

APLICACIONES CON SOLVER

Una de las herramientas con que cuenta el Excel es el solver, que sirve para crear modelos al poderse, diseñar, construir y resolver problemas de optimización.

Es una poderosa herramienta para la optimización y asignación eficiente de los recursos escasos (tierra, tiempo, trabajo, capital, materias primas y capacidad gerencial), a través de esta herramienta se puede conocer el mejor uso de los recursos de tal manera que se cumplan las metas planteadas, como son la maximización de los rendimientos y la minimización de los costos y gastos.

La aplicación principal en la optimización es en la parte de la programación lineal, no lineal y en la programación binaria.

Este software cuenta con unas opciones donde usted puede condicionar su modelo para cumpla las exigencias de este de una forma más eficiente y para el cual detallo; que a continuación detallare y que vienen en el programa.

OPCIONES DE SOLVER

Dentro de las opciones tenemos:

Tiempo máximo

Limita el tiempo que tarda el proceso de solución. Puede introducirse un valor de hasta 32.367, pero el valor predeterminado 100 (segundos) es adecuado para la mayor parte de los problemas.

Iteraciones

Limita el tiempo que tarda el proceso de solución, limitando el número de cálculos provisionales. Aunque puede introducirse un valor de hasta 32767, el valor predeterminado 100 es adecuado para la mayor parte de los problemas pequeños.

Precisión

Controla la precisión de las soluciones utilizando el número que se introduce para averiguar si el valor de una restricción cumple un objetivo o satisface un límite inferior o superior. Debe indicarse la precisión mediante una fracción entre 0 (cero) y 1. Cuantos más decimales tenga el número que se introduzca, mayor será la precisión; por ejemplo, 0,0001 indica una precisión mayor que 0,01. Cuanto mayor sea la precisión, más tiempo se tardará en encontrar una solución.

Tolerancia

El porcentaje mediante el cual la celda objetivo de una solución satisface las restricciones externas puede diferir del valor óptimo verdadero y todavía considerarse aceptable. Esta opción sólo se aplica a los problemas que tengan

restricciones enteras. Una tolerancia mayor tiende a acelerar el proceso de solución.

Convergencia

Si el valor del cambio relativo en la celda objetivo es menor que el número introducido en el cuadro Convergencia para las últimas cinco iteraciones, Solver se detendrá. La convergencia se aplica únicamente a los problemas no lineales y debe indicarse mediante una fracción entre 0 (cero) y 1. Cuantos más decimales tenga el número que se introduzca, menor será la convergencia; por ejemplo, 0,0001 indica un cambio relativo menor que 0,01. Cuanto menor sea el valor de convergencia, más tiempo se tardará en encontrar una solución.

Adoptar modelo lineal

Selecciónelo cuando todas las relaciones en el modelo sean lineales y desee resolver un problema de optimización o una aproximación lineal a un problema no lineal.

Mostrar resultado de iteraciones

Selecciónelo para que Solver muestre temporalmente los resultados de cada iteración. Esta opción es válida sólo en modelos no lineales.

Usar escala automática

Selecciónelo para utilizar la escala automática cuando haya grandes diferencias de magnitud entre las entradas y los resultados; por ejemplo, cuando se maximiza el porcentaje de beneficios basándose en una inversión de medio millón de dólares.

Adoptar no-negativo

Hace que Solver suponga un límite de 0 (cero) para todas las celdas ajustables en las que no se haya definido un límite inferior en el cuadro Restricción del cuadro de diálogo Agregar restricción.

Cargar modelo

Muestra el cuadro de diálogo Cargar modelo, donde puede especificarse la referencia del modelo que desee cargar.

Guardar modelo

Muestra el cuadro de diálogo Guardar modelo, donde puede especificar la ubicación en que desee guardar el modelo. Úselo únicamente cuando desee guardar más de un modelo con una hoja de cálculo; el primer modelo se guardará de forma automática.

Opciones para Modelos No Lineales

Estimación

Especifica el enfoque que se utiliza para obtener las estimaciones iniciales de las variables básicas en cada una de las búsquedas dimensionales.

Tangente

Utiliza la extrapolación lineal de un vector tangente.

Cuadrática

Utiliza la extrapolación cuadrática, que puede mejorar en gran medida los resultados de problemas no lineales.

Derivadas

Especifica la diferencia que se utiliza para estimar las derivadas parciales del objetivo y las funciones de la restricción.

Progresivas

Se utilizan para la mayor parte de los problemas, en que los valores de restricción cambien relativamente poco.

Centrales

Se utiliza en los problemas en que las restricciones cambian rápidamente, especialmente cerca de los límites. Aunque esta opción necesita más cálculos, puede ser útil cuando Solver devuelve un mensaje diciendo que no puede mejorarse la solución.

Buscar

Especifica el algoritmo que se utiliza en cada iteración para determinar la dirección en que se hace la búsqueda.

Newton

Utiliza un método cuasi Newton que normalmente necesita más memoria pero menos iteraciones que el método de gradiente conjugado.

