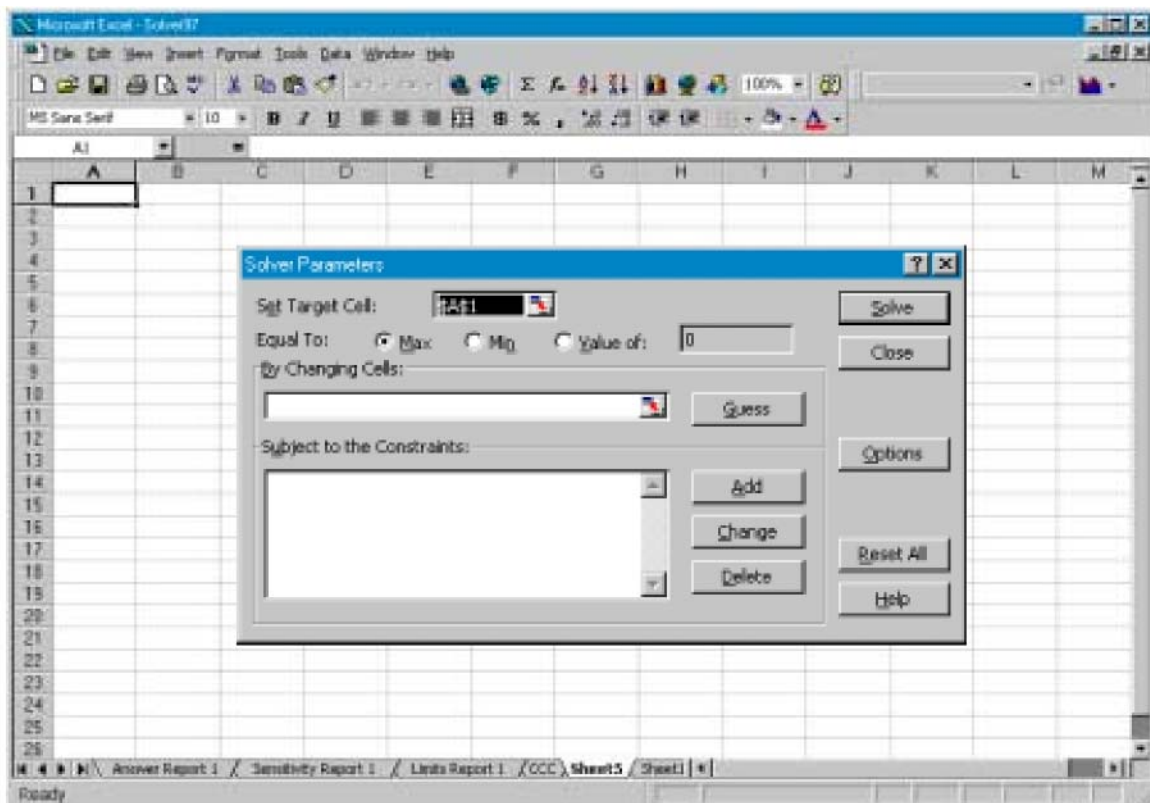


Instrucciones de EXCEL Solver

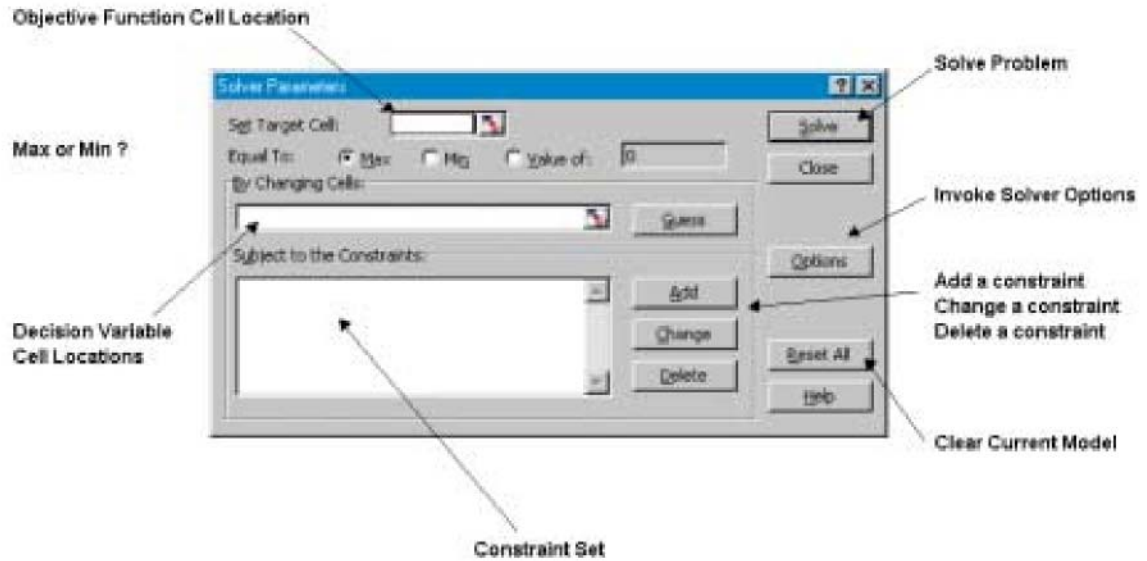
Octubre de 2000

La opción **Solver** de EXCEL sirve para resolver problemas de optimización lineal y no lineal; también se pueden indicar restricciones enteras sobre las variables de decisión. Con **Solver** es posible resolver problemas que tengan hasta 200 variables de decisión, 100 restricciones explícitas y 400 simples (cotas superior e inferior o restricciones enteras sobre las variables de decisión). Para acceder a **Solver**, seleccione **Tools** en el menú principal y luego **Solver**. La ventana con los parámetros de Solver aparecerá tal y como se muestra a continuación:

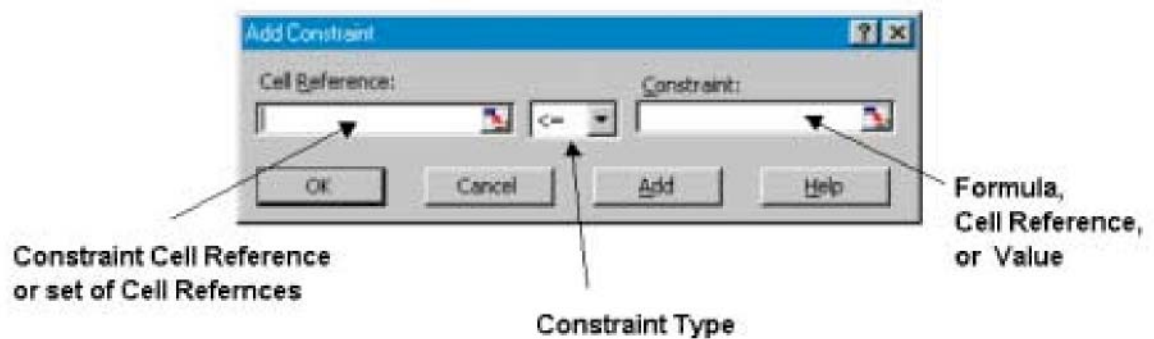


Cuadro de diálogo de los parámetros de Solver

La ventana **Solver Parameters** se utiliza para describir el problema de optimización a EXCEL. El campo **Set Target Cell** contiene la celda donde se encuentra la función objetiva correspondiente al problema en cuestión. Si desea hallar el máximo o el mínimo, seleccione **Max** o **Min**. Si la casilla **Value of** está seleccionada, Solver tratará de hallar un valor de la celda igual al valor del campo que se encuentra a la derecha de la selección. El cuadro de diálogo **By Changing Cells** contendrá la ubicación de las variables de decisión para el problema. Por último, las restricciones se deben especificar en el campo **Subject to the Constraints** haciendo clic en **Add**. El botón **Change** permite modificar las restricciones recién introducidas y **Delete** sirve para borrar las restricciones precedentes. **Reset All** borra el problema en curso y restablece todos los parámetros a sus valores por defecto. Con el botón **Options** se accede a las opciones de Solver (ver más adelante). El botón **Guess** carece de interés para nuestros fines y no se tratará en estas instrucciones. A continuación, y para mayor claridad, se señalan las partes más importantes del cuadro de diálogo de los parámetros de Solver.



Al hacer clic en el botón **Add**, aparece la ventana Add Constraint.



