



**MODELO MATEMÁTICO PARA LA ASIGNACIÓN DE RUTAS EN EL
SUMINISTRO DE CAJEROS AUTOMÁTICOS A TRAVÉS DE PROGRAMACIÓN
LINEAL.**

Oscar Mauricio Gelves Alarcón

Duván Camilo Hernández Castro

Laura Catalina Hernández Gamboa

Juan Felipe Ruiz Muñoz.

Nathalia Vega Arévalo

Bogotá, DC

2020.

Abstract

From Operations Research and its application through advanced analytical methods, its purpose is to support the decision-making process, identifying the best possible courses of action; Its approach is based on mathematical modeling, such as linear programming, which allows it to be an analytical tool that serves to achieve a good vision of the reality of the problems encountered and in the search for optimization of resources. This document intends to determine the optimal route that a truck must take (minimizing distances) for the distribution of the money supply from the bank tellers to the society box. The distance matrix between the different points (ATMs) to be visited by the truck is made to determine the mathematical model, for the resolution of a mathematical model, the approach of inequalities in linear programming is carried out using the Microsoft tool and application. office Excel Solver Evolutionary and the traveling agent problem. Results: There is an optimal route whose route is 80.1 km.

Resumen

Desde la Investigación de Operaciones y su aplicación a través de métodos analíticos avanzados su propósito es apoyar el proceso de toma de decisiones, identificando los mejores cursos de acción posibles; su enfoque está basado en la modelación matemática, como, por ejemplo, la programación lineal, la cual permite ser una herramienta analítica que sirve para lograr tener una visión bien de la realidad de los problemas encontrados y en la búsqueda de optimización de recursos. El presente documento pretende determinar la ruta optima que un camión debe realizar (minimizando distancias) para la distribución del suministro de dinero de los cajeros de bancos. Se realiza la matriz de distancias entre los diferentes puntos (cajeros) a visitar por el camión para la determinación del modelo matemático, para la resolución de un modelo matemático se realiza el planteamiento de inecuaciones en programación lineal utilizando la herramienta y aplicativo de Microsoft office Excel Solver Evolutionary y el problema del agente viajero. Resultados: Se encuentra ruta optima cuyo recorrido es de 80.1 Km.

Palabras clave: Investigación de operaciones, programación lineal, problema del agente viajero, modelo matemático, Solver.

Introducción

Con el fin de brindar un apoyo operativo y técnico a las empresas en sus diferentes áreas y procesos la Ingeniería Industrial desde el soporte de la investigación de operaciones pretende brindar soluciones óptimas y eficientes con la aplicación del método científico a los problemas organizacionales con el objetivo de producir soluciones como maximizar las ganancias, utilidades y la satisfacción de los clientes y/o minimizar costos, distancias y tiempos. [1]

Como resultado de lo mencionado anteriormente, la investigación de operaciones basada en modelos matemáticos se desarrolla a través de la metodología: 1. Definición del problema, 2. Desarrollo de un modelo matemático (programación lineal) y levantamiento de la información y datos, 3. Resolución del modelo matemático y 4. Implementación de la solución encontrada si es viable de lo contrario se debe replantear el modelo [2]. Es así como, el núcleo que permite la resolución de problemas es la programación lineal.

El siguiente paper expone mediante la programación lineal un modelo matemático con el fin de brindar una asignación óptima de la ruta a programar de un camión de la compañía brinkis que se encarga de entregar los suministros de dinero a los diferentes cajeros ubicados en la ciudad.

Marco teórico

La investigación de operaciones se puede definir como la aplicación del método científico en la solución de problemas en las empresas, cuyo enfoque es la modelación, es decir, crea modelos para representar los problemas y utiliza diferentes técnicas, como la programación lineal y el análisis de decisiones, para establecer la solución del mismo; esta herramienta tiene gran importancia, porque se puede obtener una solución cuantitativa a problemas de diversos tipos y nos ayuda a tomar decisiones, basadas en un proceso analítico [3].

Es así como desde la modelación se implementa la programación lineal la cual corresponde a un algoritmo a través del cual se pueden resolver situaciones reales en las que se pretende identificar y resolver dificultades para aumentar la productividad respecto a los recursos con el fin de aumentar los beneficios. Los resultados y el proceso de optimización que se obtienen con el planteamiento y solución de la programación lineal se convierten en un respaldo cuantitativo de las decisiones frente a las situaciones planteadas [4].

