



Tecnológico de Monterrey

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
MONTERREY

Escuela de Ingeniería y Ciencias - Ingeniería en Ciencia de Datos y
Matemáticas

Evidencia Final

Optimización de planes de viajes turísticos

Profesores: Fernando Elizalde Ramírez y Yadira Isabel Silva Soto

Equipo 4:

Ángel Azahel Ramírez Cabello - A01383328

Anette Pamela Ruíz Abreu - A01423595

Franco Mendoza Muraira - A01383399

Jorge Raúl Rocha López - A01740816

Monterrey, Nuevo León. 08 de mayo del 2023

Índice

1. Introducción	3
2. Antecedentes	7
3. Definición del problema	9
4. Investigación y creación del problema	10
5. Formulación Matemática	13
6. Experimentación y resultados	22
7. Conclusiones	27
8. Bibliografía	28

Introducción

Turismo en México

La Organización Mundial del Turismo de las Naciones Unidas (OMT) estimó que las llegadas de turistas cayeron un 74 % en el 2020 con respecto a los datos de 2019. Esta gran caída tuvo efectos secundarios negativos en las economías de los países, especialmente en México en donde se perdieron 13 mil 548 millones de dólares y millones de negocios cerraron por la caída del turismo. [2]

Tras el fin de la pandemia, el turismo ha regresado y la gente está desesperada por salir de sus casas. De acuerdo con la Secretaría de Turismo [7], en los primeros seis meses del 2022, los turistas internacionales en México gastaron más de 13.039 millones de dólares, lo cual representa 80.1 % más que en el 2021 y 9.3 % más que en el 2019. En promedio, los turistas gastaron 39.1 % más que en el 2021 y 34 % más que en el 2019, teniendo un gasto promedio de 724.7 dólares; sin embargo, la cantidad de turistas fue menor que los años previos a la pandemia, registrando solamente 17.99 millones de visitantes. [14] Según estimaciones gubernamentales, el PIB turístico de México, que antes de la pandemia representaba un 8.6 % de la economía nacional en el 2019 y 7.1 % en el 2021, representará el 8.3 % en el 2022. [13]

El estado de Nuevo León es un destino turístico con una gran variedad de atractivos para los visitantes. Entre los lugares más icónicos se encuentran el Parque Fundidora, el Paseo Santa Lucía, los pintorescos pueblos mágicos de Santiago, Linares, La Huasteca y las fascinantes grutas de García, entre otros.

La industria del turismo en Nuevo León ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. Durante el periodo comprendido entre 2015 y 2021, la industria turística generó ingresos por un total de 65,000 millones de pesos gracias a los viajeros hospedados en la región. Se estima que durante este periodo, aproximadamente 12.2 millones de visitantes eligieron Nuevo León como destino turístico. [8]

El derrame económico del turismo en Nuevo León en el año 2022 fue alrededor de 15,400 millones de pesos, lo cual representó un incremento del 51% con respecto al año anterior. Esta cantidad fue generada debido a que durante ese período de tiempo se recibieron alrededor de 2.8 millones de turistas que eligieron hospedarse en hoteles. [5]

Los lugares más visitados en el 2022 fueron:

- Ciudad de México
- Cancún
- Guadalajara
- Monterrey
- Tijuana
- Los Cabos

[9]

Problema

De acuerdo con información de la secretaría de turismo de México, el turismo tal y como lo conocemos hoy en día es el resultado de un proceso de adaptación de las personas a expresar sus necesidades en la búsqueda de lugares que desean visitar, es decir, el acceso a la información masiva de reciente implementación en la sociedad ha permitido a la mayoría de individuos que viajan de un lugar a otro planear conscientemente su trayectoria por el destino turístico que desean conocer, sin embargo, este proceso de trazar rutas previas al viaje representa un reto importante a resolver, ya que, muchas veces se desea visitar todos los puntos de interés posibles en la ciudad sin tomar en cuenta que muchas veces la travesía cuenta con un tiempo limitado de realización, es por ello que, el uso de herramientas matemáticas como la investigación de operaciones ha ido cobrando relevancia para las agencias de viajes o coordinaciones de turismo en los municipios, puesto que, permite a cualquier usuario optimizar su tiempo en la aventura para maximizar su felicidad y a cambio garantizar mejores beneficios a la economía local de los lugares turísticos, por medio del uso de tecnologías de la información.

