



**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de
Monterrey**

Optimización determinista

MA2001B

Profesor: Ramiro Zermeño

Integrantes:

María Fernanda Gamboa | A01741636

Santiago Mora Cruz | A01369517

Adara Luisa Pulido Sánchez | A01642450

René Abraham Calzadilla Calderón | A01246501

Entregable 3: Solución de la Problemática

I. Introducción

Come Verde es una empresa mexicana dedicada a promover una alimentación saludable a través de snacks elaborados con ingredientes 100% naturales. Con un extenso catálogo de productos, Come Verde distribuye sus productos a diversas sucursales en todo el país. Entre los múltiples desafíos que enfrenta diariamente, uno de los más importantes son los gastos relacionados con la promotoría. La empresa busca formas de optimizar los recursos destinados a esta área.

El objetivo del presente proyecto es minimizar los costos totales de la promotoría. Esto incluye la reducción del número de promotores, el costo de los pasajes y la distancia total recorrida. La problemática presentada por el socio formador es clara: minimizar el costo total de las visitas a todos los clientes, cumpliendo con las visitas semanales necesarias para cada cadena, respetando la cantidad máxima y mínima de visitas por promotor, los horarios de las tiendas y las jornadas laborales de los promotores.

Para lograr esto, es crucial tomar decisiones estratégicas como la asignación de rutas diarias por promotor, de manera que se cubran las necesidades de visitas mensuales con el personal disponible. Este proyecto de optimización busca proporcionar soluciones eficientes que permitan a Come Verde mejorar la asignación de sus recursos, reduciendo costos y aumentando la efectividad de su promotor.

II. Desarrollo

• Planteamiento de nuestro problema

El planteamiento de nuestro problema incluye algunos supuestos y simplificaciones de restricciones para hacerlo más manejable y fácil de resolver. Esto nos permite una explicación más clara y directa. Además, se diseñó el problema para que devuelva una lista de recorridos a realizar en un número determinado de días. De esta manera, se abordan dos situaciones: uno para las tiendas que deben ser visitadas una vez a la semana (para realizar ese recorrido todas las semanas) y otro para todas las tiendas, incluyendo las que deben ser visitadas una vez al mes (para que estos recorridos se hagan solo una vez al mes y no cada semana).

Elementos considerados

- 1) La ubicación coordenada de cada tienda
- 2) El número de visitas a la semana que requiere cada tienda.
- 3) El número de recorridos que hace cada promotor.

Elementos omitidos

- 1) Se omitieron las sucursales de Farmacias del Ahorro y Farmacias Benavides debido a la falta de información sobre estas ubicaciones.
- 2) Se omitieron las sucursales situadas fuera de la CDMX y el Estado de México, ya que estas áreas no forman parte de la zona objetivo del presente análisis.

Suposiciones

- 1) Estamos trabajando con la distancia “Manhattan”
- 2) En este problema, emplearemos el costo fijo de microbuses y vagonetas, donde la tarifa varía según la distancia recorrida:

Para los primeros 5 km, la tarifa es de 6 pesos.

Para distancias entre 5 y 12 km, la tarifa es de 6.50 pesos.

Para distancias mayores a 12 km, la tarifa también es de 6.50 pesos.

- 3) En lugar de imponer restricciones basadas en los horarios de disponibilidad de las tiendas, se calculará el tiempo total empleado en cada tienda, sumado al tiempo de transporte entre ellas. Si alguna tienda excede el horario establecido, se reducirá el número de tiendas en ese cluster.

• Formulación matemática

Formulación matemática del modelo que represente la situación que plantearon con explicación clara de cada uno de los elementos y cómo se relaciona con la situación real:

Este modelo está pensado para un proveedor por semana, y por cluster, es decir, se tienen que resolver para cada cluster y para los proveedores involucrados en los clusters.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m D_{ij} x_{ijk}$$

