

OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE VIAJES TURÍSTICOS

Optimización Determinista MA2001B.201

Hernández Franco Donnet Emmanuel

A01352049

Montes Raygoza Juan José

A00834630

Monzón Terrazas Pablo

A01562619

Muñoz Hernández Jesús Marco

A01721819

RESUMEN

Este artículo se enfoca en abordar uno de los grandes retos en la planificación de viajes, específicamente en el turismo en Nayarit. El objetivo principal es encontrar rutas turísticas que proporcionen la mayor satisfacción a los visitantes, teniendo en cuenta las características que más valoran los turistas.

Se busca utilizar métodos de optimización que pueden maximizar los recursos turísticos y proporcionar una experiencia más satisfactoria para los visitantes. Además, se discuten las posibles limitaciones de estos métodos y se destacan las consideraciones importantes en la optimización turística, principalmente el tiempo.

Para alcanzar este objetivo, se utilizan métodos de optimización como el TSP y métodos heurísticos relacionados, comparando la calidad de los modelos resultantes. Además, se hace hincapié en los diferentes retos que surgen en la aplicación de estos métodos, como el tiempo computacional, que puede limitar el número de nodos que se pueden utilizar en la optimización.

CONCEPTOS CCS

- Python
- Excel.

PALABRAS CLAVE

Turismo, Optimización, Heurístico, TSP.

1 - INTRODUCCIÓN

México es un país reconocido mundialmente por su rica cultura, historia, gastronomía, paisajes

naturales y playas paradisíacas, lo que lo convierte en uno de los destinos turísticos más populares del mundo. En 2022,

México recibió más de 38.3 millones de turistas internacionales, generando un ingreso de más de 18 mil millones de dólares en divisas. Además, el turismo local también es una fuente importante de ingresos para la economía mexicana [1].

El turismo contribuye significativamente a la economía de México, representando aproximadamente el 8.3% del PIB del país. Además, el sector turístico emplea a más de 4 millones de personas, lo que equivale a casi el 9% de la fuerza laboral de México [2].

Los destinos turísticos más populares en México incluyen Cancún, la Riviera Maya, Los Cabos, Puerto Vallarta, la Ciudad de México, Acapulco y Mazatlán. Estos lugares atraen a turistas por sus playas de aguas cristalinas, arquitectura histórica, entretenimiento nocturno y una amplia variedad de actividades al aire libre [3].

2 - PROBLEMA Y OBJETIVO

Planificar un viaje puede ser una tarea difícil para muchos clientes, especialmente cuando se enfrentan a problemas como el presupuesto limitado, la disponibilidad de alojamiento y transporte en temporada alta, y la planificación ineficiente de itinerarios.

Para abordar estos desafíos, el objetivo es desarrollar un modelo de optimización utilizando

tecnología innovadora. Una de las soluciones propuestas es el uso de aplicaciones móviles y sitios web que permitan a los clientes buscar y comparar precios de alojamiento y transporte de manera fácil y rápida. Esto les permitiría encontrar las opciones más asequibles en tiempo real y planificar su viaje de acuerdo a sus necesidades.

Además, se pueden ofrecer paquetes de viaje personalizados que incluyan recomendaciones de lugares para visitar y un itinerario detallado. De esta manera, los clientes pueden aprovechar al máximo su tiempo de viaje sin preocuparse por la planificación.

3 - ANÁLISIS DE LITERATURA

La investigación sobre las preferencias y restricciones en la planificación turística en México muestra que los turistas valoran destinos con rica historia, gastronomía y cultura, así como hermosas playas [5]. Las restricciones más comunes incluyen el costo del viaje, la seguridad y la accesibilidad a los destinos, especialmente en áreas rurales. También se identifica la falta de infraestructura turística y servicios adecuados, la falta de información y promoción adecuada, así como las barreras culturales y lingüísticas como restricciones importantes para el desarrollo turístico en México [6].

