

FUNDACION UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS
GUÍA – INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

AUTOR: Arturo Yesid Córdoba Berrio Ing. Industrial
Administrador de Empresas
Especialización en Transporte

REVISOR: Carlos Alfonso Gómez García. Ing. de Petróleos
Especialización en Orientación Educativa
Especialización en Docencia Universitaria
Maestría en Investigación Social

TEMA: Modelos de Transporte

LOGROS

- ◆ Mostrar que diferentes problemas de transporte tienen planteamientos similares que pueden resolverse a través de la programación lineal.
- ◆ Presentar diversos algoritmos de solución para un problema de redes específico : El problema de transporte.
- ◆ Identificar que el problema de transporte es un caso especial de redes , en el que todos los nodos son o fuentes (nodos de oferta) o destinos (nodos de demanda).
- ◆ Lograr que el estudiante se ejercite en la solución, por medios manuales, de problemas de transporte, avanzando por diferentes soluciones desde las mas desfavorables en términos económicos hasta llegar a la solución óptima
- ◆ Entender la solución que arroja la solución de estos mismos problemas utilizando métodos computarizados.

CONDUCTA DE ENTRADA

_ ¿ Explique con claridad los siguientes conceptos relacionados con los problemas de Programación Lineal?

- Variable de decisión
- Variables de holgura
- Restricciones
- Función Objetivo
- Modelo determinístico
- Modelo Estocástico
- Algoritmo

- Para la situación presentada en la siguiente tabla

| De: Ciudad | A. Ciudad | | | |
|--------------|-------------|---------|--------|------|
| | Bucaramanga | Pereira | Ibagué | Meta |
| Bogotá | 75 | ---- | 150 | ---- |
| Medellín | 125 | 100 | ---- | ---- |
| Cali | ---- | ---- | 125 | 150 |
| Barranquilla | ---- | ---- | ---- | 100 |

El gerente de una ensambladora está interesado en elaborar un plan semanal para el envío de autos desde su casa matriz a diversos distribuidores regionales. Para elaborar el plan, ha recopilado datos sobre costos de transporte por automóvil en todo el país, necesidades mensuales de automóviles de cada distribuidor.

Se desea determinar cuántos automóviles se deben enviar de Bogotá y Medellín a cada una de las otras ciudades, para que sean vendidos allí o sean transferidos a otra ciudad. Se da cuenta que no es tan difícil elaborar el plan de envíos que satisfaga las necesidades de todas las ciudades pero ¿Será el plan más económico?

CRITERIOS DE EVALUACION

Al final de la siguiente guía se ofrecen situaciones problemáticas que deberán ser resueltas por cada uno de los métodos expuestos en la presente guía. Este ejercicio que pretende afianzar la parte conceptual y operatoria de los estudiantes tendrá un peso relativo dentro del porcentaje del momento evaluativo correspondiente. Así mismo, se propondrá un examen evaluativo para observar su capacidad en la administración de operaciones y en la teoría de decisiones.

TIEMPO DE EJECUCION

El tiempo que se sugiere para el desarrollo de la guía (aplicación y evaluación) es de 8 días.

TEMATICA

Antecedentes

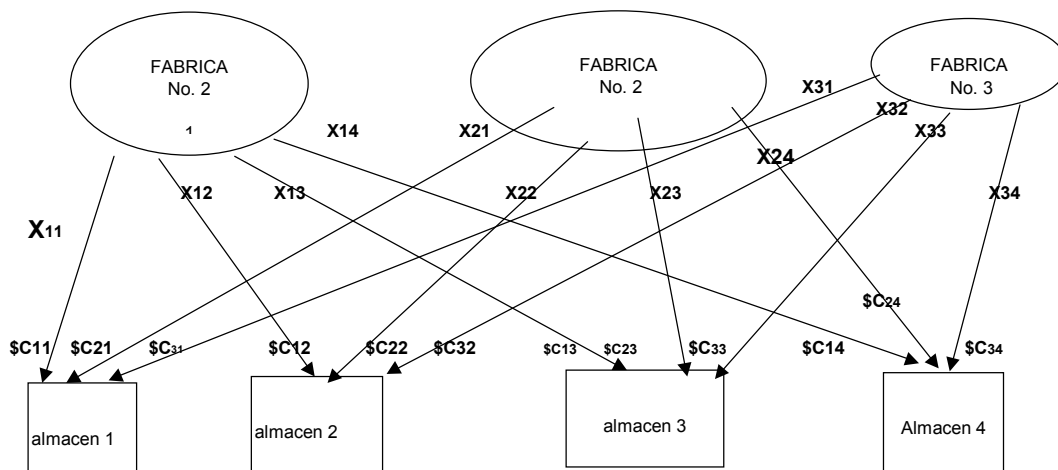
Los métodos manuales pueden llegar a considerarse totalmente obsoletos o pasados de moda, ya que el avance de los medios computarizados permiten hoy fácilmente resolver de una manera rápida y efectiva, problemas sobre los cuales antes se requería de grandes tiempos y esfuerzos. Además en la práctica es muy posible que no se presenten en el caso de los problemas de transporte, situaciones con un número muy reducido de variables (Ej. 3 orígenes y 4 destinos), sino muy por el contrario, problemas que involucran grandes

