



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES  
DE MONTERREY

Planeación logística para la optimización de ventas

OPTIMIZACIÓN DETERMINISTA  
GRUPO 100

*Rincón Flores Ivette Mariana*  
A01654973

*Laureles Olmedo Leonardo*  
A01659241

*Núñez López Daniel Isaac*  
A01654137

*Mateos Pérez Carlos*  
A01654085

**Supervisado por**  
Dr. Fernando Elizalde Ramírez  
Dr. Jaime Eduardo Martínez Sánchez  
23 de febrero de 2023

# 1. Introducción

## 1.1. Cengage Group

Cengage Group es una empresa que radica en EUA, quienes ofrecen servicios y contenido educativo para educación superior, K-12, profesional y mercados de librerías. Actualmente, operan en más de 20 países. Creada en el 2007, Boston, Massachusetts, ha juntado más de 5000 empleados a nivel mundial alrededor de casi 38 países, Cengage cuenta con la rama de librerías de referencia llamada Gale, que se especializa en desarrollo electrónico y educacional para librerías, escuelas y negocios con amplias bases de datos. Por otro lado, está el servicio de suscripción que la mayoría de las personas conocen, Cengage Unlimited, aquí se paga ya sea por semestre o por año, y se obtiene acceso a la librería completa, a diferencia de la compra de libro por libro, esta modalidad de suscripción existe desde el 2019.

## 1.2. General

En este reto, se abordarán problemas matemáticos que requieren del uso de la optimización para reducir gastos y así poder obtener una mayor utilidad, como ya se ha mencionado, Cengage es una empresa internacional, que se dedica a vender servicios a instituciones educativas, librerías y empresas. Cengage cuenta con un grupo de empleados que se dedican a visitar a clientes alrededor de toda la república para ofrecer servicios (como Cengage Unlimited Gale), en persona y de primera instancia. El objetivo general de nuestro proyecto, es reducir costos y encontrar respuestas óptimas a dos problemáticas que serán presentadas con más detalle más adelante.

## 1.3. Justificación

La optimización de costos es un problema presente en cualquier negocio, y como todo negocio, se busca obtener la mayor cantidad de beneficios por el menor costo posible, es por esto que este proyecto tiene como base y principal objetivo hacer uso de la optimización determinista

y la programación lineal, que son herramientas que permiten la reducción de costos a través de la solución más viable tomando en cuenta ciertos requisitos o bien, restricciones dadas por la empresa.

## 1.4. Objetivo

El objetivo principal de este proyecto es la optimización de recursos monetarios y no monetarios (distancias y tiempo) para reducir el costo del personal encargado de promover los productos y servicios de Cengage, en general, se busca encontrar las rutas óptimas en donde el costo sea menor, cumpliendo con las misiones de visitar todos y cada uno de los destinos.

# 2. Análisis de literatura

## 2.1. Problema del agente viajero (TSP)

El problema del Agente Viajero (TSP por sus siglas en inglés) es un problema cuya representación ha ayudado a resolver múltiples problemas que pueden ser modelados con las características del algoritmo del TSP. [Salvador and Salazar, 2010]

La primera solución fue dada en 1954; George Dantzig, Ray Fulkerson y Selmer Johnson publicaron la solución para resolver un problema donde un agente viajero desea visitar 49 ciudades, asignándoles un costo por visitar ciudades contiguas. Básicamente, en el TSP se tiene un número de nodos que deben ser visitados por una entidad sin visitar dos veces el mismo, dependiendo del número de nodos existirá un número determinado de combinaciones, se encuentra clasificado como un problema de optimización combinatoria. [Penna, 2014]

Sin embargo, tiene una desventaja, ya que es un problema para el que no se puede garantizar que se encontrará la mejor solución en un tiempo de cómputo razonable.

