Enseñanza con el uso directo de las TIC. Potencialidades del Solver (Microsoft Excel) para la Enseñanza de Programación Lineal y Modelos de Transporte.

Daniel Alfonso Londoño Ramírez. CEIPA, Business School. Docente Tiempo Completo. Sabaneta. Colombia. daniel.londono@ceipa.edu.co

Antonio Boada. CEIPA, Business School. Docente - Investigador Tiempo Completo. Sabaneta. Colombia. Antonio.boada@ceipa.edu.co

Resumen

Mediante el presente artículo se expone al lector el uso de herramientas tecnológicas mediante un complemento habilitado en Microsoft Excel (Solver), para la enseñanza del tema de programación lineal en las cátedras de métodos cuantitativos e investigación de operaciones. A través de la herramienta Solver, es posible potenciar la técnicas de enseñanza en los educadores para esta nueva era digital, generando una nueva perspectiva de enseñanza – aprendizaje mediante uso directo de las TIC, y desarrollando alcances nunca vistos bajo esquemas tradicionales.

Dicho artículo expone al lector el desarrollo de dos (2) casos: el primero de programación lineal, pudiéndose desarrollar por el método tradicional gráfico, ya que presenta dos (2) variables de decisión, pudiéndose representar en un plano cartesiano de dos (2) dimensiones y su contraposición mediante el uso de Solver. Mientras, el segundo caso de programación lineal para modelos de transporte, evidenciamos la imposibilidad de desarrollarlo bajo los métodos tradicionales (gráfico y simplex por matrices), ya que presenta seis (6) dimensiones, potenciando así el desarrollo del Solver como herramienta TIC fundamental para lograr solventar dichos escenarios bajo una estructura analítica sólida y bajo un nivel medio de dificultad (sin necesidad de comprensión profunda de herramientas matemáticas de operaciones con matrices).

Palabras claves: Programación Lineal con TIC, Modelos de Transporte con TIC, Uso de Solver, Enseñanza Programación Lineal

1.- Introducción

Un problema relevante de cualquier administrador en un ambiente altamente globalizado es realizar excelentes pronósticos del futuro, simulaciones efectivas, procesos de maximización y minimización en presencia de riesgo e incertidumbre.

El presente artículo expone la utilidad del uso de las herramientas automatizadas tradicionales del siglo XXI, ejemplificado por hojas de cálculo de Microsoft Excel y la factibilidad de desarrollar y solventar problémicas de casos y problemas de Programación Lineal y sus derivados más complejos como Modelos de Transporte.

Salvador (2000), expone que efectuar estos cálculos de forma manual resulta engorroso e ineficiente, ya que requieren de mucho tiempo de trabajo, como consecuencia de lo cual, los estudiantes no se concentran en el análisis físico del problema.

Se puede contribuir a la solución de esta limitación a través del uso del programa Microsoft Excel, ya que como expresa Campello (2008), el programa Microsoft Excel es una herramienta muy útil para ejecutar operaciones matemáticas y estadísticas.

Cuenca y Tamayo (2010), exponen el importante uso de Microsoft Excel ante escenarios educativos de las ciencias básicas, constituyendo una vía para optimizar el trabajo del estudiante en la realización de las prácticas de laboratorio de Física, al facilitar la rapidez en la construcción de tablas y gráficos, en los cálculos matemáticos y en la captura automatizada de datos. Lo que no sería tan claro y de tan rápida solución usando el método tradicional, en un ambiente fuera de la hoja de cálculo.

Escribano y Martínez (2007), evidencian que aunque los medios informáticos ofrecen posibilidades interesantes en el proceso de enseñanza/aprendizaje, no son herramientas de trabajo neutras, porque introducen ciertos sesgos, valores y características propias. De hecho, todavía no se han incluido en las aulas – y el aula de matemáticas no es una excepción- los medios informáticos de forma generalizada, y constituyen actividades de tipo "extraordinario" o especial, por una serie de razones, entre otras, la necesidad de aprender previamente el manejo de aplicaciones informáticas.

Una de las opciones menos conocidas y, sin embargo, más útiles de la hoja de cálculo Excel es la opción Solver que se utiliza para buscar el valor máximo, mínimo o exacto de una fórmula determinada, cambiando para ello el valor de una o más celdas (variables) de las que depende. Además se pueden incluir restricciones al valor de estas celdas. Por todo ello, Solver resulta ser una herramienta muy eficaz para los alumnos a la hora de resolver ciertos problemas matemáticos, como pueden ser los de programación lineal en los que se trata de optimizar –maximizar o minimizar- una función sujeta a una serie de restricciones Carbonell, Bellido y Albeza (2006) y Blanco et. al. (2002).

El uso del complemento Solver no es nuevo, Prieto (2003) documenta su uso al momento de maximizar o minimizar una función de dos variables restringida a un conjunto de inecuaciones también de dos variables y su resolución puede efectuarse de forma gráfica.

2.- Modelos Tradicionales vs Modelos con Hojas de Cálculo

En relación con la facilidad de comprensión por parte del administrador, los modelos con hoja de cálculo tienen una mayor orientación hacia el usuario. Mediante las hojas de cálculo, es posible expresar las fórmulas para generar los datos, y consecuentemente las relaciones e inecuaciones son fáciles de presentar, observar e inclusive modificar.

