



Optimización de rutas de transporte con machine learning y programación lineal

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Escuela de Ingeniería y Ciencias

Resumen

En este proyecto se resuelve un problema de distribución de rutas para las entregas de una empresa mexicana en Monterrey. Se utilizan en primera instancia algoritmos de machine learning clasificadores no supervisados para agrupar los puntos de entrega y después solucionar el problema del agente viajero en cada grupo, generando así las rutas finales, los tiempos que toma recorrer cada una de éstas y la distancia total correspondiente. Posteriormente, con ayuda de la base brindada por la empresa, se calcularon los volúmenes de la demanda y las especificaciones de los camiones dependiendo su modelo (volumen y rendimiento). Aplicando programación lineal se optimizó la distribución de los camiones en cada ruta, con el objetivo de minimizar el costo total de transporte para realizar las entregas. El proyecto se realizó en un periodo de 2 meses, utilizando software de código abierto, sin embargo, tiene como área de oportunidad el uso de APIs de localización de pago que optimizaría el costo computacional del programa. Se tiene como resultado un mapa de las rutas y la base de datos que incluye la ruta para cada entrega y el camión al que fue asignado. Así, una vez minimizado el costo de transporte, la empresa podrá (o no) tomar la propuesta logística del modelo e implementarla en sus labores diarias, para minimizar el gasto en transporte, así como su impacto en el medio ambiente al reducir su consumo de combustibles fósiles.

Introducción

Durante el encierro causado por la pandemia de COVID-19, el eCommerce sufrió un gran incremento, puesto que las personas se vieron obligadas a realizar sus compras en línea. Además, dicho crecimiento se ha mostrado como irreversible, es decir, aunque hayamos regresado a una "normalidad" el uso de dichas tecnologías no se vendrá abajo sino que, por el contrario, continuará creciendo durante los siguientes años (Chavez, 2020). Sin embargo, entre mayor demanda mayor cantidad de retos dentro de la logística, entre los cuales entran reducir tiempos de entrega y disminuir costos (económicos y ambientales).

El objetivo general de la investigación es optimizar los tiempos de entrega, disminuir los costos asociados al transporte. Con los siguientes objetivos específicos

- Encontrar el algoritmo de machine learning que agrupe los puntos de tal manera que al realizar un TSP se disminuya lo más posible una heurística de costo a definir.
- Realizar un modelo de PL para distribuir los vehículos disponibles de tal manera que se minimice el costo económico para la empresa de la distribución de productos

Referencias

- AMVO, "Estudio de. venta online: El consumidor digital mexicano 2022," 2022.
- J. Bernal, "Marketing y ecommerce parámetros de conducta del consumidor," 2020.
- R. M., "Top 50: los ecommerce más populares en México (2021)," 2021.
- G. Chavez, "El e-commerce crecerá 60% en 2020 impulsado por covid-19," Abril 2020.
- D. Jungnickel, "Lecture 11 hamiltonian graphs and the bondy chvátal theorem," 2013.
- C. Brucato, "The traveling salesman problem," 2013.
- t. Stuart Mitchell, "PuLP: A Linear Programming Toolkit for Python," Department of Engineering Science, The University of Auckland, Auckland, New Zealand, pp. 1-12, 2011.
- B. Keen, "Linear programming with python and pulp – part 4," April 2016.
- ONU, "La agenda para el desarrollo sostenible," 2020.
- UN, "Take urgent action to combat climate change and its impacts," 2019

Video



<https://bit.ly/3xkXgEf>

Contacto

Diego Rodríguez Cantú
Correo: a00829925@tec.mx
Celular: 81 2882 2644
Elías Garza Valdés
Correo: a01284041@tec.mx
Celular: 81 8111 2648

Syeni Perea Zelaya
Correo: a01025129@tec.mx
Celular: 55 2083 5227
Axel Maldonado del Bosque
Correo: a00830422@tec.mx
Celular: 81 1690 2611

Metodología

La primera parte de la metodología usa algoritmos no supervisados de agrupamiento (machine learning unsupervised clustering models) para la creación de distintos modelos de rutas.