Existen diversas estrategias y modelos para planificar rutas de viajes turísticos. Entre ellos, destacan el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y algoritmos de optimización de rutas, como la empresa "Routive" en Guadalajara [11]. También se pueden emplear técnicas de inteligencia artificial, como el aprendizaje automático, como el sitio web "VisitMexico" [12]. Otra forma es la colaboración entre turistas y locales, como la iniciativa "Guía Loca" en Oaxaca. Además, se pueden ofrecer paquetes turísticos todo incluido como el "Todo Incluido Riviera Maya" de la agencia de viajes "Expedia" [14]

4 - PROBLEMA ESPECÍFICO

El problema específico que se aborda en este trabajo es la optimización de la experiencia turística en el estado de Nayarit, México. Dado que Nayarit cuenta con una gran cantidad de playas, riqueza gastronómica y paraísos naturales, es un reto para los turistas locales y

extranjeros planear una ruta que les permita conocer la mayor cantidad de lugares en el menor tiempo posible y minimizar los costos de dicha ruta, maximizando su grado de satisfacción. El objetivo es modelar el problema de tal manera que se minimice el costo total de visitar los 10 principales lugares turísticos y probar la gastronomía en cada uno de ellos. Esto permitiría mejorar la experiencia del turista y aumentar la probabilidad de una próxima visita al estado de Nayarit. Para lograr este objetivo, se utilizarán técnicas de investigación de operaciones y optimización.



Figura 1: Puntos turísticos de Nayarit. (SECTUR, 2019)

Los lugares específicos a abordar se encuentran en la lista: Tepic, La Laguna, Sayulita, San Blas, Compostela, Punta de Mita, Mexcaltitán, Jala, La Tovar y Rincón de Guayabitos.

5 - MODELO MATEMÁTICO

Para solucionar esta problemática, se aplicará un algoritmo de redes que permita maximizar la experiencia turística y minimizar el tiempo de traslado entre los puntos de interés, regresando al punto de origen (ya sea el hotel o el lugar de hospedaje). Para ello, se utilizarán dos algoritmos: en primer lugar, se empleará el método heurístico "El vecino más cercano". Posteriormente, se aplicará el algoritmo del "Agente Viajero (TSP)".

5.1 - EL VECINO MÁS CERCANO

El método heurístico "El vecino más cercano" es una estrategia para resolver problemas de optimización, como la planificación de rutas turísticas. Consiste en seleccionar el punto más cercano al punto de partida y, a continuación, seleccionar el punto más cercano a ese

punto, y así sucesivamente, hasta que se visiten todos los puntos deseados. La ecuación se resume en:

5.2 – TSP

El Problema del Agente Viajero (TSP) es un problema de optimización combinatoria que busca encontrar la ruta más corta que visite un conjunto de ciudades y regrese al punto de partida. Se puede representar como un grafo completo no dirigido, donde los nodos son las ciudades y las aristas son las distancias entre ellas. El objetivo es encontrar un ciclo hamiltoniano de longitud mínima que visite todos los nodos del grafo.

Para ambos casos la cantidad de rutas posibles se obtiene mediante permutaciones, determinada por la ecuación:

$$(n - 1)! \quad (1)$$

Donde n es el número de nodos.

Dicho lo anterior el modelo se podrá basar en el siguiente enunciado y los supuestos que ahí se plantean.

“Un turista tiene la intención de visitar 10 lugares turísticos en el estado de Nayarit, que se muestran en la tabla inferior y la distancia entre lugares; durante un fin de semana (sábado y domingo), desea maximizar su experiencia turística minimizando el tiempo de viaje, suponiendo que siempre se encuentra en una velocidad constante de 100 km/h. El turista partirá de la ciudad de Tepic y visitará cada lugar solo una vez. Además, se busca que el turista permanezca dos horas en cada lugar para tomar fotografías, comer, caminar en las calles etc. Teniendo en consideración que todos los lugares permanecen abiertos desde las 7:00 A.M a 22:00 P.M; y regrese a Tepic al final de cada día. Se requiere encontrar la ruta más corta posible para visitar los lugares turísticos en dos días invirtiendo el menor tiempo posible.”