cantidades de variables, por ejemplo, más de 100, para los cuales sería imposible utilizar soluciones manuales. Al respecto en el texto *Métodos Cuantitativos para los Negocios de ANDERSON Y OTROS, EDIT. THOMPSON* dice: “ por lo general los problemas de transporte encontrados en la práctica llevan a problemas lineales muy grandes; no son infrecuentes problemas de transporte con 100 orígenes y 100 destinos”.¹

Sin embargo, es a través del análisis de estos problemas y su solución mediante métodos iterativos, que el estudiante adquiere elementos conceptuales que le permiten abordar e interpretar cualquier situación que se ajuste a estas condiciones y modelarla y resolverla como un problema de transporte.

RED DE TRANSPORTE

La gráfica que se presenta a continuación se conoce como RED. Los círculos representan los puntos de origen o donde se genera la oferta . Los cuadrados representan el destino o el lugar a donde van a llegar los productos de la oferta. Tanto los círculos como los cuadrados en este diagrama se conocen como los NODOS de la red y las líneas que los conectan son los arcos o flechas. Cada origen y destino queda representado por un nodo y cada ruta o embarque de mercancía por un arco o flecha. La oferta aparece al lado de cada nodo y la demanda al lado de cada destino.



Si llamamos:

i. Índice o número de orígenes, $i= 1,2,3,\dots m$

j Índice o número para los destinos $j=1,2,3,\dots n$

X_{ij} a la cantidad de mercancía que es posible transportar desde el origen i hasta el destino j . Por ejemplo X_{11} es la cantidad de mercancía que es posible transportar desde la fábrica 1 hasta el almacén 1.

C_{ij} al costo de transportar una unidad de mercancía desde el origen 1, hasta el destino 1, por ejemplo C_{23} , el costo de transportar una unidad de mercancía desde el origen o fábrica 2 hasta el almacén o destino 3.

a_i Suministro o capacidad en unidades del origen i .

b_j Demanda en unidades del destino j

Es posible entonces llegar a la siguiente tabla que se conoce como tabla de transporte y que tiene como característica que siempre se construye de manera igual o similar.

TABLA DE TRANSPORTE

| | | DESTINOS O CENTROS DE DISTRIBUCION O CONSUMO | | | | | | CAPACIDAD DE LA PLANTA |
|------------------------------------|--------|----------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|--------------------------|------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | ... | n | |
| ORIGENES O CENTROS DE PRODUCCION | origen | | | | | | | |
| | 1 | C_{11} X_{11} | C_{12} X_{12} | C_{13} X_{13} | C_{14} X_{14} | ... | C_{1n} X_{1n} | a_1 |
| | 2 | C_{21} X_{21} | C_{22} X_{22} | C_{23} X_{23} | C_{24} X_{24} | ... | C_{2n} X_{2n} | a_2 |
| | 3 | C_{31} X_{31} | C_{32} X_{32} | C_{33} X_{33} | C_{34} X_{34} | ... | C_{3n} X_{3n} | a_3 |
| | 4 | C_{41} X_{41} | C_{42} X_{42} | C_{43} X_{43} | C_{44} X_{44} | ... | C_{4n} X_{4n} | a_4 |
| | | ... | | ... | | ... | | |
| | m | C_{m1} X_{m1} | C_{m2} X_{m2} | C_{m3} X_{m3} | C_{m4} X_{m4} | ... | C_{mn} X_{mn} | a_m |
| UNIDADES REQUERIDAS POR EL MERCADO | b_1 | b_2 | b_3 | b_4 | ... | b_n | $\sum a_i$ $\sum b_i$ | |

Una condición para utilizar los métodos manuales es que la suma agregada de las demandas de todos los centros de consumo sea exactamente igual a la suma agregada de todos los centros de oferta o producción. O en otras palabras que la capacidad agregada de todas las plantas, sea igual a todos los requerimientos de los almacenes o centros de distribución., es decir que : $\sum a_i = \sum b_j$

La formulación del problema de transporte como un problema de programación lineal, que en últimas es lo que es, se realiza así:

Objetivo:
MINIMIZAR

$$Z = C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + C_{13}X_{13} + \dots + C_{1n}X_{1n} + C_{21}X_{21} + C_{22}X_{22} + \dots + C_{2n}X_{2n} + C_{m1}X_{m1} + C_{m2}X_{m2} + \dots + C_{mn}X_{mn}$$