Si hace clic en el campo **Cell Reference** podrá especificar la ubicación de una celda (por lo general, una celda con una fórmula). Introduzca el tipo de restricción haciendo clic en la flecha del campo central desplegable (\leq , \geq , $=$, int, donde int se refiere a un número entero, o bin, donde bin se refiere a binario). El campo **Constraint** puede llevar una fórmula de celdas, una simple referencia a una celda o un valor numérico. El botón **Add** añade la restricción especificada al modelo existente y vuelve a la ventana Add Constraint. El botón **OK** añade la restricción al modelo y vuelve a la ventana Solver

Dialog. *Nota: Solver no asume la no negatividad de las variables de decisión. En la ventana de opciones puede especificar que las variables han de ser no negativas.*

Si en la ventana de los parámetros de Solver hacemos clic en el botón **Options**, aparece la ventana siguiente:



Max Time permite especificar el número de segundos antes de que **Solver** se detenga. El campo **Iterations**, al igual que el campo anterior, permite especificar el número máximo de iteraciones (pasos del algoritmo solver) antes de que el programa se detenga. Precision es el grado de exactitud del algoritmo solver (por ejemplo, lo cerca que tiene que estar el valor del lado derecho de una restricción antes de que se considere igual al lado izquierdo). El campo Tolerance se utiliza para programas enteros. Especifica un porcentaje dentro del cual se garantiza la optimalidad de la solución. Si intenta hallar la solución óptima, ponga el valor cero en este campo, aunque tal vez desee establecer un valor más alto si el tiempo de ejecución es demasiado largo (siempre que le interese aceptar una solución dentro de ese porcentaje de optimalidad).

*Si su modelo es un programa lineal o un programa entero lineal, le aconsejamos que seleccione la casilla **Assume Linear Model**.* De este modo, el programa utiliza el algoritmo simplex en lugar de un algoritmo no lineal más largo y complicado (Generalized Reduced

Gradient Meted). *Seleccione la casilla Assume Non-Negative si desea que todos los valores de las celdas cambiantes sean ≥ 0* . Seleccione Show Iterations Results si le interesa ver la información iteración por iteración (esto ralentiza mucho el tiempo de procesamiento). Use **Automatic Scaling** es útil si el modelo que utiliza tiene una escala defectuosa (si las entradas son de órdenes de magnitud completamente diferentes). Por último, la parte inferior de la ventana contiene las opciones para el algoritmo no lineal, a saber, cómo calcula la no linealidad, cómo se calculan las tasas de cambio y el tipo de técnica de búsqueda empleado.

En términos generales, los valores por defecto de la mayoría de estos parámetros son perfectamente válidos. Es importante acordarse de seleccionar Assume Linear Model si se trata de un programa lineal o un programa lineal entero. Seleccione la casilla Assume Non-Negativity si desea que las celdas cambiantes adopten sólo valores no negativos. Del mismo modo, si intenta obtener la solución óptima de un programa entero, no olvide establecer un 0% en el campo Tolerance.

Un ejemplo: la empresa Colorado Cattle Company¹

La empresa Colorado Cattle Company (CCC) puede comprar tres tipos de ingredientes alimentarios sin procesar a un distribuidor mayorista. El ganado de la empresa tiene ciertas necesidades alimenticias con respecto a las grasas, proteínas, calcio y hierro. Cada vaca requiere al menos 10 unidades de calcio, no más de 7,5 unidades de grasa, al menos 12 unidades de hierro y al menos 15 unidades de proteína al día. La tabla siguiente indica la cantidad de grasa, proteína, calcio y hierro por cada libra de los tres ingredientes

¹ Este problema se extrajo de Camm, J.D. y Evans, J.R., **Management Science, Modeling, Analysis, and Interpretation**, South-Western Publishing Co., Cincinnati, Ohio, 1996.

alimentarios. El alimento de grado 1 cuesta 0,25 dólares; el de grado 2, 0,10 dólares; y el de grado 3, 0,08 por libra. El ganado se puede alimentar con una mezcla de los tres tipos de alimento sin procesar. CCC está interesada en alimentar al ganado del modo más barato posible.

