

# APLICACIÓN DE ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN PARA LA LOCALIZACIÓN DE CENTROS DE DISTRIBUCIÓN COMERCIAL

## APPLICATION OF OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR THE LOCALIZATION OF COMMERCIAL DISTRIBUTION CENTERS

Ángel Geovanny Guamán Lozano<sup>1</sup>, Gloria Elizabeth Miño Cascante<sup>2</sup>,  
Julio César Moyano Alulema<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

<sup>2</sup>Grupo de Investigación de Ergonomía y Producción, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

a\_guaman@esPOCH.edu.ec<sup>1</sup>, j\_moyano@esPOCH.edu.ec<sup>1</sup>, gmino@esPOCH.edu.ec<sup>2</sup>

**Recibido:** 18/10/2018

**Aceptado:** 16/01/2020

**DOI:** [https://doi.org/10.33936/eca\\_sinergia.v11i1.1097](https://doi.org/10.33936/eca_sinergia.v11i1.1097)

**Código Clasificación JEL:** C44, L81, C61

### RESUMEN

El presente trabajo muestra la utilización de los métodos de centro de gravedad, Weber y un problema de ubicación de red<sup>7</sup> en dos casos de estudio distintos de una industria cementera y una de distribución de alimentos; el objetivo es determinar el sitio adecuado para la instalación de un nuevo centro de distribución en base a modelos de optimización. En primer lugar, se buscaron los datos relacionados con los costos de la cadena de suministro y ubicaciones geográficas mediante un estudio de costos y programas de georeferenciación respectivamente, luego se desarrollaron dos programas para cada caso que cumplen con las restricciones del modelo matemático subyacente de programación lineal utilizado desarrollado en Matlab con las secciones GUIDE. Finalmente se obtuvieron las coordenadas cartesianas de la nueva instalación propuesta para la cementera. Por otro lado, se definieron los centros de distribución que deben estar habilitados en la red de distribución de una empresa de alimentos, incluyendo la cantidad de producto que debe ser enviado a los diferentes mercados de consumo. La investigación establece soluciones factibles en los dos casos de estudio generando la reducción de los recorridos para las organizaciones a través del desarrollo de un programa de interfaz sencilla.

**Palabras clave:** investigación operativa; logística; técnicas de optimización.

### ABSTRACT

The present work shows the use of the center of gravity methods, Weber and a network location problem in two different case studies of a cement industry and a food distribution, the objective is to determine the appropriate site for the installation of a new distribution center based on optimization models. In the first place, the data related to costs of the supply chain and geographical locations were searched through a study of costs and georeferencing programs respectively, then developed two programs for each case that comply with the constraints of the underlying mathematical model of linear programming used developed in Matlab with the GUIDE section. Finally, the Cartesian coordinates of the new installation proposed for the cement company were obtained. On the other hand, the distribution centers that must be enabled in the distribution network of a food company were defined, including the quantity of product that must be sent to the different consumer markets. The research establishes feasible solutions in the two cases of study generating the reduction of the routes for the organization as the unique regulator of the informal commerce.

**Keywords:** operational research; logistics; optimization techniques.



## INTRODUCCIÓN

A menudo la toma de decisiones para una organización se encuentra atada a una definición más intuitiva que fundamentada en base a un criterio analítico. La ubicación de nuevas instalaciones manufactureras, de distribución y comercialización abarca un espectro amplio de estudio. Dentro de la gestión logística se consideran variables como la geografía del sector, ocupándose de las cuestiones físicas, humanas y regionales relacionadas con la nueva ubicación, además cuestiona la construcción, el desarrollo y la dinámica de los territorios y regiones analizados (Spalanzani, Ageron, & Zouaghi, 2016).

La ubicación de un centro de distribución está ligada al número de los almacenes (instalaciones físicas), al costo anual total de mantenimiento y al costo anual de satisfacción de la demanda del cliente buscando que siempre sean los mínimos posibles (Janáček & Gábrišová, 2009).

La ubicación de centros de manufactura, distributivos y comerciales, así como los depósitos de suministros afectan notablemente los costos del flujo de materiales en las redes logísticas. La localización de los centros es tan complicada porque no sólo hay una cadena de suministro, sino toda una red distributiva monitoreando los costos de operación (Li, Mukherjee, Su, & Xie, 2016).