Respecto al planteamiento y posterior depuración del modelo, es preciso formular previamente el programa lineal, con sus respectivas restricciones, aunque posteriormente se resuelva con hoja de cálculo. El objetivo de la hoja de cálculo será trasladar el problema a un entorno más asequible para el analista, pero esta fase sólo se puede elaborar de una forma correcta tras haber depurado la formulación. Por ello, la hoja de cálculo no se puede entender como un sustituto de los modelos formales de programación lineal sino como una representación complementaria que permite al administrador tener contacto directo con el problema. (Sánchez, 1997).

Un ejercicio cotidiano es elegir la opción más adecuada entre varias opciones, es decir, encontrar la mejor solución a un problema determinado, entre un conjunto factible de soluciones. La mayoría de las veces se nos presenta un conjunto grande de posibles restricciones y debemos obtener un modelo matemático del problema para poder resolverlo, desde luego también queremos que este modelo sea lo más cercano a la descripción del problema real. (Azofeifa, 2007)

3.- Resolución informatizada sobre Programación Lineal

Desde el siglo XX, la resolución informatizada de programas lineales supone cambios en el enfoque docente a nivel de herramientas y uso de las TIC. Además de las propias implicaciones que supone la utilización de medios informáticos, aspectos que implica la necesidad de introducir nuevos contenidos didácticos que en las clases exclusivamente teóricas no eran necesarias. En general, dichos contenidos están relacionados con aspectos de eficiencia en la utilización de los programas informáticos.

Entre los contenidos más destacados que debe dominar el docente en el ámbito de la Programación Lineal, tenemos según Sánchez, 1997:

- De cara a plantear problemas con gran número de variables es preciso denominarlas de forma que se facilite su identificación utilizando nombres nemotécnicos. Este mismo aspecto debe ser considerado al identificar las restricciones.
- En el caso de restricciones referidas a una sola variable, desde un punto de vista computacional es más eficiente tratarlas como un límite o cota que como una restricción más.
- En problemas enteros complejos, se deben colocar las condiciones más restrictivas en primer lugar ya que los paquetes informáticos suelen analizar la factibilidad de cada solución en el mismo orden en que se ha definido el problema.
- Los problemas de escala pueden dar lugar a errores de redondeo en los cálculos, por ende es preciso modelizar de forma que el orden de magnitud de las cifras utilizadas sea similar.
- No es usual que todas las variables del modelo aparezcan en una restricción determinada. De hecho, en los grandes problemas reales, un gran número de variables tienen coeficientes tecnológicos cero.

4.- Problemas de Programación Lineal

Según expresa Azofeifa (2007), un ejercicio cotidiano dentro del ámbito de la enseñanza de la programación lineal, consiste en elegir la opción más adecuada entre varias opciones, es decir, encontrar la mejor solución a un problema determinado, entre un conjunto factible de soluciones. La mayoría de las veces se nos presenta un conjunto grande de posibles restricciones y debemos obtener un modelo matemático del problema para poder resolverlo, desde luego también queremos que este modelo sea lo más cercano a la descripción del problema real.

Estos procesos de optimización tienen como propósito central asignar de la mejor manera posible los recursos para lograr el máximo de una función objetivo, teniendo en cuenta pocas o muchas restricciones. Es decir, debemos escoger los mejores valores para el conjunto formado por las variables de decisión con el fin de minimizar o maximizar una función objetivo satisfaciendo limitaciones o restricciones de estas variables, usualmente las restricciones se aplican mediante ecuaciones o inecuaciones.

Por tanto debemos tener un modelo matemático que especifique la variable objetivo:

1-.Maximizar utilidades o la producción, minimizar costos o recursos.

2-.Un conjunto de restricciones,

3-.Un conjunto de variables de decisión. Que podrán efectivamente solventarse mediante el método gráfico, o el método Simplex de matrices, o mediante herramientas automatizadas como Solver.

Todos los problemas de programación lineal buscan maximizar o minimizar alguna cantidad, usualmente administrativas como la utilidad o el costo. Se hace referencia a esta propiedad como la función objetivo de un problema de programación lineal (Render, 2006, pp 534).

5.- Ejemplificación de un caso empresarial: Método Gráfico y uso del Solver.

A continuación, ejemplificaremos dos (2) casos, a fin de determinar el procedimiento tradicional de la programación lineal (método gráfico) y las potencialidades que posee la herramienta TIC de Solver en Microsoft Excel para determinar su solución de una forma amplia, robusta y rápida.

Es importante destacar, que ante cualquier caso, la formulación del problema es el proceso de traducir la declaración verbal del mismo en una declaración matemática. Elaborar un modelo matemático apropiado con base a las TIC es un arte que sólo puede dominarse con práctica y experiencia (Anderson, 2004, pp 226). Aunque todos los problemas tienen al menos algunas características únicas, la mayoría de ellos también tienen muchas características comunes y similares.

5.1.- Primer Caso

Una empresa dedicada a producir artículos de cuero desea optimizar los ingresos correspondientes a sus dos principales productos: billeteras y bolsos para dama. Se sabe que para la fabricación de una billetera se necesitan 200 gramos de cuero y 15 minutos de mano de obra y que para la fabricación de un bolso se hacen necesarios 500 gramos de cuero y 20 minutos de mano de obra. Semanalmente la empresa dispone de 9 kilogramos de cuero y de 10 horas de mano de obra para la producción de ambos elementos. Se estima además, que por cada billetera la utilidad es de 40.000 COP y por cada bolso la utilidad es de 90.000 COP. ¿Cómo será el plan de producción que maximice la ganancia para esta empresa?