	Distancia									
	Tepic	Laguna	Sayulita	San Blas	Compostela	Punta mita	Mexcattan	Jala	La Isabela	Ricon de guayabitos
Tepic	0	53.6	134	53.6	44.3	150	113	56	48.1	102
Laguna	53.6	0	161	105	71.8	185	164	57.5	59.4	125
Sayulita	134	161	0	119	91.6	17.3	241	165	114	30.6
San Blas	53.6	105	119	0	36	148	123	129	5.9	87.9
Compostela	44.3	71.8	91.6	36	0	119	149	76.4	84.5	59.4
Punta mita	150	185	17.3	148	119	0	267	192	140	53
Mexcattan	113	164	241	123	149	267	0	184	119	212
Jala	56	57.5	165	129	76.4	192	184	0	123	134
La Isabela	48.1	59.4	114	5.9	84.5	140	119	123	0	82.5
Ricon de guayabitos	102	125	30.6	87.9	59.4	53	212	134	82.5	0

Figura 2: Tabla de distancia entre ciudades. (Ver en anexos)

Es importante recalcar que este planteamiento es un caso particular para la investigación, pero que el modelo planteado será funcional para cualquier subconjunto de lugares que el turista desee visitar.

5.3 – DEFINICIÓN DE CONJUNTOS.

Al tratarse de un problema de redes, se utilizan conjuntos para representar a las ciudades donde:

$i = 0, 1, 2, \dots, n$. Nodo de origen de la red

$j = 0, 1, 2, \dots, n$. Nodo de destino de la red

De igual forma los caminos serán representados a manera de arcos, por lo cual el conjunto es:

$A \in (i, j)$. Arcos que unen los nodos, no dirigidos.

5.4 – DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

$C_{i,j}$: Costo del arco basado en el costo de traslado.

5.5 - DEFINICIÓN DE VARIABLES

$x_{i,j} \in \{0, 1\}$ si se usa el arco. 0 si no se usa el arco.

$u_{i,j}$: Variable artificial que hace referencia al número de paso en el que se visita el nodo i o j .

$$u_i \in \mathbb{Z} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

5.6 – PLANTEAMIENTO DEL MODELO

Función objetivo:

$$\min Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

Restricciones:

$$\sum_{i=0, i \neq j}^n x_{ij} = 1 \quad j = 0, 1, 2, \dots, n; \quad (3)$$

$$\sum_{j=0, j \neq i}^n x_{ij} = 1 \quad i = 0, 1, 2, \dots, n; \quad (4)$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad 1 \leq i \neq j \leq n; \quad (5)$$

6 – RESULTADOS ESPECÍFICOS

Bajo un modelo de clustering de K Means se seleccionaron 2 subconjuntos de ciudades, uno para visitar cada día. Aunque como ya fue mencionado el modelo es flexible para cualquier subconjunto que el turista desee visitar, esta selección fue bajo la suposición que el turista desee visitar todos los lugares, lo cual sería funcional ya que los grupos fueron hechos en base a la ubicación geográfica de cada lugar.

	Municipio	Longitud (x)	Latitud (y)	Cluster
0	Tepic	-104.8938	21.5079	1
1	Laguna de Nayarit	-105.2289	21.4179	1
2	Sayulita	-105.4417	20.8681	0
3	San Blas	-105.2769	21.5453	1
4	Compostela	-105.1922	21.2347	0
5	Punta de Mita	-105.4633	20.7725	0
6	Mexcatitán	-105.2439	22.0431	1
7	Jala	-104.7972	21.0164	0
8	La Tovar	-105.2814	21.5364	1
9	Rincón de Guayabitos	-105.2778	21.0294	0

Figura 3: Output de K-Means.