## 2.2. Problema de ruteo de vehículos (VRP)

El problema del ruteo de vehículos (VRP por sus siglas en inglés), es un problema de condición estocástica y polinomial que viene determinado por un conjunto de rutas que empiezan y terminan en un mismo lugar, en el cuál se minimizan los costos globales de transporte. [Daza et al., 2009]

En 1959, George Dantzig y J.H. Ramser propusieron la primera solución matemática del VRP aplicado a un problema real. Muchos investigadores han seguido de cerca y han estado muy interesados en el VRP debido a que el método es práctico y complejo. En 1981, Lenstra y Rinno-Kan concluyeron que el VRP es un problema no determinístico polinomial. Los componentes principales del VRP son las redes de carreteras, los clientes, los depósitos, los vehículos y los conductores. [Zúñiga et al., 2016]

Se pueden realizar distintas versiones de este problema dependiendo los objetivos particulares. Las versiones más comunes son la limitación básica de capacidad (CVRP), distancia y capacidad limitada (DCVRP), limitación por ventanas de tiempo (VRPTW), viajes de regreso (VRPB), con recogida y entrega (VRPPD) y cualquier combinación de éstas. [Zúñiga et al., 2016]

## 3. Definición del Problema

### 3.1. Introducción específica

De manera más detallada, en este proyecto, se tomarán en cuenta datos de empleados en los que se describen los gastos, rutas y eventualidades al recorrer los caminos, y con los datos recopilados como gastos de gasolina, casetas, horarios de tráfico, alto, etc. Se realizará un análisis para poder dar una solución óptima a la problemática de los empleados de Cengage.

### 3.2. Identificación de variables, parámetros y conjuntos

Las variables a considerar para establecer nuestra función objetivo que a grandes rasgos será restar los gastos a las ventas son: distancias, peajes, tiempo, días, y cantidad de visitas, donde estas variables representan un costo a la empresa. A continuación explicaremos cada una de ellas.

- Distancias: El objetivo de considerar las distancias sería optimizar las rutas entre librerías y universidades, ya que buscamos obtener la ruta que tenga el menor costo y que se logren los objetivos requeridos.
- Tiempo: Hay que tomar en cuenta el tiempo disponible del personal para que visiten la mayor cantidad de lugares, sin exceder la jornada laboral y optimizar el tiempo de los promocionales (8 a 12 horas), igualmente, se toma en consideración un tiempo de gracia de 10 minutos en cada visita.
- Días: Al igual que el tiempo, establecer un calendario para los trabajadores donde se pueda organizar de mejor manera los tiempos, es decir que se visiten la mayor cantidad de lugares en la menor cantidad de días.
- Número de visitas: En general se busca el mayor número de visitas porque son más oportunidades en los que se puede contratar el servicio de CENGAGE (20 días).
- Costo: Se calculan los costos de la gasolina en litros por kilómetros, así mismo, existe la posibilidad de añadir costos de hospedaje en caso de que sea necesario.

Otros parámetros a considerar pudieran ser la ubicación de gasolineras, el tráfico, el clima, accidentes, costo de hoteles, comidas, seguros de vida, seguros de gastos médicos, ya que son cuestiones que la empresa podría no contemplar pero podrían ser de gran ayuda para llegar a una optimización más precisa.

### 3.3. Función Objetivo a Optimizar y Restricciones

Nuestra función objetivo busca minimizar los costos del VRP,

$$z = \sum_{i=\text{origen}, j=\text{destino}}^n X_{i,j} \cdot C_{i,j} \quad (1)$$

que a la vez se encuentra sujeta a restricciones de lo mencionado en el apartado 3.2. Esta ecuación comprende la matriz de distancias representada por X, en donde se ocupan las distancias de cada ruta en las diferentes zonas y luego el costo asociado a la ruta que se representa con la letra C, ambas matrices tienen tanto valores en i,j, donde i representa el origen y j representa el destino.