Es decir, la programación lineal consiste en optimizar (maximizar o minimizar) una función lineal denominada *función objetivo*, de tal forma que *las variables* de dicha función estén sujetas a una serie de *restricciones* que se expresan como elementos del modelo mediante el planteamiento de inecuaciones lineales. Teniendo en cuenta lo anterior, existen diferentes modelos o arquetipos que indican como solucionar una gama de situaciones usando un “patrón” o modelo de resolución. Dentro de estos modelos se encuentra el modelo del agente viajero cuyo objetivo es encontrar un recorrido completo que conecte todos los nodos (puntos específicos) de una red, visitándolos tan solo una vez y volviendo al punto de partida, minimizando la distancia total de la ruta, o el tiempo total del recorrido [4].

El problema (modelo) del agente viajero puede ser asimétrico (las distancias no son las mismas en direcciones opuestas) o simétrico (las distancias son iguales en direcciones opuestas), su modelo teórico es el siguiente:

$X_{ij} = 1$: Si existe un camino de ir del punto (nodo) i al punto (nodo) j

$$X_{ij} = 0$$

$Z = \text{función Objetivo}$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j \neq i, j=0}^n C_{ij} \times X_{ij}$$

$$\sum_{i=0 \neq j}^n X_{ij} = 1 \quad i = 0, 1, \dots, n$$

$$\sum_{j=0 \neq i}^n X_{ij} = 1 \quad j = 0, 1, \dots, n$$

Por otra parte, la complejidad del cálculo del problema del agente viajero ha despertado múltiples iniciativas por mejorar la eficiencia en el cálculo de rutas. El método más básico es el conocido con el nombre de fuerza bruta, que consiste en el cálculo de todos los posibles recorridos, lo cual se hace extremadamente ineficiente y casi que se imposibilita en redes de gran tamaño. También existen heurísticos que se han desarrollado por la complejidad en el cálculo de soluciones óptimas en redes robustas, es por ello que existen métodos como el vecino más cercano, la inserción más barata y el doble sentido. Por último, se encuentran los algoritmos que proporcionan soluciones óptimas, como el método de branch and bound (ramificación y poda), que trabaja el problema como un algoritmo de asignación y lo resuelve por medio del método simplex [4].

Como se menciona anteriormente, el método de viajero presenta inconvenientes a la hora de resolver la programación planteada, por ello se han creado herramientas tecnológicas que a través de programas y software de análisis de información y datos pretende dar solución lógica al problema. Es así como Solver, un programa de complemento de Microsoft Excel que se puede usar para llevar a cabo análisis.

Solver sirve para encontrar un valor óptimo (mínimo o máximo) para una fórmula en una celda, la celda objetivo (función objetivo), que está sujeta a restricciones o

limitaciones en los valores de otras celdas de fórmula de una hoja de cálculo. Este aplicativo y herramienta de Microsoft Excel trabaja con un grupo de celdas llamadas celdas de variables de decisión o, simplemente, celdas de variables que se usan para calcular fórmulas en las celdas objetivo y de restricción; Solver se ajusta a los valores de las celdas de variables de decisión para que cumplan con los límites de las celdas de restricción y den el resultado deseado en la celda objetivo. En resumidas cuentas, se puede implementar Solver para determinar el valor máximo o mínimo de una celda cambiando otras celdas [5].

Materiales y métodos

La empresa debe realizar el ruteo diario para suministrar el dinero en diferentes sucursales de un Banco de la ciudad, se supone que tenemos el cargo de programadores de rutas, La cantidad solicitada de dinero es irrelevante. El camión aproximadamente tiene a una velocidad de 20 km / hora debido a la congestión existente en Bogotá D.C; solo tenemos un camión para realizar las entregas. La sede de Brinks se encuentra en la Cra. 69b #19A-59. El camión debe volver a la sede de Brinks, con la información dada se puede resolver el problema por medio de:

- Problema del agente viajero y su modelo de programación lineal.
- Matriz de distancias.
- Solver.
- Google maps.
- Programa lineal.

A Continuación, se describe el proceso que se tuvo con la implementación de cada una de los métodos usados:

Metodología

A continuación, en la tabla 1 se presenta la información de este caso de estudio, la cual muestra datos relevantes para la construcción de un modelo matemático con

el fin de obtener la asignación de una ruta optima para un camión de la empresa Brinks que se encarga del suministro de dinero en los diferentes cajeros automáticos de un banco de la ciudad de Bogotá.

