

# Metodología para optimizar la capacidad de centros de distribución con base en el modelo de transporte

pags 142-152

Grupo de investigación Centro de Investigaciones y Desarrollo Empresarial  
Línea de investigación: Desarrollo de mipymes  
Luis Carlos Sánchez Acevedo•

Recibido: 3 de noviembre de 2014 Aceptado: 5 de diciembre de 2014

## RESUMEN

Existen varios métodos de solución del algoritmo del Transporte, algunos de aproximación y otros de optimización. Estos son: el método simplex, esquina noroeste, costo mínimo, aproximación de Vogel, método de multiplicadores, distribución modificada (DIMO), *callejones sin salida* o *salto del arroyo*; el del autor de este artículo, el método LCSA, entre otros.

Todos estos métodos de optimización de transporte tienen su algoritmo de solución llegando a un mismo resultado. Con tecnología se utilizan el WinQSB, Xpress, Lindo, Lingo, Gams, Excel Solver y otros. El modo de solución se puede realizar de dos formas: por programación lineal y por matrices. El análisis de sensibilidad, parte de los reportes que dan estos aplicativos en el Excel Solver, se denomina *informe de confidencialidad*.

En este artículo se presenta una metodología para mejorar los resultados económicos del modelo del transporte, superando los anteriores métodos de optimización, con base en el análisis de sensibilidad que genera Excel Solver. La metodología está dirigida a modificar la capacidad de los centros de distribución tomando como referente el precio sombra.

**Palabras Clave:** Centro de Distribución, Precio Sombra, Costo Marginal, Solver.

## ABSTRACT

It exists several solution methods of the transport algorithm, some of approximation and some others of optimization. These are: the simplex method, northwest corner, minimal cost, Vogel approximation method of multipliers, modified distribution (DIMO), *impasses or jumping brook*, the author of this article, LCSA method, and others.

All these transport methods optimization have their algorithm solution, reaching the same result. With technology, they are used WinQSB, Xpress, Lindo, Lingo, Gams, Excel Solver and others. The form of solution can be done in two ways: by linear programming and matrices. Sensitivity analysis is part of the reports given by these applications in Excel Solver, called confidentiality report.

This article presents a methodology to improve the economic performance of the transport model, overcoming previous optimization methods, based on the sensitivity analysis that generates Excel Solver. The methodology is directed to modify the capacity of distribution centers taking as reference the shadow price.

**Keywords:** Distribution Center, Shadow Price, Marginal Cost, Solver.

• Investigador ingeniería Industrial, Fundación Universidad de América. Luis.sanchez@profesores.uamerica.edu.co

## INTRODUCCIÓN

La formulación y desarrollo del problema del transporte está dentro de los parámetros de la programación lineal (PL). La PL tiene sus orígenes en el siglo XVII, y los siguientes autores abordaron el tema: G. Jordán (1873), Minkowsky (1891), & Farkas (1903).

El origen del modelo de transporte data del año de 1941, en el que F. L. Hitchcock presentó un estudio titulado "*La distribución de un producto desde diversos orígenes a numerosas localidades*". Se cree que esta investigación fue la primera contribución para la resolución de los problemas de transporte.

En 1947, T. C. Koopmans presentó un estudio, sin ninguna relación con el de Hitchcock, al que llamó "*Utilización óptima del sistema de transporte*". Ambas aportaciones contribuyeron al desarrollo de los métodos de transporte que implican un número dado de orígenes y otros de destinos. Aunque no todos los procesos de distribución pueden incluirse dentro del modelo general de la programación lineal, hay dos clases de problemas de características, bien definidas y afines, que pueden ser formulados y tratados dentro del marco de las relaciones lineales: el problema del transporte y el problema de la asignación de recursos. T. Koopmans fue Premio Nobel en economía en el año 1975, compartido con el soviético L. Kantorovich, por la aplicación de PL a la ciencia económica.

Un problema de transporte puede definirse como una matriz formada, por los costos de transportar una unidad, de un bien homogéneo, desde "*m*" (fábricas, almacenes, centros de distribución u orígenes), hasta "*n*" (centros de consumo o destinos). Así "*m*" puede ser mayor, igual o menor que "*n*". En cada origen existe, real o potencialmente, un determinado número de unidades (oferta) del bien homogéneo; y cada destino debe recibir un determinado número de unidades (demanda), del mismo bien. La oferta total puede ser mayor, igual o menor que la demanda total. Se trata de determinar

qué cantidades óptimas hay que enviar, desde cuáles orígenes a cuáles destinos, para satisfacer la demanda de cada uno, de modo tal que el costo de transporte sea el mínimo (Tripod.com)

Para optimizar la capacidad de los Centros de Distribución se recurre al Excel Solver, en base al reporte de confidencialidad, en éste se cuantifica efectos en la solución óptima por cambios en los parámetros del modelo matemático (Tripod.com).