Para comenzar con el desarrollo del problema es necesario tener claro el planteamiento del problema a resolver, en este caso se tiene que las variables de decisión son las cantidades a producir de billeteras y bolsos; la función objetivo será maximizar la utilidad por la venta de estos productos y las restricciones estarán planteadas con los minutos utilizados en el proceso que no pueden ser mayor a 600 minutos (10 horas) y que el cuero utilizado deberá ser menor o igual a 9000 gramos (9 kilogramos). Las conversiones de horas y kilogramos se hacen para trabajar todo en las mismas unidades. Resumiendo el planteamiento:

Variables: Cantidad a producir de Billeteras (X)

Cantidad a producir de Bolsos (Y)

Función objetivo Maximizar $40\ 000(X) + 90\ 000(Y)$

Sujeto a las restricciones:

Mano de obra (minutos): $15X + 20Y \leq 600$

Cuero (gramos): $200X + 500Y \leq 9\ 000$

No negatividad: las cantidades a producir en ambos productos no deben ser negativas $x \geq 0; y \geq 0$

En la Figura *1* muestra el procedimiento y elementos necesarios para solucionar el problema por el método gráfico. En primera instancia se grafican, en un solo plano cartesiano, las desigualdades generadas por las restricciones, en el eje horizontal (x) se ubica una variable (en este caso la cantidad a producir de billeteras) y en el eje vertical (y) la otra variable (cantidad a producir de bolsos); la región en la que se superponen se conoce como región factible, todos los puntos en esta región representarán posibles soluciones satisfaciendo todas las restricciones pero sólo los que se encuentren en sus vértices (A,B,C,D) representarán soluciones óptimas.

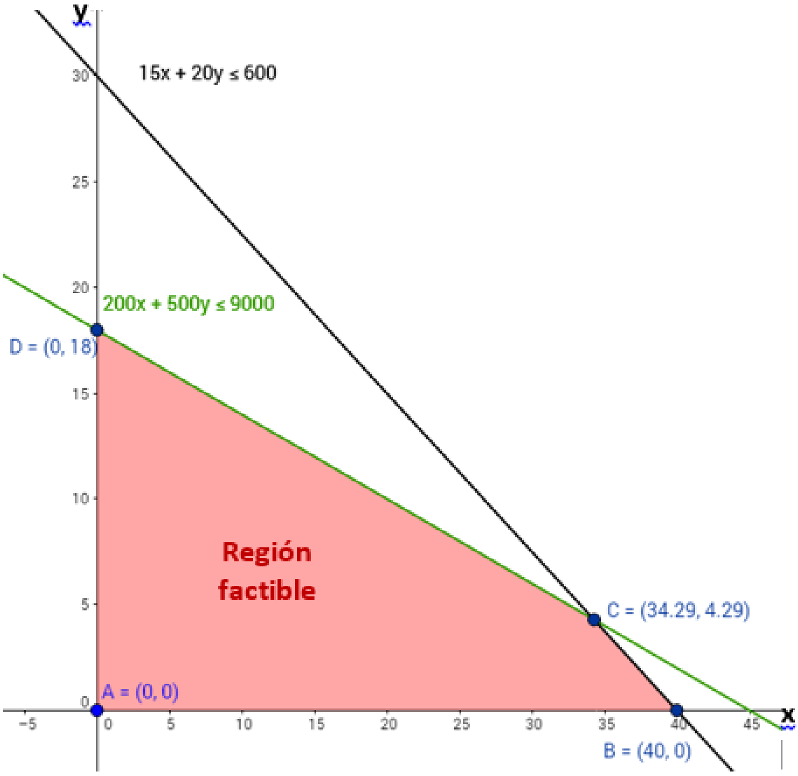

Figura 1. Método gráfico

Se determinan las coordenadas de estos puntos y se sustituyen en la función objetivo para encontrar cuál de ellos dará la solución que maximice la utilidad de la empresa. El vértice $A(0,0)$ no se evalúa ni se tiene como posible solución porque representa no fabricar ni billeteras ni bolsos, a continuación se evalúa cada uno de los demás vértices en la función objetivo:

Evaluando el vértice $B(40\ ,0)$ $\qquad U = 40.000(40) + 90.000(0) = 1.600.000\ COP$

Evaluando el vértice $C(34.29{,}4.29)$ $\qquad U = 40.000(34.29) + 90.000(4.29) = 1.757.700\ COP$

Evaluando el vértice $D(0{,}18)$ $\qquad U = 40.000(0) + 90.000(18) \quad = 1.620.000 COP$

Para este problema la solución óptima sería fabricar 34.29 billeteras y 4.29 bolsos para maximizar la utilidad, con un valor máximo de 1.757.700 COP pero teniendo en cuenta que sólo se puede fabricar un número entero de unidades, la solución se ve acotada a fabricar 34 billeteras y 4 bolsos para una utilidad máxima total de 1.720.000 COP.

El punto $C(34.29{,}4.29)$ sólo se puede determinar interceptando matemáticamente las rectas frontera $(200X + 500Y = 9000$ con $15X + 20Y = 600)$ mediante los métodos tradicionales de sustitución, igualación, reducción o por matrices. Este procedimiento puede complicarse en función a la cantidad de restricciones e incógnitas a determinar. Como se observa cada variable corresponde a uno de los ejes del plano cartesiano lo que hace que con este método gráfico sea posible solucionar problemas que contengan máximo tres variables, puesto que analíticamente tenemos herramientas para trabajar hasta tres dimensiones.

La solución a problemas de programación lineal con cuatro o más variables se realiza tradicionalmente usando el método Simplex que amerita un amplio conocimiento de matrices y operaciones elementales de fila.