El método heurístico fue resuelto analíticamente en Excel, mientras que el modelo de TSP fue desarrollado en Python.

Figura 4: Script del modelo en python (Ver script en anexos)

En base a los grupos definidos anteriormente se aplicó el método heurístico, y el resultado para cada uno de los dos días en tiempo fue de 11.95 horas bajo la ruta Tepic – Laguna – La Tovar – San Blas – Mexcatitán – Tepic. Mientras que para el segundo día se obtuvo la ruta Tepic – Compostela – Jala – Rincón de Guayabitos – Sayulita – Punta de Mita – Tepic, con un total de 14.52 horas de tiempo invertido.

Ruta 1	Laguna	La tovara	Mexcatitan	Tepic	San Blas
Tepic	53.6	48.1	113	0	53.6
Laguna	0	99.4	164	53.6	105
San Blas	105	5.9	123	53.6	0
Mexcatitan	164	119	0	113	123
La tovara	99.4	0	119	48.1	5.9

Ruta 2	Compostela	Punta mita	Jala	Tepic	Ricon de guayabitos	Sayulita
Tepic	44.3	162	56	0	102	134
Sayulita	91.6	17.3	165	134	30.6	0
Compostela	0	119	78.4	44.3	59.4	91.6
Punta mita	119	0	192	162	53	17.3
Jala	76.4	192	0	56	134	165
Ricon de guayabitos	59.4	53	134	102	0	30.6

Figura 5: Tablas de trayectos del método heurístico.

Ahora, para el método TSP los resultados obtenidos para la ruta 1 fueron exactamente iguales a los obtenidos en el método heurístico, sin embargo, para la ruta número dos el tiempo total fue de 13.89 horas con la trayectoria Tepic – Compostela – Jala – Rincón de Guayabitos, Sayulita – Punta Mita – Tepic.

8 – RESULTADOS EXPERIMENTALES

En esta sesión, se busca evaluar el desempeño del modelo ante diferentes configuraciones de puntos de visita, a fin de comprender su comportamiento en diversas situaciones. Es importante tener en cuenta que uno de los mayores desafíos al trabajar con problemas

```
# Tipo de problema
problem = pulp.LpProblem('tsp_min', pulp.LpMinimize)

# Variables
x = pulp.LpVariable.dicts('x', ((i, j) for i in range(n_point) for j in range(n_point)), lowBound=0, upBound=1, cat='Binary')
# Variable artificial para eliminación de subtours
u = pulp.LpVariable.dicts('u', (i for i in range(n_point)), lowBound=1, upBound=n_point, cat='Integer')

# Funcion objetivo
problem += pulp.lpSum(distances[i][j] * x[i, j] for i in range(n_point) for j in range(n_point))

# Restricciones
for i in range(n_point):
    problem += x[i, i] == 0

for i in range(n_point):
    problem += pulp.lpSum(x[i, j] for j in range(n_point)) == 1
    problem += pulp.lpSum(x[j, i] for j in range(n_point)) == 1

# Eliminación de subtours
for i in range(n_point):
    for j in range(n_point):
        if i != j and (i != 0 and j != 0):
            problem += u[i] - u[j] <= n_point * (1 - x[i, j]) - 1

status = problem.solve()
status, pulp.LpStatus[status], pulp.value(problem.objective)
```

de gran escala es el tiempo de procesamiento, por lo que es crucial optimizar nuestro enfoque.

En nuestro caso, utilizamos una computadora **Lenovo Ideapad 3** con un procesador **Intel Core de décima generación de 4 núcleos**, disco de estado sólido **SSD de 256 GB** y memoria **RAM DDR4 de 8 GB**, con el sistema operativo **Windows 10**. El software utilizado para la ejecución es **Python**, y trabajamos con el IDE de **Google Colab**.