Sujeto a:

$$\begin{array}{rcl} \text{Restricciones de Oferta: } X_{11} + X_{12} + \dots + X_{1n} & \leq & a_1 \\ & & X_{12} + X_{22} + \dots + X_{2n} & \leq & a_2 \\ & & \dots & \dots & \dots \\ & & X_{1m} + X_{2m} + \dots + X_{mn} & \leq & a_m \end{array}$$

Restricciones de Demanda:

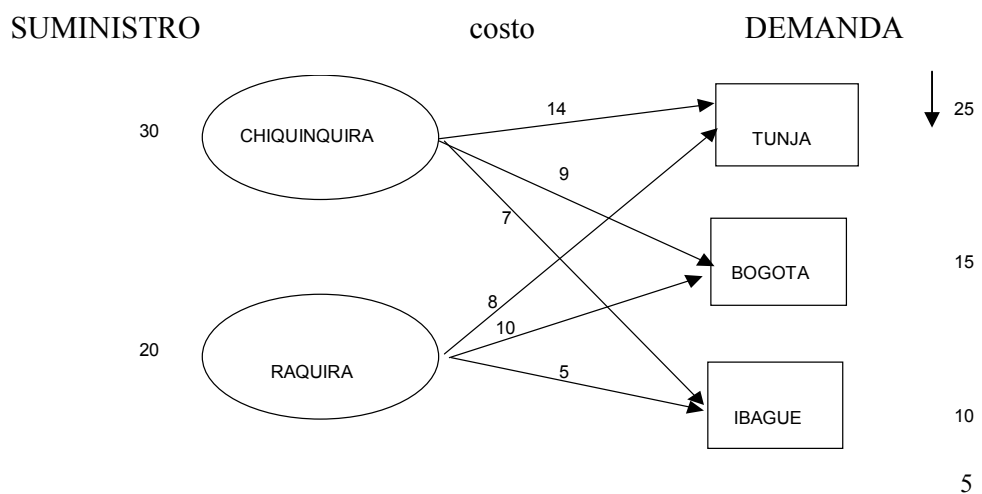
$$\begin{array}{rcl} X_{11} + X_{21} + \dots + X_{m1} & = & b_1 \\ X_{12} + X_{22} + \dots + X_{m2} & = & b_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ X_{1n} + X_{2n} + \dots + X_{mn} & = & b_n \end{array}$$

$$X_{ij} \geq 0; \quad i=1,2,\dots,m; \quad j=1,2,\dots,n$$

Nótese que las restricciones de oferta llevan signo menor o igual, ya que tienen que ver con una capacidad limitada de las plantas de producción, mientras que las restricciones de demanda, llevan signo igual, pues los pedidos se conocen con anticipación y se abastece exactamente lo que se pide.

Con un ejemplo es más fácil explicarlo. Veamos:

La producción de artesanías se realiza en dos ciudades y se vende en tres como se indica en el siguiente diagrama de red. (Los suministros, demandas y costos (sobre la flecha) de transporte por unidad aparecen en la red.)



Desarrolle un modelo de programación Lineal para este problema.

Hay dos Plantas y tres distribuidores o almacenes, sea entonces X_{ij} , la cantidad despachada de i a j .

$$\text{Min } Z = 14X_{11} + 9X_{12} + 7X_{13} + 8X_{21} + 10X_{22} + 6X_{23}$$

Restricciones de oferta

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} \leq 30$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} \leq 20$$

Restricciones de Demanda

$$X_{11} + X_{21} = 25$$

$$X_{21} + X_{22} = 15$$

$$X_{31} + X_{32} = 10$$

Condición de no negatividad

$$X_{ij} \geq 0 \quad i=1,2,3; j=1,2$$

METODOS DE SOLUCION

1. METODO DE LA ESQUINA NOROESTE

Es el método más simple y sencillo de aplicar.

Consiste en asignar a la esquina Noroeste (Llamada así a la esquina que queda en la parte superior izquierda de la tabla) la máxima cantidad posible, saturando (completando) bien sea la oferta de la fila o la demanda de la columna. La oferta de cada fila se debe saturar antes de pasar a la siguiente fila. Se continua así hasta terminar la tabla.

En este caso se empezó asignando la máxima cantidad posible a la casilla $_{11}$. Esa máxima cantidad en este caso es 25, ya que la define la demanda de Tunja (no puedo sobrepasar los 25 pues Tunja solo necesita 25). Una vez se completa la demanda de Tunja, se continua por la primera fila hasta saturarla (completarla). Como le faltan 5 unidades para completar los 30 que tiene de capacidad Chiquinquirá, se asignan esas 5 unidades a Bogotá (El envío de Chiquinquirá a Bogotá) y se completa la oferta de Chiquinquirá. así: 25 a Tunja y 5 a Bogotá. Observe que de Chiquinquirá a Ibagué ya no es posible enviar nada, pues la capacidad de la planta de Chiquinquirá se haya copada.