Datos de Colorado Cattle Company

Ingredientes alimentarios (Unidades por libra)

	Grado 1	Grado 2	Grado 3
Calcio	0,7	0,8	0
Hierro	0,9	0,8	0,8
Proteínas	0,8	1,5	0,9
Grasa	0,5	0,6	0,4

A continuación se formula el modelo de programación lineal del problema:

Sea x_1 grado 1 = cantidad diaria (en libras) de grado 1 utilizada en alimentar una vaca
 x_2 grado 2 = cantidad diaria (en libras) de grado 2 utilizada en alimentar una vaca
 x_3 grado 3 = cantidad diaria (en libras) de grado 1 utilizada en alimentar una vaca

Minimizar

$$0,25 x_1 + 0,1 x_2 + 0,08 x_3$$

sujeto a

$$0,7 x_1 + 0,8 x_2 + 0 x_3 \geq 10 \quad (\text{Calcio})$$

$$0,9 x_1 + 0,8 x_2 + 0,8 x_3 \geq 12 \quad (\text{Hierro})$$

$$0,8 x_1 + 1,5 x_2 + 0,9 x_3 \geq 15 \quad (\text{Proteínas})$$

$$0,5 \text{ grado 1} + 0,6 \text{ grado 2} + 0,4 \text{ grado 3} \leq 7,5 \quad (\text{Grasa})$$

$$\text{grado 1, grado 2, grado 3} \geq 0$$

A continuación se muestra una hoja EXCEL con el modelo de este escenario:

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled "Colorado Cattle Company Model". The data is organized as follows:

Grade	1	2	3		Minimum	Maximum
Cost / lb	\$ 0.25	\$ 0.10	\$ 0.08			
Calcium / lb	0.7	0.8	0.0	Calcium	10	
Iron / lb	0.9	0.8	0.8	Iron	12	
Protein / lb	0.8	1.5	0.9	Protein	15	
Fat / lb	0.5	0.6	0.4	Fat		7.5

Decision Variables

	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Quantity	0	0	0

Model Outputs (i.e. Constraints)

	Amount		
Calcium	0	>=	10
Iron	0	>=	12
Protein	0	>=	15
Fat	0	<=	7.5

Objective Function

Total Cost	0
------------	---

Las fórmulas de celda en esta hoja todas tienen lugar en la sección Model Outputs (esto es, restricciones).

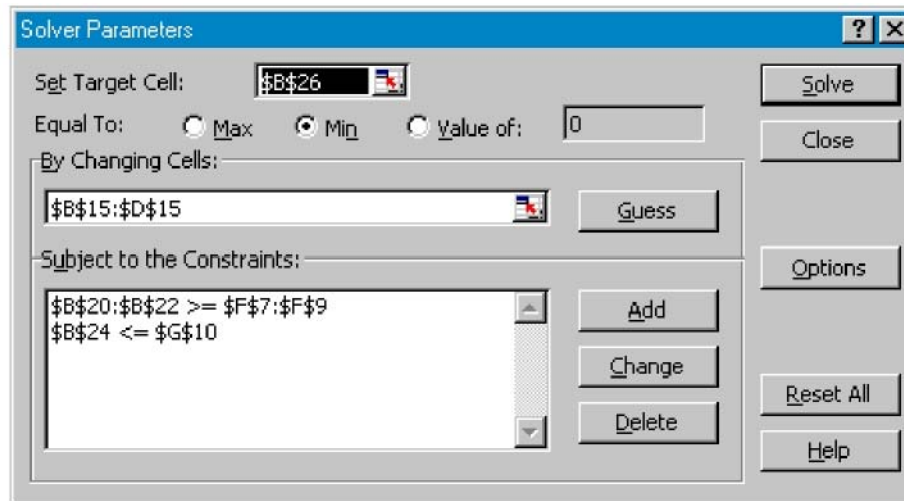
	A	B	C
18	Model Outputs (I.e. Constraints):		
19		Amount	
20	Calcium	=SUMPRODUCT(B7:D7,B15:D15)	
21	Iron	=SUMPRODUCT(B8:D8,B15:D15)	
22	Protein	=SUMPRODUCT(B9:D9,B15:D15)	
23			
24	Fat	=SUMPRODUCT(B10:D10,B15:D15)	
25			
26	Total Cost	=SUMPRODUCT(B6:D6,B15:D15)	

La función SUMPRODUCT lleva a cabo el producto escalar. Por ejemplo, la cantidad de calcio utilizada es $SUMPRODUCT(B7:D7,B15:D15) = (B7*B15 + C7*C15 + D7*D15)$.