Donde

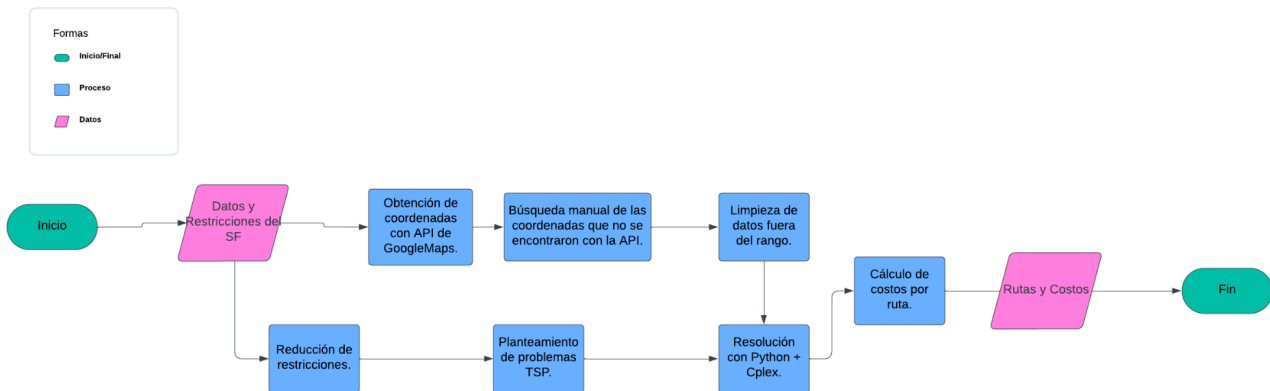
- x_{ijk} = El proveedor va desde i a j en el tiempo k .
- D_{ij} = La distancia de ir desde i a j .
- $x_{ijk} \in (1, 0)$
- D_{ij} está en la matriz de distancias.

Restricciones:

- Siempre se empieza desde un Walmart, Chedraui o La Comer:

- $\sum_{j=1}^n x_{ij1} = 1$, donde $i \in \{l \mid l \text{ es Walmart, Chedraui o La Comer}\}$
- Solo se hace una visita por tienda cada día:
 - $\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = n$
- Mínimo 5 visitas al día:
 - $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} \geq 25$
- No se puede quedar en la misma tienda:
 - $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ijk} = 0$ para $i=j$
- En todas las restricciones n = número de tiendas por semana a visitar. Y k = número de turno, donde empezamos en 1 para representar el primer viaje a realizar.
- $D_{ij} \geq 0$

- **Explicación de la metodología de solución**



1) Limpieza y tratamiento de datos

Para iniciar la solución de este problema, comenzamos con la limpieza de las bases de datos proporcionadas por Come Verde. Los archivos recibidos contenían información sobre todas las sucursales de México a las que Come Verde ofrece servicios de promotoría. Como primer paso, realizamos una depuración de estos archivos con el objetivo de consolidar toda la información en un único archivo que incluya las direcciones de las sucursales que se deben visitar en la CDMX y el Estado de México.

Además, recopilamos manualmente información de ciertas sucursales debido a la imprecisión de los datos en las bases de datos iniciales. Esta limpieza y consolidación de datos nos permitirá realizar un análisis más preciso y delimitado.

2) Formulación del problema

La formulación de este problema implicó omitir algunos elementos iniciales y hacer una serie de suposiciones iniciales. Estas suposiciones nos permiten delimitar el problema de manera que resulte más sencillo y factible para encontrar una solución, aprovechando nuestro conocimiento sobre los costos fijos de los microbuses y vagonetas en la Ciudad de México. Este enfoque nos permitirá abordar el problema de manera más manejable y garantizar su viabilidad para resolverlo de manera efectiva. Además, se formuló el problema de una manera que permite realizar modificaciones relativamente sencillas, adaptándolo así a las necesidades específicas del socio formador.

3) Estrategias de solución

Inicialmente, se consideró resolver este problema implementando una alternativa de Métodos Exactos (MILP). Los Métodos Exactos garantizan encontrar la solución óptima y son especialmente útiles cuando la precisión es crítica. Sin embargo, plantear este problema de optimización en el contexto de las calles de la Ciudad de México implica considerar una serie de factores complejos. La infraestructura urbana, la variedad de rutas disponibles, la diversidad de las calles, junto con los diferentes costos de transporte y la duración variable de los viajes, complican el problema hasta el punto en que resulta difícil de resolver y conlleva un costo computacional considerable. Por tanto, la aplicación de un método exacto, considerando todas las restricciones y variables iniciales, resulta poco práctica en esta primera instancia.

Por esta razón, al final decidimos resolver el problema utilizando el método de barrido, implementando nuestra serie de suposiciones iniciales. Esto hace que la resolución del problema sea más manejable y accesible.