Gradiente Conjugado

Necesita menos memoria que el método Newton, pero normalmente necesita más iteraciones para alcanzar un determinado nivel de precisión. Use esta opción cuando se trate de un problema grande o cuando al hacer un recorrido a través de iteraciones se descubra un progreso lento.

RESULTADOS DEL SOLVER

Muestra un mensaje de finalización y los valores resultantes más próximos a la solución que se desee.

Conservar la solución

Haga clic para aceptar la solución y colocar los valores resultantes en las celdas ajustables.

Restaurar valores originales.

Haga clic para restaurar los valores originales en las celdas ajustables.

Informes

Genera el tipo de informe que especifique y lo coloca en una hoja independiente del libro. Elija un tipo de informe y, a continuación, haga clic en Aceptar.

Respuesta

Muestra una lista con la celda objetivo y las celdas ajustables con sus valores originales y sus valores finales, las restricciones y la información acerca de éstas.

Sensibilidad

Proporciona información acerca de la sensibilidad de la solución a que se realicen pequeños cambios en la fórmula definida en el cuadro Definir celda objetivo del cuadro de diálogo Parámetros de Solver o de las restricciones. No se genera este informe para los modelos que tengan restricciones enteras. En modelos no lineales, el informe facilita los valores para las gradientes y los multiplicadores de Lagrange. En los modelos lineales, el informe incluye costos reducidos, otros precios, coeficiente de objetivos (con aumentos y disminuciones permitidos) y rangos de restricciones hacia la derecha.

Límites

Muestra una lista con la celda objetivo y las celdas ajustables con sus valores correspondientes, los límites inferior y superior, así como los valores del objetivo. No se genera este informe para los modelos que tengan restricciones enteras. El límite inferior es el valor mínimo que puede tomar la celda ajustable mientras se mantienen todas las demás celdas ajustables fijas y se continúa satisfaciendo las restricciones. El límite superior es el valor máximo.

Guardar escenario

Abre el cuadro de diálogo Guardar escenario, donde puede guardar los valores de celda para su uso con el Administrador de escenarios de Microsoft Office Excel.

PARAMETROS MODELO

Definir celda objetivo

Especifica la celda objetivo que se desea definir con un valor determinado o que se desea maximizar o minimizar. La celda debe contener una fórmula.

Igual a

Especifica si se desea maximizar o minimizar la celda objetivo, o bien definirla con un valor específico. Si desea un valor específico, introdúzcalo en el cuadro.

Cambiando las celdas

Definir celda objetivo

Especifica las celdas que pueden ajustarse hasta que se satisfagan las restricciones en el problema y la celda del cuadro Definir celda objetivo alcance su valor. Las celdas ajustables deben estar directa o indirectamente relacionadas con las celdas objetivo.

Estimar

Estima todas las celdas que no contienen ninguna fórmula a las que se hacen referencia en la fórmula del cuadro Definir celda objetivo y coloca sus referencias en el cuadro Cambiando las celdas.

Sujeto a las siguientes restricciones

Sujeto a las restricciones Muestra una lista de las restricciones actuales en el problema.

Agregar Muestra el cuadro de diálogo **Agregar restricción**.

Cambiar Muestra el cuadro de diálogo **Cambiar restricción**.

Eliminar Elimina la restricción seleccionada.

Resolver Inicia el proceso de solución del problema definido.

Cerrar Cierra el cuadro de diálogo sin resolver el problema. Retiene todos los cambios que se hayan realizado mediante los botones **Opciones**, **Agregar**, **Cambiar** o **Borrar**.

Opciones Muestra el cuadro de diálogo **Opciones de Solver**, donde pueden cargarse y guardarse los modelos de problema y las características de control avanzado del proceso de solución.

Restablecer todo Borra los valores actuales del problema y restablece todos los valores a sus valores originales.

DISEÑO DEL MODELO

Para la utilización del software se debe diseñar un modelo del problema a resolver en la hoja de cálculo.

Donde se especifique todos los parámetros necesarios para obtener una solución óptima. Dicho modelo se presenta a continuación.

Excel spreadsheet showing a linear programming model. The formula bar displays `=SUMAPRODUCTO (C5:E5; C7:E7)`. The spreadsheet layout is as follows:

| | C | D | E | F | G | H | I |
|-----------------------------|----|----|----|----|---|---|----|
| F.O: | 0 | | | | | | |
| Valores Cj | 9 | 5 | 7 | | | | |
| Variables | X1 | X2 | X3 | | | | |
| Variables Cambiantes | | | | | | | |
| Restricciones | | | | | | | |
| | 9 | 2 | 3 | <= | 0 | | 85 |
| | 4 | 1 | 2 | <= | 0 | | 97 |
| | 2 | 7 | 5 | <= | 0 | | 74 |