Una aplicación bastante útil para solventar cualquier problema de programación lineal de dos, tres, cuatro o más variables con un número amplio de restricciones se encuentra en herramientas informáticas como Microsoft Excel y sus complementos tipo "Solver"

Para la formulación de este problema en Excel se recomienda comenzar, como se indica en la Figura *3*, escribiendo los datos que serán necesarios para completar el planteamiento del problema: las variables (B3:B4), la utilidad que servirá para la función objetivo (E3:E4), el tiempo de mano de obra (C3:C4) y la composición en cuero de cada uno de los productos (D3:D4) y la cantidad máxima disponible de mano de obra y cuero (C5:D5).

Luego de tener los datos escritos en la hoja de cálculo se debe especificar la ubicación de las celdas donde van las variables de decisión (A9:B9) que en este caso serán las cantidades óptimas a producir de billeteras y bolso.

	A	B	C	D	E
1			**Componentes**		**Utilidad (COP)**
2			**Mano de obra**	**Cuero**	
3	**Artículos**	**Billeteras**	15	200	**40.000**
4		**Bolsos**	20	500	**90.000**
5	**Disponible**		**600**	**9000**	
6					
7	**Cantidad a producir**				
8	**Billeteras**	**Bolsos**			
9					

Figura 2. Datos iniciales del problema

Posteriormente se configuran las fórmulas para la función objetivo y las restricciones según los campos previamente establecidos. En la Figura *3* se asigna una celda (E9) donde se va a escribir la fórmula para la función objetivo que indicará la utilidad máxima que tendrá la empresa de acuerdo a las cantidades óptimas a producir de billeteras y bolsos; luego, se determinan las restricciones separando ambos lados de la desigualdad; el lado izquierdo (B12:B13) se conoce como "Referencia de Celda" y contiene la cantidad de componentes utilizados en función de la cantidad de productos a fabricar determinado mediante una fórmula matemática, y el lado derecho de la desigualdad (D12:D13) se conoce como "Restricción" y establece el límite permisible de los componentes a utilizar. Observe que hay etiquetas descriptivas (A8:B8; A12:A13; C12:C13) que facilitan al usuario la interpretación de la información, que no son necesarias ni utilizadas por la herramienta para encontrar la solución óptima pero que identificarán algunas celdas en los análisis posteriores de sensibilidad.

Nótese que "Solver" estará dirigido a determinar la cantidad óptima a producir de billeteras y bolsos según esas restricciones para lograr la máxima utilidad para la empresa

	A	B	C	D	E
1			Componentes		Utilidad (COP)
2			Mano de obra	Cuero	
3	Artículos	Billeteras	15	200	40.000
4		Bolsos	20	500	90.000
5	Disponible		600	9000	
6					
7	Cantidad a producir				Función Objetivo
8	Billeteras	Bolsos			
9					=E3*A9+E4*B9
10					
11		Referencia		Restricción	
12	Mano de Obra	=C3*A9+C4*B9	<=	=C5	
13	Cuero	=D3*A9+D4*B9	<=	=D5	

Figura 3. Planteamiento del problema

Una vez planteado el problema en Excel, se procede a habilitar el complemento de Solver para poder ejecutar el método simplex mediante esta herramienta ofimática. En la figura 4 se puede visualizar el procedimiento para habilitar el complemento de Solver para Microsoft Excel

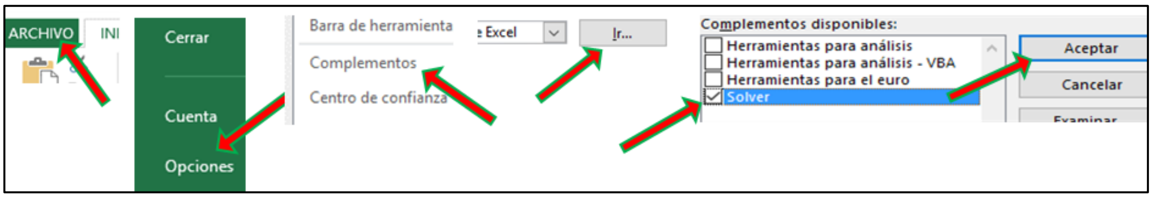

Figura 4. Habilitar Solver en Excel

Cuando se ejecuta Solver que se encuentra en el módulo de “Datos” visualizamos la Figura 5 que expone el cuadro de diálogo “Parámetros de Solver” en el que primero se establece el objetivo como celda E9, luego se indica que se quiere maximizar y que las celdas variables estarán ubicadas en las celas A9:B9, luego se da clic en “Agregar” para establecer las restricciones del problema.