Tabla 1: Tiempo máximo (hrs) y distancia (km) de cada modelo								
K	K-means		Agglomerative C.		Spectral C.		Gaussian M.	
	Horas (H)	Dist (Km)	Horas (H)	Dist (Km)	Horas (H)	Dist (Km)	Horas (H)	Dist (Km)
1	16.98	151.705	16.98	151.705	16.98	151.705	16.98	151.705
2	11.49	153.706	11.49	153.706	11.49	153.706	10.93	152.992
3	7.95	178.917	6.44	171.763	7.11	177.333	11.88	165.830
4	7.03	200.042	6.44	201.805	6.83	182.499	7.63	190.204
5	7.03	206.812	6.44	208.575	6.83	189.533	9.09	212.537
6	4.77	226.864	6.44	215.675	6.83	192.805	4.83	234.489
7	4.77	256.739	3.87	233.323	6.54	199.456	4.09	263.616



Figura 1: Tiempo máximo por modelo

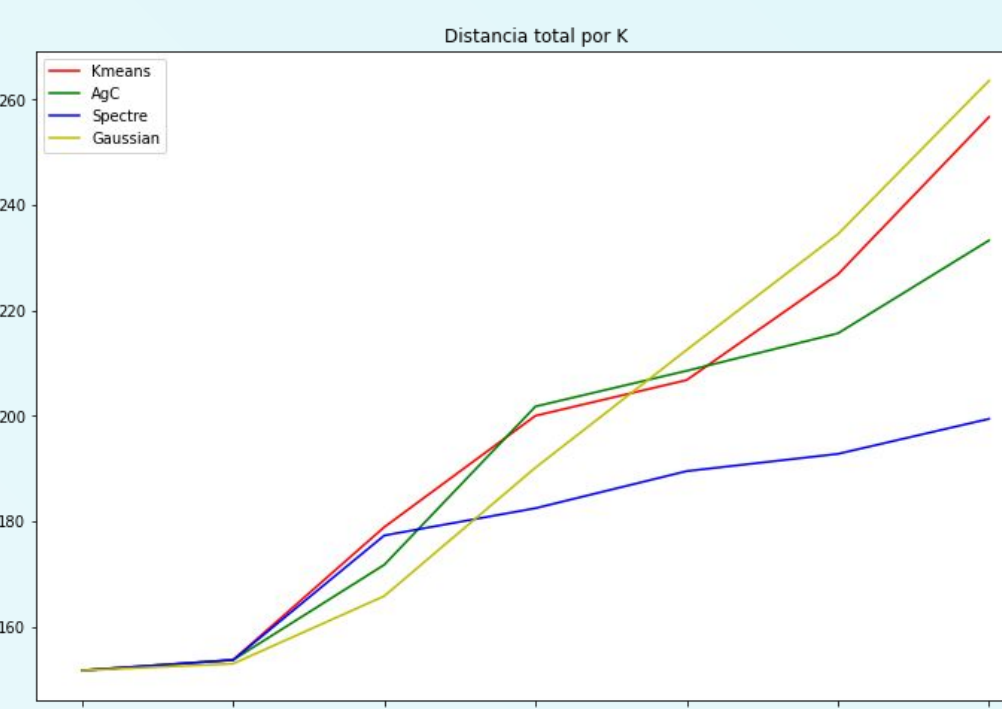


Figura 2: Distancia total por modelo

Se evalúa cada uno de estos modelos mediante una métrica ajustable basada en el precio del diesel, un modelo de vehículo y el salario de los repartidores. A partir de esta métrica se escoge el modelo que obtenga mejores resultados.

A partir del conjunto de rutas obtenido del modelo seleccionado, y de la flota de camiones con la que se cuenta, se elabora un modelo de programación lineal que distribuye los camiones en cada una de las rutas con la función objetivo de minimizar el costo de las entregas de acuerdo a ciertas restricciones. Las variables en este caso son las X_{ij} las cuales representan cuantas veces el camión j recorre la ruta i .