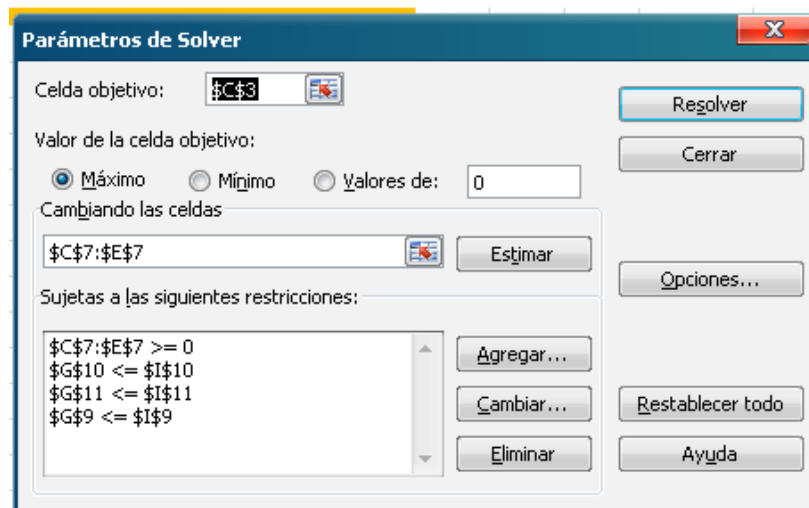
Callouts in the image identify the following components:

- Función Objetivo:** Points to cell C5.
- =SUMAPRODUCTO (C5:E5; C7:E7):** Formula bar text.
- Coeficiente de contribución:** Points to the values 9, 5, and 7 in row 7.
- Variables del problema:** Points to the variables X1, X2, and X3 in row 8.
- Restricciones:** Points to the constraint rows 10-12.
- CSR:** Points to the right-hand side values 85, 97, and 74.

The bottom formula bar shows `=SUMAPRODUCTO (C7:E7; C9:E9)`.

El anterior modelo que se debe plantear en la hoja de Excel es el que se debe llevar al solver para ser solucionado.

Una vez se tiene el modelo se procede a abrir el solver:

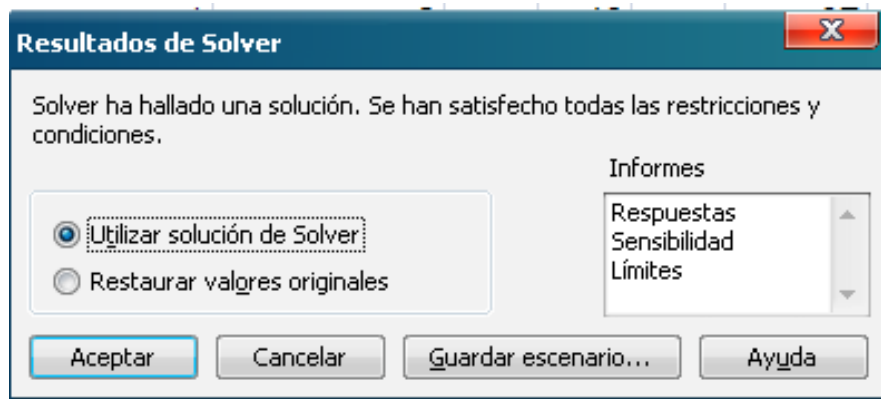


Luego se definen los parámetros del solver como se detalla en el grafico; de acuerdo al diseño elaborado en la hoja de cálculo.

Donde la función a optimizar puede ser del tipo maximizar ó minimizar y su fórmula es la sumaproducto de la fila de los coeficientes de contribución multiplicado por la fila de las variables cambiantes.

En las restricciones se agrega cada una de las restricciones definidas en el modelo como aparece en el grafico y se agrega la restricción de no negatividad para que los valores obtenidos sean positivos y se obtengan valores negativos característica de estos modelos de programación lineal.

Luego que se tiene definidos los parámetros procedemos a resolver el modelo por medio del solver obteniéndose el siguiente resultado:



Al darle resolver sale el anterior grafico donde se detalla; primero que el solver a encontrado una solución al problema satisfaciendo todas las condiciones del modelo planteado, si no hubiese resultado favorable habría sacado un mensaje de que el diseño del problema no tenia solución y habría que ajustarlo.

Segundo al tener solución presenta la opción de utilizar la solución ó volver al planteamiento inicial. Tercero, si utilizamos la solución se presentan tres informes respuestas, sensibilidad y limites.