Se continua así fila por fila. Para el caso que nos ocupa continuamos con la segunda fila.

| | | DESTINOS O CENTROS DE DISTRIBUCION O CONSUMO | | | CAPACIDAD DE LA PLANTA |
|------------------------------------|---------|----------------------------------------------|--------|--------|------------------------|
| | | TUNJA | BOGOTA | IBAGUE | |
| ORIGENES O CENTROS DE PRODUCCION | origen | | | | |
| | CHIQUIN | 25 | 5 | 5 | 30 |
| | RAQUIRA | 10 | 5 | 5 | 20 |
| UNIDADES REQUERIDAS POR EL MERCADO | | 25 | 15 | 10 | 50 |

A la primera casilla no se le puede asignar nada pues la demanda de Tunja ya se encuentra satisfecha. Se continua signando por la misma fila cumpliendo los requerimientos cruzados (de filas y columnas) hasta terminar y completar los requerimientos en función de la oferta.

Plan de envios sera para esta solucion:

| de | a | cantidad | vr unitario | vr total |
|--------------|--------|----------|-------------|----------|
| chiquinquirá | tunja | 25 | 14 | 350 |
| | bogotá | 5 | 9 | 45 |
| | ibagué | 0 | 7 | 0 |
| raquira | tunja | 0 | 8 | 0 |
| | bogotá | 10 | 10 | 100 |
| | ibagué | 5 | 5 | 25 |
| Costo Total | | | | 520 |

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA APLICACION DE ESTE METODO.

VENTAJAS

- El método de la esquina Noroeste proporciona una solución básica factible, pero casi nunca la solución óptima.
- Es fácil de aplicar y se llega a una solución de manera rápida.

DESVENTAJAS

- No tiene en cuenta los costos de transporte de las mercancías, sino únicamente las cantidades.
- Por la razón anterior difícilmente presenta una solución favorable.
- No aporta ningún criterio que permita evaluar sus resultados para saber si se ha llegado a una solución óptima o no.

METODO DEL COSTO MINIMO

Consiste en asignar tanto como sea posible a la celda que posea el costo mínimo o más pequeño. Una vez saturada la fila o columna correspondiente se saca del análisis y se continua de la misma manera hasta completar la totalidad de la tabla. En caso de que haya uno o más costos iguales se escoge arbitrariamente cualquiera.

En esta primera tabla, asignamos lo máximo posible a la celda 23, que es la que tiene el menor costo de transporte (\$5.00) y saturamos (completamos) los requerimientos de demanda de IBAGUE, por lo tanto ya **no es necesario** considerar la ruta de abastecimiento Chiquinquirá –Ibagué (casilla 13), razón por la cual en este ejemplo aparece tachada.

| | | DESTINOS O CENTROS DE | | | CAPACIDAD DE LA PLANTA |
|------------------------------------|---------|-----------------------|--------|--------|------------------------|
| | | TUNJA | BOGOTA | IBAGUE | |
| ORIGENES O CENTROS | origen | | | | |
| | CHIQUIN | 14 | 9 | 7 | 30 |
| | RAQUIRA | 8 | 10 | 5 | 20 |
| UNIDADES REQUERIDAS POR EL MERCADO | | 25 | 15 | 10 | 50 |

Se continua y se asigna luego lo máximo posible a la celda que presente el costo mínimo. Esta celda es la 21, donde le costo es \$8. Asignamos lo máximo posible que es 10 y se completa la capacidad de la planta de Raquira.(o segunda fila), por lo que se satura ya la segunda fila y se saca del análisis la celda 22. (Tachada con flechas).

Quedan tan solo las celdas 11 y 12, y entre las dos se escoge primero la de mínimo costo que es la celda 12 o sea la ruta Chiquinquirá –Tunja, asignando 15 unidades, que es lo máximo que permite pues la limita la demanda de Bogotá. Solo queda una celda la 11 y se procede a completar la tabla.

| | | DESTINOS O CENTROS DE | | | CAPACIDAD DE LA PLANTA |
|------------------------------------|---------|-----------------------|--------|--------|------------------------|
| | | TUNJA | BOGOTA | IBAGUE | |
| ORIGENES O CENTROS | origen | | | | |
| | CHIQUIN | 14 | 9 | 7 | 30 |
| | RAQUIRA | 8 | 10 | 5 | 20 |
| UNIDADES REQUERIDAS POR EL MERCADO | | 25 | 15 | 10 | 50 |

La solución de este método arroja el siguiente resultado:

Plan de envios sera para esta solucion:

| de | a | cantidad | vr unitario | vr total |
|--------------|--------|----------|-------------|----------|
| chiquinquirá | tunja | 15 | 14 | 210 |
| | bogotá | 15 | 9 | 135 |
| | ibagué | 0 | 7 | 0 |
| raquirá | tunja | 10 | 8 | 80 |
| | bogotá | 0 | 10 | 0 |
| | ibagué | 10 | 5 | 50 |
| Costo Total | | | | 475 |

Esta solución con respecto a la anterior disminuye el costo total en :

$$CT2-CT1= 520-475= \$45$$

Por lo tanto el método del costo mínimo permite mejorar la solución obtenida por el método de la esquina Noroeste en \$45.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL METODO DEL COSTO MINIMO

VENTAJAS

- Es sencillo y fácil de aplicar.
- Tiene en cuenta en el análisis los costos de transporte.