Justificación

La agilización de los recorridos turísticos mediante su análisis como problemas de optimización es relevante debido a que permite a viajeros realizar una mejor toma de decisiones en la etapa de planificación de su recorrido para una mayor satisfacción, habilita a los negocios locales o puntos de interés las mejores experiencias posibles manejando sus recursos de manera óptima, ofrece un mejor cuidado del ambiente durante los períodos de mayor afluencia de personas en las localidades y otorga una carta de presentación atractiva a aquellas comunidades que cuentan con sitios de interés para las necesidades de turistas apasionados

por la aventura.

Objetivo

Se desea desarrollar un algoritmo siguiendo la metodología de programación lineal para optimizar los recursos disponibles de un turista durante su viaje y maximizar con ellos su satisfacción al final del recorrido, claramente esta meta podría variar dependiendo de los gustos y disponibilidad del usuario, pero el entorno de variables sería el mismo considerando la localización de los sitios de interés y los costos de traslado.

Antecedentes

En este tipo de problema existen diversas restricciones que hay que tomar en cuenta para trazar un modelo adecuado y funcional; ya que, de acuerdo con la Secretaría de Turismo de México: “Las condiciones que afectan al turismo, quedan de manifiesto un proceso que no admite improvisación, requiere de un desarrollo razonado y planeación en todos sus detalles”.[7]. Por lo tanto este tipo de problema requiere marcar las restricciones delimitadas por el gusto de los turistas y las capacidades de los prestadores de servicios, comenzando por “gestión de gastos a través de una plataforma de gestión de gastos digital de los gastos de viaje corporativos”.[4]. Una vez que se considera esta administración inteligente de los recursos económicos, también se debe tomar en cuenta “el tiempo que estará en los lugares, la hora de llegada y de partida”. [11]. Otro factor relevante también debe ser el grado de contaminación generada por las operaciones del viaje, pues esta medida también aporta al nivel de felicidad obtenida por la travesía. “Cabe notar que la satisfacción del turista sostenible es bastante representativa pues se encuentra sobre el 85 %”.[6]. De igual manera el transporte es una de los temas clave al momento de aventurarse a una localización como turista “Saber cuáles son los medios de transporte que hay en destino y cómo utilizarlos, te ahorrará tiempo y estrés”[16], por lo que hay que considerar los distintos precios y condiciones de traslado de cada vehículo disponible en el recorrido hacia los puntos de interés.

Para resolver el problema existen varios métodos que resuelven las distintas condiciones que afectan la satisfacción del viaje, desde diferentes puntos de vista, siendo el más conocido el problema del agente viajero o TSP por sus siglas en inglés, “... hace referencia a la problemática de encontrar la ruta más corta y, al mismo tiempo, la más eficiente, para llegar a un destino.” [15]. El método TSP es

excelente para trazar la mejor ruta hacia un solo destino, pero entrega múltiples soluciones óptimas al momento de requerir llegar a distintas metas en el camino y de igual manera no sirve completamente para “...decidir la ruta más eficiente en cuanto a costo. Es más compleja que simplemente encontrar el camino más corto entre dos puntos. Necesita incluir todos los factores relevantes”. [1]. Por lo anterior también debemos considerar otros ejemplos de problema para llegar a una propuesta de solución más completa para el usuario final, como lo puede ser el CSP que busca aprovechar de la mejor manera posible un recurso de longitud finita, que puede ser un rollo de papel, o puede ser tiempo en este caso: “CSP: dada una lista de n órdenes (demandas), donde cada orden i ($i = 1, \dots$), requiere de piezas de longitud i a ser cortadas de rollos de longitud estándar L_0 ”. [10], Otro ejemplo puede ser el OP (orienteering problem) donde “el viajero tiene permitido viajar como máximo una distancia B y tiene el objetivo de maximizar la cantidad de sitios que puede visitar, sujeto a la limitación de distancia”. [12]. Junto con los anteriores problemas conocidos, también existe uno que considera de forma más específica el modelo matemático del viaje de un turista, llamado Tourist Trip Design Problems (TTDP), en el cual un agente desea conocer la mayor cantidad de sitios de interés bajo la restricción de su periodo de estancia. “En el TTDP se busca obtener las rutas de más provecho posible sin sobrepasar los límites, así que se enfocan en maximizar la satisfacción o beneficio que se obtiene al visitar los puntos”. [3].