### 3.4. Mapa de Ubicaciones

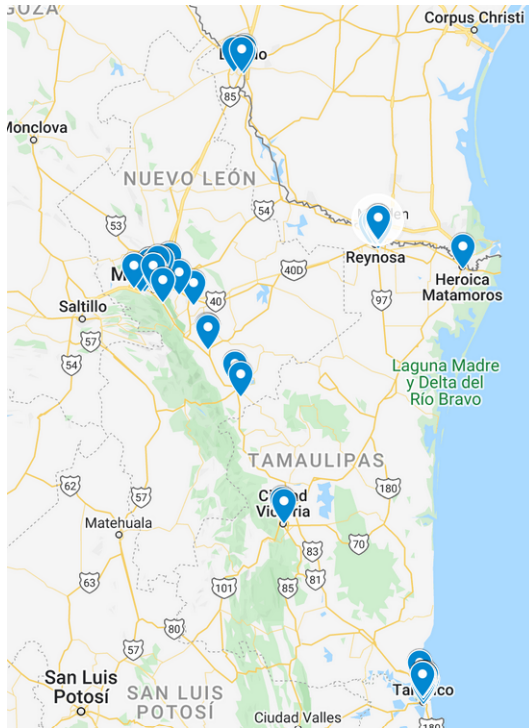


Figura 1: Relación Variables - Acciones

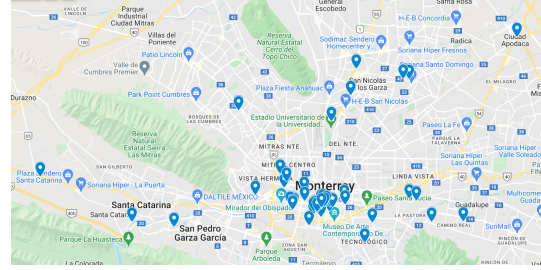


Figura 2: Mapa de ubicaciones en Nuevo León

## 4. Metodología

El problema de VRP tiene como objetivo minimizar los costos de transporte asociados a rutas de reparto, que a su vez se encuentran sujetas a ciertas restricciones dentro del problema como...

- Los vehículos que componen la flota son diferentes entre sí.
- Los vehículos no vuelven al punto de iniciación de rutas.
- Los visitas tienen que ser realizadas dentro de un rango/horario predefinido.

Por otro lado, el problema de TSP tiene como objetivo conectar todos los nodos (universidades) visitando cada nodo una sola vez, además, se tiene que regresar al punto de partida o bien al de origen cada que sale a algún destino (nodo), por lo que nos lleva a descartarlo como una solución al reto planteado por la empresa Cengage.

### 4.1. Heurística

La heurística utilizada en el código trata de empezar en un punto (nodo) y luego ir al nodo que consume el menor costo, que en este caso, es la menor distancia; repitiendo este procedimiento para las demás ubicaciones. Del último nodo seleccionado, al siguiente más cercano, y así hasta recorrer todas las ubicaciones posibles.

## 4.2. Código

Para llevar a cabo esto en Python, primero se creó una clave API dentro de Google Cloud Platform, se añadió la API "Distance Matrix API", la cual permite conectarse desde un ambiente de Python a Google Maps y poder obtener las rutas de un lugar a otro lugar, así para todos las ubicaciones a visitar del empleado. Lo complejo de esto, es que al ser una matriz de distancias, se necesitan conocer todas las posibles combinaciones entre las ubicaciones, por lo que hacer esto a mano, sin ayuda de un recurso tecnológico sería muy tardado. Igualmente, al ser un problema de ruteo de vehículos, Google tiene una librería llamada OR Tools, la cual contiene algoritmos de búsqueda, de los cuales se utilizó uno de ellos. No obstante, al ser más de 150 ubicaciones, decidimos partir los datos en diversas secciones, para poder tener un escenario más realista, y luego de esto, obtener la ruta óptima para cada una de las secciones.

## 5. Solución

La solución que se obtuvo después de realizar la matriz de distancias y aplicar el algoritmo de PATH.CHEAPEST\_ARC con los datos del empleado Adrián Reyes fue: Ruta para el vehículo de Adrián Reyes:

- Zona 1 - Nuevo León: 0 > 4 > 6 > 7 > 1 > 8 > 9 > 11 > 13 > 12 > 10 > 3 > 14 > 5 > 2 > 0 Distancia total de la ruta: 337,059 m



Figura 3: Ruta- Nuevo León

- Zona 2 - Nuevo León: 0 > 4 > 6 > 14 > 13 > 3 > 8 > 9 > 2 > 1 > 7 > 11 > 10 > 12 > 5 > 0 Distancia total de la ruta: 23,543 m



Figura 4: Ruta- Nuevo León

- Zona 3 - Nuevo León: 0 > 8 > 4 > 7 > 1 > 2 > 14 > 9 > 5 > 6 > 13 > 11 > 10 > 12 > 3 > 0 Distancia total de la ruta: 50,221 m



