



# Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

MA2001B.301  
Optimización determinista

Optimización de planes de viaje turísticos.

Equipo 5:

Kevin Antonio González Díaz - A01338316

Adrián Pineda Sánchez - A00834710

Héctor David Bahena Garza - A01284661

Gonzalo Garza Moreno - A01284950

Sarah Dorado Romo - A01540946

Profesores:

Fernando Elizalde Ramírez

Yadira Isabel Silva Soto

Monterrey, Nuevo León, México. Mayo 2023

# Índice

<b>1. Introducción sobre el turismo en México</b>	<b>2</b>
1.1. Número de visitantes extranjeros y su aporte económico . . . . .	2
1.2. Turismo local y su aporte económico . . . . .	2
1.3. Aporte a la economía de México . . . . .	2
1.4. Principales destinos turísticos de la Ciudad de México . . . . .	2
<b>2. Introducción al problema</b>	<b>3</b>
2.1. Introducción al problema . . . . .	3
2.2. Justificación . . . . .	3
2.3. Objetivo . . . . .	4
2.4. Trabajo relacionado . . . . .	4
2.4.1. Preferencias y restricciones presentes en este tipo de problema . . . .	4
2.4.2. Modelos o formas de resolver el problema de planificación de rutas de viaje turísticas . . . . .	8
<b>3. Definición del problema</b>	<b>11</b>
3.1. Identificación de variables y parámetros . . . . .	11
3.2. Función objetivo a optimizar y restricciones . . . . .	14
<b>Referencias</b>	<b>15</b>

# **1. Introducción sobre el turismo en México**

El turismo en México es una de las actividades con mayor importancia y aporte para la economía del país. México ocupa el sexto lugar de países más visitado en el mundo en el año 2022 según la OMT. Actualmente gran parte del potencial turístico en México se mide por el número de divisas internacionales que ingresan. México también se encontró en una alta posición respecto al número de ingresos por turismo en 2022, ocupando el noveno lugar.[8].

## **1.1. Número de visitantes extranjeros y su aporte económico**

En 2022 se registró que ingresaron al país más de 38 millones 327 mil turistas internacionales. Esto representa un aumento de 20.3 % más visitas que en el 2021.

La suma del ingreso de divisas por parte de turistas extranjeros tiene un total de más de 28 mil 16 millones de dólares para el año 2022. Esto representa un aumento de 41.7 % respecto a la suma del 2021[8].

Esto nos indica que el turismo en México aumenta considerablemente durante los años y tiene un aporte de gran importancia para la economía nacional.

## **1.2. Turismo local y su aporte económico**

La ciudad seleccionada para llevar a cabo este proyecto es la Ciudad de México. Este destino es de suma importancia en el aporte económico turístico además de contar con una gran cantidad de destinos vacacionales.

En el año 2022 los turistas internacionales que visitaron Ciudad de México generaron 1.64 billones de dólares. Mientras que los viajeros domésticos contribuyeron con 12.8 billones de dólares. Esto se refleja en el aumento de 67.5 % respecto a las ganancias del 2021[9].

## **1.3. Aporte a la economía de México**

La Ciudad de México representa una parte importante de la economía mexicana, especialmente en el sector de viajes. Solamente en el año anterior se tuvo una recuperación de 50.2 % respecto a la caída que sufrió este sector durante la pandemia. Con esto contribuyó con un 6.8 % al PIB de la ciudad y el 16 % de todo el país[9].

## **1.4. Principales destinos turísticos de la Ciudad de México**

Algunos de los lugares turísticos más visitados son los siguientes:

- Teotihuacán
- Palacio de Bellas Artes
- Ángel de la Independencia
- Zócalo
- Trajineras de Xochimilco

- Museo de Antropología e Historia
- Basílica de Nuestra Señora de Guadalupe
- Bosque de Chapultepec
- Castillo de Chapultepec
- Museo Soumaya
- Six Flags [10]

## 2. Introducción al problema

### 2.1. Introducción al problema

Uno de los principales problemas que enfrentan los turistas en México al llegar a un destino es la organización de sus actividades durante su estancia. Los turistas suelen desconocer cómo desplazarse dentro del área y qué lugares pueden ser de interés, además de tener preferencias y restricciones personales, como limitaciones económicas y tiempo disponible para el viaje.