Cuando se describe el modelo de transporte de este artículo, damos por aceptado que los valores de los parámetros de los centros de distribución se conocen con certidumbre. Estos son la cantidad de unidades disponibles para distribuir por cada centro, y los costos de envío por unidad, de cada origen a cada destino.

En el informe de confidencialidad se identifica el *precio sombra* y este tiene un significado económico: corresponde a un precio-tasa de cambio del valor óptimo, ante la modificación marginal del lado derecho de una restricción. Por ejemplo, el lado derecho de la restricción 1 es 3800 y su precio sombra es (-10). El intervalo donde este precio sombra es válido es [390,0], es decir, que cualquier variación de dicho lado derecho en ese intervalo provocará una variación proporcional al precio sombra (en cuanto al valor de la *función objetivo*). Por ejemplo, si el lado derecho aumenta de 3800 a 3900, el nuevo valor óptimo disminuirá en  $(3900-3800)*(-10) = \$1000$ . Se asume que el resto de los parámetros del modelo permanecen constantes. Además, es importante notar que el precio sombra no necesariamente debe ser un aumento o una disminución del lado derecho.

Si el precio sombra es cero (0) significará que no habrá ningún cambio en la función objetivo, no si se modifican los parámetros del lado derecho de las restricciones.

**Planteamiento del problema**

Los diferentes algoritmos del transporte dan soluciones óptimas de distribución.

¿En la presente metodología, con base en el análisis de sensibilidad, podrán mejorarse los resultados económicos del modelo del transporte, superando los resultados económicos de los algoritmos conocidos?

**Representación del modelo de transporte**

Existen diversas formas para representar el modelo del transporte: Por programación lineal, matrices y por grafos. El problema se representa con un grafo en el que los nodos de origen sean las fuentes  $O_1, O_2, \dots, O_m$ . Sobre los arcos se representan los  $C_{ij}, X_{ij}$ , siendo los  $C_{ij}$  los coeficientes de costo por unidad de envío. Y siendo los  $X_{ij}$ , las variables o cantidades de unidades enviadas por esa ruta. Los destinos  $D_1, D_2, \dots, D_n$ , son las cantidades requeridas por cada uno de los destinos.

Evaluando este contexto la formulación del modelo es la siguiente:

$$\text{Minimizar } Z \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = D_1 \text{ donde } (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} \leq O_j \text{ donde } (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$X_{ij} \geq 0$$

$X_{ij}$  = Cantidad de unidades que se envían del origen  $i$  al destino  $j$

$C_{ij}$  = Costo de enviar una unidad origen  $i$  al destino  $j$

Para darle solución factible al modelo se requiere que el mercado sea perfecto, esto es, que la oferta sea igual a la demanda.

$$\sum_{i=1}^n D_i = \sum_{j=1}^m O_j$$

**Figura 1. Representación con grafos y por matrices del modelo del Transporte**

|         | Fuentes          |   | Destinos             |                            |                  |        |
|---------|------------------|---|----------------------|----------------------------|------------------|--------|
|         |                  |   |                      | $\tilde{w}$<br>$\tilde{O}$ |                  |        |
|         |                  | 1 | 2                    | 3                          | n                | Otería |
| 1       | $\tilde{X}_{11}$ |   | $C_{12}$<br>$X_{12}$ | <b>E</b><br>$X_{13}$       | $\tilde{X}_{1n}$ | 01     |
| 2       | $\tilde{X}_{21}$ |   | $C_{22}$<br>$X_{22}$ | $\tilde{X}_{23}$           | $\tilde{X}_{2n}$ | 02     |
| m       | $\tilde{X}_{m1}$ |   | $C_{m2}$<br>$X_{m2}$ | <b>E</b><br>$X_{m3}$       | $\tilde{X}_{m3}$ | Qm     |
| Demanda | 01               |   | 02                   | 03                         | $D_n$            |        |

Fuente: El Autor.

**MATERIALES Y MÉTODO**

Metodología para mejorar los resultados económicos del modelo

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: DESARROLLO DE MIPYMES

Para desarrollar la metodología se realizan los siguientes pasos:

**Registro de la información**

Para desarrollar el modelo, primero se registra la siguiente información en la matriz de costos: cantidad ofertada por cada centro de distribución, y cantidad demandada por cada cliente. La sumatoria de la demanda total de los centros de distribución tendrá que ser igual a la de la oferta total, para que sea factible el modelo y cumpla las condiciones. Si la oferta es mayor a la demanda se tendrá que agregar una columna ficticia con un número de unidades que iguale a la oferta. De igual manera, si la demanda es mayor a la oferta se agregará una fila ficticia. Los costos de envío por unidad, de cada origen a cada destino, son el resultado del análisis de un departamento contable, de transporte o logístico.