DESVENTAJAS

- No aporta ningún criterio que permita determinar si la solución obtenida por este método es la mejor (óptima) o no.

METODO DE APROXIMACION DE VOGEL

SIGUE UNA SERIE DE PASOS

Primero calcula la diferencia que existe entre el costo más bajo y el costo más bajo siguiente para cada fila y columna.

Segundo establece la fila o columna que tenga la mayor diferencia (en términos absolutos) en costos. Esta se selecciona y se ubica en ella (fila o columna) la casilla donde se encuentra el costo más bajo y allí se asigna la máxima cantidad posible, teniendo en cuenta las limitaciones y requerimientos de filas y columnas. Una vez saturada la fila o columna se elimina del análisis y se repite el método. Cuando se encuentren diferencias o costos iguales en las casillas se escoge arbitrariamente. En caso de que quede una sola fila o columna, se termina el procedimiento por el método del costo mínimo.

| | | DESTINOS O CENTROS DE DISTRIBUCION O CONSUMO | | | CAPACIDAD DE LA PLANTA |
|------------------------------------|---------|----------------------------------------------|--------|--------|------------------------|
| | | TUNJA | BOGOTA | IBAGUE | |
| ORIGENES O CENTROS | origen | | | | |
| | CHIQUIN | 14 | 9 | 7 | 30 |
| | RAQUIRA | 8 | 10 | 5 | 20 |
| UNIDADES REQUERIDAS POR EL MERCADO | | 25 | 15 | 10 | 50 |

En la tabla una vez obtenidas las diferencias entre los menores costos de filas y columnas, la mayor diferencia se encuentra en la columna 1. Ingresamos por esta columna y ubicamos la casilla donde aparece el mínimo costo que es la casilla 21, y procedemos a asignar allí lo máximo posible, que en este caso es 20 unidades, saturando la fila 1. (Por esa razón se

Excluyen del análisis las casillas de esta fila o sea las casillas 22 y 23) . Como solo queda la fila 1, se continua por el método del costo mínimo, asignando primero a la casilla de mínimo costo 13 y saturando la columna 3, luego a la casilla 12 y por último a la casilla 11.

| | | DESTINOS O CENTROS DE DISTRIBUCION O CONSUMO | | | CAPACIDAD DE LA PLANTA | DIFERENCIA DE COSTOS |
|------------------------------------|---------|----------------------------------------------|------------------|-----------------|------------------------|----------------------|
| | | TUNJA | BOGOTA | IBAGUE | | |
| ORIGENES O CENTROS DE PRODUCCION | origen | | | | | |
| | CHIQUIN | 5 ¹⁴ | 15 ⁹ | 10 ⁷ | 30 | 9 - 7 = 2 |
| | RAQUIRA | 20 ⁸ | 10 ¹⁰ | 5 ⁵ | 20 | 8 - 5 = 3 |
| UNIDADES REQUERIDAS POR EL MERCADO | | 25 | 15 | 10 | 50 | 50 |
| DIFERENCIA DE COSTOS | | 14 - 8 = 6 | 10 - 9 = 1 | 7 - 5 = 2 | | |

la mayor diferencia es 6

Los resultados que arroja el método de Vogel son bastante aceptables pues se acerca mucho a la solución óptima e incluso en muchas ocasiones la logra.

La solución del método de Vogel es:

| de | a | cantidad | vr unitario | vr total |
|--------------|--------|----------|-------------|----------|
| chiquinquira | tunja | 5 | 14 | 70 |
| | bogota | 15 | 9 | 135 |
| | ibague | 10 | 7 | 70 |
| raquira | tunja | 20 | 8 | 160 |
| | bogota | 0 | 10 | 0 |
| | ibague | 0 | 5 | 0 |
| Costo Total | | | | 435 |

Con relación a la solución obtenida por el método del costo mínimo la solución de Vogel mejora el resultado en:

$$CT_2 - CT_3 = 475 - 435 = \$40$$

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL METODO DE VOGEL.

VENTAJAS

- Conduce rápidamente a una mejor solución.
- Tiene en cuenta en el análisis la diferencia entre los menores costos de transporte.