Tabla 1 PUNTOS/ NODOS CAJEROS AUTOMÁTICOS

No.	NOMBRE CAJERO	DIRECCIÓN CAJERO
1	AVENIDA CHILE	Calle 72 # 10 - 83
2	BOSA CENTRO	Calle 65 Sur # 80 - 04
3	CARRERA DECIMA	Carrera 10 # 17 - 96
4	CASTELLANA	C.C. Iserra 100 local 110 Y 111
5	CENTRO ANDINO	Carrera 11 # 82 - 51 local 140
6	CENTRO MAYOR	Autopista Sur # 38A - 20 Sur, C.C. Centro Mayor locales 2 - 035 y 2 - 036
7	CENTRO SUBA	Avenida Calle 145 # 91 - 19 local 4 - 101
8	CHAPINERO	Calle 59 # 10 – 68
9	CIUDAD TUNAL	Avenida Carrera 24 # 48 - 93 Sur, C.C. Ciudad Tunal entrada 9 local S1 - 56,
10	CONTADOR	Avenida Carrera 19 No 137 - 02
11	CORABASTOS	Carrera 86 # 24A - 19 Sur, Corabastos local 102
12	ESTRADA	Avenida Calle 72 # 68G - 80
13	HAYUELOS	Calle 20 # 82 - 52, C.C. Hayuelos locales 2 - 111 y 2 - 112.
14	KENNEDY	Carrera 77 # 36 - 05 Sur
15	METROPOLIS	Avenida Carrera. 68 # 75A - 50, C.C. Metrópolis local 101
16	PARQUE FONTIBON	Carrera 100 # 18 - 12
17	PATIO BONITO	Avenida Ciudad De Cali # 42B - 51 Sur, local 102

Teniendo en cuenta la información anterior y basado en la metodología de pasos de la programación lineal que busca a través de un procedimiento matemático formular un sistema de inecuaciones lineales que incluyen todas las variables del problema con el fin de optimizar la función objetivo que para el caso de estudio es la ruta más eficiente para la distribución de dinero.

En base a lo anterior, para este caso de estudio, se utilizó el sistema de pasos de programación lineal de la siguiente forma:

PASO 1: Definición del problema

Núcleo problémico

¿Cuál es la ruta óptima para que el camión de Brinks pueda distribuir el suministro de dinero a todos los cajeros de un Banco de la ciudad de Bogotá ?

Formulación

Determinar la ruta optima (minimizando distancias) para la distribución del suministro de dinero de los cajeros del banco

PASO 2: Desarrollo de un modelo matemático (programación lineal)

Para la construcción del modelo matemático utilizando programación lineal se tiene en cuenta la función objetivo, la definición de variables, y las restricciones que componen el problema.

I. Variables

VARIABLE	DIRECCIÓN PUNTO/ NODO
X1	Calle 72 # 10 - 83
X2	Calle 65 Sur # 80 - 04
X3	Carrera 10 # 17 - 96
X4	C.C. Iserra 100 local 110 Y 111
X5	Carrera 11 # 82 - 51 local 140
X6	Autopista Sur # 38A - 20 Sur, C.C. Centro Mayor locales 2 - 035 y 2 - 036
X7	Avenida Calle 145 # 91 - 19 local 4 - 101
X8	Calle 59 # 10 - 68
X9	Avenida Carrera 24 # 48 - 93 Sur, C.C. Ciudad Tunal entrada 9 local S1 - 56,
X10	Avenida Carrera 19 No 137 - 02
X11	Carrera 86 # 24A - 19 Sur, Corabastos local 102
X12	Avenida Calle 72 # 68G - 80

X13	Calle 20 # 82 - 52, C.C. Hayuelos locales 2 - 111 y 2 - 112.
X14	Carrera 77 # 36 - 05 Sur
X15	Avenida Carrera. 68 # 75A - 50, C.C. Metrópolis local 101
X16	Carrera 100 # 18 - 12
X17	Avenida Ciudad De Cali # 42B - 51 Sur, local 102

II. Función objetivo

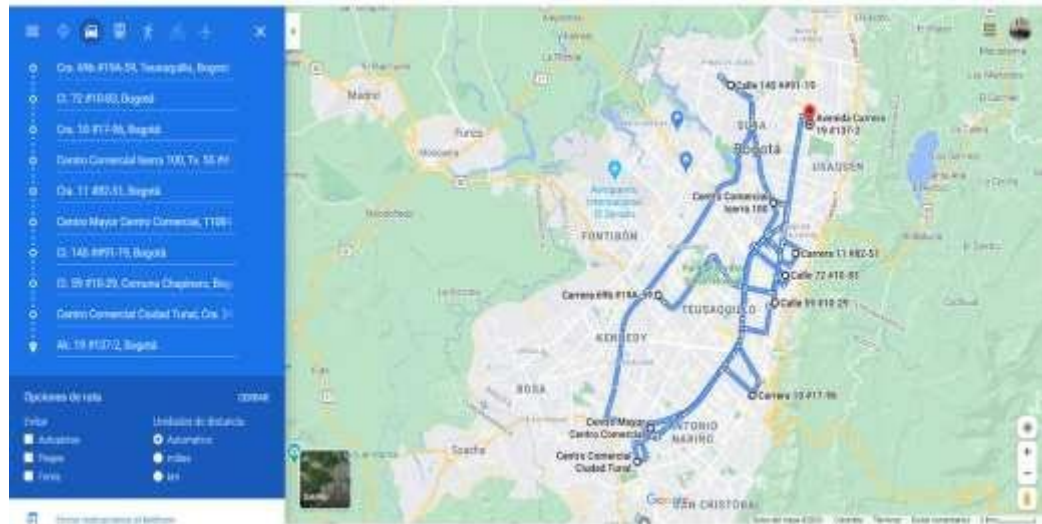
$X_{ij} = 1$ si pasa por la dirección i a la j , 0 no pasada por la dirección i a la j