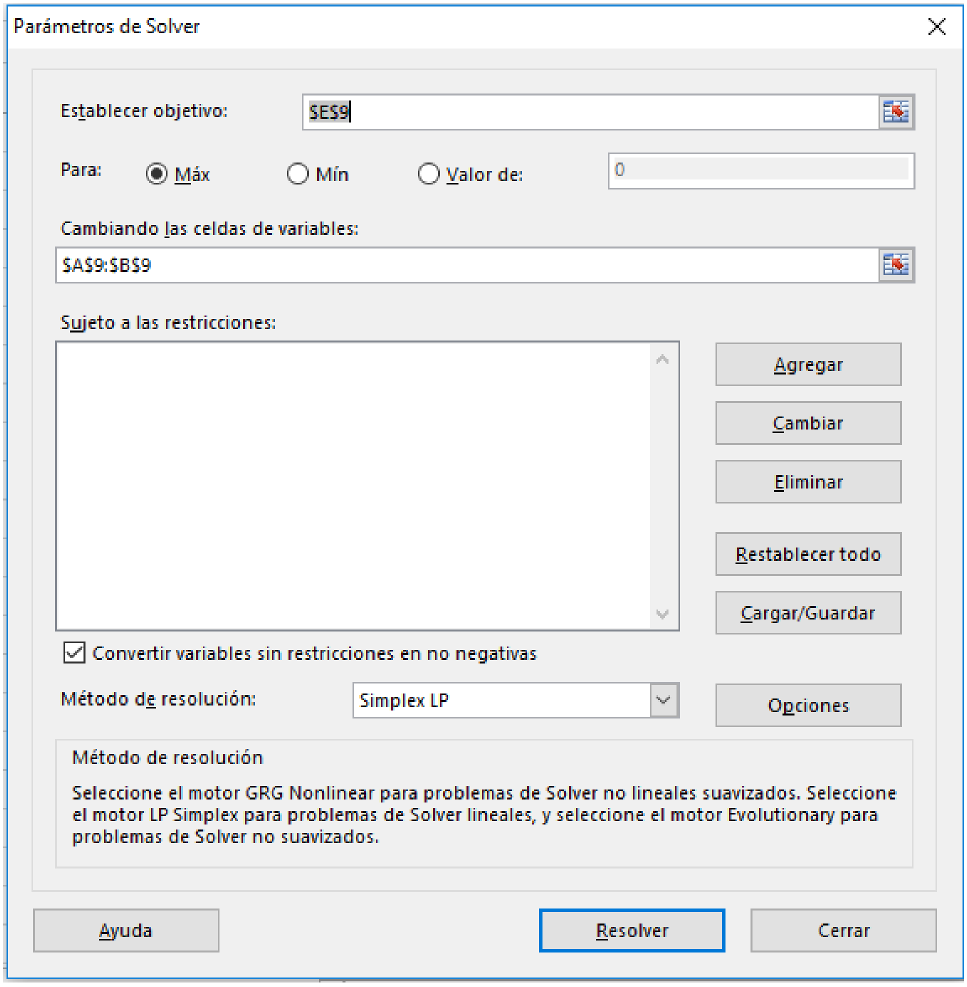

Figura 5. Parámetros de Solver

En la Figura *6* se ilustra el cuadro de agregar restricción, allí se encuentra el espacio para la “Referencia de Celda” (fórmula matemática escrita en la celda B12), su signo de desigualdad (menor o igual <=) y su “Restricción” (D12), se repite este paso para ingresar la segunda restricción correspondiente al cuero ubicada en las celdas B13 y D13; se da clic en Agregar si se quiere adicionar otra restricción o en Aceptar si ya se ha terminado.

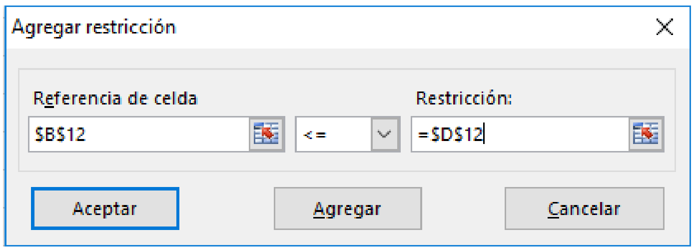

Figura 6. Agregar Restricción

Finalmente se selecciona Simplex LP como Método de resolución y se da clic en Resolver para encontrar el resultado definitivo; como se muestra en la Figura *7*, antes de aceptar el resultado se puede seleccionar uno de los informes disponibles como análisis de sensibilidad o confidencialidad, de respuestas y de límites con los que se puede profundizar bastante en los resultados.

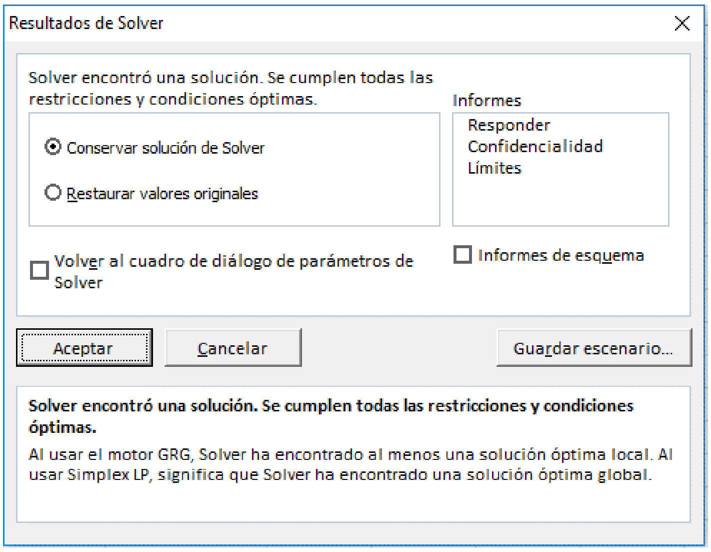

Figura 7. Resultados Solver

La solución óptima en este caso, como se esperaba y como se ilustra en la Figura *8*, es fabricar 34,2857 bolsos y 4,2857 zapatos con una utilidad máxima de 1.757.143 COP satisfaciendo las restricciones planteadas y utilizando en su totalidad los 600 minutos de mano de obra y los 9000 gramos de cuero disponibles.