La determinación sobre la localización o no localización de un centro logístico en algunas áreas afectará la eficacia de los sistemas para los años venideros. El objetivo de la decisión del establecimiento de en un sitio determinado es lograr un equilibrio adecuado entre tres aspectos relacionados (Slack, Brandon-Jones, & Johnston, 2013) como son:

- Los costos variables de las operaciones dependientes de la ubicación geográfica.
- El servicio que la operación puede proporcionar a sus clientes.
- El potencial de ingresos de la operación.

Para encontrar la solución óptima es posible aplicar un método exacto, pero sólo a los costes conocidos. Cuando se solucionan los problemas de localización, para la mayoría de ellos, no se tienen los costos reales futuros, solo sus estimaciones brutas, por lo tanto, es necesario tratar un enfoque para resolver un problema de ubicación a costos inciertos (Klapita & Švecová, 2010).

En la literatura se muestran diferentes modelos que ayudan en la decisión para la ubicación de este tipo de espacios logísticos que abastezcan la demanda de una región. Se pueden mencionar los modelos de localización continua, también conocido como modelos en el plano, se caracterizan por dos atributos esenciales (Klose & Drexler, 2003) como: a) el espacio de solución es continuo, es decir, es factible localizar instalaciones en cada punto del plano y b) la distancia se mide con una métrica adecuada como la trayectoria lineal o euclidiana.

Los modelos planos utilizan las coordenadas de los centros de distribución para calcular la solución óptima  $(x,y)$  que genere la mínima suma de las distancias entre las instalaciones y los puntos de demanda dada. Este método es matemático y fácil de usar, ya que analiza dos datos: la tarifa de transportación y el volumen, los cuales pueden ser denominados como carga y la ubicación de las instalaciones ya existentes en el área geográfica; para ello se pueden utilizar latitudes y longitudes, o simplemente adecuar el área geográfica dentro de un plano coordenado  $(x, y)$ . (Krajewski & Ritzman, 2008)

Por otra parte, existen trabajos que sugieren enfoques heurísticos como el enfoque de descenso y el recocido simulado. Ambas heurísticas funcionan muy bien en términos de tiempo de procesamiento del CPU y calidad de solución para mejorar un costo de viaje. El mismo efecto resulta para problemas de tamaño mediano cuando el costo de viaje no es grande y por lo tanto

no se requieren muchas instalaciones (Aboolian, Berman, & Drezner, 2008). Como resultado, los procedimientos heurísticos capaces de determinar una buena solución factible en un tiempo razonable pueden ser muy útiles. Para evaluar si una solución heurística proporciona un límite superior ajustado (LS) sobre el valor óptimo de la solución, es útil determinar un límite inferior (LI) sobre el valor óptimo de la solución. Esto produce una relación  $(LS-LI)/LI$  que representa un exceso de desviación relativa del valor de la solución heurística respecto del óptimo.

Además se pueden modelar y solucionar problemas de localización enfocándolos como si se tratase de un MIP (Programación Entera Mixta) como es el caso del algoritmo branch-and-bound (Ghiani, Laporte, & Musmanno, 2004). Un enfoque de este tipo sólo funciona para problemas relativamente simples siempre que el tamaño de la instancia sea pequeño. Para los problemas de múltiples materias de varios niveles, determinar una solución óptima puede ser prohibitivo incluso si el número de instalaciones potenciales es relativamente pequeño.

Uno de los principales problemas para la aplicación de estos modelos es la complejidad para la programación en software que resuelva modelos de optimización, como ejemplos se pueden citar los casos de Lingo 16.0, SAS Studio, AMPL o el mismo Microsoft EXCEL que limitan la autodeterminación del investigador para ordenar, procesar y diseñar su solución personalizada, además de limitar el modo de visualizar y exponer las soluciones para usuarios con menos conocimientos en programación.

En este sentido y basado en los beneficios económicos que proporciona la ubicación de una nueva instalación analizando todos los gastos de transporte que intervengan, este trabajo presenta la solución de dos casos de estudio resueltos con las herramientas de optimización de Matlab y presentadas en formato de archivo ejecutable aplicando las bibliotecas Interfaz gráfica de usuario (GUI). Múltiples campos del desarrollo se ven afectados por la optimización de operaciones de transporte, tal es éxito que en la actualidad se puede integrar inteligencia artificial para el traslado de mercaderías como es el caso de (Yin, y otros, 2017) y de (Qi, y otros, 2018) para la automatización de rutas y horarios en trenes de alta velocidad (Wang, Tang, Ning, & Meng, 2017). Aplicando este tipo de soluciones en otros campos del saber cómo la aerodinámica (Yu, Lyu, Xu, & Martins, 2018) se mejoran las condiciones de un problema.