Figura 5: Ruta- Nuevo León

- Zona 4 - Nuevo León: 0 > 4 > 6 > 5 > 2 > 3 > 1 > 0 Distancia total de la ruta: 98,393 m



Figura 6: Ruta- Nuevo León

- Zona 5 - Tamaulipas: 0 > 11 > 8 > 6 > 2 > 3 > 5 > 4 > 12 > 9 > 7 > 10 > 1 > 0  
Distancia total de la ruta: 215,341 m



Figura 7: Ruta- Tamaulipas

- Zona 6 - Nuevo León : 0 > 9 > 1 > 10 > 12 > 11 > 8 > 3 > 14 > 13 > 5 > 7 > 4 > 6 > 2 > 0 Distancia total de la ruta: 95,196 m



Figura 8: Ruta- Nuevo León

- Zona 7 - Tamaulipas : 0 > 4 > 1 > 8 >

2 > 7 > 6 > 3 > 5 > 0 Distancia total de la ruta: 23,863 m



Figura 9: Ruta- Tamaulipas

- Zona 8 - Tamaulipas: 0 > 11 > 5 > 6 > 12 > 1 > 9 > 4 > 7 > 8 > 10 > 3 > 2 > 0  
Distancia total de la ruta: 53,664 m



Figura 10: Ruta- Tamaulipas

- Zona 9 - Tamaulipas: 0 > 3 > 1 > 4 > 2 > 0 Distancia total de la ruta: 29,687 m



Figura 11: Ruta- Tamaulipas

- Zona 10 - Tamaulipas:  $0 > 2 > 1 > 0$  Distancia total de la ruta: 13,096 m



Figura 12: Ruta- Tamaulipas

En donde los números representan las ubicaciones a seguir, siguiendo el orden en el que aparecen en el Excel.

Se generan 10 rutas, y se visitan un total de 108 clientes, lo cual genera un costo total de \$1406.38.

## 6. Próximos Pasos

Dentro de las cosas que se pueden mejorar en futuras entregas, son:

- Considerar los trayectos del hotel al siguiente destino, ya que en este caso estamos tomando en cuenta que se hace un solo trayecto.
- Tener las direcciones tal cual como aparecen en Google Maps y no en otro formato, esto para simplificar la creación de la matriz de distancias con la API de Google Maps.
- Realizar una mejor distribución de las ubicaciones por zona.
- Tomar en cuenta la seguridad de la zona y agregar un valor de seguridad o propensión aleatoria a un siniestro, para hacer más realista el modelo.

## 7. Posible Solución Adicional

- Como otra posible solución, podríamos analizar el problema sin utilizar el Vehicle Route Problem (VRP), y en su caso, utilizar el Travelling Salesman Problem (TSP).
- Utilizar optimización estocástica en lugar de determinística, con el fin de realizar un modelo más robusto con eventos de azar, como lo pueden ser asaltos o problemas en el trayecto de los empleados, así como posibles contagios de COVID o algún otro problema personal.

## 8. Conclusión

El reto nos permitió tener un panorama más amplio de cómo se utiliza la optimización en casos reales, y es que tuvimos que crear un modelo matemático y computacional para la creación de una ruta óptima que nos permitiera calcular los costos mínimos de la empresa y después volver a convertirlos en listados de universidades para que la comprensión de la solución por parte de la empresa fuera más sencilla.

## Referencias

- [Daza et al., 2009] Daza, J. M., Montoya, J. R., and Narducci, F. (2009). Resolución de problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases. *Eia*, 1.
- [Penna, 2014] Penna, A. F. (2014). Problema del agente viajero. *XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan*, 2.
- [Salvador and Salazar, 2010] Salvador, B. R. P. and Salazar, M. G. G. (2010). Análisis del cambio estructural en el modelo de regresión lineal. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 17.

[Zúñiga et al., 2016] Zúñiga, J. A., López, A. X., and Lozano, Y. L. (2016). El problema de ruteo de vehículos [vrp] y su aplicación en medianas empresas colombianas. *Ingenium*, 10.