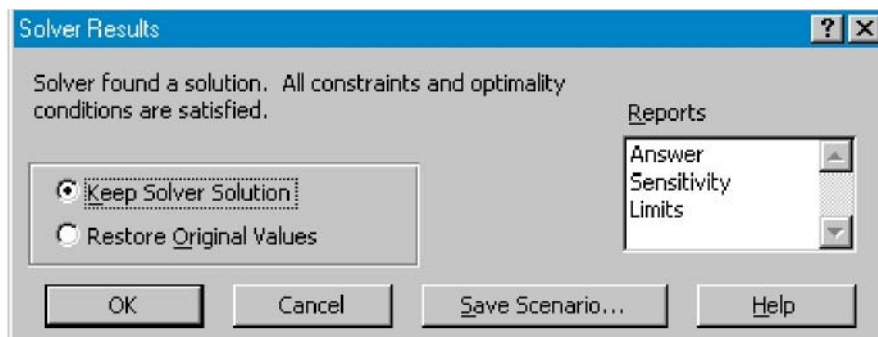
Siga los siguientes pasos para crear el modelo de PL que se muestra más abajo:

1. Vaya a Tools - Solver.
2. Haga clic en el campo Set Target Cell y escriba B26.
3. Haga clic en Min.
4. Haga clic en el campo By Changing Cells y, en la hoja de cálculo, haga clic y arrastre el ratón de B15 a D15 (o escriba B15:D15).
5. Haga clic en el botón Add para acceder a la ventana Add Constraint.
6. Para introducir las restricciones necesarias mínimas: haga clic en Cell Reference e introduzca B20:B22, seleccione el tipo \geq y, a continuación, vaya al campo Constraint e introduzca F7:F9. Haga clic en Add.
7. Para introducir las restricciones máximas permitidas: haga clic en Cell Reference e introduzca B24, seleccione el tipo \leq y, a continuación, vaya al campo Constraint e introduzca G10. Haga clic en el botón OK.
8. Por último, en Options, seleccione Assume Non-negativity y Assume Linear Model.

El modelo completo en la ventana Solver Parameters es el siguiente:



Para resolver el modelo, haga clic en el botón Solve. Una vez resuelto el problema, aparecerá la ventana Solver Results:



Puede elegir entre mantener en la hoja de cálculo la solución hallada por Solver o restaurar los valores originales. También, como se muestra en el recuadro Reports, es posible generar automáticamente tres informes diferentes. Seleccione cualquiera de los informes haciendo clic sobre él en el recuadro. En la siguiente sección se describen los tipos de informe.

Informes de Solver

Solver genera tres informes para programas lineales: Answer Report, Sensitivity Report y Limits Report. Si se ha seleccionado la opción Keep Solver Solution en la ventana de resultados de Solver, la solución óptima se mantiene en la propia hoja Excel. Más abajo se muestra como queda esta opción con el problema de Colorado Cattle Company.

El **Answer Report** proporciona el valor inicial y final de la celda de destino (*Target Cell*) y de todas las celdas ajustables (*Adjustable Cells*) así como un listado de cada restricción y su estado (nota: el término divergencia (*slack*) se utiliza para describir tanto las variables de holgura como las de beneficio). El informe del modelo para la empresa Colorado Cattle Company se muestra más adelante. Observe que EXCEL etiqueta la celda destino, las celdas ajustables y las restricciones con el primer texto que encuentra a la izquierda y encima de las celdas.