	A	B	C	D	E
1			Componentes		Utilidad (COP)
2			Mano de obra	Cuero	
3	Artículos	Billeteras	15	200	40.000
4		Bolsos	20	500	90.000
5	Disponible		600	9000	
6					
7	Cantidad a producir				Función Objetivo
8	Billeteras	Bolsos			
9	34,28571429	4,285714286			1.757.143
10					
11		Referencia		Restricción	
12	Mano de Obra	600	<=	600	
13	Cuero	9000	<=	9000	

Figura 8. Resultado óptimo matemático

Sin embargo hay casos, como el que nos compete, en los que no es válido un resultado decimal en las variables de decisión puesto que son piezas que se fabrican completamente y no es posible fabricar parte de ellas, por lo que la solución tradicional sería acotar la fabricación en 34 billeteras y 4 bolsos generando una utilidad de 1.720.000 COP.

5.2.- Primer Caso. Complemento Interesante en Solver (Microsoft Excel)

El complemento de Solver posee una condición interesante que puede utilizarse para restringir el valor las celdas de las variables a unidades enteras. En la Figura *9* se muestra que en el cuadro de diálogo "Agregar restricción" es posible hacerlo, seleccionando en “Referencia de celda” las variables de decisión (A9:B9) y en lugar de una desigualdad se encuentra la opción de enteros (int - entero).

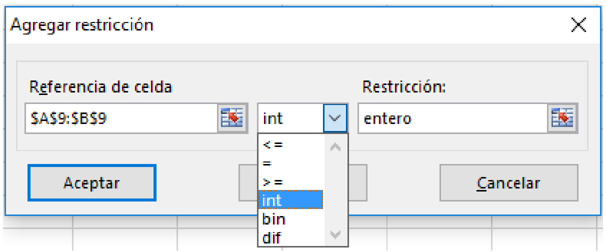

Figura 9. Restricción de enteros

Al resolver el problema con esta nueva condición, como se muestra en la Figura *10* se obtiene el resultado de fabricar 30 billeteras y 6 bolsos con el fin de maximizar la utilidad alcanzando un valor máximo de 1.740.000 COP, utilizando todo el cuero disponible y 30 minutos menos de los 600 con los que se dispone; nótese que en este caso la utilidad es 20.000 COP mayor que la primera solución encontrada en Solver o por el método gráfico en la que se producen 34 billeteras y 4 bolsos (1.720.000 COP).

	A	B	C	D	E
1			Componentes		Utilidad (COP)
2			Mano de obra	Cuero	
3	Artículos	Billeteras	15	200	40.000
4		Bolsos	20	500	90.000
5	Disponible		600	9000	
6					
7	Cantidad a producir				Función Objetivo
8	Billeteras	Bolsos			
9	30	6			1.740.000
10					
11		Referencia		Restricción	
12	Mano de Obra	570	<=	600	
13	Cuero	9000	<=	9000	

Figura 10. Solución óptima con números enteros

5.3.- Segundo Caso

Una vez evidenciado y determinado las potencialidades que posee el Solver de Microsoft Excel, frente a la técnica tradicional del método gráfico, se procede a determinar un nuevo caso, pero esta vez con mayor ambición, ya que corresponde a un modelo de transporte con seis (6) variables a determinar, por lo que es imposible realizarlo mediante el método gráfico, y es muy complicado realizarlo mediante el método Simplex de matrices.

Una empresa tiene dos plantas de producción en las ciudades de Medellín y Bogotá con capacidad de producir 1500 y 1300 cada trimestre. Envía su mercancía a 3 almacenes ubicados en Armenia, Cartagena y Cúcuta que demandan, respectivamente 650, 800 y 1200 unidades en el trimestre. Los costos de envío por unidad son, de Medellín a Armenia, Cartagena y Cúcuta, respectivamente 5300 COP, 6000 COP y 7500 COP; desde Bogotá a Armenia, Cartagena y Cúcuta, respectivamente: 6700, 5000, 6800 COP.

La empresa desde determinar el plan óptimo de distribución de la mercancía que minimice los costos satisfaciendo la demanda de cada uno de los destinos.

Las variables de decisión para este ejercicio son las unidades enviadas entre los orígenes y cada uno de los destinos y como son dos ciudades origen y tres ciudades destino, se tienen en total seis variables, situación que se hace imposible de manejar mediante método gráfico y supremamente complicado para resolver mediante método simplex con matrices. Se realiza entonces, como muestra la Figura *11*, el planteamiento del problema en Excel para ser resuelto con Solver. Como se había explicado anteriormente se escriben los datos relevantes para el problema, en este caso la capacidad de producción de las ciudades origen (B3:B4), las demandas de cada una de las ciudades destino (B7:B9) y los costos por unidad en cada una de las rutas disponibles (F4:F9). Estas rutas corresponden igualmente a las variables de decisión (E4:E9) que indican la cantidad enviada por cada una de ellas.

	A	B	C	D	E	F
1				**Variables**		
2	**Origen**	**Capacidad**		**Ruta**	**Cantidad Enviada**	**Costos por unidad (COP)**
3	Medellín	1500				
4	Bogotá	1300		Medellín - Armenia		5300
5				Medellín - Cartagena		6000
6	**Destino**	**Demanda**		Medellín - Cúcuta		7500
7	Armenia	650		Bogotá - Armenia		6700
8	Cartagena	800		Bogotá - Cartagena		5000
9	Cúcuta	1200		Bogotá - Cúcuta		6800

Figura 11. Datos problema transporte

En la Figura *12* se ilustra el planteamiento del problema, las restricciones para Medellín y Bogotá, como son ciudades origen, obedecen a que la suma de las cantidades enviadas (B13:B14) no pueden sobrepasar su capacidad de producción (D13:D14); para las ciudades destino, Armenia, Cartagena y Cúcuta, se debe garantizar que la suma de las cantidades recibidas (B15:B17) sea igual a la demanda en cada una de ellas (D15:D17); la función objetivo que es minimizar los costos de transporte (F13) se obtiene sumando la cantidad transportada en cada una de las rutas (E4:E9) multiplicada por el costo de transportar cada unidad (F4:F9).