Se agrega una segunda matriz que se denominará *matriz de variables* o *resultados*, en las celdas azules se dará la solución, o unidades a enviar de cada uno de los centros de distribución, a cada uno de los clientes. A las restricciones de oferta (D1, D2, D3 y D4) se les asignará el signo ≤, el cual limita la capacidad de cada centro. Las restricciones de demanda (C1, C2, C3, C4, C5 y C6) tendrán el signo igual (=) que significa: cada cliente recibirá la cantidad solicitada. Se adecua una celda para la función objetivo: Z mínimo.

**Figura 2. Formulación del modelo de transporte en la forma de matriz**

|         |                                    |                                    |                                    |                                    |                |
|---------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|
|         | 1                                  | 2                                  | 3                                  | m                                  | Oferta         |
| 1       | C <sub>11</sub><br>X <sub>11</sub> | C <sub>12</sub><br>X <sub>12</sub> | C <sub>13</sub><br>X <sub>13</sub> | C <sub>1n</sub><br>X <sub>1n</sub> | O <sub>1</sub> |
| 2       | C <sub>21</sub><br>X <sub>21</sub> | C <sub>22</sub><br>X <sub>22</sub> | C <sub>23</sub><br>X <sub>23</sub> | C <sub>2n</sub><br>X <sub>2n</sub> | O <sub>2</sub> |
| n       | C <sub>n1</sub><br>X <sub>n1</sub> | C <sub>n2</sub><br>X <sub>n2</sub> | C <sub>n3</sub><br>X <sub>n3</sub> | C <sub>nn</sub><br>X <sub>nn</sub> | O <sub>n</sub> |
| Demanda | D <sub>1</sub>                     | D <sub>2</sub>                     | D <sub>3</sub>                     | D <sub>m</sub>                     |                |

$$Z \text{ min} = x_{11} C_{11} + x_{12} C_{12} + \dots + x_{mn} C_{mn}$$

Fuente: El Autor.

**Formulación del modelo en la hoja de Excel**

Las celdas que se formulan son las de color amarillo. Estas corresponden a la función objetivo (1). Se utiliza la función fx (sumaproducto) y se registran en la matriz: los costos (MATRIZ 1) y la matriz variable (MATRIZ 2). El lado izquierdo de las restricciones (3) se formula sumando los elementos de su respectivo vector.

**Registro del modelo en Excel Solver**

El procedimiento para instalar el Solver es el siguiente: Abrir la hoja de Excel, teclear Archivo / Opciones / Complementos / Ir (en la parte inferior) / Activar Solver/ Aceptar.

Para registrar el modelo en el Solver, se siguen los siguientes pasos:

- Establecer objetivo: Se registra la celda Zmin.
- Min: Se puntea esta opción porque es un modelo de minimización.
- Cambiando las celdas de variables: Se registra las celdas azules de la matriz de variables.
- Agregar: Al teclear esta opción aparecerá la ventana "Agregar Restricción", En la ventana "Referencia de Celda" se registrar el vector del lado izquierdo (amarillo), agregar el signo ≤ y en la celda "Restricción" el lado derecho (café) el vector de la restricción. Para la demanda seguir el mismo procedimiento con el signo igual (=).
- Método de resolución: Para terminar el procedimiento en la celda elegir la opción "Simplex LP" y dar "Resolver".

Aparecerá la ventana "Resultados de Solver", en informes registrar la opción "Confidencialidad" y "Aceptar".

Solución del modelo por escenarios para optimizar la capacidad de los centros de distribución

Al desarrollar la metodología en cada uno de los escenarios, se dará una disminución del Zmin. y una modificación de la capacidad de los centros de distribución. El punto de partida es el punto óptimo que desarrollan los autores del método del transporte. Registrado el modelo, dada la solución, y generado el informe de confidencialidad, se sigue el siguiente procedimiento:

- En el informe de confidencialidad en la tabla de restricciones, se identifica los centros de distribución en la columna "Nombre", estos son: D1, D2, D3 Y D4. (1).
- En la columna de "Precio Sombra" (2) se identifica el centro de distribución con el de valor más negativo (2), para este escenario es el centro de distribución D2 con \$-10, este valor significa que por cada unidad que se asigne a este centro, el costo mínimo, disminuirá proporcionalmente ese valor.