El primero caso analiza la dedición de ubicación de un nuevo centro de distribución para la Compañía de Economía Mixta, Unión Cementera Nacional, “UCEM C.E.M.” del Ecuador que necesita minimizar costos de distribución de su producto con el objetivo de ser más competitiva en el mercado. El segundo caso establece una alternativa de ubicación de centros logísticos para la empresa dedicada a la venta de múltiples productos de pan BIMBO cuyo recorrido en flotas representa un costo significativo en los balances finales de la organización. La resolución de estas situaciones reales se aborda como problemas de optimización matemática y se logra diseñar una cadena de distribución y abastecimiento (Peña Orozco, Bolaños Carranza, & Salcedo Peláez, 2016).

## METODOLOGÍA

Para el desarrollo metodológico de los problemas propuestos de ubicación de las dos empresas se debió recoger datos como: los costos de transporte por flete, distancias totales recorridas y los principales mercados.

Este trabajo es desarrollado para la industria cementera y de distribución de productos alimenticios, pero se puede generalizar la solución para una gran cantidad de áreas. Para abordar el primer problema de optimización se aplicaron dos métodos lineales que generen una solución propuesta.

### Método de centro de gravedad

Para determinar la nueva ubicación de la instalación en un área geográfica, un buen punto de partida es el método de centro de gravedad. El método identifica cada instalación como un punto y a partir de esta información busca el punto donde se ubicará la nueva instalación para minimizar los costos de transportación, los cuales dependen de la distancia. Para su aplicación primero se elige el área geográfica, luego se identifican los puntos donde se ubican las instalaciones y finalmente se halla la nueva ubicación utilizando las siguientes ecuaciones:

Para el cálculo de la coordenada en el eje “x”:

La coordenada del eje “y”:

$$y_k = \frac{\sum_{i=1}^i l_i y_i}{\sum_{i=1}^i l_i}$$

Y para la distancia recorrida se usa:

$$d_i = \sqrt{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2}$$

Donde;

li = volumen de la localización.

di = distancia desde la instalación i al punto central (x,y).

### Método de Weber

El método tiene el objetivo de determinar las coordenadas (x, y) de una instalación dado que la suma del producto entre la distancia y el volumen de la demanda sea el mínimo. Además, permite determinar la nueva ubicación de similar forma que el método de centro de gravedad. Su objetivo es el de encontrar un punto que minimice los costos de transporte desde la nueva instalación hacia las ya existentes mediante iteraciones.

Para su aplicación se debe asumir que los puntos de ubicación de las plantas existentes estén dentro del área geográfica elegida, la nueva instalación puede estar en cualquier lugar dentro del área y el costo de transporte es igual a la suma de la multiplicación de la carga con la distancia de las instalaciones respecto a la nueva. El método es iterativo y busca minimizar el costo de transporte con todas las consideraciones dadas que pueden ser las dimensiones del área geográfica. Matemáticamente se expresa:

$$Min Z = \sum_{k \in K} w_k d_k(x,y) = \sum_{k \in K} w_k \sqrt{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2}$$

Donde;

Los datos de entrada son:

wk = volumen de la localización.  $\square k \square K$

xk = coordenada en x de la localización k  $\square k \square K$

yk = coordenada en y de la localización k  $\square k \square K$

dk = distancia desde la instalación k al punto central (x,y).

x = coordenada x del punto central.

y = coordenada y del punto central.