Los resultados de aplicar el solver son:

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|----|---|----------------------|------------|----|------------|----|---|-----|----|
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | F.O: | 135,871795 | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5 | | Valores Cj | 9 | 5 | 7 | | | | |
| 6 | | Variables | X1 | X2 | X3 | | | | |
| 7 | | Variables Cambiantes | 5,20512821 | 0 | 12,7179487 | | | | |
| 8 | | Rrestricciones | | | | | | CSR | |
| 9 | | | 9 | 2 | 3 <= | 85 | | | 85 |
| 10 | | | 4 | 1 | 2 <= | 46 | | | 97 |
| 11 | | | 2 | 7 | 5 <= | 74 | | | 74 |

Donde la función objetivo su valor máximo optimo fue de \$135.87 y los valores de las variables para lograr esta solución fue de $X1 = 5.2051$ y $X2 = 0$; $X3 = 12.7179$ unidades del producto que se esté analizando en la solución, en cuanto a las

RODRIGO PEREZ PEÑA

Ingeniero Industrial

Especialista Evaluación Social de Proyectos

Especialista En Docencia Universitaria

restricciones tenemos que en la utilización de los recursos se obtuvieron los siguientes resultados; del recurso $b_1 = 85$ se utilizaron todos los disponibles en el proceso de producción del recurso $b_2 = 97$ tan solo se utilizaron 46 existiendo un excedente de 51 unidades de ese recurso que la empresa lo podrá utilizar en cualquier otro proceso. En cuanto al recurso $b_3 = 74$ se utilizó todo lo disponible por la empresa para el proceso de producción.

En cuanto a los informes analizaremos primero el de resultados:

| A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|
|---|---|---|---|---|---|---|

Hoja de cálculo: [Libro2]Hoja1

Informe creado: 27/02/2011 08:10:45 a.m.

Celda objetivo (Máximo)

| Celda | Nombre | Valor original | Valor final |
|--------|--------|----------------|-------------|
| \$C\$3 | F.O: | 0 | 135,8717949 |

Celdas cambiantes

| Celda | Nombre | Valor original | Valor final |
|--------|-------------------------|----------------|-------------|
| \$C\$7 | Variables Cambiantes X1 | 0 | 5,205128205 |
| \$D\$7 | Variables Cambiantes X2 | 0 | 0 |
| \$E\$7 | Variables Cambiantes X3 | 0 | 12,71794872 |

Restricciones

| Celda | Nombre | Valor de la celda | Fórmula | Estado | Divergencia |
|---------|-------------------------|-------------------|------------------|-------------|-------------|
| \$G\$9 | <= | 85 | \$G\$9<=\$I\$9 | Obligatorio | (|
| \$G\$10 | <= | 46,25641026 | \$G\$10<=\$I\$10 | Opcional | 50,74358974 |
| \$G\$11 | <= | 74 | \$G\$11<=\$I\$11 | Obligatorio | (|
| \$C\$7 | Variables Cambiantes X1 | 5,205128205 | \$C\$7>=0 | Opcional | 5,205128205 |
| \$D\$7 | Variables Cambiantes X2 | 0 | \$D\$7>=0 | Obligatorio | (|
| \$E\$7 | Variables Cambiantes X3 | 12,71794872 | \$E\$7>=0 | Opcional | 12,71794872 |

El valor de la función objetivo es de \$135.87 aparece valor original de cero cuando se partió de un vértice inicial, y se llegó a un valor final de \$135.87, y en las celdas cambiantes para $X_1=5.205$ y $X_2=12.7179$ que se interpreta según problema pueden ser unidades a producir u otro tipo de producto.

En cuanto a las restricciones tenemos que el recurso $b_1=85$ en el Excel 2007 saca un mensaje en estado de obligatorio significa ello que este recurso es indispensable para la solución obtenida; en el caso del Excel 2010 se tiene que el mensaje estado es vinculante significa lo mismo que se explicó para la anterior versión del Excel. Explica ello como se utilizarán los recursos durante la ejecución del proceso, implica que habrá necesidad de ajustar los recursos b_2 porque estos hay un excedente de 50.7443 unidades. En cuanto a los valores del coeficiente de contribución de la función objetivo estos no permiten variación a lo establecido

Por Una Óptima Aplicación de los Recursos Escasos

para los productos X1 y X3 pero para el producto X2 se puede reducir hasta cero, teniendo en cuenta que este no es demandado por los consumidores.

En cuanto al análisis de sensibilidad tenemos:

Microsoft Excel 12.0 Informe de sensibilidad
Hoja de cálculo: [Libro2]Hoja1
Informe creado: 27/02/2011 08:10:45 a.m.

Celdas cambiantes

| Celda | Nombre | Valor Igual | Gradiente reducido |
|--------|-------------------------|-------------|--------------------|
| \$C\$7 | Variables Cambiantes X1 | 5,205128205 | 0 |
| \$D\$7 | Variables Cambiantes X2 | 0 | -3,051282051 |
| \$E\$7 | Variables Cambiantes X3 | 12,71794872 | 0 |

Restricciones

| Celda | Nombre | Valor Igual | Multiplicador de Lagrange |
|------------|--------|-------------|---------------------------|
| \$G\$9 <= | | 85 | 0,794871795 |
| \$G\$10 <= | | 46,25641026 | 0 |
| \$G\$11 <= | | 74 | 0,923076923 |

En la versión Excel 2007 se tiene los siguientes resultados como análisis de sensibilidad. Donde el valor del coeficiente de contribución de la variable X1 es de 5.205 y se puede reducir hasta cero su costo, según Excel 2010 el valor de ese coeficiente puede llegar a 9 y su aumento permisible es hasta 10.818 y lo reducción permisible de 6.2. Para el producto x2 su coeficiente es de cero teniendo en cuenta que no se produce y su costo se puede reducir hasta -3.051 el valor objetivo es de 5 quiere ello significar que la flexibilidad de su precio es nula, también podemos observar que su valor de aumento permisible 3.051 y su reducción es bastante significativa.