- En la columna de "Permisible Aumentar" (3) se identifica el número de unidades que se pueden agregar a este centro de distribución, para este escenario son 390 unidades. Por lo tanto asignarle estas unidades a este centro el costo Zmin disminuirá en  $390 \times 10 = \$3900$ .
- En la columna de "Precio Sombra" (2) se identifica el centro de distribución con el valor mayor (4), para este escenario es el centro de distribución D4 con \$0, este centro cederá las 390 unidades al centro de distribución D2. La oferta total no deberá modificarse (19.900 unidades).
- Se realizan los cambios de la oferta en la matriz de transporte y se da la solución al modelo.

Escenarios intermedios. Se realizan los escenarios necesarios hasta que el informe del análisis de confidencialidad presente en la columna "Permisible Reducir" con cero (0) los centros de distribución; esto significa que ninguno de los centros puede transferir unidades, y quede un único centro que permite aumentar unidades tiene un precio sombra cero (0).

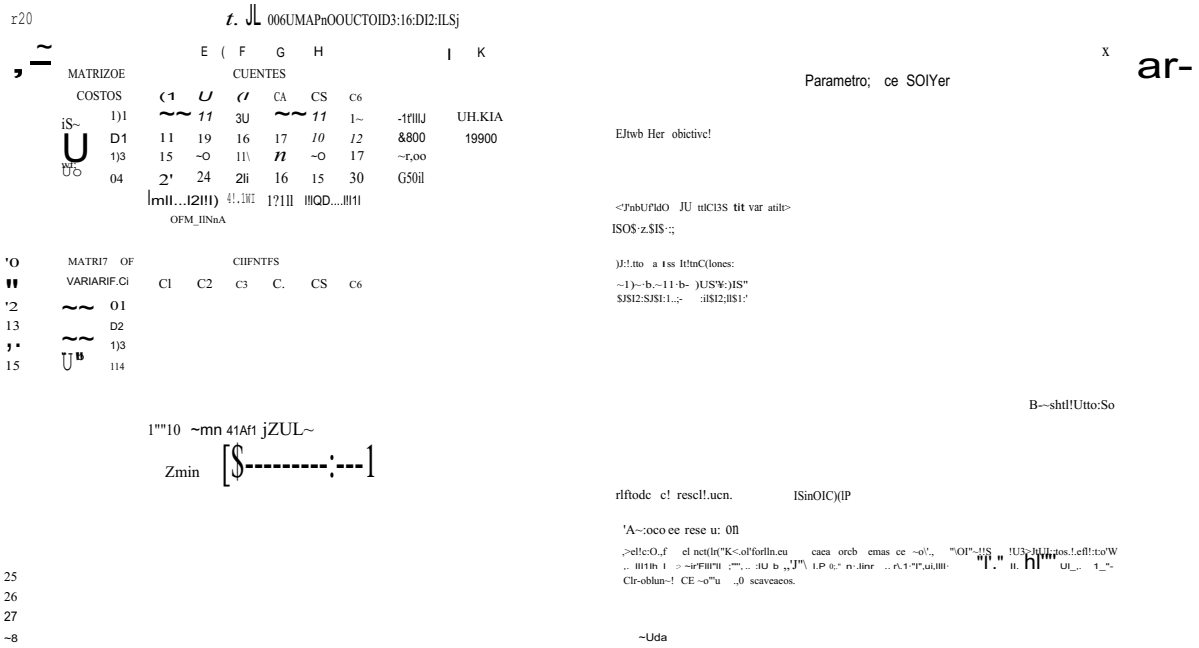
Figura 3.

| MATERIALES |    | CLIENTES      |      |      |      |      |      | DEMANDA      |  |
|------------|----|---------------|------|------|------|------|------|--------------|--|
| C1         | C2 | C3            | C4   | C5   | C6   |      |      |              |  |
| 25         | 17 | 30            | 25   | 17   | 18   | 4000 |      |              |  |
| 18         | 29 | 16            | 17   | 30   | 22   | 3800 |      | 19900        |  |
| 25         | 30 | 28            | 22   | 30   | 17   | 5600 |      | Oferta total |  |
| 29         | 24 | 26            | 16   | 15   | 30   | 6500 |      |              |  |
| OFERTA     |    | 4520          | 3280 | 4180 | 3210 | 2900 | 1810 |              |  |
|            |    | Demond. total |      |      |      |      |      | 19900        |  |
| MATERIALES |    | CLIENTES      |      |      |      |      |      | DEMANDA      |  |
| C1         | C2 | C3            | C4   | C5   | C6   |      |      |              |  |
| 01         |    |               |      |      |      |      |      |              |  |
| 02         |    |               |      |      |      |      |      |              |  |
| 03         |    |               |      |      |      |      |      |              |  |
| D4         |    |               |      |      |      |      |      | 6500         |  |
| OFERTA     |    | =             | =    | =    | =    | =    | =    |              |  |
|            |    | 4520          | 3280 | 4180 | 3210 | 2900 | 1810 |              |  |
|            |    | Zmin          |      |      |      |      |      |              |  |

Fuente: El Autor.