Dichos métodos proporcionan correlaciones lineales y planas que simplifican las distancias recorridas por los camiones. Las coordenadas rectangulares utilizadas en el problema se obtuvieron mediante la aplicación de la herramienta de posicionamiento Google Maps sobre un plano cartesiano. Para el segundo caso se propone la utilización del siguiente modelo del problema de ubicación de red con sus respectivas restricciones del sistema:

### Problema de ubicación de red

El objetivo del problema es encontrar la (s) localización (es) de una lista de candidatos que minimice los costos totales de entrega desde este punto hasta  $i$  destinos sobre una red dada. Para el diseño redes optimizadas, se debe considerar la demanda regional, aranceles, economías a escala y los costos agregados de los factores para decidir las regiones en las cuales se ubicarán las instalaciones, utilizando el siguiente modelo:

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} + \sum_i f_i Y_i$$

Sujeta a,

$$\begin{aligned} \sum_j x_{ij} &\leq S_i & \forall i \in S \\ \sum_i x_{ij} &\leq D_j & \forall j \in D \\ x_{ij} - M_{ij} Y_i &\leq 0 & \forall ij \\ \sum_j Y_i &\geq P_{Min} \\ \sum_i Y_i &\leq P_{Max} \\ x_{ij} &\geq 0 & \forall ij \\ Y_i &= \{0, 1\} & \forall i \end{aligned}$$

Donde,

Centros de distribución  $i$  (CD)

Clientes  $j$

$x_{ij}$  = Flujo en el arco de CD  $i$  al cliente  $j$

$Y_i = 1$  si se abre el CD  $i$ ;  $= 0$  caso contrario  $\square i \square S$

$S_i$  = Capacidad de abastecimiento del DC  $i$  (unidades)  $\square i \square S$

$D_j$  = Demanda por consumidor  $j$  (unidades)  $\square j \square D$

$c_{ij}$  = costo por servir al cliente  $j$  desde el CD  $i$  (\$ /unidad)  $\square i, j$

$f_j$  = Costo fijo por abrir un CD  $i$  (\$)  $\square i \square S$

$P_{min}$  = Número mínimo de CD para abrir

$P_{max}$  = Número máximo de CD para abrir

$M$  = Un numero grande

### Desarrollo del programa

El ejecutable fue programado en Matlab aplicando las bibliotecas GUI que facilitan la presentación de resultados y permiten configurar el programa de acuerdo a las necesidades del usuario. Además se usó la función de `fmincon` del toolbox de optimización disponible en el programa que se fundamenta en los algoritmos de Lagrange y que permite manejar funciones multivariantes sujetas a las restricciones de igualdad o desigualdad, lineales o no del sistema, tales como (Cabezas & Páez, 2010) :

`x = fmincon(fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,nonlcon,options);`

Donde:

`fun`: es un manejador de la función objetivo.

`x0`: valor inicial de iteración.

A,b: corresponden a las restricciones de desigualdad, siendo el primero la matriz y el segundo el vector del lado derecho del sistema de inecuaciones  $Ax = b$ .

Aeq, beq: tienen el mismo tratamiento que A y b, respectivamente, teniendo en cuenta que los nuevos corresponden a un sistema de ecuaciones, en tanto que los antiguos constituían uno de inecuaciones.

lb, ub: son los límites inferior y superior, respectivamente, de la región donde se espera que se encuentre el punto óptimo.

nonlcon: es el manejador de las restricciones no lineales, el cual retorna un vector con su valor.

Para el segundo caso se establece un algoritmo convencional que busque las mejores opciones y minimicen los costos de distribución en los mercados demandantes.

## RESULTADOS

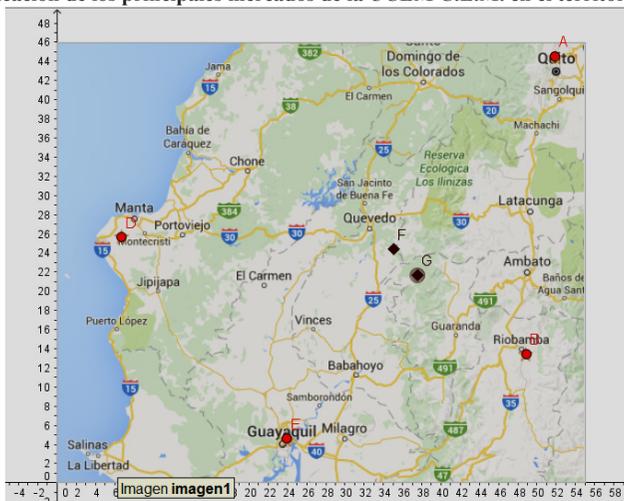
La Compañía de Economía Mixta, “Unión Cementera Nacional, UCEM C.E.M.”, se creó como efecto de la fusión de las compañías Industrias Guapán S.A. y Cementos Chimborazo C.A., buscando fortalecer la industria cementera del país y transformarse en un potente competidor del mercado adquiriendo mayor capacidad de producción y ventas. La planta principal se encuentra en la parroquia de San Juan en la ciudad de Riobamba y se encarga de producir cementos hidráulicos, incluido cemento de Portland, aluminoso, de escorias e hipersulfatado. Además, cuenta con oficinas en Azogues, Loja y Quito en el Ecuador.