Otra representación del problema, es el CVRP , ”el cual consiste en encontrar rutas, cada una asignada a un vehículo con el mínimo de costo posible para que satisfaga a todos los clientes. Además de que tiene restricciones como que cada ruta debe de comenzar y terminar en el centro de distribución, cada cliente es visitado a lo más una vez y que la suma de las demandadas de los clientes no supere a la capacidad del vehículo”.[17]

Definición del problema

En este proyecto buscaremos optimizar las visitas a nuevas rutas turísticas usando tecnología actual, agilizando y actualizando la manera en la que hacemos turismo hoy en día. Para hacer esto tendremos que maximizar el placer generado por la visita a una nueva ruta turística, haciendo el mejor uso del tiempo que se quedarán en su ruta turística. Esto se hará tomando en cuenta, y buscando optimizar, la duración de cada traslado, el costo y duración de la visita, el nivel de satisfacción de cada visita dentro de la nueva ciudad, tomando en cuenta la preferencia de puntos de interés.

Nuestra función objetivo buscaría minimizar la cantidad de recursos del usuario (tiempo de traslado) para garantizar la felicidad del usuario que desea visitar ciertos puntos de interés en la ciudad. Para crear nuestra fórmula de satisfacción se tendrá que tomar en cuenta las variables previamente mencionadas.

Ya teniendo nuestra fórmula objetivo, tendremos que poner las restricciones tales que nos dará el cliente o turista. Estas restricciones se establecerán en el costo total del viaje, el tiempo total de visita del viaje, el nivel de satisfacción mínimo o máximo que buscan por visita, también se tendrá que tomar en cuenta las horas que quieran estar activas en cada día. Estas restricciones nos darán un resumen del tipo de experiencia que puede llegar a vivir el turista, y a los lugares a los que podrá llegar a visitar.

Investigación y creación del problema

Para la formulación del problema, presentaremos varias opciones diferentes para los parámetros y las restricciones para que el viajero pueda escoger el paquete turístico que más le convenga y posteriormente podamos modelar el recorrido óptimo dependiendo de sus especificaciones.

Ciudad de visita: Guadalajara

Presupuesto: \$ 5 000

Días de vacaciones: 2 días

Origen

The Westin Guadalajara

Dirección: Avenida de Las Rosas 2911, Guadalajara, JAL, 44530. Precio por noche: \$1600

Destino: Mismo lugar de origen

Método de transporte: Automóvil rentado

Lugares turísticos obligatorios

- Tequila Tres Mujeres
- Ajijic
- Tlaquepaque
- Bosque Los Colomos
- Zoológico Guadalajara
- Acuario Michin
- Cascada Los Azules Tequila
- Ribera De Chapala
- Mazamitla

- Museo de Cera
- MUSA Museo de las Artes Universidad de Guadalajara
- Museo Panteón de Belén
- Rotonda de los Jaliscienses Ilustres
- Hospicio Cabañas
- Mercado Libertad - San Juan de Dios
- Teatro Degollado
- Catedral de Guadalajara
- Palacio de Gobierno del Estado de Jalisco
- Plaza Tapatía
- Plaza de Armas

Archivo de datos

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Qh90FWJ0DVruDPfZ4-xCK_cd-5ZTeTT/edit?usp=sharing&ouid=109685675397914231276&rtpof=true&sd=true