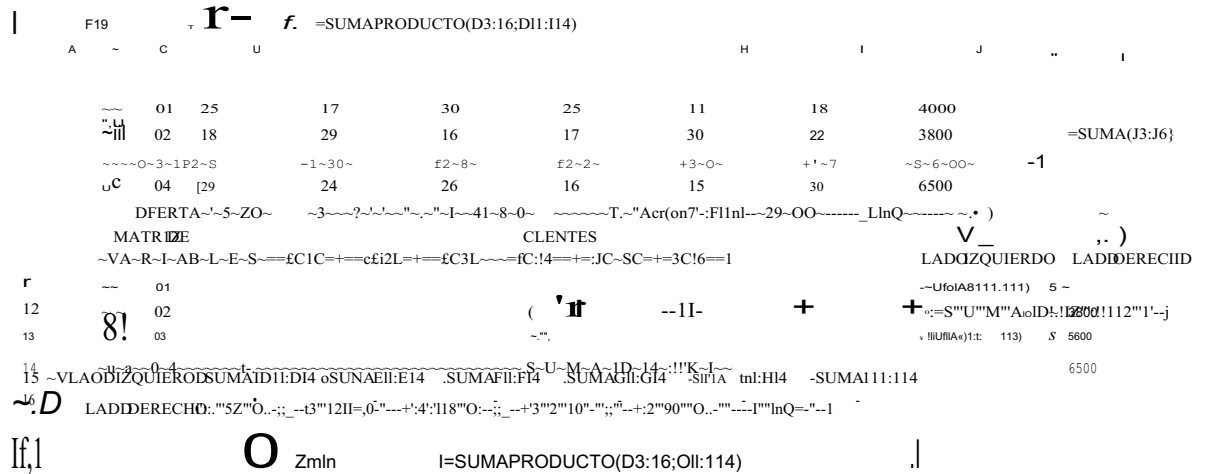
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: DESARROLLO DE MIPYMES

Figura 4.



Fuente: El Autor.

Figura 5.



Resultados de Solver

Solver encontró una solución. Se cumple" todas las restricciones y condiciones optimas.

Conservar solución de Solver  
 Restaurar valores originales  
 Volv.r 01 cuadro d. dlliloeo d. porlim.ttos d. solver

Informes  
 Responder  
 "4kifflm' z'  
 Limites

Inform es de esqll.m.

Aceptar || ~ncelar | Guardar escenario ... |

Informes  
 Crea el tipo de informe que se espedfique y cotoce cada informe en una hoja separada del libro

Fuente: El Autor.

Figura 6. Primer escenario. Se da la solución del modelo, se genera el informe de confidencialidad.