DESVENTAJAS

- No aporta ningún criterio que permita determinar si la solución obtenida por este método es la mejor (óptima) o no.

METODO DEL CRUCE DEL ARROYO

El método del Cruce del Arroyo (Stepping Stone) parte de una solución factible. Como punto de partida se puede tomar cualesquiera de las soluciones que arrojan los métodos anteriormente descritos.

El MCA (Método del Cruce del Arroyo) evalúa la solución inicial y mediante iteraciones (procesos aritméticos) busca mejorarla hasta llegar a la solución óptima.. Si la solución de partida es la más desfavorable en términos económicos, el procedimiento se hará más dispendioso pues implicará más iteraciones hasta aproximarse a la solución óptima. Por tal razón resulta casi obvio que se debe partir de una solución que lo deje lo más cerca posible de la solución óptima. Esta solución es la que proporciona el método de Vogel.

Para efectos didácticos, aplicaremos la solución del MCA, partiendo de la solución del Costo Mínimo.

| | | DESTINOS O CENTROS DE | | | CAPACIDAD DE LA PLANTA |
|------------------------------------|---------|-----------------------|------------------|----------------|------------------------|
| | | TUNJA | BOGOTA | IBAGUE | |
| ORIGENES O CENTROS | origen | | | | |
| | CHIQUIN | 15 ¹⁴ | 15 ⁹ | 7 ⁷ | 30 |
| | RAQUIRA | 10 ⁸ | 10 ¹⁰ | 5 ⁵ | 20 |
| UNIDADES REQUERIDAS POR EL MERCADO | | 25 | 15 | 10 | 50 |

La solución de este método arroja el siguiente resultado:

CT = \$475

Para mejorar la solución cabe preguntarse, Si se enviara mercancía por las rutas que quedaron vacías, es decir, las celdas 13 y 22, ¿Cuánta mercancía se podría enviar por esas rutas y si con eso se mejoraría o no la solución actual?

Para realizar este análisis debo considerar que pasa si envío una unidad por cada casilla vacía. (Es decir por las rutas no consideradas).

Comencemos el análisis por la casilla 13.

| | | DESTINOS O CENTROS DE DISTRIBUCION O CONSUMO | | | CAPACIDAD DE LA PLANTA |
|------------------------------------|---------|----------------------------------------------|--------|---------|------------------------|
| | | TUNJA | BOGOTA | IBAGUE | |
| ORIGENES O CENTROS | origen | | | | |
| | CHIQUIN | ⊖ 15 | 15 | ⊕ 7 | 30 |
| | RAQUIRA | ⊕ 10 | | ⊖ 10 | 20 |
| UNIDADES REQUERIDAS POR EL MERCADO | | 25 | 15 | 10 | 50 |

Si se asigna una unidad a la casilla 13 se rompe el balance de la tabla tanto en filas como en columnas, pues la fila uno (Chiquinquirá) no tendría ya 30 unidades de oferta sino 31 (15+15+1). Y la columna 3 (Ibagué) ya no sumaría 10 unidades de demanda sino 11.

Ambas situaciones no son posibles.. Para que el balance en la tabla no se rompa, si se asigna una unidad a una casilla vacía, se debe restar también una unidad tanto en las filas como en las columnas afectadas, de casillas asignadas, para poder mantener el equilibrio. Lo anterior se logra en un flujo cerrado, saltando por las casillas ocupadas, sumando y restando, en un flujo cerrado, con efecto neto nulo (igual a cero: + 1 -1 + 1 - 1), tal como se indica en la tabla., de (+) (-) (+) (-)

La evaluación de los costos de las casillas que considera el flujo cerrado, permite determinar un Índice, conocido como Índice de mejoramiento

El índice de mejoramiento (IM) podrá tomar los siguientes valores:

- IM → positivo
- IM → cero
- IM → Negativo

- Cuando el resultado del índice de mejoramiento es positivo se interpreta de la siguiente manera: Por cada unidad que se decida enviar por esa ruta, se aumenta el Costo total de la solución que se este considerando, en el valor positivo que arrojó la evaluación del ciclo cerrado.
- Cuando el IM es igual a cero, quiere decir que es indiferente despachar por esa ruta o por las ya consideradas en la solución de partida, si se decide transportar por esta ruta, no se obtiene ningún aumento o disminución en los costos. A eso se le llama punto de indiferencia económica.
- Cuando el IM es negativo se interpreta así: Por cada unidad que se envíe por esa ruta, se disminuirá el costo total de la solución contemplada, en el valor negativo que arroja el índice. Por lo tanto como es posible disminuir los costos, se opta por enviar por esta casilla (ruta), para lograr una mejor solución.