4) Solución final

La solución final del problema implica obtener las coordenadas de longitud y latitud de cada una de las sucursales que los promotores de Come Verde deben visitar. Utilizamos la API de Google Maps para obtener la ubicación precisa de las sucursales en un plano de coordenadas bidimensional. Este proceso transforma la información proporcionada por el socio formador en un formato manejable con el cual podemos empezar a trabajar.

Luego, aplicamos el método de barrido, cuyo objetivo es encontrar una solución eficiente para este problema de planificación de rutas. Este método organiza y agrupa puntos de interés

de manera sistemática, permitiendo la generación de agrupaciones para planificar rutas eficientes.

El método de barrido ordena los puntos de interés en función de sus ángulos de manera ascendente, lo que facilita la formación de clusters teniendo en cuenta las restricciones del problema. Los puntos se asignan a un cluster hasta que se alcanza una restricción, tras lo cual se inicia un nuevo cluster.

Finalmente, utilizamos un algoritmo de solución del TSP para cada cluster para encontrar la ruta más corta posible.

- **Solución del modelo implementado**

Solución del problema puntualmente; es decir, qué arroja su modelo. Puede incluir:

El modelo, al resolver los dos problemas de los que se hablaba anteriormente, devuelve una lista de los recorridos que se tienen que hacer para satisfacer las necesidades de cada tienda; y una gráfica de cómo lucen estos recorridos en un plano cartesiano

Recorridos con Nutrisa:

[12268, 12078, 3816, 3825, 12809, 12057]
[376, 305, 3504, 5765, 5855, 109]
[3480, 3629, 435, 3034, 231, 12023]
[14, 3829, 402, 3812, 3826, 377]
[805, 12070, 3830, 137, 3849, 3881]
[12518, 3858, 3841, 98, 379, 12326]
[652, 5817, 12389, 3850, 3877, 131]
[3876, 3915, 3837, 3839, 3844, 12130]
[12008, 12088, 2829, 3815, 12716, 3813]
[2830, 380, 3818, 1083, 12794, 12046]
[5462, 12002, 12589, 420, 3863, 2430]
[12001, 13220, 12052, 17, 12811, 2644]
[1118, 3397, 3177, 814, 12929, 287]
[2766, 12723, 12996, 12033, 363, 3479]
[12131, 13124, 431, 12016, 3827, 237]
[3820, 12107, 3223, 12075, 3828, 229]
[3819, 227, 1770, 1053, 12323, 12238]
[423, 3843, 12803, 3857, 235, 12793]
[55, 12031, 12032, 3831, 3835, 233]
[3840, 2041, 2382, 3810, 3811, 12534]
[12807, 3809, 3199, 234, 154, 12725]
[2670, 13960, 12384, 12082, 252, 13632]
[1492, 4191, 4547, 2347, 13206, 232]
[230, 12003, 12343, 13603, 12561, 3799]

[670, 2033, 149, 12810, 1513, 12061]
[12381, 12590, 12596, 12795, 2079, 12728]
[3846, 13215, 1203, 3511, 3977, 4157]
[5133, 12263, 2345, 12214, 5469, 12934]
[12419, 4628, 5040, 112, 174, 12271]
[12507, 12553, 12535, 1584, 12796, 12532]
[3176, 12165, 2464, 2689, 12187, 12808]
[13223, 12709, 12517, 127, 12185, 3900]
[12178, 12193, 2466, 816, 1724, 12290]
[3794, 4018, 12166, 12283, 12044, 12125]
[3503, 1044, 12703, 3896, 3921, 4666]
[12012, 12028, 1489, 1834, 2284, 13692]
[13810, 13813, 12, 12103, 239, 238]
[3862, 3814, 3821, 13225, 12186, 12240]
[12578, 12072, 12522, 2643, 12324, 383]
[3845, 815, 446, 12093, 12007, 3832]
[3842, 3824, 375, 289, 1032, 12274]
[76, 3838, 3847, 12556, 12174, 13221]
[2344, 12056, 12339, 3025, 403, 12068]
[12345, 12370, 400]