|    | A- | S                 | C        | 0    | E     | F    | T       | G-r  | H-r  | I  | J  | K      | L-n   |  |
|----|----|-------------------|----------|------|-------|------|---------|------|------|----|----|--------|-------|--|
| 1  |    | MATRIZ DE CUENTAS |          |      |       |      |         |      |      |    |    |        |       |  |
| 2  |    | COSTOS            |          |      |       |      |         | (1   | C2   | C3 | C4 | C5     | C6    |  |
| 3  |    | 01                | 2S       | 17   | 30    | 25   | 17      | 18   | 4000 |    |    | OFERTA |       |  |
| 4  |    | 02                | 18       | 29   | 16    | 17   | 30      | 22   | 3800 |    |    | 19900  |       |  |
| 5  |    | 03                | 2S       | 30   | 28    | 22   | 30      | 17   | S600 |    |    |        |       |  |
| 6  |    | 04                | 29       | 24   | 26    | 16   | 15      | 30   | 6500 |    |    |        |       |  |
| 7  |    |                   | 4520     | 3280 | 4180  | 3210 | 2900    | 1810 |      |    |    |        |       |  |
| 8  |    |                   | OEMANO A |      | 19900 |      |         |      |      |    |    |        |       |  |
| 9  |    |                   |          |      |       |      |         |      |      |    |    |        |       |  |
| 10 |    | MATRIZOE CUENTAS  |          |      |       |      |         |      |      |    |    |        |       |  |
| 11 |    | VARIABLES         |          |      |       |      |         | (1   | (2   | C3 | C4 | C5     | (6    |  |
| 12 |    | 01                | 720      | 3280 | 0     | 0    | 0       | 0    | 4000 |    |    | S      |       |  |
| 13 |    | 02                | 10       | 0    | 3790  | 0    | 0       | 0    | 3800 |    |    | ~      |       |  |
| 14 |    | 03                | 3790     | 0    | 0     | 0    | 0       | 1810 | 5600 |    |    | ~      | 600   |  |
| 15 |    | 04                | 0        | 0    | 390   | 3210 | 2900    | 0    | 6500 |    |    | S      | ~ 500 |  |
| 16 |    |                   | 4S20     | 3280 | 4180  | 3210 | 2900    | 1810 |      |    |    |        |       |  |
| 17 |    |                   | =        | =    | =     | =    | =       | =    |      |    |    |        |       |  |
| 18 |    |                   | 4520     | 3280 | 4180  | 3210 | 2900    | 1810 |      |    |    |        |       |  |
| 19 |    |                   |          |      |       |      |         |      |      |    |    |        |       |  |
| 20 |    |                   | Zmin     |      | \$    |      | 365.100 |      |      |    |    |        |       |  |
| 21 |    |                   |          |      |       |      |         |      |      |    |    |        |       |  |

Fuente: El Autor.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: DESARROLLO DE MIPYMES

Figura 7.

Microsoft Excel 15.0 Informe de confidencialidad  
 Hoja de calculo: IARnCULO 20 abril.xlsx | PRIMER  
 Informe creado: 20/04/2014 9:37:28 a. m.

| Restricciones          |        | Final | Sombra | Restricción  | Permisible | Permisible |
|------------------------|--------|-------|--------|--------------|------------|------------|
| Celda                  | Nombre | Valor | Precio | Lado derecho | Aumentar   | Reducir    |
| \$O\$17 C1             |        | 4520  | 28     | 4520         | 0          | 10         |
| \$E\$17 C2             |        | 3280  | 20     | 1280         | 0          | 10         |
| \$F\$17 C3             |        | 4180  | 26     | 4180         | 0          | 30         |
| \$O\$17 C4             |        | 3210  | 16     | 3210         | 0          | 32.10      |
| \$H\$17 C5             |        | 2900  | 15     | 2900         | 0          | 2900       |
| \$I\$17 C6             |        | 1810  | 20     | 1810         | 0          | 10         |
| \$I\$H 01              | CIOM   | CIOM  | ~      | CIOM         | 10         | 0          |
| CENTROSOE IS\$14 02    |        | 3800  | -10    | 3800         | 390        | ~          |
| OISIRIBUCION IS\$15 03 |        | 5600  | -3     | 5600         | 10         | 0          |
| ISJS\$15 04            |        | 0500  | 0      | 0500         | 1E+30      | 0          |

Fuente: El Autor

Figura 8.

Restricciones

| Celda      | Nombre | Final | Sombra | Restricción  | Permisible | Permisible |
|------------|--------|-------|--------|--------------|------------|------------|
|            |        | Valor | Precio | Lado derecho | Aumentar   | Reducir    |
| \$D\$17 C1 |        | 4520  | 25     | 4520         | 0          | 0          |
| \$E\$17 C2 |        | 3280  | 17     | 3280         | 0          | 3280       |
| \$F\$17 C3 |        | 4180  | 23     | 4180         | 0          | 0          |
| \$G\$17 C4 |        | 3210  | 18     | 3210         | 0          | 0          |
| \$H\$17    |        |       |        |              |            |            |

Fuente: El Autor.

Último escenario

Finaliza el mejoramiento porque el informe de confidencialidad indica que, a ninguno de

los centros, se les puede asignar unidades y, como resultado de esto, no disminuye el valor en el Z min.



**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Con la implementación de la metodología se dieron los siguientes resultados:

- Los Precios Sombra en el modelo tienen tres comportamientos en el análisis de sensibilidad: El primer escenario es de ajuste, del segundo al octavo son constantes y los tres últimos son de cierre del mejoramiento.
- La capacidad de los centros de distribución presentan el siguiente comportamiento:
  - Los centros de distribución D1 y D4 no presentan modificaciones significativas en su capacidad.