En cuanto al tamaño del problema, se consideró un conjunto de 10 puntos turísticos relevantes en Nayarit. Estos puntos turísticos fueron seleccionados en

base a las estadísticas de la SECTUR como destinos más visitados en el estado. Además, se consideró una sola variable, siendo esta el tiempo de visita. En consecuencia, se definió un problema de TSP con 10 nodos y un total de 1 variable a considerar en la optimización de la ruta turística de las 9! opciones, si se consideran los diez puntos.

No. Nodos	Lugares	Calidad de solución	Tiempo de procesamiento (segundos)
3	2, 4, 8	6.91 hrs	0.001s
6	1, 3, 5, 7, 9, 10	14.80 hrs	0.001s
10	Todos	24.71 hrs	0.001s

Figura 6: Fragmento de la tabla de resultados experimentales (Ver completa en anexos)

En la tabla anterior podemos ver que el tiempo de ejecución no difiere en gran medida para cada conjunto, pero como ya se ha venido mencionando a lo largo de este proyecto; nos encontramos en una situación específica bastante pequeña, solo 10 nodos, por tanto no hay ningún problema para las especificaciones del equipo de procesamiento. Sin embargo, a gran escala tendríamos grandes problemas, pues un método heurístico tendría un gran margen de error, mientras que el TSP al ser un método iterativo tendría que recorrer a través de las cientos o miles de opciones que puedan existir según la cantidad de nodos o los parámetros en consideración.

9 – ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al comparar los resultados del método heurístico con el del TSP, se puede notar que el método TSP arrojó una ruta de menor tiempo total para el día dos (13.89 horas) en comparación con la ruta obtenida con el proceso heurístico, y que para el día uno fue exactamente igual. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el método heurístico no garantiza la obtención de la solución óptima y es posible que haya soluciones aún mejores, sobre todo cuando se trabaja con un gran número de nodos o lugares por visitar, esto por el empate de distancias entre puntos.

Por otro lado, el TSP es un método de optimización que garantiza la obtención de la solución óptima, en este caso, la ruta más corta para visitar los 10 lugares deseados en el menor tiempo posible o según el subconjunto que se desee. A pesar de que el TSP puede requerir un tiempo de procesamiento mayor, puede ser la mejor opción para asegurar la optimización del tiempo total del viaje.

Es importante mencionar que la elección entre el método heurístico y el TSP dependerá de las necesidades y prioridades del usuario. Si se requiere una solución rápida y el tiempo total del viaje no es una prioridad, el método heurístico puede ser una buena opción. Por otro lado, si se busca la solución óptima y se tiene un tiempo de procesamiento suficiente, el TSP puede ser la mejor opción.

10 - CONCLUSIÓN

El turismo es un sector importante de la economía de muchas regiones del mundo, incluyendo Nayarit. Para asegurar el éxito del turismo en una región, es crucial planificar y optimizar la oferta turística para satisfacer las demandas y expectativas de los visitantes. Una de las formas en que se puede mejorar la planificación del turismo es a través de la aplicación de técnicas de optimización.

A lo largo de este proyecto, se ha explorado la aplicación de métodos heurísticos para la optimización del turismo en Nayarit, centrándose en el problema del TSP en el contexto del turismo. Este problema puede ser utilizado para planificar la ruta óptima que los visitantes deben seguir para visitar los puntos turísticos de interés en una región determinada.

Se ha demostrado que la implementación de métodos heurísticos, como el algoritmo del vecino más cercano, puede mejorar significativamente la planificación de rutas turísticas. Estos métodos pueden encontrar soluciones óptimas o aproximadas al problema del TSP en un tiempo razonable, lo que permite una mejor utilización de los recursos turísticos y una experiencia más satisfactoria para los visitantes.

Además de la optimización del TSP, existen otras técnicas que pueden ser aplicadas en el contexto del turismo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la aplicación de métodos heurísticos también tiene limitaciones computacionales, específicamente en este proyecto no atravesamos por esos problemas debido a la baja cantidad de nodos empleados y a los pocos

puntos a considerar. No obstante, al escalar el proyecto y agregar otros parámetros de importancia, como los costos económicos, se puede requerir mayor capacidad computacional.