Costo cluster 1: 30

Costo cluster 2: 30.5

Costo cluster 3: 37.5

Costo cluster 4: 31.5

Costo cluster 5: 31.0

Costo cluster 6: 30

Costo cluster 7: 31.0

Costo cluster 8: 30

Costo cluster 9: 36.5

Costo cluster 10: 31.0

Costo cluster 11: 30.5

Costo cluster 12: 31.5

Costo cluster 13: 32.0

Costo cluster 14: 31.0

Costo cluster 15: 30

Costo cluster 16: 31.0

Costo cluster 17: 38.5

Costo cluster 18: 37.5

Costo cluster 19: 30

Costo cluster 20: 30.5

Costo cluster 21: 38.0

Costo cluster 22: 31.5

Costo cluster 23: 37.0

Costo cluster 24: 30.5
Costo cluster 25: 31.5
Costo cluster 26: 30.5
Costo cluster 27: 31.0
Costo cluster 28: 31.5
Costo cluster 29: 31.0
Costo cluster 30: 32.5
Costo cluster 31: 31.0
Costo cluster 32: 31.5
Costo cluster 33: 32.5
Costo cluster 34: 38.5
Costo cluster 35: 37.0
Costo cluster 36: 32.0
Costo cluster 37: 36.5
Costo cluster 38: 31.5
Costo cluster 39: 32.0
Costo cluster 40: 31.0
Costo cluster 41: 31.0
Costo cluster 42: 30
Costo cluster 43: 36.5
Costo cluster 44: 12

Recorridos sin Nutrisa:

[3816, 3825, 376, 305, 3504, 5765]
[5855, 109, 3480, 3629, 435, 3034]
[231, 14, 3829, 402, 3812, 3826]
[377, 805, 3830, 137, 3849, 3881]
[3858, 3841, 98, 379, 652, 5817]
[3850, 3877, 131, 3876, 3915, 3837]
[3839, 3844, 2829, 3815, 3813, 2830]
[380, 3818, 1083, 5462, 420, 3863]
[2430, 17, 2644, 1118, 3397, 3177]
[814, 287, 2766, 363, 3479, 431]
[3827, 237, 3820, 3223, 3828, 229]
[3819, 227, 1770, 1053, 423, 3843]
[3857, 235, 55, 3831, 3835, 233]
[3840, 2041, 2382, 3810, 3811, 3809]
[3199, 234, 154, 2670, 252, 1492]
[4191, 4547, 2347, 232, 230, 3799]
[670, 2033, 149, 1513, 2079, 3846]
[1203, 3511, 3977, 4157, 5133, 2345]
[5469, 4628, 5040, 112, 174, 1584]
[3176, 2464, 2689, 127, 3900, 2466]

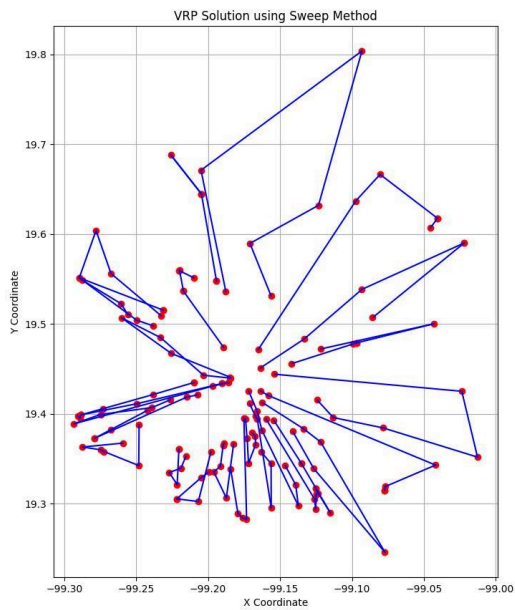
[816, 1724, 3794, 4018, 3503, 1044]
[3896, 3921, 4666, 1489, 1834, 2284]
[12, 239, 238, 3862, 3814, 3821]
[2643, 383, 3845, 815, 446, 3832]
[3842, 3824, 375, 289, 1032, 76]
[3838, 3847, 2344, 3025, 403, 400]]

Costo cluster 1: 31.0
Costo cluster 2: 30.5
Costo cluster 3: 37.0
Costo cluster 4: 31.5
Costo cluster 5: 30
Costo cluster 6: 30
Costo cluster 7: 30.5
Costo cluster 8: 31.0
Costo cluster 9: 32.5
Costo cluster 10: 30
Costo cluster 11: 31.0
Costo cluster 12: 32.0
Costo cluster 13: 37.5
Costo cluster 14: 31.5
Costo cluster 15: 37.0
Costo cluster 16: 36.5
Costo cluster 17: 32.5
Costo cluster 18: 31.0
Costo cluster 19: 31.5
Costo cluster 20: 32.0
Costo cluster 21: 32.0
Costo cluster 22: 31.0
Costo cluster 23: 37.5
Costo cluster 24: 32.0
Costo cluster 25: 31.0
Costo cluster 26: 31.5