| | | DESTINOS O CENTROS DE | | | CAPACIDAD DE LA PLANTA |
|---------------------------|---------|-----------------------|--------|--------|------------------------|
| | | TUNJA | BOGOTA | IBAGUE | |
| ORIGEN ES O CENTRO | origen | | | | |
| | CHIQUIN | +15 | -15 | - | 30 |
| | RAQUIRA | -10 | +10 | 10 | 20 |
| REQUERIDAS POR EL MERCADO | | 25 | 15 | 10 | 50 |

Evaluación Casillas Vacías:

| CASILLA VACIA | FLUJO CERRADO | = | COSTOS | = | INDICE DE MEJORAMIENTO |
|---------------|------------------|---|------------------|---|------------------------|
| 13 | +C13-C11+C21-C23 | = | +7- 14 + 8- 5 | = | - 4 |
| 22 | +C22-C21+C11-C21 | = | +10 - 9 + 14 - 8 | = | +7 |

Por la casilla 13 es posible mejorar la solución, ya que el IM es negativo, o sea que por cada unidad que se envíe por la ruta 13, es posible disminuir el costo de la solución anterior en \$4.

¿CUÁNTA CANTIDAD ES POSIBLE ENVIAR POR ESTA CASILLA?

Las cantidades de las celdas con signo negativo en el flujo de 13 son:

X11 15

X23 10

la menor de las dos es 10

La menor SE RESTA A LAS CASILLAS CON SIGNO NEGATIVO

| | | | | | |
|------|----|---|----|---|----------------|
| | | | | | Nueva Cantidad |
| X11: | 15 | - | 10 | = | 5 |
| X23: | 10 | - | 10 | = | 0 |

Y SE SUMA A LAS CASILLAS CON SIGNO POSITIVO

| | | | | | |
|------|----|---|----|---|----------------|
| | | | | | Nueva Cantidad |
| X13: | 0 | + | 10 | = | 10 |
| X21: | 10 | + | 10 | = | 20 |

LAS CASILLAS QUE NO SE AFECTARON CONTINUAN IGUAL

LA NUEVA SOLUCION SERÁ:

| | | DESTINOS O CENTROS DE DISTRIBUCION O CONSUMO | | | | CAPACIDAD DE LA PLANTA |
|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|--------|--------|--|------------------------|
| | | TUNJA | BOGOTA | IBAGUE | | |
| ORIGENES O CENTROS DE PRODUCCION | origen | | | | | |
| | CHIQUIN | 5 | 15 | 10 | | 30 |
| | RAQUIRA | 20 | | 0 | | 20 |
| | UNIDADES REQUERIDAS POR EL MERCADO | 25 | 15 | 10 | | 50 |

El Costo total de esta nueva solución es:

Plan de envios sera para esta solución:

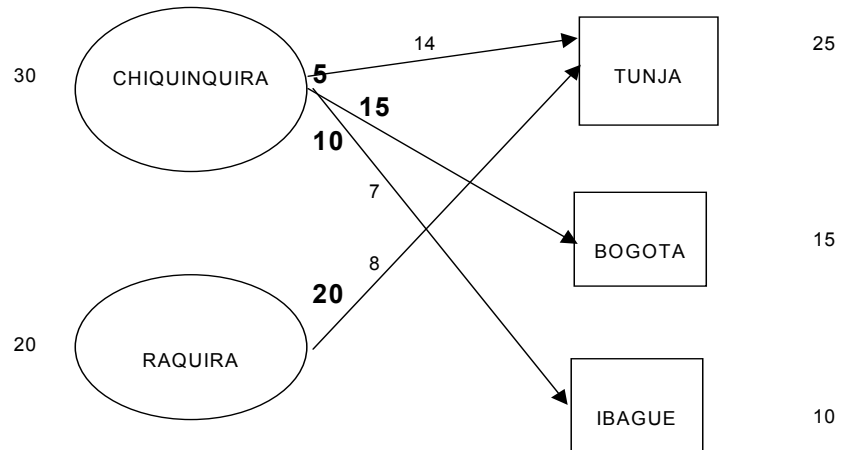
| de | a | cantidad | unitario | total |
|-------------|--------|----------|----------|-------|
| chiquin | tunja | 5 | 14 | 70 |
| | bogota | 15 | 9 | 135 |
| | ibague | 10 | 7 | 70 |
| raquira | tunja | 20 | 8 | 160 |
| | bogota | 0 | 10 | 0 |
| | ibague | 0 | 5 | 0 |
| Costo Total | | | | 435 |

Es fácil comprobar que esta solución mejora a la anterior en \$40, es decir pasa de \$475 a \$435, ya que la disminución es de \$4 por cada unidad que se envía por la ruta 13 y como por esta ruta se enviaron 10 unidades la disminución en el costo es de \$40.00