La empresa cementera espera aumentar la capacidad de producción de las dos plantas de 800 000 toneladas hasta alcanzar 1 600 000 toneladas en conjunto, gracias a nuevas inversiones en infraestructura. Los principales mercados de la empresa son: Tubasec en Riobamba, Occidental en Quito, hormigonera Hércules en Guayaquil y la construcción de la Refinería del Pacífico en Manta cuyas demandas se detallan en la tabla 1.

### Ubicación geográfica de los centros de distribución

Se creó un mapa a escala tomado de la aplicación de Google-Maps con la ubicación de los principales mercados y la planta de producción en Riobamba como se muestra en la figura 1. Paralelamente se realizó un plano cartesiano y se obtuvieron las coordenadas rectangulares (x,y) de los lugares a los cuales UCEM C.E.M. distribuye cemento a granel, estos datos se encuentran resumidos en la tabla 1 para que sirvan de datos de ingreso en el programa.

Figura 1. Ubicación de los principales mercados de la UCEM C.E.M. en el territorio ecuatoriano



Fuente: Elaboración propia

Las regiones de demanda corresponden a los clientes que mayores ingresos representan para la empresa cementera y que por su naturaleza se considera como un consumo constante y estable, apto para el caso de estudio.

**Tabla 1. Demandas en toneladas y localización cartesiana de los mercados de la UCEM C.E.M**

DESTINO	CANTIDAD	X	Y
TUBASEC (Riobamba)	90 ton/día	51.83	44.56
Occidental (Quito)	60 ton/día	48.88	13.45
Hormigonera Hércules (Guayaquil)	58 ton/día	6.73	25.63
Refinería del Pacífico (Manta)	62 ton/día	23.95	4.6

Fuente: Elaboración propia

El objetivo del problema fue desarrollar un programa que calcule las coordenadas de un punto de distribución que minimice las distancias de recorrido por los camiones a sus destinos y mejore el nivel de servicio.

En virtud de lo expuesto se procedió a crear una aplicación en MATLAB en la sección GUIDE en la interfaz de GUI, este aplicativo cuenta con cuadros de texto para doce variables que corresponden a las cargas y coordenadas (x, y) de cuatro instalaciones evaluadas. Se añadió un botón para el cálculo de cada método; para el Centro de gravedad se aplicaron las ecuaciones (1), (2) y (3) y para el método Weber se utilizó la ecuación (4) de minimización programada con la función fmincon, ambos botones presentan los resultados en los mismos cuadros de texto y funcionan de acuerdo a las siguientes líneas de código:

```
% --- Executes on button press in
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
fun = @(x)(handles.edit1*(((handles.edit5-x(1))^2)+((handles.edit9-x(2))^2))^(1/2)+handles.
edit2*(((handles.edit6-x(1))^2)+((handles.edit10-x(2))^2))^(1/2)+handles.edit3*(((handles.edit7-
x(1))^2)+((handles.edit11-x(2))^2))^(1/2)+handles.edit4*(((handles.edit8-x(1))^2)+((handles.
edit12-x(2))^2))^(1/2);
x0 =[0,0];
A = [1,0];
b = 1000;
x = fmincon(fun,x0,A,b);
set(handles.textX,'string',x(1));
set(handles.textY,'string',x(2));
```

Los resultados deben ser portables, con este objeto se compiló el programa en un archivo .exe como se muestra en la figura 2, cuenta con una interfaz de fácil acceso e independiente de limitaciones comunes en cualquier otro software en el mercado. Al evaluar los datos brindados se obtuvo la posición aproximada del posible centro de distribución de la Compañía de Economía Mixta, “Unión Cementera Nacional, UCEM C.E.M.”, ubicada en los puntos detallados a continuación.