- El centro de distribución D2, permite incrementar su capacidad en un 129%.
- El centro de distribución D3, puede ceder unidades, disminuyendo su capacidad en un 68%.
- La capacidad de los centros de distribución presentan el siguiente comportamiento:

El Z min inicial es de \$ 365.100, que es el óptimo de los algoritmos tragegales, el Z min final con la reasignación de capacidad de los centros de distribución es de \$ 329.630. Para una disminución neta de \$35,740 y un mejoramiento porcentual del 9.72%.

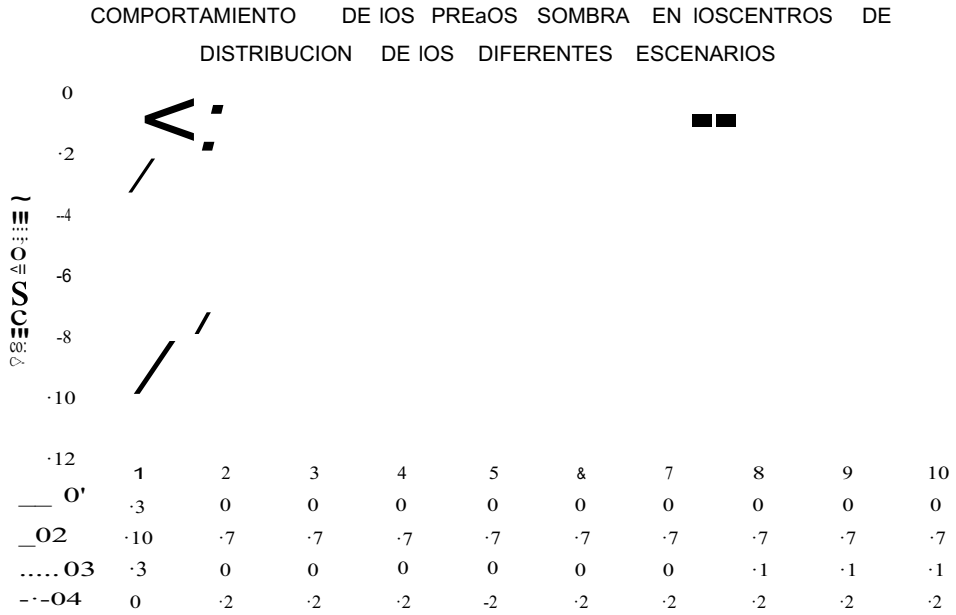
**Figura 9.**

|    | A | B | C | U                         | t    | F    | G       | H    | I    | J     | K    | L            | M     | N   | U        | P         |      |
|----|---|---|---|---------------------------|------|------|---------|------|------|-------|------|--------------|-------|-----|----------|-----------|------|
| 1  | M | A | Z | C                         |      |      | L       |      |      | I     |      |              |       |     |          |           |      |
|    | M |   |   | C                         |      |      | L       |      |      | I     |      |              |       |     |          |           |      |
| 4  |   |   |   | C1                        | C2   | C3   | C4      | C5   | C6   |       |      |              |       |     |          |           |      |
| 5  |   |   |   | 01                        | 25   | 17   | 30      | 25   | 17   | 18    | 3280 |              |       |     |          |           |      |
| 6  |   |   |   | D2                        | 18   | 29   | 16      | 17   | 30   | 22    | 8700 | 19900        |       |     |          |           |      |
| 7  |   |   |   | 03                        | 25   | 30   | 28      | 22   | 30   | 17    | 1810 | Oferta total |       |     |          |           |      |
| 8  |   |   |   | 04                        | 29   | 24   | 26      | 16   | 15   | 30    | 6110 |              |       |     |          |           |      |
| 9  |   |   |   | 4620                      | 9280 | 4180 | 9210    | 2900 | 1810 |       |      |              |       |     |          |           |      |
| 10 |   |   |   | O                         |      |      | mandat  |      |      | total |      |              | 19900 |     |          |           |      |
| 11 |   |   |   | SOLUCION DeCIMO esC-NARIO |      |      |         |      |      |       |      |              |       |     |          |           |      |
| 12 |   |   |   | M                         |      |      | A       |      |      | Z     |      |              | D     |     |          |           |      |
| 13 |   |   |   | M                         |      |      | A       |      |      | Z     |      |              | D     |     |          |           |      |
| 14 |   |   |   | C1                        | C2   | C3   | C4      | C5   | C6   |       |      |              |       |     |          |           |      |
| 15 |   |   |   | 01                        | 0    | 3280 | 0       | 0    | 0    | 0     | 3280 | <            | 3280  | 0   | 1E+30    | Disminuir | 4000 |
| 16 |   |   |   | 02                        | 4520 | 0    | 4180    | 0    | 0    | 0     | 8700 | S            | 8700  | -7  | 0        |           | 8700 |
| 17 |   |   |   | 03                        | 0    | 0    | 0       | 0    | 0    | 1810  | 1810 | 1110         | -1    | 720 | Aumentar | 1090      |      |
| 18 |   |   |   | 04                        | 0    | 0    | 0       | 3210 | 2900 | 0     | 6110 | 5.           | 6110  | -2  | 0        |           | 6110 |
| 19 |   |   |   | 4520                      | 3280 | 4180 | 3210    | 2900 | 1810 |       |      |              |       |     |          |           |      |
| 20 |   |   |   | =                         | =    | =    | =       | =    | =    |       |      |              |       |     |          |           |      |
| 21 |   |   |   | 4520                      | 3280 | 4180 | 3210    | 2900 | 1810 |       |      |              |       |     |          |           |      |
| 22 |   |   |   | Zmin                      |      |      | 329.630 |      |      |       |      |              |       |     |          |           |      |