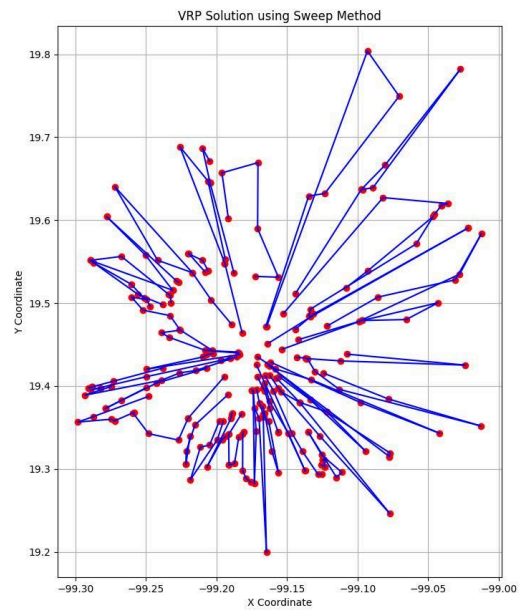
- **Apoyos visuales y su interpretación**

La siguiente tabla tiene los recorridos proporcionados por el programa graficados en un sistema coordenado bidimensional.

Gráfica de recorridos sin Nutrisa

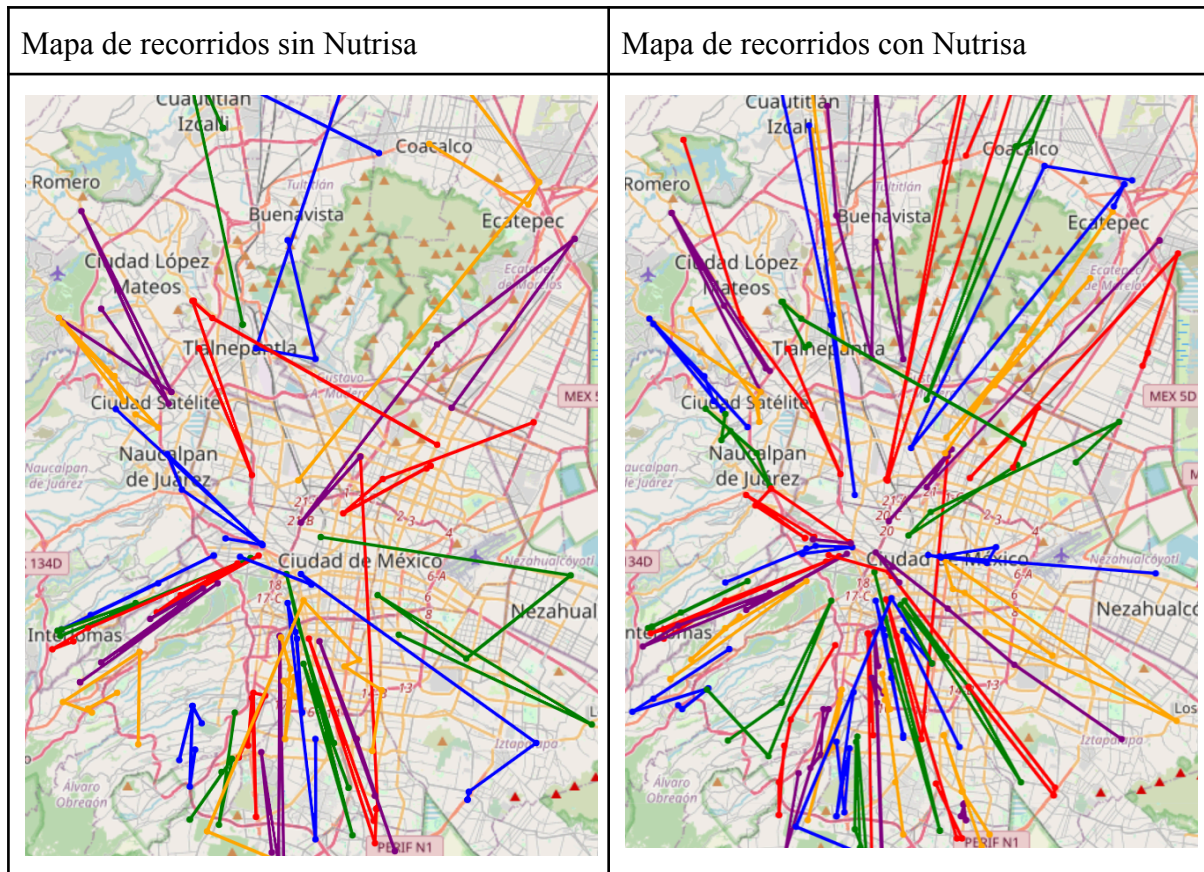


Gráfica de recorridos con Nutrisa



- **Interpretación de la solución**

La siguiente tabla tiene los recorridos proporcionados por el programa graficados sobre un mapa de la Ciudad de México, para facilitar su comprensión.



Los recorridos deberían ser llevados a cabo por 7 promotores, haciendo 3 semanas del mes el recorrido sin Nutrisa, y 1 semana del mes el recorrido con Nutrisa

- **Código en Python**

Si se agregan más tiendas y se desea utilizar el programa, lo primero que se debe hacer es obtener las coordenadas de latitud y longitud de cada tienda agregada, y ordenar la tabla con las columnas:

CADENA FORMATO DET TIENDA LATITUD LONGITUD DEMAND

Donde la demanda deberá de ser 1 para cada tienda. Esto se deberá agregar al resto de las tiendas que ya están incorporadas en los datos originales *data.csv*. Una vez hecho esto, simplemente se deberá ejecutar todo el código. Si se desea eliminar tiendas del recorrido, esto para las tiendas que no necesitan ser visitadas cada semana, se debe ejecutar la siguiente línea de código en la línea 4 de la segunda celda:

```
data = data[data['CADENA' != '(Cadena que se desea eliminar) ' ]]
```

Para cada cadena que se desea eliminar.

Para simplicidad, se colocó la siguiente línea donde se debería colocar la línea anterior.

```
#-----Aquí-----
```

- **Consideraciones adicionales**

III. Conclusión

La solución proporcionada por el programa desarrollado para resolver el reto del socio formador tiene tanto ventajas como desventajas. Con los supuestos que se asumieron, para las sucursales que requieren de una visita semanal se requerirán 26 recorridos que se llevarán a cabo cada semana, y en algún punto del mes se deberán realizar los 44 recorridos que incluyen tanto las sucursales que requieren visitas semanales como aquellas que requieren mensuales. Para simplicidad, el conjunto de recorridos semanales se denominará conjunto A y el conjunto de mensuales conjunto B.