MANZ	10,3	X12 +	11,2	X13 +	8,2	X14 +	9	X15 +	11,8	X16 +	8,1	X17 +	14,9	X18 +	9,4	X19 +	10	X110 +	15,2	X111 +	6,1	X112 +	6,7	x113 +	3,6	X114 +	6,2	X115 +	6,5	X116 +	4,9	X117 +	7,1	X118 +	+
	10,2	X21 +	19,2	X23 +	7,6	X24 +	4,2	X25 +	2,5	X26 +	14,8	X27 +	8,7	X28 +	17	X29 +	16,3	X210 +	8,7	X211 +	11,7	X212 +	4,2	X213 +	15,3	X214 +	18,2	X215 +	4,3	X216 +	15,4	X217 +	18,7	X218 +	+
	10,2	X31 +	18,3	X32 +	15,2	X34 +	18,2	X35 +	22,3	X36 +	9,5	X37 +	22,5	X38 +	10,9	X39 +	8,7	X310 +	26	X311 +	3,9	X312 +	16,2	X313 +	10,2	X314 +	5	X315 +	15,8	X316 +	13,5	X317 +	4	X318 +	+
	8,3	X41 +	7,3	X42 +	15	X43 +	10,4	X45 +	8,7	X46 +	8,1	X47 +	16,7	X48 +	6,6	X49 +	9,2	X410 +	16,3	X411 +	10,4	X412 +	11,2	x413 +	10,8	X414 +	11	X415 +	11,4	X416 +	12	X417 +	12,8	X418 +	+
	10,1	X51 +	4,7	X52 +	19,1	X53 +	10,4	X54 +	4,2	X56 +	15,6	X57 +	6,4	X58 +	6,2	X59 +	16,3	X510 +	6,2	X511 +	14,8	X512 +	4,3	X513 +	13,4	X514 +	15,1	X515 +	4,2	X516 +	13,2	X517 +	16,9	X518 +	+
	11,4	X61 +	2	X62 +	19,3	X63 +	7,6	X64 +	4,2	X65 +	13,9	X67 +	10,9	X68 +	11,4	X69 +	13,3	X610 +	9,1	X611 +	15,3	X612 +	5,4	x613 +	14,6	X614 +	15,6	X615 +	5,5	X616 +	14,3	X617 +	17,5	X618 +	+
	9,2	X71 +	12,2	X72 +	9,4	X73 +	7,3	X74 +	14,8	X75 +	15,6	X76 +	21,3	X78 +	7,9	X79 +	3,9	X710 +	19,4	X711 +	7,9	X712 +	13,5	x713 +	12,2	X714 +	6,6	X715 +	13,1	X716 +	13,4	X717 +	8,5	X718 +	+
	14,3	X81 +	12,9	X82 +	22,3	X83 +	16,9	X84 +	6,6	X85 +	10	X86 +	21,2	X87 +	12,7	X89 +	18,6	X810 +	8,2	X811 +	17,6	X812 +	8,6	x813 +	15,3	X814 +	18,1	X815 +	8,2	X816 +	16,5	X817 +	19,7	X818 +	+
	8,4	X91 +	2,4	X92 +	1,7	X93 +	4,9	X94 +	5,4	X95 +	3,1	X96 +	11,4	X97 +	12	X98 +	8,8	X910 +	9,8	X911 +	13,1	X912 +	7,3	x913 +	11,7	X914 +	13,3	X915 +	7	X916 +	14,4	X917 +	14,5	X918 +	+