Fuente: El Autor.

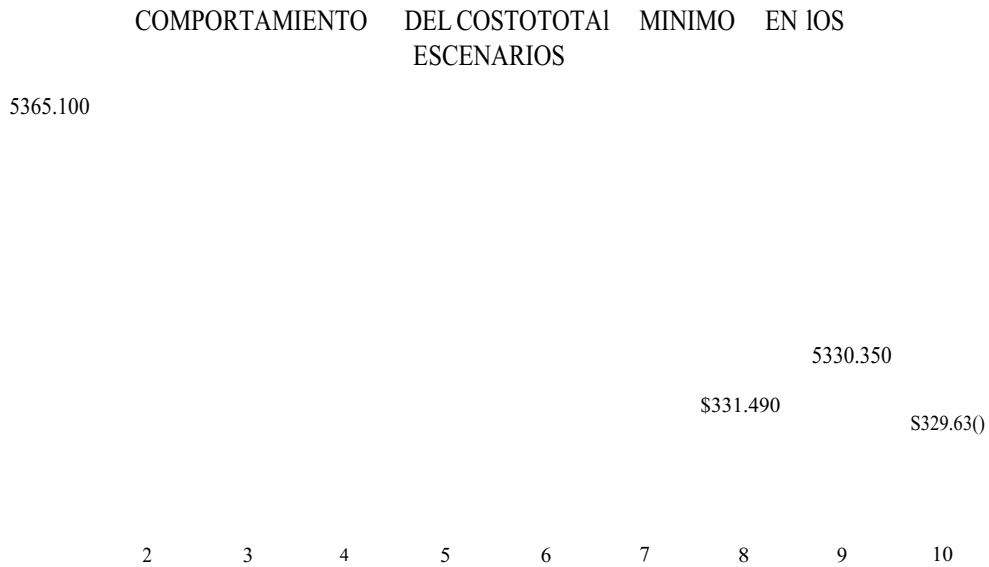
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: DESARROLLO DE MIPYMES

Figura 10.



Fuente: El Autor.

Figura 11.



Fuente: El Autor.

## CONCLUSIONES

Con el análisis de la información de los reportes de sensibilidad, como es el precio sombra; identificando los centros que incrementan y/o ceden su almacenaje de unidades, y siguiendo la presente metodología, se pueden optimizar los costos de los centros de distribución a los clientes.

La nueva metodología supera el valor óptimo de los modelos de transporte tras agregarles, por lo tanto se sugiere adoptarla, darle contexto científico y difundirla en textos y documentos donde se haga referencia a este modelo.

La tecnología existente genera el análisis de la sensibilidad, deberán hacer se estudios para apropiarse de esta información.

En los textos y documentos consultados se describe y argumenta sobre el análisis de sensibilidad, para modelos con pocas variables (dos y/o tres variables) a lo sumo, en este documento se presenta la aplicabilidad del modelo para 24 variables. Esto significa que el modelo tiene múltiples aplicaciones en modelos de programación lineal.

Realizada una revisión de la literatura sobre estudios similares, no se encontraron documentos.

## REFERENCIAS

Eppen, G., Gould, F. et al. (2000). Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. Quinta edición. Prentice hall.

Lieberman, H. (2002) Investigación de operaciones.

Mc Graw Hill. Primera edición en español.

Sanchez, L. (2007) Modelos Cuantitativos Lineales con escenarios en Excel Solver. Bogotá, Editorial EAN.

Winston, W. (2004) Investigación de Operaciones:

Aplicaciones y Algoritmos. Thomson. Cuarta edición.

Taha, H. (2003) Investigación de Operaciones: Aplicaciones y Algoritmos. Prentice Hall. Séptima edición.