Datos

i	Lugar	Costo Fijo	r(i)	Abre	Cierra	b(i)
1	HOTEL	1600	999	24 hrs		0
2	Tequila Tres Mujeres	70	480	8:30	17:30	10
3	Ajijic	0	480	24 hrs		10
4	Tlaquepaque	0	420	24 hrs		6
5	Bosque Los Colomos	0	180	7:00	19:30	5
6	Zoológico Guadalajara	120	360	10:00	18:00	10
7	Acuario Michin	249	90	11:00	18:00	5
8	Cascada Los Azules Tequila	0	205	24 hrs		9
9	Ribera De Chapala	0	200	24 hrs		10
10	Mazamitla	0	300	24 hrs		6
11	Museo de Cera	110	60	11:00	20:00	4
12	MUSA	0	50	10:00	18:00	5
13	Museo Panteón de Belén	31	60	10	14	4
14	Rotonda de los Jaliscienses Ilustres	0	35	24 hrs		6
15	Hospicio Cabañas	80	60	10	17	8
16	Mercado Libertad	0	150	8:00	20:00	7
17	Teatro Degollado	50	150	10:00	20:00	8
18	Catedral de Guadalajara	0	45	9:00	18:00	8
19	Palacio de Gobierno	0	45	9:00	17:00	7
20	Plaza Tapatía	0	35	10:00	19:00	8
21	Plaza de Armas	0	30	24 hrs		8

Tabla 1.1: Tabulación con parámetros de costos fijos, tiempo de recorrido
y felicidad

Formulación Matemática

Modelo 1

Tomando las 20 ubicaciones turísticas y el hotel formulamos el primer modelo sin incluir restricciones de tiempo, distancia, días ni tiempos de apertura.

Modelo matemático: TSP - Problema del viajante

Conjuntos

$$i \in V : 1, 2, \dots, n$$

$$i = j$$

- n : número de nodos (lugares turísticos)

- $A(i, j)$ $i \in V, j \in V$, arcos

Parámetros

- T_{ij} Costo en tiempo de ir de i a j (tiempo en minutos)

- r_i Tiempo de recorrido en el lugar i

Variables

- X_{ij} variable binaria para saber si se tomó la ruta de i a j

- X_{ij} , igual a 1 si se asigna $A(i, j)$, igual a 0 en otro caso

Restricciones

- R1:

$$\sum_j^n X_{ij} = 1, \forall i \neq j \in V$$

- R2:

$$\sum_i^n X_{ij} = 1, \forall j \neq i \in V$$

- R3:

$$U_i - U_j + nX_{ij} \leq n - 1, \forall i, j, 2 \leq i \neq j \leq n$$

Función objetivo

Minimizar el tiempo total de recorrido para visitar todos los puntos de in-

terés.

$$\min \sum_i^n \sum_j^n X_{ij} * (T_{ij} + r(i))$$

Resultados preliminares

Ruta: 1 – 12 – 11 – 21 – 19 – 17 – 20 – 18 – 16 – 15 – 14 – 13 – 7 – 6 – 5 – 2 – 8 – 10 – 3 – 9 – 4… 1

Costo: 4948 minutos en auto

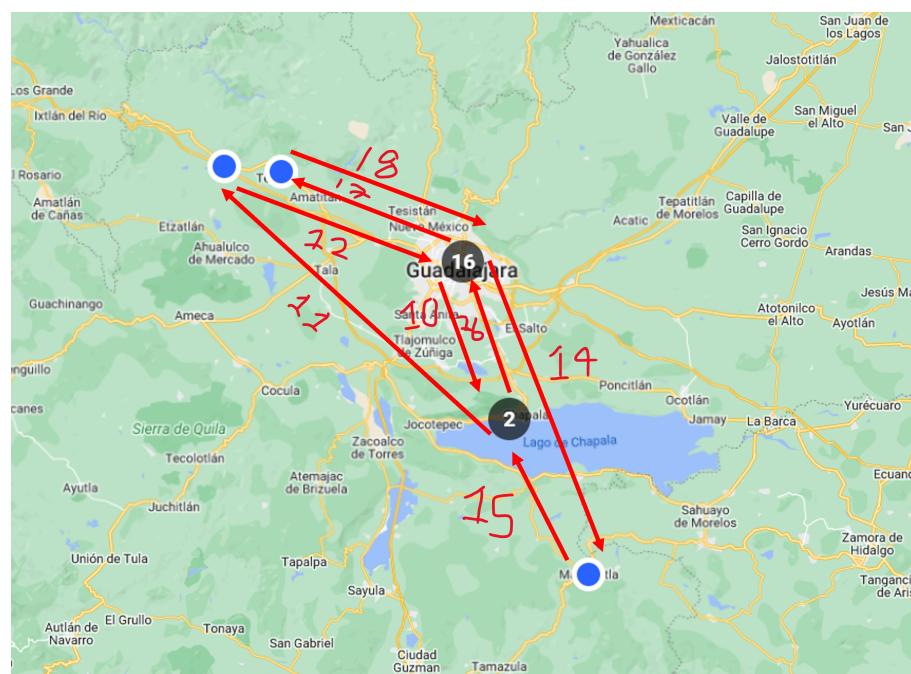


Figure 1: Representación visual de la ruta continua hecha con TSP. Los caminos que no se visualizan están dentro de los nodos más grandes