Microsoft Excel 8.0 Answer Report
Worksheet: [CCC.XLS]CCC
Report Created: 12/11/97 8:33:07 AM

Celda Destino (Min)

Celda	Nombre	Valor Original	Valor Final
\$B\$26	Importe coste total	\$0,00	\$2,59

Celdas Ajustables		Valor Original	Valor Final
Celda	Nombre	Valor Original	Valor Final
\$B\$15	Cantidad Grado 1	0	8
\$C\$15	Cantidad Grado 2	0	5,5
\$D\$15	Cantidad Grado 3	0	0,5

Restricciones						
Celda	Nombre	Valor Celda	Fórmula	Estado	Divergencia	
\$B\$20	Cantidad calcio	10	\$B\$20>=\$F\$7	Obligatorio	0	
\$B\$21	Cantidad hierro	12	\$B\$21>=\$F\$8	Obligatorio	0	
\$B\$22	Cantidad proteína	15,1	\$B\$22>=\$F\$9	Opcional	0,1	
\$B\$24	Cantidad grasa	7,5	\$B\$24<=\$G\$10	Obligatorio	0	

El **Sensitivity Report** proporciona el valor óptimo de cada celda ajustable, su coste reducido, el coeficiente de función objetivo y el aumento y la disminución de éste para el cual la solución en curso permanece óptima (el resto permanece fijo). Por ejemplo, en el Sensitivity Report de la empresa Colorado Cattle Company que se muestra más abajo, el coste del grado 1 puede disminuir hasta 0,1425 y la solución permanecerá óptima. El precio sombra de cada restricción (el cambio en la función objetivo por unidad de aumento en el lado derecho) se da junto con el aumento y disminución del valor del lado derecho para el cual es válido el precio. Por ejemplo, en el Sensitivity Report de la empresa Colorado Cattle Company que se muestra a continuación, un aumento de 0,5 unidades de cantidad de grasa (lo que está dentro del aumento permitido en la restricción de 1) dará como resultado un cambio en la función objetiva de $(0,5) \times (-1,14) = -0,57$.

Microsoft Excel 8.0 Sensitivity Report
Worksheet: CC.XLS]CCC
Report Created: 12/11/97 8:33:07 AM

Celdas Ajustables

Celda	Nombre	Valor Final	Coste Reducido	Coefficiente Objetivo	Aumento Permitido	Disminución Permitida
\$B\$15	Cantidad Grado 1	8	0	0,25	1E+30	0,1425
\$C\$15	Cantidad Grado 2	5,5	0	0,1	0,162857143	1E+30
\$D\$15	Cantidad Grado 3	0,5	0	0,08	0,177142857	2,68

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Final	Precio Sombra	Restricción Lado Dcho.	Aumento Permitido	Disminución Permitida
\$B\$20	Cantidad calcio	10	0,31	10	0,137931034	4
\$B\$21	Cantidad hierro	12	0,67	12	0,054794521	2
\$B\$22	Cantidad proteína	15,1	0	15	0,1	1E+30
\$B\$24	Cantidad grasa	7,5	-1,14	7,5	1	0,016949153

El **Limits Report** (que se muestra más adelante con el ejemplo de la Colorado Cattle Company) da los límites superior e inferior de cada celda ajustable manteniendo el resto de las celdas ajustables en su valor actual y cumpliendo las restricciones. El informe que se detalla a continuación muestra que la solución al ejemplo de la Colorado Cattle Company es muy ajustada (con dos de las tres celdas ajustables fijas en sus valores de destino, en la tercera los límites superior e inferior son iguales a su valor de destino).

Microsoft Excel 8.0 Limits Report
 Worksheet: [CCC.XLS]CCC
 Report Created: 12/11/97 8:33:07 AM

Celda	Nombre Destino	Valor
\$B\$26	Importe coste total	\$2,59

Celda	Nombre Ajustable	Valor	Límite Inferior	Resultado Destino	Límite Superior	Resultado Destino
\$B\$15	Cantidad Grado 1	8	8	2,59	8	2,59
\$C\$15	Cantidad Grado 2	5,5	5,5	2,59	5,5	2,59
\$D\$15	Cantidad Grado 3	0,5	0,5	2,59	0,5	2,59

Resolución de problemas no lineales y enteros

La resolución de modelos lineales enteros, de modelos no lineales e incluso de modelos enteros no lineales se logra mediante las mismas técnicas descritas anteriormente. Para especificar una restricción como un número entero acceda a la ventana Add Constraint, seleccione la celda ajustable en el campo Cell Reference y escoja el tipo int (entero), para variables binarias elija bin. Para modelos no lineales, lo único que tiene que hacer es no seleccionar Assume Linear Model en la ventana Options.