**Tabla 2. Coordenadas de la ubicación del nuevo centro de distribución para la empresa cementera.**

Método	X	Y	Distancia promedio
Weber-Coordenadas	37,56	21,67	23,79
Centro de gravedad	35,08	24,40	23,96

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al método centro de gravedad la nueva instalación se ubicaría alrededor de los límites las provincias de los Ríos y Cotopaxi en las coordenadas (-1.133214, -79.330742) basadas en el mapa de Google. De acuerdo al método Weber la nueva instalación se ubicaría al norte de la provincia de Bolívar en las coordenadas (-1.270202, -79.193306) basadas en el mapa de Google.

Figura 2. Interfaz principal de la aplicación para cálculo con el método de Weber y centro de gravedad.

Carga	Coordenada X	Coordenada Y
90	51.83	44.56
60	48.88	13.45
58	6.73	25.63
62	23.95	4.6
RESULTADOS	37.5577	21.6745

Centro de Gravedad      Modelo Weber

Fuente: Autores

En el segundo caso de estudio se realizó una investigación para determinar los costos de transporte para la empresa de distribución, en este análisis se incluyen los valores en función del consumo del combustible tomando como origen la ciudad de Ambato, para el resto de ciudades se realiza el mismo análisis.

Tabla 3. Detalle de costos de distribución anuales a las diferentes ciudades del país.

	Combustible					
	Napo	Morona S.	Cotopaxi	Tungurahua	Chimborazo	Bolívar
Km de Ambato a Ciudad	360	460	94	15	104	198
Km dentro de la ciudad	10	18	12	12	10	18
Número de rutas	1	1	4	6	3	1
Número de viajes/semana	2	2	6	6	6	3
Total de km		956	2544	972	2052	648
Costo por km	0,18	\$ 0,18	0,18	0,18	\$ 0,18	0,18
Costo de viajar		176,31	469,2	179,26	378,43	119,5

Fuente: Elaboración propia

La empresa distribuye 69 productos de la marca BIMBO a 6 destinos en el territorio ecuatoriano por medio de camionetas y camiones, dependiendo del destino.

### Construcción de la aplicación para el segundo caso

Luego de obtener los principales costos, se programa una aplicación en Matlab que responda al

modelo matemático de la ecuación (5) con sus restricciones. El código del programa fue desarrollado con una estructura “while” para buscar la opción más adecuada en el problema. De igual manera que el caso anterior, se utiliza la sección GUIDE para obtener un archivo ejecutable que se pueda utilizar en cualquier computadora que tenga un sistema operativo Windows. A continuación, se muestra un fragmento importante del código utilizado para el efecto, se incluye esta sección porque puede servir de base para futuras investigaciones y mejoras:

```

while cont>=1
    cont=cont-1;
a=1;
b=1;
for i=1:5;
    for c=1:6;
        if handles.datos2(a,b)==0
            a=i;
            b=c;
        elseif handles.datos2(a,b)>=handles.datos2(i,c)
            if handles.datos2(i,c)~=0
                a=i;
                b=c;
            end
        end
    end
end
handles.datos2(a,b)=0;

if [a b]==[1 1];
    if x(6,1)-dem1<=x(1,8)-cap1
        z(a,b)=x(6,1)-dem1;
        dem1=dem1+z(a,b);
        cap1=cap1+z(a,b);
    else
        z(a,b)=x(1,8)-cap1;
        cap1=cap1+z(a,b);
        dem1=dem1+z(a,b);
    end
elseif [a b]==[1 2];
    if x(6,2)-dem2<=x(1,8)-cap1
        z(a,b)=x(6,2)-dem2;
        dem2=dem2+z(a,b);
        cap1=cap1+z(a,b);
    else
        z(a,b)=x(1,8)-cap1;
        cap1=cap1+z(a,b);
        dem2=dem2+z(a,b);
    end
end

```

El algoritmo está configurado para utilizar los valores ingresados por el usuario en las matrices e ir comparando las demandas y capacidades de abastecimiento de la empresa. La velocidad de procesamiento es relativamente alta considerando las pocas variables que intervienen en el proceso (ver figura 3).

Los resultados obtenidos mediante la implementación de este método pueden ser modificados, para cada variación que pueda surgir en el mercado de acuerdo a la oferta y demanda vigente.