Parámetros:

- C_i : el rendimiento del camión modelo i en \$/km.
- T_j : Tiempo que se toma recorrer la ruta j en horas.
- T_e : Horas sobrantes dentro de la ruta j en horas.
- D_j : Distancia recorrida en la ruta j en kilómetros.
- K_j : demanda volumétrica de la ruta j en m^3 .
- V_i : Capacidad volumétrica del camión modelo i en m^3 .
- S : salario en pesos mexicanos por hora del chofer.

$$\text{MIN } Z = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} X_{i,j} (D_j C_i + S T_j + 2 S T_e)$$

Ecuación 1: Función objetivo

$$\sum_{j=0}^{m-1} X_{i,j} T_j \leq 9$$

Ecuación 2: Restricción de horas

$$\sum_{i=0}^{n-1} X_{i,j} V_i \geq K_j$$

Ecuación 3: Restricción de volumen

Por último se genera un .csv con los datos de cada entrega, la ruta que le corresponde y el camión en el que irá y el orden en el que deben acomodarse los paquetes en el camión de acuerdo a la agenda de entrega.

Axel Antonio Maldonado del Bosque, A00830422

Diego Elián Rodríguez Cantú, A00829925

Elías Garza Valdés, A01284041

Syeni Perea Zelaya, A01025129

Resultados

Cabe mencionar que aunque la solución a un modelo de PL sí obtiene una solución óptima; si se quisiera obtener esta utilizando programación lineal se necesitaría una cantidad considerablemente grande de poder computacional, al punto de dejar de ser factible. Al utilizar algoritmos clasificadores y heurísticas para la generación de las rutas para luego optimizar la distribución de camiones, lo que logramos es obtener un máximo local en nuestro espacio de búsqueda el cual es cercano al punto óptimo, aunque puede ser distinto al mismo.

Ruta 0 (verde):

- Distancia: 75.85 km
- Tiempo: 5.55 horas
- Volumen a repartir: 19.45 m^3
- **Camión 1:** PARTNER MAXI PEUGEOT 2021 (Vol: 3.9 m^3)
- **Camión 2:** ELF 300 ISUZU 2015 (Vol: 16.2 m^3)
- Volumen muerto: 0.649 m^3 (3.22%)

Ruta 1 (rojo):

- Distancia: 40.41 km
- Tiempo: 5.44 horas
- Volumen a repartir: 9.007 m^3
- **Camión 1:** LONG SERIE 300 HINO 2019 (vol: 9.6 m^3)
- Volumen muerto: 0.592 m^3 (7.61%)

Ruta 2 (azul):

- Distancia: 55.497 km
- Tiempo: 6.44 h
- Volumen a repartir: 26.32 m^3
- **Camión 1:** MANAGER FURGON PEUGEOT 2021 (Vol: 15 m^3)
- **Camión 2:** ELF 100 ISUZU 2020 (Vol: 13.5 m^3)
- Volumen muerto: 2.17 (6.16%)