Modelo 2

Tomando las 20 ubicaciones turísticas y el hotel formulamos el segundo modelo tomando en cuenta las restricciones de tiempo. Sin embargo, no tomaremos en cuenta las restricciones de horarios.

Modelo matemático: Problema de enrutamiento de vehículos capacitados (CVRP)

Conjuntos

$$i \in V : 1, 2, \dots, n$$

$$i = j = h$$

- n : número de nodos (lugares turísticos)
- $A(i, j)$ $i \in V, j \in V$, arcos

Parámetros

- T_{ij} = tiempo en minutos para llegar de i a j
- d_{ij} = duración de la visita en el lugar j
- T_{max} = tiempo máximo para visitar los lugares
- D_{ij} = distancia entre nodo i y j
- o_i = variable binaria, 1 si es obligatorio ir al lugar, 0 si no lo es.
- p_{ij} = precio fijo de ir a ese lugar (costos de entrada)
- Pr = presupuesto
- S = nodo origen
- D = nodo destino

Variables

- X_{ij} = variable binaria para saber si se tomó la ruta de i a j
- X_{ij} , igual a 1 si se asigna $A(i, j)$ igual a 0 en otro caso
- T_j = tiempo en el nodo j

Restricciones

- R1:

$$X_{ij} = 0, \forall i, j, i = j$$

- R2:

$$\sum_j^n X_{ij} = 1, \forall i, i = S$$

- R3:

$$\sum_i^n X_{ij} = 1, \forall j, j = D$$

- R4:

$$\sum_i^n X_{ij} = \sum_h^n X_{jh}, \forall j, j \neq S \text{ and } j \neq D$$

- R5:

$$T_j = 0, \forall j, j = S$$

- R6:

$$T_j = \sum_i^n X_{ij} * (T_i + T_{ij}), \forall j, j \neq S$$

- R7:

$$\sum_i^n \sum_j^n X_{ij} * (T_{ij} + d_{ij}) \geq T_{max}$$

- R8:

$$\sum_i^n \sum_j^n X_{ij} * (T_{ij} + d_{ij}) \leq T_{max} + 90$$

- R9:

$$\sum_i^n X_{ij} \geq o_i, \forall j, j \neq D$$

- R10:

$$\sum_i^n \sum_j^n X_{ij} * (p_{ij} + (D_{ij}/10) * 22) \leq Pr$$

- R11:

$$\sum_i^n X_{ij} \leq 1, \forall j, j \neq D$$

Función objetivo

Minimizar el costo (el tiempo de traslado):

$$\min \sum_i^n \sum_j^n X_{ij} * (T_{ij} + d_{ij})$$

Resultados preliminares

- Ruta dia 1:

Día 1: 1 - 16 - 11 - 17 - 18 - 20 - 15 - 13 - 14 - 12 - 1

Tiempo: 720 minutos en auto

Costo: \$ 1901.8

- Ruta dia 2:

Día 2: 1 - 19 - 2 - 21 - 1

Tiempo: 721 minutos en auto

Costo: \$ 1889.12

Costo Total: \$ 3790.92

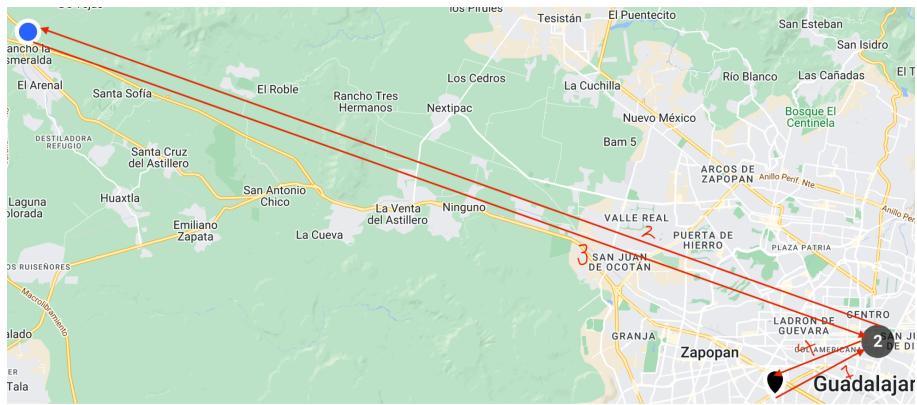


Figure 2: Representación visual de la ruta modelada con CVRP

Modelo 3

Tomando en cuenta 10 ubicaciones turísticas y el hotel formulamos el tercer modelo tomando en cuenta la tabla de satisfacción de los lugares seleccionados, y se tomo en cuenta el conjunto de días. Sin embargo, no tomaremos en cuenta las restricciones de horarios.

Modelo matemático: Problema de enrutamiento de vehículos capacitados múltiple (CVRP)

Conjuntos

$$i \in V : 1, 2, \dots, n \quad i = j = h$$

$$r \in R : 1, 2, \dots, k$$

- n : número de nodos (lugares turísticos)

- $A(i, j)$ $i \in V, j \in V$, arcos

- r : número de días de vacaciones

Parámetros

- T_{ij} = tiempo en minutos para llegar de i a j

- d_{ij} = duración de la visita en el lugar j

- T_{max} = tiempo máximo para visitar los lugares

- D_{ij} = distancia entre nodo i y j

- o_i = variable binaria, 1 si es obligatorio ir al lugar, 0 si no lo es.

- p_{ij} = precio fijo de ir a ese lugar (costos de entrada)

- Pr = presupuesto

- v = días de vacaciones

- S = nodo origen

- D = nodo destino

VARIABLES

- X_{ijr} = variable binaria para saber si se tomó la ruta de i a j en el día r

- X_{ijr} , igual a 1 si se asigna $A(i, j)$ en el día r , igual a 0 en otro caso

- t_{jr} = tiempo en el nodo j

Restricciones

- R1:

$$X_{ijr} = 0, \forall i, j, r, i = j$$

- R2:

$$\sum_j^n X_{ijr} = 1, \forall i, r, i = S$$

- R3:

$$\sum_i^n X_{ijr} = 1, \forall j, r, j = D$$

- R4:

$$\sum_i^n X_{ijr} = \sum_h^n X_{jhr}, \forall j, r, j \neq S \text{ and } j \neq D$$

- R5:

$$t_{jr} = 0, \forall j, r, j = S$$

- R6:

$$t_{jr} = \sum_i^n X_{ijr} * (t_{ir} + T_{ij}), \forall j, r, j \neq S$$

- R7:

$$\sum_i^n \sum_j^n \sum_r^n X_{ijr} * (T_{ij} + d_{ij}) \geq T_{max} * v$$

- R8:

$$\sum_i^n \sum_j^n \sum_r^n X_{ijr} * (T_{ij} + d_{ij})) \leq (T_{max} + 90) * v$$

- R9:

$$\sum_i^n X_{ijr} \geq o_i, \forall j, j \neq D$$

- R10:

$$\sum_i^n \sum_r^n X_{ijr} \leq 1, \forall j, j \neq D$$

- R11:

$$\sum_i^n \sum_j^n \sum_r^n X_{ijr} * (p_{ij} + (D_{ij}/10) * 22) \leq Pr$$

Función objetivo

Minimizar el costo (el tiempo de traslado):

$$\min \sum_i^n \sum_j^n \sum_r^n X_{ijr} * (T_{ij} + d_{ij})$$

Resultados preliminares

Día 1: 1 - 12 - 14 - 6 - 16 - 11 - 18 - 15 - 1

Día 2: 1 - 19 - 17 - 13 - 2 - 21

Tiempo: 1440 minutos en auto

Costo: \$ 3974.03



Figure 3: Representación visual de la ruta modelada con CVRP Múltiple

*Nota: En la representaciones visuales todos los nodos son puntos azules, los círculos negros representan la cantidad de nodos en un área pequeña que no se puede visualizar al completo por la escala del mapa, los números en las flechas

siginifican el orden en el que se hace cada traslado, se omiten los trasladados que se realizan entre nodos que están aglomerados en un círculo negro