Es esencial destacar que la aplicación de técnicas de optimización para el turismo debe ser considerada como una herramienta complementaria para mejorar la planificación turística y proporcionar una experiencia más satisfactoria para los visitantes. Es necesario considerar otros factores relevantes, como la sostenibilidad, la accesibilidad y la calidad de los servicios turísticos, para lograr un desarrollo turístico exitoso en la región.

11 – ANEXOS

Conjunto de datos:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1uEF51QvSGLJlg3f6e71kdy5LgJKXPGWw/edit?usp=sharing&oid=106200824084043965507&rtpof=true&sd=true>

Script:

<https://colab.research.google.com/drive/1qSSm74gblA4jBIesDFIEZgN8gD2jylh?usp=sharing>

12 - REFERENCIAS

[1] Secretaría de Turismo de México. (s.f.). Estadísticas de Turismo. Recuperado de <https://www.datatur.sectur.gob.mx/>

[2] Banco de México. (2018). Turismo en México: Balance y Perspectivas. Recuperado de <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/revista-banxico/revista-banxico-numero-14/turismo-en-mexico-balance-y-perspectivas-htm>

[3] Expansión. (2018). Los 10 destinos turísticos más populares de México. Recuperado de <https://expansion.mx/nacional/2018/07/27/los-10-destinos-turisticos-mas-populares-de-mexico>

[4] El Economista. (2019). Impacto económico del turismo en México. Recuperado de <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Impacto-economico-del-turismo-en-Mexico-20190118-0103.html>

[5] González-Ramos, J. R., & Vázquez-Rodríguez, P. I. (2018). Factors influencing international tourist destination choices in Mexico. *Journal of Destination Marketing & Management*, 7, 13-19. Recuperado de

D. Hernández, J. Muñoz, P. Monzón, J. Raygoza.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212571X17300480>

[6] López-Sánchez, J. I. (2019). Turismo y seguridad en México: retos y desafíos. *Estudios fronterizos*, 20(40), 1-15. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-69612019000100001&lng=es&tng=es.

[7] Alcántara-Rodríguez, M. A., & Sánchez-García, R. (2019). Sustainable Tourism and the Challenges of Development in Mexico. *Sustainability*, 11(5), 1356. Recuperado de <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/5/1356>

[8] Vázquez-León, M., Vázquez-Parra, J., & Garza-Rodríguez, R. (2020). The role of social media in tourists' destination choice: A study of Mexican and American tourists. *Journal of Tourism and Hospitality Management*, 8(1), 1-11. Recuperado de <http://www.jthmnet.com/vol-8-no-1-june-2020-abstract-1-jthm>

[9] Álvarez-Bautista, A. G., & Villarreal-González, J. (2021). Tourist Perception and Destination Competitiveness in the Huasteca Potosina Region, Mexico. *Sustainability*, 13(5), 2815. Recuperado de <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/5/2815>

[10] Ramírez-Cadena, M. P., Palomo-Montes, R. M., Vidal-Flores, M. L., & Ramírez-Álvarez, F. G. (2019). Mapa de la Ruta de los Cenotes en Yucatán, México. *Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 17(2), 393-406.

[11] Routive. (2021). Descubre Guadalajara con Routive. Recuperado de <https://routive.com.mx/guadalajara/>

[12] VisitMexico. (2021). VisitMexico. Recuperado de <https://www.visitmexico.com/es/>

[13] Guía Loca. (2021). Guía Loca. Recuperado de <https://www.guialoca.com.mx/>

[14] Expedia. (2021). Paquetes todo incluido Riviera Maya. Recuperado de <https://www.expedia.mx/g/rg/paquetes-vacacionales/todo-incluido-riviera-maya>