	11,1	X101 +	10	X102 +	11,8	X103 +	3,4	X104 +	12,6	X105 +	13,4	X106 +	5	X107 +	20,6	X108 +	8,9	X109 +	17,2	X1011 +	10,3	X101 +	12,6	X1013 +	10,5	X1014 +	8,1	X1015 +	4,3	X101 +	11,8	X1017 +	12,4	X1018 +	+
	14,3	X111 +	9	X112 +	23,6	X113 +	15,6	X114 +	7,2	X115 +	7,9	X116 +	20	X117 +	6,2	X118 +	10,3	X119 +	17,4	X1110 +	18,9	X1112 +	8,9	X1113 +	16,6	X1114 +	18,9	X1115 +	8,5	X111 +	16,8	X111 +	21,1	X1118 +	+
	6,4	X121 +	14,7	X122 +	4,3	X123 +	10,6	X124 +	14,4	X125 +	16,6	X126 +	8,9	X127 +	18,9	X128 +	13,9	X129 +	10,2	X1210 +	22,2	###	12,4	X1213 +	8,4	X1214 +	2,2	X1215 +	6,4	X1216 +	9,7	X121 +	3,3	X1218 +	+
	6,5	X131 +	4,8	X132 +	15,5	X133 +	9,7	X134 +	3,9	X135 +	6	X136 +	12,4	X137 +	9,9	X138 +	6,8	X139 +	11,4	X1310 +	10,2	X1311 +	11,3	X1312 +	9,9	X1314 +	11,5	X1315 +	1,5	X131 +	11,1	X1312 +	13,4	X1318 +	+
	4,7	X141 +	13,5	X142 +	10,4	X143 +	12	X144 +	12,2	X145 +	14,3	X146 +	11,1	X147 +	9,9	X148 +	12,6	X149 +	13,9	X1410 +	16,5	X1411 +	6,1	X1412 +	7,1	X1413 +	7,9	X1415 +	8,3	X141 +	3,4	X141 +	6,4	X1418 +	+
	5,8	X151 +	14,5	X152 +	5	X153 +	11,1	X154 +	14,1	X155 +	16,3	X156 +	5,8	X157 +	18,3	X158 +	13,5	X159 +	7,6	X1510 +	20,4	X1511 +	2,1	X1512 +	12,1	X1513 +	7,8	X1514 +	6,1	X151 +	9,1	X151 +	4,3	X1518 +	+
	4,9	X161 +	5,1	X162 +	16	X163 +	9,4	X164 +	2,6	X165 +	4,8	X166 +	12,9	X167 +	8,4	X168 +	6,3	X169 +	11,1	X1610 +	8,9	X1611 +	11,8	X1612 +	1,3	X1613 +	10,4	X1614 +	13,8	X1615 +	11,6	X161 +	14,8	X1618 +	+
	5	X171 +	15,9	X172 +	11,4	X173 +	14,3	X174 +	10,4	X175 +	16,7	X176 +	11,4	X177 +	12,1	X178 +	14,9	X179 +	12	X1710 +	19	X1711 +	7,1	X1712 +	10,5	X1713 +	2,7	X1714 +	8,7	X1715 +	12,1	X171 +	6,9	X1718 +	+
	8,3	X181 +	16,3	X182 +	4	X183 +	12,5	X184 +	16,2	X185 +	20,9	X186 +	8,7	X187 +	20,8	X188 +	15,7	X189 +	11	X1810 +	22,5	X1811 +	3	X1812 +	14,3	X1813 +	6	X1814 +	3,8	X1815 +	13,7	X1816 +	7,6	X1817	+