En cuanto a la variable X3 se tiene que su valor final del coeficiente de contribución es de 12.7179 y su costo de reducción es cero, su valor puede llegar a 7 y su aumento permisible puede ser 15.5 y su disminución permisible 2.0169 ello demuestra la flexibilidad de este coeficiente a cambios futuros.

En cuanto a los recursos disponibles se tiene lo siguiente:

Para el recurso b2 se tiene que se utilizaron 46.2564 de los 97 que tenía disponible la empresa, que para dichos recursos no se tiene precio sombra por cada unidad adicional que se produzca; en igual forma se tiene que dicho recurso se puede aumentar permisiblemente todo lo que sea, y reducir hasta 50.7435.

RODRIGO PEREZ PEÑA

Ingeniero Industrial

Especialista Evaluación Social de Proyectos

Especialista En Docencia Universitaria

Del recurso b3 se utilizo todo lo disponible, sin embargo se tiene un precio sombra por cada unidad adicional que se produzca como mínimo de 0.923 significa que si la empresa desea producir unidades de ese producto debe como mínimo cobrar por cada una de estas unidades \$0.923 pesos; este recurso se puede aumentar hasta 67.6666 y disminuir hasta 55.1111 con el recurso b1 se utilizo todo en el proceso y se tiene como precio sombra por cada unidad adicional que se produzca de \$0.7948 pesos; el aumento permisible de este recurso es de 123.6875 y la disminución permisible es de 40.6.

Hoja de Cálculo: [Libro1]Hoja1

Informe creado: 27/02/2011 09:03:07 a.m.

Celdas de variables

| Celda | Nombre | Final Valor | Reducido Coste | Objetivo Coeficiente | Permisible Aumentar | Permisible Reducir |
|--------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| \$C\$7 | Variables Cambiantes X1 | 5,205128205 | 0 | 9 | 10,81818182 | 6,2 |
| \$D\$7 | Variables Cambiantes X2 | 0 | -3,051282051 | 5 | 3,051282051 | 1E+30 |
| \$E\$7 | Variables Cambiantes X3 | 12,71794872 | 0 | 7 | 15,5 | 2,016949153 |

Restricciones

| Celda | Nombre | Final Valor | Sombra Precio | Restricción Lado derecho | Permisible Aumentar | Permisible Reducir |
|------------|--------|----------------|------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|
| \$G\$10 <= | | 46,25641026 | 0 | 97 | 1E+30 | 50,74358974 |
| \$G\$11 <= | | 74 | 0,923076923 | 74 | 67,66666667 | 55,111111 |
| \$G\$9 <= | | 85 | 0,794871795 | 85 | 123,6875 | 40,6 |

RODRIGO PEREZ PEÑA

Ingeniero Industrial

Especialista Evaluación Social de Proyectos

Especialista En Docencia Universitaria

En cuanto a los límites tenemos:

| | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Microsoft Excel 12.0 Informe de límites | | | | | | | | | | |
| Hoja de cálculo: [Libro2]Informe de límites 1 | | | | | | | | | | |
| Informe creado: 27/02/2011 08:10:45 a.m. | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

CASOS ESPECIALES CON SOLVER

Un caso especial es la utilización del solver para problemas de programación entera, es decir cuando se trabaja con variables discretas que no aceptan fracciones.

Ejemplo, Se tiene el siguiente modelo de una fábrica que produce cuatro diferentes productos, que utilizan la misma mano de obra y materiales pero en diferentes proporciones.

PROGRAMACION DE LA PRODUCCION

| Producto | Mano de obra (h/h) | Material A (mts) | Material B (kg) | Precio | Utilidad unitaria |
|----------|--------------------|------------------|-----------------|--------|-------------------|
| A | 3,5 | 6,0 | 2,5 | 90.000 | 25.000 |
| B | 3,0 | 5,0 | 3,0 | 65.000 | 18.000 |
| C | 2,0 | 3,5 | 4,0 | 56.000 | 14.200 |
| D | 2,0 | 3,5 | 5,5 | 60.000 | 15.500 |

La empresa busca como combinar la producción, de manera que se maximice la utilidad sabiendo que existe una cantidad limitada de mano de obra y materiales y que cada producto debe participar por lo menos en un 10% de las ventas totales.

La fábrica tiene disponible 1000 horas de mano obra, 1750 mts de material A y 2000 mts de material B.

