten los recursos, debe escribir la letra "B" (en mayúscula o minúscula) en la interfaz gráfica (ver Figura 30). Esta última opción no asegura que el VAN obtenido sea el mayor, pero sí que el movimiento mina sea parejo al mismo tiempo que se ha encontrado el VAN máximo con aquella restricción.

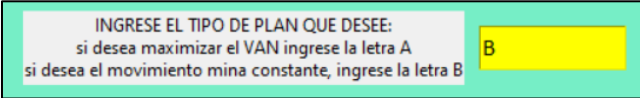


Figura 30: Selección en la Interfaz Gráfica de la opción "B".
Fuente: Elaboración Propia, 2021.

Del mismo modo en que ocurre para el "Algoritmo GRG Iterativo", la solución obtenida en formato xlsx se le agrega una columna llamada "RO" la cual contiene el valor del Factor Optimizante que es capaz de generar la ley de corte optima y cabe destacar que estos valores son variables a lo largo del tiempo, por eso se llama "Multi Año" (ver Figura 31).

	B	C	D	E	F
	Años	RO	Ley de Corte en %	beneficio anual en usd	b
	1	17.8	0.50013793	486188186	
	2	17.8	0.50013793	486188186	
	3	17.79	0.49993188	486064915	
	4	17.79	0.49993188	486064915	
	5	4.6	0.228152436	291071494.2	
	6	2.34	0.181585222	230557374.9	

Figura 31: Adición de nueva columna llamada "RO" para la solución del programa "GRG Multi Año".
Fuente: Elaboración Propia, 2021.