[..\Documents\INGENIERIA INDUSTRIAL\6 Semestre\investigacion de operaciones 1\paper \(1\).xlsx](#)

III. Restricciones

Para la definición de restricciones en primera instancia se construyó la matriz de distancias entre punto y punto, para ello se empleo la herramienta de Google maps, la cual permitió brindar los datos de las distancias por cada uno de los puntos utilizando su sistema de geolocalización.



A continuación, en la tabla 2, se presentan las distancias entre cada uno de los puntos, la unidad de medida son Kilómetros.

Puntos / distancia km	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	10,3	11,2	8,2	9	11,8	8,1	14,9	9,4	10	15,2	6,1	6,7	3,6	6,2	6,5	4,9	7,1
2	10,2	0	19,2	7,6	4,2	2,5	14,8	8,7	17	16,3	8,7	11,7	4,2	15,3	18,2	4,3	15,4	18,7
3	10,2	18,3	0	15,2	18,2	22,3	9,5	22,5	10,9	8,7	26	3,9	16,2	10,2	5	15,8	13,5	4
4	8,3	7,3	15	0	10,4	8,7	8,1	16,7	6,6	9,2	16,3	10,4	11,2	10,8	11	11,4	12	12,8
5	10,1	4,7	19,1	10,4	0	4,2	15,6	6,4	6,2	16,3	6,2	14,8	4,3	13,4	15,1	4,2	13,2	16,9
6	11,4	2	19,3	7,6	4,2	0	13,9	10,9	11,4	13,3	9,1	15,3	5,4	14,6	15,6	5,5	14,3	17,5
7	9,2	12,2	9,4	7,3	14,8	15,6	0	21,3	7,9	3,9	19,4	7,9	13,5	12,2	6,8	13,1	13,4	8,5
8	14,3	12,9	22,3	16,9	6,6	10	21,2	0	12,7	18,6	8,2	17,6	8,6	15,3	18,1	8,2	16,5	19,7
9	8,4	2,4	1,7	4,9	5,4	3,1	11,4	12	0	8,8	9,8	13,1	7,3	11,7	13,3	7	14,4	14,5
10	11,1	10	11,8	3,4	12,6	13,4	5	20,6	8,9	0	17,2	10,3	12,6	10,5	8,1	4,3	11,8	12,4
11	14,3	9	23,6	15,6	7,2	7,9	20	6,2	10,3	17,4	0	18,9	8,9	16,6	18,9	8,5	16,8	21,1
12	6,4	14,7	4,3	10,6	14,4	16,6	8,9	18,9	13,9	10,2	22,2	0	12,4	8,4	2,2	6,4	9,7	3,3
13	6,5	4,8	15,5	9,7	3,9	6	12,4	9,9	6,8	11,4	10,2	11,3	0	9,9	11,5	1,5	11,1	13,4
14	4,7	13,5	10,4	12	12,2	14,3	11,1	9,9	12,6	13,9	16,5	6,1	7,1	0	7,9	8,3	3,4	6,4
15	5,8	14,5	5	11,1	14,1	16,3	5,8	18,3	13,5	7,6	20,4	2,1	12,1	7,8	0	6,1	9,1	4,3
16	4,9	5,1	16	9,4	2,6	4,8	12,9	8,4	6,3	11,1	8,9	11,8	1,3	10,4	13,8	0	11,6	14,8
17	5	15,9	11,4	14,3	10,4	16,7	11,4	12,1	14,9	12	19	7,1	10,5	2,7	8,7	12,1	0	6,9
18	8,3	16,3	4	12,5	16,2	20,9	8,7	20,8	15,7	11	22,5	3	14,3	6	3,8	13,7	7,6	0

Teniendo en cuenta la matriz de distancias (tabla 2) se obtienen las siguientes restricciones:

Restricciones																									
X12	+	X13	+	X14	+	X15	+	X16	+	X17	+	X18	+	X19	+	X110	+	X111	+	X112	+	x113	+	X114	+
X21	+	X23	+	X24	+	X25	+	X26	+	X27	+	X28	+	X29	+	X210	+	X211	+	X212	+	X213	+	X214	+
X31	+	X32	+	X34	+	X35	+	X36	+	X37	+	X38	+	X39	+	X310	+	X311	+	X312	+	X313	+	X314	+
X41	+	X42	+	X43	+	X45	+	X46	+	X47	+	X48	+	X49	+	X410	+	XX411	+	X412	+	x413	+	X414	+
X51	+	X52	+	X53	+	X54	+	X56	+	X57	+	X58	+	X59	+	X510	+	X511	+	X512	+	X513	+	X514	+
X61	+	X62	+	X63	+	X64	+	X65	+	X67	+	X68	+	X69	+	X610	+	X611	+	X612	+	x613	+	X614	+
X71	+	X72	+	X73	+	X74	+	X75	+	X76	+	X78	+	X79	+	X710	+	X711	+	X712	+	x713	+	X714	+
X81	+	X82	+	X83	+	X84	+	X85	+	X86	+	X87	+	X89	+	X810	+	X811	+	X812	+	x813	+	X814	+
X91	+	X92	+	X93	+	X94	+	X95	+	X96	+	X97	+	X98	+	X910	+	X911	+	X912	+	x913	+	X914	+
X101	+	X102	+	X103	+	X104	+	X105	+	X106	+	X107	+	X108	+	X109	+	X1011	+	X1012	+	x1013	+	X1014	+
X111	+	X112	+	X113	+	X114	+	X115	+	X116	+	X117	+	X118	+	X119	+	X1110	+	X1112	+	X1113	+	X1114	+
X121	+	X122	+	X123	+	X124	+	X125	+	X126	+	X127	+	X128	+	X129	+	X1210	+	1211	+	X1213	+	X1214	+
X131	+	X132	+	X133	+	X134	+	X135	+	X136	+	X137	+	X138	+	X139	+	X1310	+	X1311	+	X1312	+	X1314	+
X141	+	X142	+	X143	+	X144	+	X145	+	X146	+	X147	+	X148	+	X149	+	X1410	+	X1411	+	X1412	+	X1413	+
X151	+	X152	+	X153	+	X154	+	X155	+	X156	+	X157	+	X158	+	X159	+	X1510	+	X1511	+	X1512	+	X1513	+
X161	+	X162	+	X163	+	X164	+	X165	+	X166	+	X167	+	X168	+	X169	+	X1610	+	X1611	+	X1612	+	X1613	+
X171	+	X172	+	X173	+	X174	+	X175	+	X176	+	X177	+	X178	+	X179	+	X1710	+	X1711	+	X1712	+	X1713	+
X181	+	X182	+	X183	+	X184	+	X185	+	X186	+	X187	+	X188	+	X189	+	X1810	+	X1811	+	X1812	+	X1813	+
X21	+	X31	+	X41	+	X51	+	X61	+	X71	+	X81	+	x91	+	x101	+	x111	+	x121	+	x131	+	x141	+
X12	+	X32	+	X42	+	X52	+	X62	+	X72	+	X82	+	X92	+	X102	+	X112	+	X122	+	X132	+	X142	+
X13	+	X23	+	X43	+	X53	+	X63	+	X73	+	X83	+	X93	+	X103	+	X113	+	X123	+	X133	+	X143	+
X14	+	X24	+	X34	+	X54	+	X64	+	X74	+	X84	+	X94	+	X104	+	X114	+	X124	+	X134	+	X144	+
X15	+	X25	+	X35	+	X45	+	X65	+	X75	+	X85	+	X95	+	X105	+	X115	+	X125	+	X135	+	X145	+
X16	+	X26	+	X36	+	X46	+	X56	+	X76	+	X86	+	X96	+	X106	+	X116	+	X126	+	X136	+	X146	+
X17	+	X27	+	X37	+	X47	+	X57	+	X67	+	X87	+	X97	+	X107	+	X117	+	X127	+	X137	+	X147	+
X18	+	X28	+	X38	+	X48	+	X58	+	X68	+	X78	+	X98	+	X108	+	X118	+	X128	+	X138	+	X148	+
X19	+	X29	+	X39	+	X49	+	X59	+	X69	+	X79	+	X89	+	X109	+	X119	+	X129	+	X139	+	X149	+
X110	+	X210	+	X310	+	X410	+	X510	+	X610	+	X710	+	X810	+	X910	+	X1110	+	X1210	+	X1310	+	X1410	+
X111	+	X211	+	X311	+	X411	+	X511	+	X611	+	X711	+	X811	+	X911	+	X1011	+	X1211	+	X1311	+	X1411	+
X112	+	X212	+	X312	+	X412	+	X512	+	X612	+	X712	+	X812	+	X912	+	X1012	+	X1112	+	X1312	+	X1412	+
X113	+	X213	+	X313	+	X413	+	X513	+	X613	+	X713	+	X813	+	X913	+	X1013	+	X1113	+	X1413	+	X1413	+
X114	+	X214	+	X314	+	X414	+	X514	+	X614	+	X714	+	X814	+	X914	+	X1014	+	X1114	+	X1414	+	X1514	+
X115	+	X215	+	X315	+	X415	+	X515	+	X615	+	X715	+	X815	+	X915	+	X1015	+	X1115	+	X1415	+	X1515	+
X116	+	X216	+	X316	+	X416	+	X516	+	X616	+	X716	+	X816	+	X916	+	X1016	+	X1116	+	X1416	+	X1516	+
X117	+	X217	+	X317	+	X417	+	X517	+	X617	+	X717	+	X817	+	X917	+	X1017	+	X1117	+	X1217	+	X1317	+
X118	+	X218	+	X318	+	X418	+	X518	+	X618	+	X718	+	X818	+	X918	+	X1018	+	X1118	+	X1218	+	X1318	+
Xi>=0 E Z																									

[..\Documents\INGENIERIA INDUSTRIAL\6 Semestre\investigacion de operaciones 1\paper \(1\).xlsx](#)

RESULTADOS

Como resultado de la metodología de la programación lineal aplicada al caso de estudio de la asignación de la ruta optima de distribución de dinero a los cajeros del Banco a través del paso 1 y 2 en donde se define el problema, junto a sus variables, la función objetivo y las restricciones permite continuar la aplicación de la metodología de pasos como se muestra a continuación,