Al plantear el modelo en Excel de este caso quedo como sigue:

| PRODUCTO | Mano de Obra (h/h) | Materiales A (mts) | Materiales B (mts) | Precio (\$) | Utilidad Unitaria | Producción Unidades |
|----------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| A | 3,5 | 6,0 | 2,5 | 90000 | 25000 | 0 |
| B | 3,0 | 5,0 | 3,0 | 65000 | 18000 | 0 |
| C | 2,0 | 3,5 | 4,0 | 56000 | 14200 | 0 |
| D | 2,0 | 3,5 | 5,5 | 60000 | 15500 | 0 |


| | | | | | | |
|-------------|--|----------|----------|----------|----------------|----------------|
| Recursos | | | | | | |
| Disponibles | | 1000 | 1750 | 2000 | | |
| Utilizados | | 0 | 0 | 0 | Utilidad Total | \$ 0,00 |

| | Ventas (\$) | Porcentaje |
|-------|-------------|------------|
| A | \$ 0 | #¡DIV/0! |
| B | \$ 0 | #¡DIV/0! |
| C | \$ 0 | #¡DIV/0! |
| D | \$ 0 | #¡DIV/0! |
| Total | \$ 0 | #¡DIV/0! |

Al plantear el modelo en solver nos queda:

Por Una Óptima Aplicación de los Recursos Escasos


Parámetros de Solver

Celda objetivo: 

Valor de la celda objetivo:

☒ Máximo ☐ Mínimo ☐ Valores de:

Cambiando las celdas



Sujetas a las siguientes restricciones:

Luego damos resolver y nos da la siguiente respuesta:

| PRODUCTO | Mano Obra | Material A | Material B | Precio | Utilidad | Produccion |
|-------------------|----------------------|---------------|------------|-----------------|----------------|------------|
| | h/h | mts | mts | (\$) | Unidad | Unidades |
| A | 3,5 | 6,0 | 2,5 | 90000 | 25000 | 62 |
| B | 3,0 | 5,0 | 3,0 | 65000 | 18000 | 43 |
| C | 2,0 | 3,5 | 4,0 | 56000 | 14200 | 55 |
| D | 2,0 | 3,5 | 5,5 | 60000 | 15500 | 272 |
| Disponible | 1000 | 1750 | 2000 | | | |
| Utilizado | 1000 | 1731,5 | 2000 | | | |
| | | | | Utilidad | 7321000 | |
| | Ventas | % | | | | |
| A | \$ 5.580.000 | 20,1% | | | | |
| B | \$ 2.795.000 | 10,1% | | | | |
| C | \$ 3.080.000 | 11,1% | | | | |
| D | \$ 16.320.000 | 58,8% | | | | |
| Total | \$ 27.775.000 | 100,0% | | | | |

Donde los valores a producir de los productos son 62 para A, 43 para B, 55 para C, 272 para D. para que se cumpla que todos los productos tengan como mínimo un 10% o más en las ventas; como se puede observar el porcentaje de participación obtenido fue: 20.1% para A, 10.1% para B, 11.1% para C, y 58.8% para D, cumpliéndose la restricción exigida.

CASO DE MERCADEO

Éste es un modelo típico de mercadotecnia que muestra las ventas en función de los gastos en publicidad y de un factor de temporada. Esta función es no lineal y se expresa:

$$\text{Unidades vendidas} = 35 * \text{factor de temporada} * (\text{publicidad} + 3000)^{0.5}$$

Para cada trimestre, se tiene:

- Los factores de temporada:

| | Trimestre 1 | Trimestre 2 | Trimestre 3 | Trimestre 4 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Factor de temporada | 0.9 | 1.1 | 0.8 | 1.2 |

- $\text{Unidades vendidas} = 35 * \text{factor de temporada} * (\text{publicidad} + 3000)^{0.5}$
- $\text{Ingresos por ventas} = \text{precio del producto} * \text{unidades vendidas}$.
- $\text{Costo de las ventas} = \text{costo del producto} * \text{unidades vendidas}$.
- $\text{Margen bruto} = \text{Ingreso por ventas} - \text{Costo de las ventas}$
- $\text{Costo personal} = 8000$ los dos primeros trimestres y 9000 los dos últimos.
- $\text{Publicidad} = 10000$ {éstas serán las variables controlables}
- $\text{Costos fijos} = 0.15 * \text{Ingresos por ventas}$
- $\text{Costo total} = \text{Costo personal} + \text{Publicidad} + \text{Costos fijos}$
- $\text{Beneficio} = \text{Margen bruto} - \text{Costo total}$.
- $\text{Margen de beneficio} = \text{Beneficio} / \text{Ingresos por ventas}$.

El precio de venta y el costo son constantes a lo largo del año:

- Precio del producto = 40
- Costo del producto = 25

Utilizar el Solver para averiguar si el presupuesto publicitario es escaso y si la publicidad debe orientarse de otra manera durante algún tiempo para aprovechar mejor el factor de temporada.