Experimentación y resultados

Utilizando un equipo de cómputo con las siguientes características se ejecutó la formulación matemática previa usando técnicas de programación con el objetivo de probar su alcance y efectividad con distintas cantidades de nodos:

Características de la PC

- Modelo de la PC
 - MacBook Air
- Sistema Operativo
 - macOS Ventura 13.3.1 (a) (22E772610a)
- Capacidad de disco duro
 - 245.11 GB
- Memoria Ram y capacidad
 - 8 GB
- Tipo de procesador
 - Apple M2
- Número de núcleos
 - CPU de 8 núcleos
- Software utilizado y versión

o GAMS · Studio · 1.13.5

Resultados

Se hicieron diferentes pruebas con el modelo CVRP múltiple, en el que se probaron tres grupos con cantidades distintas de nodos, siendo uno de tamaño pequeño, otro mediano y el último grande, en las diferentes tablas (2.1,2.2 y 2.3) se pueden observar los parámetros y los resultados de rendimiento obtenidas con los grupos respectivos (1,2 y 3).

Especificaciones sobre los tamaños de problema

- Pequeño
 - o Número de nodos = 5
 - o Número de puntos turísticos = 5
 - o Número de variables consideradas = 3
- Mediano
 - o Número de nodos = 10
 - o Número de puntos turísticos = 10
 - o Número de variables consideradas = 3
- Grande
 - o Número de nodos = 21
 - o Número de puntos turísticos = 21
 - o Número de variables consideradas = 3

Grupo pequeño (5 nodos)							
Caso	Nodos obligatorios	Tiempo disponible por día	Días disponibles	Presupuesto utilizado	F.O	Tiempo de procesamiento	Rutas
1	-	720	2	3497.92	1538	0:00:00.221	Día 1: 1-4-1 Día 2: 1-2-1
2	-	720	3	5349.38	2377	0:00:00.215	Día 1: 1-2-1 Día 2: 1-3-1 Día 3: 1-4-1
3	-	420	2	3711.54	1034	0:00:00.204	Día 1: 1-2-1 Día 2: 1-3-1
4	2,3,4	520	2	3735.3	1235	0:00:00.126	Día 1: 1-2-4-1 Día 2: 1-3-1
5	2,3,4	720	2	-	-	-	Integer infeasible.

Tabla 2.1: Tabulación con resultados de un grupo pequeño de nodos

Grupo mediano (10 nodos)							
Caso	Nodos obligatorios	Tiempo disponible por día	Días disponibles	Presupuesto utilizado	F.O	Tiempo de procesamiento	Rutas
1	-	720	2	4070.06	1440	0:00:01.112	Día 1: 1-3-7-6-4-1. Día 2: 1-8-1
2	-	720	3	6066.2	2160	0:00:00.569	Día 1: 1-5-1 Día 2: 1-3-8-1 Día 3: 1-7-2-6-1
3	2,6,7,8	720	3	6079.18	2160	0:00:01.070	Día 1: 1-2-7-3-5-10 Día 2: 1-8-1 Día 3: 1-6-1
4	2,6,7,8	720	2	4108.6	1456	0:00:00.484	Día 1: 1-8-7-2-4-1 Día 2: 1-6-1
5	6,7,8	420	2	3844.78	976	0:00:00.508	Día 1: 1-8-7-4-1 Día 2: 1-6-1

Tabla 2.2: Tabulación con resultados de un grupo mediano de nodos

Grupo grande (21 nodos)							
Caso	Nodos obligatorios	Tiempo disponible por día	Días disponibles	Presupuesto utilizado	F.O	Tiempo de procesamiento	Rutas
1	-	720	2	3576.68	1440	0:00:03.073	Día 1: 1-13-12-11-16-1 Día 2: 1-3-9-19-11
2	-	720	3	-	-	0:00:00.076	*** The model exceeds the demo license limits ***
3	2,3,4,5	720	2	3864.54	1634	0:00:00.179	Día 1: 1-3-1 Día 2: 1-2-5-4-1
4	7,11,18,20	720	2	4407.32	1440	0:00:03.671	Día 1: 1-10-15-18-19-1 Día 2: 1-7-12-11-11-8-20-16-14-1
5	7,11,18,20	420	2	3340.62	840	0:00:00.664	Día 1: 1-20-12-19-18-1 Día 2: 1-7-11-16-1

