

Breve descripción del programa LINDO

Introducción

Los ejemplos de esta guía se realizaron con el software LINDO (Linear Interactive and Discrete Optimizer) 6.1, que permite resolver modelos de Programación Lineal Continua y/o Entera y hacer el correspondiente análisis de sensibilidad. En el sitio <http://www.lindo.com> puede bajarse una versión académica que permite modelos de hasta 300 variables (a lo sumo 30 enteras) y 150 restricciones.

Ingreso de un modelo simple

Vamos a ingresar el modelo de la figura en LINDO:

$$\begin{aligned} 4X + 3Y &\leq 10 \\ 3X + 5Y &\leq 12 \\ Z = 2X + 3Y &\rightarrow \text{Máx.} \end{aligned}$$

El modelo debe comenzar por la función objetivo precedida de MAX o MIN según se la quiera maximizar o minimizar respectivamente. Puede constar de una o más líneas y se separa del resto del modelo mediante la expresión SUBJECT TO (puede abreviarse como ST) que indica que la función objetivo esta “sujeta a” las restricciones que se indicarán a continuación.

```
MAX 2X + 3Y
ST
```

Seguidamente se ingresan las restricciones (aunque pueden estar separadas por espacios, se suelen ingresar en líneas separadas para mejorar la legibilidad). El modelo finaliza con la expresión END.

```
!Restricciones
MP) 4X + 3Y < 10
MO) 3X + 5Y < 12
END
```

Las reglas que tuvimos en cuenta al hacer este trabajo son:

- Cada término, en cualquier restricción (o en la función objetivo), contiene: $[+|-]$ [coef.] [nombre_variable], siempre en ese orden (no necesariamente separados por blancos). El signo más (+) también es opcional, así como el coeficiente, si fuera 1.
- El nombre de la variable debe comenzar con una letra y puede contener hasta 8 caracteres alfanuméricos.
- Todos los términos variables deben ir a la izquierda de la inecuación y cada término independiente a la derecha. Si el modelo no estuviera formulado de esta manera, se deberá operar y pasar de términos hasta llegar a la misma.
- Como no se pueden utilizar desigualdades estrictas LINDO admite el uso de estos signos en vez de los que incluyen igualdad (“<” equivale a “≤” y “>” a “≥”).
- Las ecuaciones se pueden rotular con un nombre que debe seguir las reglas usadas para denominar las variables. Luego del mismo se incluye un paréntesis de cierre. Esto simplifica notablemente la comprensión de los reportes.

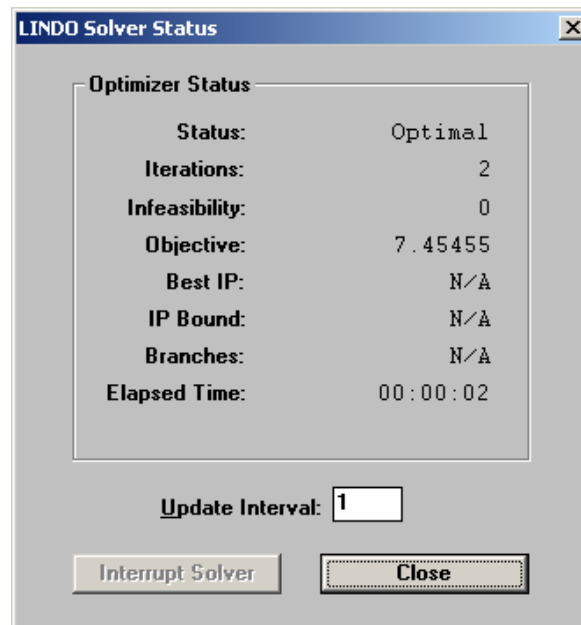
- Pueden incluirse comentarios para mejorar la legibilidad del modelo anteponiendo un signo de admiración (cierre) a los mismos para que LINDO lo ignore al compilar el modelo.

Aquí tenemos el modelo terminado:

```
MAX 2X + 3Y
ST
!Restricciones
MP) 4X + 3Y < 10
MO) 3X + 5Y < 12
END
```

El resultado de la corrida

Una vez completado el modelo se compila mediante la opción *Compile Model* del menú *Solve* y se ejecuta con la opción *Solve* del mismo menú. Puede omitirse el paso de la compilación (*Solve* compila automáticamente en caso de ser necesario) aunque el mismo evita la mayoría de los “cuelgues” en los últimos sistemas Windows.



Al resolver el modelo el programa abre un cuadro con el estado de la solución y algunos datos acerca de la misma. Los posibles estados (status) son:

- **Infeasible:** el modelo es incompatible (no tiene solución válida). Previamente se presenta un cuadro que explica la situación (NO FEASIBLE SOLUTION...).
- **Unbounded:** el modelo es un poliedro abierto (el funcional no está restringido). Previamente se presenta un cuadro que explica la situación (UNBOUNDED SOLUTION ...).
- **Optimal:** se llegó a una solución óptima. Se presenta la posibilidad de realizar un análisis de sensibilidad del rango de variación de los coeficientes de la función objetivo y los términos independientes de las restricciones.