Se planteo el siguiente modelo en Excel:

| | A | B | C | D | E | F |
|----|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | MERCADOTECNIA | | | | | |
| 3 | TRIMESTRE | T1 | T2 | T3 | T4 | TOTAL |
| 4 | Factor Temporada | 0,9 | 1,1 | 0,8 | 1,2 | |
| 5 | Unidades Vendidas | 1.725 | 2.109 | 1.534 | 2.300 | 7.668 |
| 6 | Ingresos por Ventas | \$ 69.013 | \$ 84.349 | \$ 61.345 | \$ 92.017 | \$ 306.725 |
| 7 | Costos de las Ventas | \$ 43.133 | \$ 52.718 | \$ 38.341 | \$ 57.511 | \$ 191.703 |
| 8 | Margen Bruto | \$ 25.880 | \$ 31.631 | \$ 23.004 | \$ 34.507 | \$ 115.022 |
| 9 | | | | | | |
| 10 | Costos Personal | \$ 8.000 | \$ 8.000 | \$ 9.000 | \$ 9.000 | \$ 34.000 |
| 11 | Publicidad | \$ 0 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 0 | \$ 0 |
| 12 | Costos Fijos | \$ 10.352 | \$ 12.652 | \$ 9.202 | \$ 13.803 | \$ 46.009 |
| 13 | Costos Total | \$ 18.352 | \$ 20.652 | \$ 18.202 | \$ 22.803 | \$ 80.009 |
| 14 | | | | | | |
| 15 | Beneficios | \$ 7.528 | \$ 10.979 | \$ 4.803 | \$ 11.704 | \$ 35.013 |
| 16 | Margen de Beneficio | 10,91% | 13,02% | 7,83% | 12,72% | 11,42% |
| 17 | Precio del Producto | \$ 40,00 | | | | |
| 18 | Costo del Producto | \$ 25,00 | | | | |

Luego se planteo los parámetros del solver como sigue:

Parámetros de Solver

Celda objetivo:

Valor de la celda objetivo:

☐ Máximo ☐ Mínimo ☒ Valores de:

Cambiando las celdas

Sujetas a las siguientes restricciones:

Botones: Resolver, Cerrar, Opciones..., Estimar, Agregar..., Cambiar..., Eliminar, Restablecer todo, Ayuda

Como es un modelo no lineal se tiene que la única restricción que se aplica es la del presupuesto de publicidad donde se estipula que no pase de \$40000 por periodo.

Al resolver el modelo obtenemos la siguiente respuesta:

| | A | B | C | D | E | F |
|----|-----------------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | MERCADOTECNIA | | | | | |
| 3 | TRIMESTRE | T1 | T2 | T3 | T4 | TOTAL |
| 4 | Factor Temporada | 0,9 | 1,1 | 0,8 | 1,2 | |
| 5 | Unidades Vendidas | 3.193 | 4.769 | 2.523 | 5.676 | 16.161 |
| 6 | Ingresos por Ventas | \$ 127.709 | \$ 190.776 | \$ 100.906 | \$ 227.039 | \$ 646.430 |
| 7 | Costos de las Ventas | \$ 79.818 | \$ 119.235 | \$ 63.066 | \$ 141.899 | \$ 404.019 |
| 8 | Margen Bruto | \$ 47.891 | \$ 71.541 | \$ 37.840 | \$ 85.140 | \$ 242.411 |
| 9 | | | | | | |
| 10 | Costos Personal | \$ 8.000 | \$ 8.000 | \$ 9.000 | \$ 9.000 | \$ 34.000 |
| 11 | Publicidad | \$ 7.273 | \$ 12.346 | \$ 5.117 | \$ 15.263 | \$ 40.000 |
| 12 | Costos Fijos | \$ 19.156 | \$ 28.616 | \$ 15.136 | \$ 34.056 | \$ 96.965 |
| 13 | Costos Total | \$ 34.430 | \$ 48.963 | \$ 29.253 | \$ 58.319 | \$ 170.965 |
| 14 | | | | | | |
| 15 | Beneficios | \$ 13.461 | \$ 22.578 | \$ 8.587 | \$ 26.820 | \$ 71.447 |
| 16 | Margen de Beneficio | 10,54% | 11,83% | 8,51% | 11,81% | 11,05% |
| 17 | Precio del Producto | \$ 40,00 | | | | |
| 18 | Costo del Producto | \$ 25,00 | | | | |

Podemos observar que la publicidad presupuestada para cada periodo según limitaciones de los recursos es la siguiente; \$7273 para el primer periodo, \$12346 para el segundo periodo, \$5117 para el tercer periodo, \$15283 para el cuarto periodo, de esta forma se cumple con la exigencia de que no puede ser más de \$40000 lo que se puede gastar en publicidad.

CASO DE PROYECTOS DE INVERSION

Hay modelos que sus resultados están condicionados a la ocurrencia de algún evento, en solver estos problemas se resuelven utilizando una variable binaria (0,1).

Se tiene el siguiente problema, donde se busca seleccionar dentro de un grupo de proyectos independientes, aquellos que maximicen el valor presente neto (VPN), sin sobrepasar su presupuesto.