PASO 3. Resolución del modelo matemático

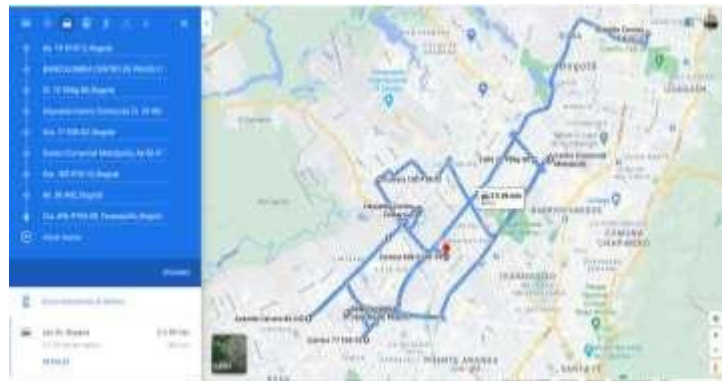
Teniendo en cuenta la matriz de distancias (Tabla2), la definición de variables, función objetivo y restricciones se realizó la resolución del modelo matemático, para ello se implementó el programa Microsoft Office Excel que mediante su herramienta aplicativa Solver Evolutionary permite encontrar la ruta óptima para el camión de bricks.

Cabe resaltar, que se implementa solver Evolutionary dado que con la determinación del tiempo de análisis que realiza el programa permite deducir que ha analizado gran parte de las posibles soluciones. A continuación, se presenta la resolución de la programación lineal planteada para este caso de estudio:

Inicio	Fin	Distancia	
1	4	8,2	
4	7	8,1	
7	10	3,9	
10	16	4,3	
16	13	1,3	
13	5	3,9	
5	8	6,4	
8	11	8,2	
11	6	7,9	
6	2	2	
2	9	17	
9	3	1,7	
3	15	5	
15	12	2,1	
12	18	3,3	
18	14	6	
14	17	3,4	
17	1	5	
Total, recorrido		97,7	km
Total recorrido *horas		4,885	H

PASO 4. Implementación de la solución encontrada

Dado a qué es un caso teórico no se realiza una ejecución práctica de la ruta optima encontrada, sin embargo, se presenta a continuación la ruta a desarrollar por el camión de Brinks a través de Google Maps:



Conclusión

Desde la investigación de operaciones y sus diferentes aplicaciones en área diversas se pretende siempre brindar una solución eficiente y optima que cumpla y satisfaga las necesidades de los actores interesados. Mediante la programación lineal y su aplicación logra una integración multidisciplinar que favorece el desarrollo eficiente en las áreas inmersas a ella misma para garantizar como por ejemplo en este caso de estudio: Una ruta optima de un camión que debe entregar el suministro de dinero a cajeros del Banco de la ciudad de Bogotá.

La aplicación de herramientas de evaluación entre distancias y rutas vinculadas a varios puntos permite que a los actores implicados puedan valorar diferentes opciones que representen un acoplamiento a sus necesidades y requerimientos.

Con el fin de solucionar la necesidad de identificación de una distancia óptima para el camión de Brinks se aplica el método “Problema del agente viajero” con el fin hallar la ruta más corta entre los diferentes puntos (cajeros dispuestos en toda la ciudad de Bogotá) a realizar entregas, mediante la caracterización una matriz de distancias y la resolución de una programación lineal implementando la herramienta de Microsoft Office Excel Solver Evolutionary se obtiene una ruta final de 80,1 Km que le permiten al camión realizar sus respectivas entregas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Lavariega Ruiz, «Importancia de la investigación de operaciones en las organizaciones,» 2 Julio 2013. [En línea]. Available: <https://www.gestiopolis.com/importancia-de-la-investigacion-de-operaciones-en-las-organizaciones/>. [Último acceso: Octubre 2020].
- [2] J. Prawda Witenberg, Métodos y modelos de investigación de operaciones, Ciudad de México: Limusa, 1984.
- [3] J. O. Chávez Saldaña, «Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet,» (CUDI), 2012. [En línea]. Available: https://www.cudi.edu.mx/sites/default/files/CUDI/eventos/ITESI/itesi_Odette_Chavez.pdf. [Último acceso: Octubre 2020].
- [4] B. Salazar, «Ingeniería Industrial Online,» 2019. [En línea].
- [5] Microsoft, «Soporte de Office,» Definir y resolver un problema con Solver, 2020. [En línea]. Available: <https://support.microsoft.com/es-es/office/definir-y-resolver-un-problema-con-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040#:~:text=Solver%20es%20un%20programa%20de,a%20cabo%20an%C3%A1lisis%20y%20si.&text=Solver%20ajusta%20los%20valores%20de,deseado%20en%20>. [Último acceso: Octubre 2020].