**Figura 3. Matriz de resultados óptimos de distribución de mercadería para BIMBO.**

MODELO DE UNA PLANTA CAPACITADA - ERGOPRO								
Región de Abasto	NAPO	MORONA	COTOPAXI	TUNGURAHUA	CHIMBORAZO	BOLIVAR	Costo Fijo(\$)	CAPACIDAD
AMBATO	6960	176	469	179	528	229	6540	772
ST. DOMINGO	1460	1940	970	100	495	1200	8980	610
IBARRA	1925	2000	1425	500	950	800	6140	366
ESMERALDAS	900	1355	543	1045	685	2321	8480	488
QUITO SUR	300	1646	700	508	311	1797	15440	805
DEMANDA	250	354	138	252	163	270	0	0

VARIABLES DE DECISIÓN								
Región de Abasto	NAPO	MORONA	COTOPAXI	TUNGURAHUA	CHIMBORAZO	BOLIVAR	Produccion	Abierto(1)/Cerrado(0)
AMBATO	0	354	138	0	0	270	762	1
ST. DOMINGO	0	0	0	252	0	0	252	1
IBARRA	0	0	0	0	0	0	0	0
ESMERALDAS	0	0	0	0	0	0	0	0
QUITO SUR	250	0	0	0	163	0	413	1
DEMANDA	250	354	138	252	163	270	0	0

RESTRICCIONES			FUNCIÓN OBJETIVO		COSTO TOTAL	
Región de Abasto	Capacidad excedente	%				
AMBATO	-10	1.2953	339749		370709	
ST. DOMINGO	-358	58.6885				
IBARRA	-366	100				
ESMERALDAS	-488	100				
QUITO SUR	-392	48.6957				

	NAPO	MORONA	COTOPAXI	TUNGURAHUA	CHIMBORAZO	BOLIVAR
Demanda no Satisfecha	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

## DISCUSIÓN

La solución establece una solución óptima que indica que las instalaciones de Ambato deben abastecer 3540 unidades a la región Napo, 1380 unidades a Morona Santiago, 1380u a Cotopaxi y 2700u a Bolívar. Por otra parte, la sucursal de Santo Domingo suministra 2520 u a Tungurahua. El centro de distribución del Sur de Quito envía 2500u a Napo y 1630u a la zona Chimborazo. Toda la estrategia tiene un costo total por viaje de 370709 dólares y se establece una subutilización del centro de distribución ubicado en Santo Domingo del 59% y del 49% en el Sur de Quito; además el posible cierre del local de las instalaciones de Ibarra y Esmeraldas. Estos resultados hacen que las operaciones en la cadena de suministro sean más claras y que la toma de decisiones se encuentre fundamentada en análisis técnicos responsables que principalmente hagan que la empresa reduzca sus costos y maximice sus utilidades de forma significativa.

## CONCLUSIONES

Los métodos de centro de gravedad (CoG) y Weber generan localizaciones cercanas entre sí, sin embargo, el proceso optimizado que maneja el segundo método proporciona una distancia promedio de mejores recorridos. Las ubicaciones recomendadas son sitios geográficos que no pueden ser usados con irrestricta exactitud debido a que se sitúan en lugares de poco acceso y con condiciones limitadas, por lo tanto, se podría deben ubicar en las cercanías de poblados como Quinsaloma o San Luis de Pambil que se encuentra cerca de los lugares recomendados por los métodos.

El problema de ubicación de redes busca escoger un lugar geográfico para que una empresa realice sus operaciones priorizando en este análisis a los costos de transporte, cuyo cálculo es de fácil obtención y acelera la toma de decisiones. Además, la óptima localización de las instalaciones físicas depende del producto a fabricar, del servicio a ofrecer o la tecnología a utilizar. Se obtienen mejores recursos analíticos para decidir si un centro de distribución debe o no seguir funcionando ya que se busca la mejor alternativa matemática. La aplicación de herramientas informáticas como Matlab en problemas de ubicación mejora la configuración de las soluciones con la posibilidad de administrar los recursos de una forma más eficiente y accesible para usuarios que no manejen lenguajes de programación. Por otra parte, permite abrir un espectro más amplio de aplicaciones reales en la industria para la programación lineal y los modelos de optimización matemática. El desarrollo de programas personalizados permite, como en este caso, transportar la solución de un computador a otro mediante la compilación de las líneas de código en un programa ejecutable; además de poder analizar los efectos que producen las variaciones en los datos de ingreso y las variables de decisión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aboolian, R., Berman, O., & Drezner, Z. (2008). Location and allocation of service units on a congested network. *IIE Transactions*, 40(4), 422 - 433. Doi:10.1080/07408170701411385. Recuperado el 20 de marzo de 2018, de <http://dx.doi.org/10.1080/07408170701411385>