	A	B	C	D	E	F
1				**Variables**		
2	**Origen**	**Capacidad**		**Ruta**	**Cantidad Enviada**	**Costos por unidad (COP)**
3	Medellín	1500				
4	Bogotá	1300		Medellín - Armenia		5300
5				Medellín - Cartagena		6000
6	**Destino**	**Demanda**		Medellín - Cúcuta		7500
7	Armenia	650		Bogotá - Armenia		6700
8	Cartagena	800		Bogotá - Cartagena		5000
9	Cúcuta	1200		Bogotá - Cúcuta		6800
10						
11	**Restricciones**					**Función Objetivo**
12	**Ciudad**	**Referencia**		**Restricción**		
13	Medellín	=+E4+E5+E6	<=	=+B3		=+SUMAPRODUCTO(E4:E9;F4:F9)
14	Bogotá	=+E7+E8+E9	<=	=+B4		
15	Armenia	=+E4+E7	=	=+B7		
16	Cartagena	=+E5+E8	=	=+B8		
17	Cúcuta	=+E6+E9	=	=+B9		

Figura 12. Planteamiento problema transporte

Esta información es el insumo necesario para completar los parámetros de Solver, como indica la Figura *13*, se comienza por establecer el objetivo como minimizar el valor encontrado con la fórmula de la celda F13, cambiando las celdas de variables ubicadas desde E4 hasta E9, sujeto a las restricciones mencionadas de las ciudades origen (enviado <= capacidad) y destino (recibido=demanda), finalmente se selecciona Simplex LP como método de resolución.

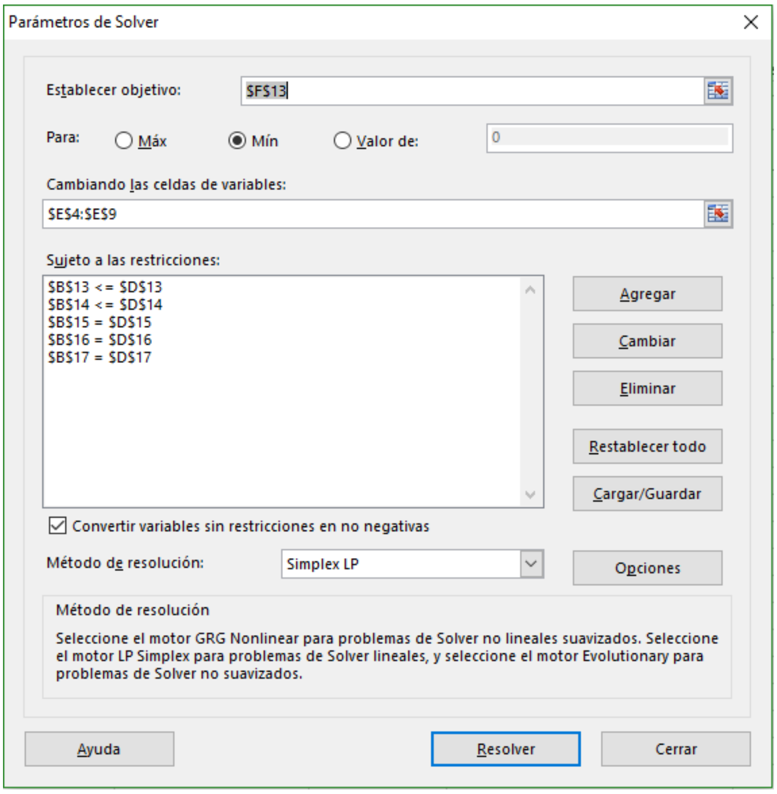

Figura 13. Parámetros Solver transporte

Al seleccionar resolver se encuentran los resultados de la Figura *14*, combinando la información mostrada por las celdas variables y las restricciones se puede ver que de Medellín se envían 650 unidades a Armenia y 700 a Cúcuta para un total 1350 unidades enviadas, 150 unidades menos de las puede producir; Bogotá también envía únicamente a dos de los tres destinos, 800 a Cartagena y 500 a Cúcuta, enviando en su totalidad las 1300 unidades que tiene capacidad de producir; Armenia y Cartagena reciben la mercancía desde una sola ciudad origen a diferencia de Cúcuta que recibe una parte de Medellín y el resto de Bogotá; el costo mínimo de transporte de esta operación será 16.095.000 COP

Origen	Capacidad
Medellín	1500
Bogotá	1300

Destino	Demanda
Armenia	650
Cartagena	800
Cúcuta	1200

Variables		
Ruta	Cantidad Enviada	Costos por unidad (COP)
Medellín - Armenia	650	5.300
Medellín - Cartagena	0	6.000
Medellín - Cúcuta	700	7.500
Bogotá - Armenia	0	6.700
Bogotá - Cartagena	800	5.000
Bogotá - Cúcuta	500	6.800

Restricciones			
Ciudad	Referencia		Restricción
Medellín	1350	<=	1500
Bogotá	1300	<=	1300
Armenia	650	=	650
Cartagena	800	=	800
Cúcuta	1200	=	1200

Función Objetivo
16.095.000

Figura 14. Resultados ejemplo transporte

6.- Ventajas del uso del Solver en la Enseñanza

Bajo esta concepción, el uso de Excel es cada vez más frecuente en la enseñanza de las matemáticas, estadística y métodos cuantitativos. La posibilidad de que el alumno acceda a la solución informatizada de problemas matemáticos tiene indiscutibles ventajas. El uso en problemas de programación lineal, utilizando información más allá del método gráfico y el método simplex, ha potenciado la pedagogía cuantitativa a múltiples niveles, siempre en beneficio del estudiante de esta generación, nacido en el mundo de las TIC.