En todos los casos, una vez que se cierran los cuadros emergentes se podrá ver el reporte de la corrida que se muestra a continuación.

LP OPTIMUM FOUND AT STEP				2
OBJECTIVE FUNCTION VALUE				
1)		7.454545		
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST		
X	1.272727	0.000000		
Y	1.636364	0.000000		
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES		
MP)	0.000000	0.090909		
MO)	0.000000	0.545455		
NO. ITERATIONS=		2		
RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:				
OBJ COEFFICIENT RANGES				
VARIABLE	CURRENT COEF	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE	
X	2.000000	2.000000	0.200000	
Y	3.000000	0.333333	1.500000	
RIGHTHAND SIDE RANGES				
ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE	
MP	10.000000	6.000000	2.800000	
MO	12.000000	4.666667	4.500000	

El mismo contiene en primer lugar una indicación de la cantidad de pasos efectuados hasta llegar al óptimo y el valor de la función objetivo en el mismo (OBJECTIVE FUNCTION VALUE).

Seguidamente se detallan los valores (VALUE) de las variables reales del problema y sus correspondientes costos de oportunidad (REDUCED COST).

Luego se presentan los valores de las variables “slack”, así como el valor marginal (DUAL PRICE) correspondiente a cada uno de los recursos (o restricciones) a los que corresponden.

A continuación se muestra, en caso de haber seleccionado la opción de análisis de sensibilidad, el valor actual de los coeficientes del funcional para cada variable del problema y sus rangos de variación positiva y negativa (OBJ COEFFICIENT RANGES).

Por último se tiene un análisis similar para cada una de las restricciones del problema, con el valor actual del término independiente de la restricción y sus rangos de variación positiva y negativa (RIGHTHAND SIDE RANGES).

Otros comandos

Los siguientes comandos permiten agregar características al modelo. Se ubican luego del término END.

- GIN: indica que la variable que lo sigue es entera (General INteger)
- INT: indica que la variable que lo sigue es bivalente.
- SUB: establece un limite superior para el valor de la variable que lo sigue. Equivale a una restricción de máximo en el modelo pero permite ahorrársela (si hay un límite en la cantidad de ecuaciones que puede manejar el programa) y trabaja en forma más eficiente.

- *SLB: establece un límite inferior para el valor de la variable que lo sigue. Comparte todas las características de SUB.*

Herramientas para la corrección de errores

Cuando no se puede obtener un resultado óptimo se debe analizar qué es lo que provoca esta situación. La herramienta para hacer esto es el comando Debug del menú Solve. El mismo puede devolver restricciones (para los problemas incompatibles) o variables (para los que son poliedros abiertos), divididas en dos grupos:

- *Necesarias (NECESSARY SET): el submodelo formado por este conjunto es incompatible. Para corregirlo, basta con eliminar (o modificar) un solo elemento del mismo.*
- *Suficientes (SUFFICIENT SET): el modelo tiene una solución óptima eliminando (o modificando) cualquiera de ellas. Si el modelo no tiene solución por un error en una restricción, esta aparecerá listada en este conjunto.*

Una vez que se hayan corregido todos los conjuntos que se presentaron el modelo tendrá una solución óptima.

Sugerencias

- ☞ *Si se tiene un modelo pasado sin rótulos para las ecuaciones y se quiere obtener en forma rápida una numeración para las mismas se puede usar el comando Formulation del menú Reports. El resultado del mismo es el planteo del modelo, en el que aparecerán rotuladas las restricciones con números sucesivos desde el 2 (ya que el 1 es la función objetivo).*
- ☞ *Si bien LINDO no valida que los nombres de las restricciones sean distintos entre sí o de los nombres de las variables reales (ya que solamente los usa para emitir el reporte) es una buena práctica no repetir los mismos para evitar confusiones posteriores.*
- ☞ *Se recomienda ser muy cuidadoso al pasar el modelo al LINDO. Es muy común cometer errores en los nombres de las variables, lo que genera 2 variables distintas. En ese sentido suele ser muy útil dar un vistazo al reporte de la solución y verificar que no se esté violando alguna de las restricciones.*
- ☞ *Se debe evitar utilizar coeficientes con gran diferencia de escala, ya que esto puede provocar errores de redondeo en la resolución del problema. En caso de encontrarse con un modelo que tiene algunos coeficientes muy grandes (pequeños) respecto de los demás se recomienda dividir (multiplicar) la ecuación completa por una constante para acercarlo a los valores de los demás coeficientes del problema. En este caso, aparecerá el mensaje "POORLY SCALED MODEL".*
- ☞ *Para referencias adicionales se recomienda consultar la ayuda del programa (comandos, mensajes, reglas, ver las tablas de simplex, etcétera).*