Tabla 2.3: Tabulación con resultados de un grupo grande de nodos

Como se pudo observar en los resultados de cada una de las pruebas, la calidad de la solución se modificaba severamente por la muestra de nodos a la que fue expuesta, esto se debe a que la matriz de costos se modifica drásticamente con cada cambio y por la capacidad de cómputo del software gratuito de GAMS utilizado, lo verdaderamente interesante de la variedad de parámetros en las pruebas es que retornan rutas que se ajustan a las necesidades del cliente, lo cual indica que la formulación matemática es correcta bajo los límites propuestos.

Conclusiones

Después de caracterizar el problema de trazo de rutas turísticas de forma óptima se llegó a materializar un modelo matemático bastante consistente para futuras pruebas de agencias turísticas que deseen aplicar el algoritmo para planear viajes en ciudades que tengan sus localizaciones turísticas y tiempos de recorrido actualizados en el internet, aplicando los parámetros de sus clientes y los puntos de interés adecuados.

No obstante, la propuesta diseñada en el reporte podría extenderse para posiblemente cubrir las ventanas de tiempo para los lugares turísticos o tomar en cuenta la satisfacción esperada del usuario al visitar cada nodo o añadir la predicción del clima para la fecha específica, incluir viajes al baño, traslados a restaurantes u otras necesidades básicas, todo esto con el objetivo de enriquecer el modelo y ofrecer una opción óptima más completa para realizar un viaje totalmente planeado.

Bibliografía

Anexo

Enlace a carpeta de drive con los datos utilizados y los archivos GAMS para calcular los resultados:

<https://drive.google.com/drive/folders/1uqvSON10mvTFg9KdjRtsPSc0PA8yeXs2?usp=sharing>

References

- [1] Que es Optimizacion de Ruta? — Verizon Connect México.
- [2] A Babii and S Nadeem. El turismo en el mundo tras la pandemia, 2 2021.
- [3] J Brito. Optimización de rutas turísticas, 3 2020.
- [4] Rosa Castellnou. Nuevas estrategias de control de gastos de viaje para tu empresa, 2019.
- [5] Francisco Cepeda. Sube derrama turística 511 2023.
- [6] D Chacon. Plan estratégico de mercadeo para la agencia de viajes Qué Tours en la ciudad de Cali para el año 2018, 2018.
- [7] Secretaría de turismo. PLANEACIÓN Y GESTIÓN DEL DESARROLLO TURÍSTICO MUNICIPAL., 2003.
- [8] L Flores. Turismo de Nuevo León captó 65,000 millones de pesos por viajeros hospedados de 2015 a 2021: Miguel Cantú. 9 2021.
- [9] Nirvana Gonzalez. ¡Estos son los 6 destinos más visitados de México del 2022! *México Desconocido*, 12 2022.

- [10] Maria Gracia, J Mar-Ortiz, and O Laureano-Casanova. Análisis computacional de los problemas del vendedor viajero y patrones de corte. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 16(1):59–70, 2015.
- [11] Fátima Herrera. Cómo planificar un viaje en 10 pasos, 3 2023.
- [12] Joseph S. B. Mitchell. *Geometric Shortest Paths and Network Optimization*. Elsevier BV, 1 2000.
- [13] C Servytur. Concanaco Servytur - PIB turístico de México sube un 12,2 interanual en tercer trimestre de 2022., 2023.
- [14] Concanaco Servytur. Concanaco Servytur - LA DERRAMA ECONÓMICA POR TURISMO EN MÉXICO SUPERNA LOS NIVELES PREPANDEMIA, 2022.
- [15] Simpliroute. ¿Qué es el Travelling Salesman Problem (TSP) y cómo solucionarlo?, 2021.
- [16] Veronica. 16 tips que te ayudarán a planificar tu viaje paso a paso, 9 2022.
- [17] Samuel Fernando Ávila. Solución de problemas de ruteo de vehículos capacitados (cvrp) y con ventanas de tiempo (cvrptw) utilizando ilog dispatcher, 2005.