Para abordar este problema, se propone el desarrollo de un modelo matemático o computacional que permita a los turistas planificar su día a día durante su estancia. Este modelo sugeriría recorridos basados en los puntos de interés propuestos por el turista, teniendo un lugar como punto de partida y de finalización del recorrido. Se deben tener en cuenta las diversas restricciones y preferencias propias de cada turista para lograr una planificación adecuada. Se busca desarrollar un algoritmo que pueda asignar itinerarios de viaje a los turistas con la meta de mejorar la eficiencia de los tiempos de desplazamiento, reducir los gastos relacionados y minimizar tanto el congestionamiento vehicular como la emisión de sustancias contaminantes en las ciudades.

### 2.2. Justificación

La optimización de planes de viaje turísticos es una problemática importante en el contexto actual debido al crecimiento del turismo a nivel mundial y el impacto económico que genera. Con la reducción de costos y el aumento de la conectividad, cada vez más personas visitan zonas turísticas, incluyendo destinos populares en México. Sin embargo, los turistas se enfrentan a desafíos al organizar sus actividades una vez que llegan al lugar de visita.

Uno de los problemas principales es la falta de conocimiento sobre cómo moverse dentro del área turística y qué lugares visitar, más allá de los atractivos principales conocidos. Los turistas pueden tener preferencias y restricciones personales, como limitaciones económicas y tiempo limitado para su viaje. Además, la pandemia mundial ha generado un mayor interés en la optimización de los tiempos de recorrido, la reducción de costos asociados y la disminución de la congestión del tráfico y las emisiones de contaminantes en las ciudades turísticas.

Por lo tanto, se plantea la necesidad de desarrollar un modelo matemático o computacional que permita a los turistas planificar eficientemente su itinerario diario durante su estancia. El objetivo es proporcionar recomendaciones de recorridos basados en los puntos de interés propuestos por el turista, teniendo en cuenta restricciones y preferencias específicas.

El desarrollo de un algoritmo que aborde esta problemática puede tener múltiples beneficios. En primer lugar, facilitaría a los turistas la planificación de sus actividades, permitiéndoles aprovechar al máximo su tiempo y recursos disponibles. Esto mejoraría su experiencia de viaje y aumentaría la satisfacción del turista.

Además, un algoritmo de optimización de planes de viaje turísticos podría tener un impacto positivo en la economía local y el sector turístico en general. Al proporcionar recomendaciones de recorridos eficientes, se promovería una distribución más equitativa de visitantes en diferentes lugares de interés, evitando la saturación en algunos puntos y fomentando la exploración de otras atracciones menos conocidas pero igualmente relevantes. Esto podría impulsar el desarrollo de áreas turísticas menos concurridas y diversificar la oferta turística.

En términos de sostenibilidad, un algoritmo de optimización de rutas de viaje también contribuiría a reducir el tráfico y las emisiones de contaminantes en las ciudades turísticas. Al proporcionar rutas más eficientes, se minimizaría el tiempo de viaje y la congestión del tráfico, lo que daría como resultado una menor emisión de gases de efecto invernadero y una mejora en la calidad del aire.

## **2.3. Objetivo**

Desarrollar un algoritmo que pueda asignar rutas de viaje a los turistas con el propósito de optimizar ciertos aspectos relacionados con su experiencia de viaje. Uno de estos aspectos es optimizar los tiempos de recorrido, en donde el algoritmo buscará encontrar las rutas más eficientes para los turistas, considerando factores como la distancia, el tráfico y la congestión en las ciudades. El objetivo es minimizar los tiempos de desplazamiento, permitiendo que los turistas aprovechen al máximo su tiempo y visiten la mayor cantidad de lugares posibles durante su estancia. A su vez debe ser capaz de minimizar los costos asociados, como el transporte, el precio de los boletos o el consumo de combustible.

Otro objetivo importante del proyecto es contribuir a la reducción del tráfico y las emisiones de contaminantes en las ciudades turísticas. El algoritmo buscará distribuir eficientemente el flujo de turistas, evitando congestiones y promoviendo alternativas de transporte más sostenibles, como el uso de transporte público o la promoción de rutas a pie o en bicicleta.