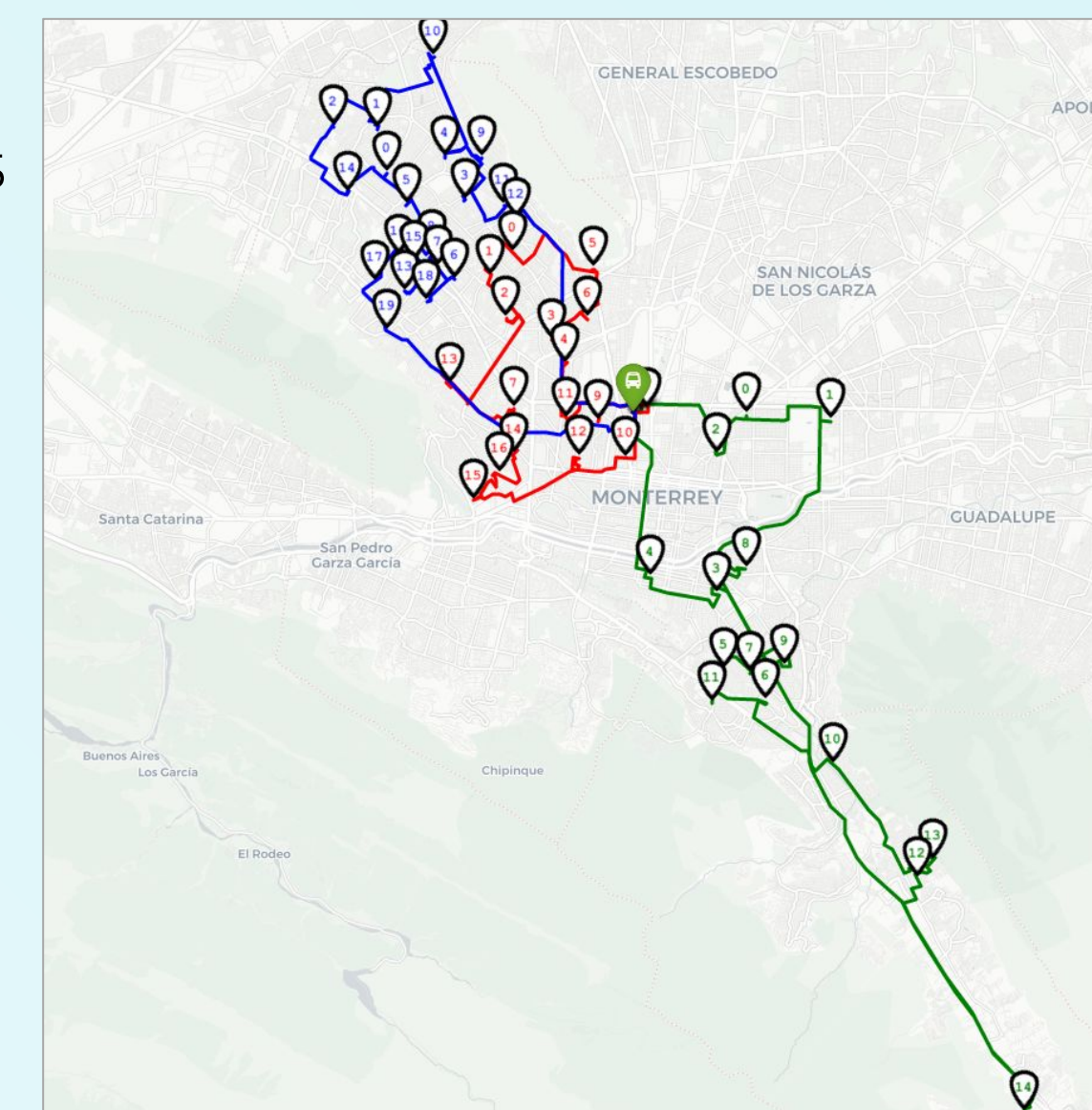


Figura 3: Mapa del modelo Agglomerative Cluster K = 3

Conclusión

En resumen, por medio de este proyecto se encontró una buena solución factible para la problemática planteada. Utilizando los algoritmos de agrupamiento: K-means, Agglomerative Clustering, Spectral Clustering y Gaussian Mixture, se establecieron los puntos que formarían los nodos para la optimización como un problema TSP. Seleccionando la ruta más corta, se hace un modelo para minimizar los costos de transporte con programación lineal.

Este es un proyecto que se podría escalar a nivel nacional, para ser usado en todos los centros de distribución y bodegas de empresas de compras en línea. Para hacer el cambio únicamente es necesario cambiar los datos iniciales que se ingresan. Aunado a esto, este es un proyecto que se puede alinear con distintos objetivos empresariales. Además, se sabe que las ventas con modalidad E-commerce han tenido un *boom* los últimos años

Referente a las áreas de mejora que tiene proyecto y se podrían abordar en un futuro trabajo, es posible destacar destacar: prueba con más algoritmos de agrupación, cambio de heurísticas, utilización de otras API's, utilización de un modelo optimizador de volumen para los camiones, complejidad del modelo de distribución o la implementación de interfaces gráficas.