Valores en millones de pesos

| PROYECTO | PERIODOS | | | | | | VPN |
|----------|----------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 | (1.200) | 150 | 200 | 200 | 250 | 1.500 | 147,5 |
| 2 | (600) | 185 | 200 | 215 | 200 | 200 | 83,6 |
| 3 | (700) | 25 | 175 | 350 | 350 | 350 | 81,8 |
| 4 | (900) | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 85,3 |
| 5 | (300) | 0 | 0 | 215 | 215 | 215 | 84,1 |
| 6 | (200) | 150 | 100 | 50 | | | 42,3 |
| 7 | (350) | 0 | 0 | 300 | 350 | | 59,7 |
| 8 | (300) | 0 | 0 | 500 | | | 37,5 |

RODRIGO PEREZ PEÑA

Ingeniero Industrial

Especialista Evaluación Social de Proyectos

Especialista En Docencia Universitaria

Como se puede apreciar todos los proyectos son viables ya que tienen su VPN positivos, pero es imposible seleccionarlos todos, pues no se cuenta con el capital suficiente tan solo se tiene un capital disponible es de \$1500 y ejecutar todos los proyectos se requiere \$4550. Además se tiene que la tasa descuento es de 14% Se plantea en Excel el modelo a resolver por solver como sigue:

Valores en millones de pesos

| PROYECTO | PERIODOS | | | | | | VPN | Variable binaria | Proyectos seleccionados | |
|----------|----------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|------------------|-------------------------|-----------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | VPN | Inversión |
| 1 | (1.200) | 150 | 200 | 200 | 250 | 1.500 | 147,5 | 0 | 0,0 | 0 |
| 2 | (600) | 185 | 200 | 215 | 200 | 200 | 83,6 | 0 | 0,0 | 0 |
| 3 | (700) | 25 | 175 | 350 | 350 | 350 | 81,8 | 0 | 0,0 | 0 |
| 4 | (900) | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 85,3 | 0 | 0,0 | 0 |
| 5 | (300) | 0 | 0 | 215 | 215 | 215 | 84,1 | 0 | 0,0 | 0 |
| 6 | (200) | 150 | 100 | 50 | | | 42,3 | 0 | 0,0 | 0 |
| 7 | (350) | 0 | 0 | 300 | 350 | | 59,7 | 0 | 0,0 | 0 |
| 8 | (300) | 0 | 0 | 500 | | | 37,5 | 0 | 0,0 | 0 |
| | | | | | | | | | 0,0 | 0 |

| | |
|-----------------------|-----|
| Tasa de descuento ==> | 14% |
|-----------------------|-----|

| | |
|--------------------|-------|
| CAPITAL DISPONIBLE | 1.500 |
| CAPITAL UTILIZADO | 0 |
| EXCEDENTE | 1.500 |

Luego se plantean los parámetros del solver como sigue:

Parámetros de Solver

Celda objetivo:

Valor de la celda objetivo:

☒ Máximo ☐ Mínimo ☐ Valores de:

Cambiando las celdas

Sujetas a las siguientes restricciones:

Botones: Resolver, Cerrar, Opciones..., Agregar..., Cambiar..., Eliminar, Restablecer todo, Ayuda

RODRIGO PEREZ PEÑA

Ingeniero Industrial

Especialista Evaluación Social de Proyectos

Especialista En Docencia Universitaria

Donde la celda J12 es la suma total de los VPN de los proyectos seleccionados, las celdas cambiantes son las celdas donde se tiene la opción de binaria de selección y la restricción de presupuesto es decir que de acuerdo al presupuesto de capital se haga la distribución.

La solución al resolver el problema fue:

Valores en millones de pesos

| PROYECTO | PERIODOS | | | | | | VPN | Variable binaria | Proyectos seleccionados | |
|----------|----------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|------------------|-------------------------|-----------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | VPN | Inversión |
| 1 | (1.200) | 150 | 200 | 200 | 250 | 1.500 | 147,5 | 0 | 0,0 | 0 |
| 2 | (600) | 185 | 200 | 215 | 200 | 200 | 83,6 | 1 | 83,6 | 600 |
| 3 | (700) | 25 | 175 | 350 | 350 | 350 | 81,8 | 0 | 0,0 | 0 |
| 4 | (900) | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 85,3 | 0 | 0,0 | 0 |
| 5 | (300) | 0 | 0 | 215 | 215 | 215 | 84,1 | 1 | 84,1 | 300 |
| 6 | (200) | 150 | 100 | 50 | | | 42,3 | 1 | 42,3 | 200 |
| 7 | (350) | 0 | 0 | 300 | 350 | | 59,7 | 1 | 59,7 | 350 |
| 8 | (300) | 0 | 0 | 500 | | | 37,5 | 0 | 0,0 | 0 |
| | | | | | | | | | 269,7 | 1.450 |

| | |
|--------------------|-------|
| CAPITAL DISPONIBLE | 1.500 |
| CAPITAL UTILIZADO | 1.450 |
| EXCEDENTE | 50 |

De los ocho proyectos disponibles solamente se seleccionaron 4 los cuales suman una inversión total de \$1450, que de acuerdo al capital disponible sobraron \$50 pesos.