## **2.4. Trabajo relacionado**

### **2.4.1. Preferencias y restricciones presentes en este tipo de problema**

Existen múltiples razones por las cuales los viajeros eligen un destino u otro, pero las tendencias actuales en el turismo sugieren que las variables ambientales están adquiriendo cada vez más importancia en el proceso de toma de decisiones. "Varios estudios indican que la experiencia al consumir alimentos puede ocasionar un impacto en el incremento de forma clave para la satisfacción de los turistas"[1].

Dado el interés de los turistas y su enfoque en disfrutar de entornos naturales intactos [5], se debe tener en cuenta que "la mayoría de los administradores de destinos no comprenden que continúan perjudicándose al permitir un desarrollo sin rumbo que destruye las áreas una vez hermosas que tanto encantaban a los viajeros tipo Venturer"[6]. Por lo tanto, es necesario establecer regulaciones para un crecimiento controlado, con el fin de evitar un desarrollo excesivo que lleve a los turistas más rentables a buscar otros destinos.

En la actualidad, los destinos turísticos ponen gran énfasis en la promoción de su riqueza cultural como parte fundamental de su oferta, con el objetivo de brindar a los visitantes experiencias novedosas durante su estancia. En esta línea, el turismo gastronómico se ha convertido en un recurso de gran valor local [4].

La presencia de variables cualitativas, que están relacionadas con el comportamiento humano o con elementos del entorno externo que son difíciles de medir de manera objetiva, dificulta que los consumidores puedan asignar un valor numérico preciso a la evaluación de los diferentes aspectos de los bienes o servicios que desean adquirir [2]. Ante esta situación, se considera más adecuado expresar las preferencias de los consumidores utilizando valores lingüísticos en lugar de valores numéricos exactos. En lugar de utilizar una escala numérica precisa, se emplean términos lingüísticos como "bueno", "muy bueno", regular", etc., para describir las preferencias y valoraciones de los consumidores.

De acuerdo con la regla del criterio del codo [3], se agruparon a los turistas en 7 grupos distintos para realizar el estudio [1]:

1. Insatisfechos
2. Viajeros de la tercera edad
3. Satisfechos y vuelven
4. Amantes de la playa
5. Amantes de la tranquilidad
6. Amantes de la vida nocturna
7. Satisfechos pero no vuelven

Los resultados que se obtuvieron en la investigación [1] se pueden observar en las Figuras 1, 2 y 3, y de forma general se concluyó que el grupo 1 de los insatisfechos está compuesto por personas cuyas valoraciones de los atributos ambientales están por debajo de la frecuencia global. No tienen interés en recorrer la zona ni admirar el paisaje. La mayoría no está satisfecha y no tienen intención de volver. Este grupo principalmente está formado por estudiantes o personas mayores de 65 años, principalmente del Reino Unido y otros países no europeos. Los catalanes no están muy representados en este grupo.

El grupo 2, de los viajeros de la tercera edad, está formado por personas que desean recorrer la zona y admirar el paisaje, pero no están interesados en la vida nocturna. Valoran por debajo de la frecuencia global la calidad de la playa, la belleza del entorno natural y la amabilidad de la gente. No indican que volverán y no están dispuestos a pagar por una playa más limpia o un ambiente animado con vida nocturna. Este grupo proviene principalmente de Alemania, el Reino Unido y otros países del este y norte de Europa. En general, son personas mayores de 65 años y jubilados.

El grupo 3 de los satisfechos y vuelven, está formado por turistas que valoran positivamente todos los atributos ambientales analizados. Aunque no se destacan en ninguna actividad o motivo para volver, no muestran una intención negativa de volver. Los estudiantes están poco representados en este grupo.

El grupo 4 de los amantes de la playa está compuesto por personas que buscan playa y sol, pero no están interesadas en la vida nocturna o practicar deporte. Tienen valoraciones por debajo de la frecuencia global en todos los atributos analizados, y están dispuestos a pagar por una playa más limpia y un entorno más tranquilo. Prefieren localidades tranquilas con pequeñas lagos de agua limpia.