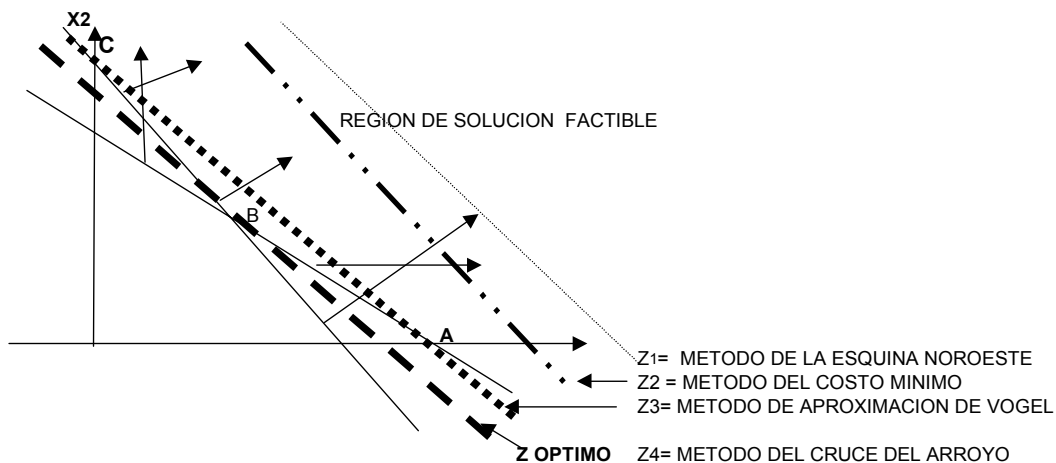
La siguiente iteración consiste en examinar nuevamente las casillas que quedaron sin asignación es decir las casillas 22 y 23, para determinar si tienen o no IM negativos.

Al hacerlo se comprueba que los dos índices son positivos por lo que se puede deducir que no es posible lograr un costo menor y por lo tanto se ha llegado al costo mínimo es decir a la solución óptima.

La red de la solución óptima es:



CONCLUSIONES



Si tenemos la siguiente solución gráfica en un problema de minimización, la región de solución factible es el área abierta definida por los puntos ABC. Encontramos el punto de solución en B, es decir el mínimo costo se consigue en B. Podemos apreciar un barrido desde afuera hacia el origen de la función objetivo (Z), la cual va tomando diferentes valores hasta llegar al punto óptimo en B.

En el caso del problema del transporte cuyo objetivo es minimizar los costos, los valores más alejados corresponden de la función objetivo, corresponden a los obtenidos a través de los diferentes métodos de solución. Como se puede apreciar, cada vez que utilizamos un método diferente es posible ir mejorando la solución o el valor de la función objetivo hasta llegar a la solución óptima.

En el ejemplo de la gráfica, la solución más desfavorable es la obtenida a través del método de la esquina noroeste (Z_1), ya que es la que se encuentra más alejada del origen (En la solución gráfica de los problemas de minimización, la solución óptima es el punto de la región de solución factible más cercano al origen).

Vemos que avanzamos en una mejor solución así:

| | | |
|-------|---------------------|---------------------------------|
| Hasta | Z_1 | METODO DE LA ESQUINA NOROESTE |
| HASTA | Z_2 | METODO DEL COSTO MINIMO |
| HASTA | Z_3 | METODO DE APROXIMACION DE VOGEL |
| HASTA | $Z_{\text{óptimo}}$ | METODO DEL CRUCE DEL ARROYO |

SITUACIONES PROBLEMATICAS

Conceptual

¿Cuál es la relación entre los problemas de trasbordo y los de transporte?

- Muestre la forma en que la tabla de transporte se relaciona con el planteamiento de programación lineal del problema de transporte.
- ¿Qué indica el índice de mejoramiento de cero acerca de la reasignación de una unidad hacia una celda vacía?
- ¿Por qué debemos sumar y restar la asignación mínima en celdas (del anillo de reasignación) que tienen una asignación negativa?
- Si es mayor la demanda que la oferta, añadiríamos un renglón artificial a la tabla de transporte. ¿Cuál es el significado físico de este renglón artificial?

Operatoria y de análisis.

Cada maestro sugiere dos ejercicios que serán entregados de acuerdo al tiempo de aplicación de la guía.

Problemas de Extensión

- Consulte (fundamentación teórica y ejemplos) en que consiste un problema de asignación.
- Presente una situación (de transporte y de asignación) relacionado con su programa disciplinar.(no es necesaria la solución)

SOPORTE BIBLIOGRAFICO

- **Bonini, Hausman, Bierman.** “Análisis Cuantitativo para los Negocios, Mc Graw Hill, Novena Edición. Bogotá. 2001.
- **Davis, McKeown,** “Modelos cuantitativos para administración. Grupo Editorial Iberoamerica. Versión en Español. México. 1986.
- G. D. Eppen, F. J. Gould et al. Investigación de Operaciones en la ciencia Administrativa. Pearson – Prentice Hall, Quinta Edición, México, 2000