- Mediante el uso de aplicaciones automatizadas como las Hojas del Cálculo, y herramientas como Solver, es factible para el estudiante acceder rápidamente al resultado final, permitiendo ver de forma global el problema y conocer la problemática real de los casos planteados.
- Mediante el uso de estas herramientas tecnológicas, el estudiante puede analizar y solventar problemas reales, más cercanos a la actividad profesional, frente a lo limitado de los modelos tradicionales de Métodos Gráfico y Método Simplex de Matices Escalonadas.
- Como consecuencia de lo anterior, permite al estudiante hacer mayor hincapié en la reflexión sobre los resultados y sobre la construcción del modelo.
- El programa informático permite al alumno interactuar por sí mismo, e intentar construir y comprobar sus propias intuiciones y las relaciones a priori del modelo.
- Así mismo, el caso del análisis de sensibilidad potencias las aplicaciones fuera de las fronteras del cálculo del punto óptimo en programación lineal.
- Finalmente, la introducción de herramientas informáticas aumenta la motivación en el alumno, tanto a nivel individual como de trabajo en equipos.

7.- Conclusiones

Es importante tomar en consideración que la evolución de las TIC durante el siglo XXI ha sido vertiginoso, estableciendo herramientas totalmente accesibles al servicio de enseñanza, potenciando el aprendizaje práctico de aspectos matemáticos que originalmente presentables un nivel de dificultad elevado.

Herramientas complementarias de Microsoft Excel como el Solver, proporcionan una metodología novedosa para establecer simulaciones, solventando aspectos de maximización y minimización, que antes sólo era posible mediante análisis gráficos complejos o procedimientos complicados de matrices.

Sin embargo, es importante denotar, que aunque el Solver presente una opción de versatilidad importante para la programación lineal, esta herramienta expone soluciones fundamentadas en la simulación, por lo que si el problema presenta dos o más soluciones óptimas, el solver sólo te expondrá la primera solución que detecte (bajo la corrida de simulación). Así mismo, es importante tener en consideración que otra diferencia aspecto importante es que Solver no dispone de un sistema para determinar si el programa es lineal. El usuario debe especificar la opción de modelo lineal, y es un test a posteriori el que determina si la hipótesis lineal es correcta. Este test de linealidad puede producir resultados incorrectos bajo determinadas condiciones (Plane, 1994).

En este sentido, si bien es cierto, el Solver no es precisamente una herramienta 100% efectiva para todos los casos, las potencialidades para determinar resultados en situaciones problémicas con un (1) solo valor óptimo son fundamentales e incomparables, lo que lo convierte en una herramienta didáctica por excelencia al momento de enseñar la Programación Lineal.

8.- Referencias Bibliográficas

Anderson, D.; Sweeney D; Williams, T. (2004). *Métodos Cuantitativos para los Negocios.* Thomson Editorial. Novena Edición

Azofeifa, C. (2007). *Simulación y Optimización*. ITCR. Costa Rica. V Congreso sobre Enseñanza de la Matemática Asistida por Computadora. 5, 6, 7 diciembre 2007.

Blanco, J. et. al. (2002): *Microsoft® Office XP. Curso de Ofimática*. Madrid, Standard-Professional.

Campello, E. (2010). *Utilizando recursos de informática: El Excel, como estrategia de enseñanza aprendizaje de contenidos matemáticos*. São Paolo. Universidad: Departamento de Matemática. IBILCE – UNESP. 2008. [documento en línea] http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:5rnv8auGHy4J:www. mat.br/.pdf [consultado: 15 ene.2010].

Carbonell; L.; Bellido, P.; Albeza, M. A. (2006): *Hoja de cálculo Excel 2003*. Alicante: Publicaciones de la Universidad de Alicante.

Cuenca, D; Tamayo R.; Tamayo J. (2010). *Aplicación del Programa Microsoft Excel para resolver problemas experimentales de Física*. Revista Ciencias Holguín. vol. XVI, núm. 3, julio-septiembre, 2010, pp. 1-10. Holguín, Cuba

Escribano, J; Martínez, Ma. (2007). *Excel: una eficaz herramienta matemática para los alumnos de Ciencias Sociales.* Revista Iberoamericana de Educación Matemática. Marzo de 2007, Número 9, páginas 9-16 ISSN: 1815-0640.

Plane, D.R. (1994). *Management Sciece*. Boyd and Fraser Publishing Company. Danvers, Massachusetts

Render, B, Stair, R, Hanna, M. (2006). *Métodos Cuantitativos para los Negocios*. Pearson. Novena Edición

Prieto Martínez, J. J. (2003): *La programación lineal con la hoja de cálculo Excel: una apuesta por las nuevas tecnologías*. SUMA 43 (junio 2003), 73-77.

Salvador H., H. (2000) *Aplicación del Programa Microsoft Excel al procesamiento de los datos experimentales en las prácticas de laboratorio de Física*. Revista Electrónica Ciencias Holguín (Holguín) 6 (3) oct.-dic. 2000.

Sánchez, I & López, S. (1997). *Didáctica de la programación lineal con ordenador para economistas*. V Jornadas Asepuma. Málaga. España. https://www.uv.es/asepuma/V/28.pdf