Cabezas, I., & Páez, J. (2010). Matlab, Toolbox de optimización, aplicaciones en ciencias económicas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 20 de marzo de 2018, de <http://studylib.es/doc/8547153/matlab--toolbox-de-optimizaci%C3%B3n---facultad-de-ciencias-ec>

Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2004). Introduction to Logistics Systems Planning and Control. Ontario, Canada : Advisory Editors. Recuperado el 20 de marzo de 2018, de [http://www.pc-freak.net/international\\_university\\_college\\_files/Introduction%20to%20Logistic%20Systems%20Planning%20&%20control.pdf](http://www.pc-freak.net/international_university_college_files/Introduction%20to%20Logistic%20Systems%20Planning%20&%20control.pdf).

Janáček, J., & Gábrišová, L. (2009). A two-phase method for the capacitated facility problem of compact customer sub-sets. *Transport*, 24(4), 274-282. Recuperado el 20 de marzo de 2018, de <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3846/1648-4142.2009.24.274-282>.

Klapita, V., & Švecová, Z. (2010). Logistics centers location. *Transport*, 21(1), 48-52. doi:10.1080/16484142.2006.9638041. Recuperado el 20 de marzo de 2018, de [https://www.researchgate.net/publication/26541159\\_Logistics\\_centers\\_location](https://www.researchgate.net/publication/26541159_Logistics_centers_location).

Klose, A., & Drexler, A. (2003). Facility location models for distribution system design. *European Journal of Operational Research*. Doi:10.1016/j.ejor.2003.10.031. Recuperado el 20 de marzo de 2018, de <https://pdfs.semanticscholar.org/4f25/62e55475f292a65179cc6b58a3618038563d.pdf>.

Krajewski, L., & Ritzman, L. (2008). Administración de operaciones. Mexico: Pearson Education.  
Li, C., Mukherjee, A., Su, Q., & Xie, M. (2016). Optimal design of a distribution-free quality control scheme for cost-efficient monitoring of unknown location. *International Journal of Production Research*, 54(24), 7259-7273. Doi:10.1080/00207543.2016.1173254. Recuperado el 20 de marzo de 2018, de <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2016.1173254>

Peña, D. L., Bolaños, D. F., & Salcedo, P. F. (2016). Diseño de cadena de abastecimiento bajo el concepto de logística inversa para el sector manufacturero de papel en la zona centro del Valle del Cauca. *Scientia et Technica*, 21(4), 328-335. Recuperado el 20 de marzo de 2018, de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/13191>

Qi, J., Yang, L., Di, Z., Li, S., Yang, K., & Gao, Y. (2018). Integrated optimization for train operation zone and stop plan with passenger distributions. *Transportation Research*, 109, 151–173. Doi:10.1016/j.tre.2017.11.003. Recuperado el 20 de marzo de 2018, de <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.11.003>

Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2013). *Operations Management*. United Kingdom: Pitman Publishing, Pearson Education.

Spalanzani, A., Ageron, B., & Zouaghi, I. (2016). Manufacturing operations location decision: what are the main criteria? *Supply Chain Forum: An International Journal*, 1-13. Doi:10.1080/16258312.2016.1240227. Recuperado el 20 de marzo de 2018, de <https://doi.org/10.1080/16258312.2016.1240227>

Wang, Y., Tang, T., Ning, B., & Meng, L. (2017). Integrated optimization of regular train schedule and train circulation plan for urban rail transit lines. *Transportation Research* (105), 83–104. Doi:10.1016/j.tre.2017.06.001. Recuperado el 15 de marzo de 2018, de <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2017.06.001>

Yin, J., Tang, T., Yang, L., Xun, J., Huang, Y., & Gao, Z. (2017). Research and development of automatic train operation for railway transportation systems: A survey. *Transportation Research*(85), 548–572. Doi:10.1016/j.trc.2017.09.009. Recuperado el 15 de marzo de 2018, de <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.09.009>

Yu, Y., Lyu, Z., Xu, Z., & Martins, J. R. (2018). On the influence of optimization algorithm and initial design on wing aerodynamic shape optimization. *Aerospace Science and Technology*(75), 183–199. Doi:10.1016/j.ast.2018.01.016. Recuperado el 14 de marzo de 2018, de <https://doi.org/10.1016/j.ast.2018.01.016>