Los recorridos son cada uno de 6 sucursales, excepto por dos de 2 sucursales. La forma en la que se plantean los recorridos es con 6 promotores, que en cuatro días de las semanas 1, 2 y 3 del mes completarán el conjunto A, y el quinto día estará destinado a hacer recorridos del conjunto B. La cuarta semana del mes estará destinada a completar el conjunto B. Es importante recordar que el recorrido B incluye a todas las sucursales, tanto las que requieren una visita semanal como una mensual. Los costos aproximados de transporte por semana son \$200 por promotor (\$1200 a la semana y \$4800 al mes)

La solución, como todo, tiene sus ventajas y desventajas. Dentro de las ventajas, podemos destacar:

- Recorridos homogéneos y rutinarios.
- Agrupamiento de sucursales por proximidad.
- Precio económico tanto en cantidad de promotores como en pasajes.
- Separación de sucursales por visitas mensuales necesarias.
- Prioridad a sucursales de cadenas de autoservicio (La Comer, Walmart, Chedraui).
- Flexibilidad para agregar más sucursales, de ser necesario.

Dentro de las desventajas, podemos mencionar:

- Habrá 4 Nutrisas que no serán visitadas al mes, puesto que los dos recorridos de 2 sucursales no pueden ser recorridos asumiendo que cada promotor visita 6 sucursales al día.
- Si, por alguna razón, un promotor no puede visitar una sucursal por causas de fuerza mayor, esta no puede ser reincorporada al modelo hasta la siguiente semana.
- Si se quisieran erradicar estas desventajas, un séptimo promotor podría arreglar ambos problemas, pero habría días que no tendría recorridos programados.

En conclusión, y como se mencionó en clase, encontrar exactamente la solución óptima y única es un proceso muy difícil que tardaría mucho tiempo, dinero y esfuerzo, pero con un modelo como este se puede aproximar una solución que satisfaga las necesidades del socio formador y dé una base para que creen su propia estrategia y la adapten a sus necesidades.