Figura 1: Tabla de contingencia entre las variables activas y los segmentos de mercado [1]

	VARIABLES ACTIVAS	GRUPOS								
		1	2	3	4	5	6	7	Global	V Cramer
ACTIVIDADES DESEARÍA REALIZAR	Recorrer la zona en coche o autobús y admirar el paisaje y lugares de interés.	<b>33,3%</b>	<b>58,0%</b>	42,9%	49,2%	<b>66,9%</b>	<b>26,5%</b>	44,0%	47,0%	0,291
	Visitar museos, restos arqueológicos, monumentos...	32,4%	41,2%	22,6%	32,3%	<b>49,9%</b>	<b>12,0%</b>	45,1%	33,4%	0,274
	Realizar excursiones a pie, en bicicleta o a caballo	27,4%	23,5%	25,0%	34,9%	30,3%	25,3%	18,0%	27,5%	0,099
	Practicar deportes	26,7%	14,3%	21,4%	<b>9,5%</b>	13,5%	<b>30,0%</b>	18,0%	18,8%	0,189
	Disfrutar de la playa, el mar y el sol	92,4%	87,4%	89,3%	89,8%	83,1%	90,7%	<b>76,5%</b>	87,7%	0,128
	Disfrutar de la vida nocturna (bares, discotecas...)	46,2%	<b>30,3%</b>	48,2%	34,6%	<b>12,9%</b>	<b>88,0%</b>	43,1%	42,5%	0,499
MOTIVOS PARA VOLVER	Buen tiempo y sol	0,0%	0,0%	66,7%	75,8%	76,4%	76,0%	0,0%	74,6%	0,080
	Agua y playas limpias	0,0%	0,0%	59,8%	<b>71,9%</b>	<b>69,1%</b>	<b>41,8%</b>	0,0%	60,8%	0,251
	Mentalidad de la gente, estilo de vida	0,0%	0,0%	29,9%	16,4%	26,8%	25,3%	0,0%	24,3%	0,110
	Poder hacer las cosas que gustan	0,0%	0,0%	18,4%	24,4%	<b>15,2%</b>	<b>40,4%</b>	0,0%	24,7%	0,236
	Bonitos pueblos y paisajes	0,0%	0,0%	43,7%	51,2%	<b>65,2%</b>	<b>15,1%</b>	0,0%	44,7%	0,396
	Ambiente y vida nocturna	0,0%	0,0%	27,6%	<b>18,9%</b>	<b>5,1%</b>	<b>64,4%</b>	0,0%	28,3%	0,523
DISPUUESTO A PAGAR	Dispuesto a pagar 1.000 ptas por la playa limpia	51,9%	<b>45,9%</b>	61,6%	<b>85,0%</b>	60,7%	<b>49,3%</b>	68,6%	59,5%	0,172
	Dispuesto a pagar 1.000 ptas por la tranquilidad	48,1%	45,1%	36,8%	<b>62,5%</b>	<b>73,6%</b>	<b>13,4%</b>	39,2%	47,3%	0,406
	Dispuesto a pagar 1.000 ptas por el ambiente i la vida nocturna	39,6%	<b>19,5%</b>	36,5%	26,8%	<b>5,6%</b>	<b>65,8%</b>	35,3%	31,3%	0,429

El grupo 5 de los amantes de la tranquilidad está formado por personas que desean recorrer la zona y admirar el paisaje, visitar monumentos y lugares de interés, pero no están interesadas en la vida nocturna. Valoran positivamente el entorno natural, la tranquilidad y las actividades culturales. Están dispuestos a pagar por un entorno más tranquilo, pero no por más vida nocturna.

En el grupo 6 de los amantes de la vida nocturna está interesado en disfrutar de la vida nocturna y practicar deporte, pero no les interesa admirar el paisaje ni visitar museos o lugares de interés. Valoran positivamente la oferta nocturna, pero no la calidad del agua de la playa y la belleza del entorno natural. Están dispuestos a pagar por un entorno más animado con vida nocturna, pero no por más tranquilidad ni por una playa más limpia. Este grupo está representado en su mayoría por turistas italianos y personas menores de 30 años.

El grupo 7 de los satisfechos pero no vuelven está compuesto por turistas que disfrutaban de la playa y el sol, y valoran positivamente todos los atributos analizados. Sin embargo, indican que no volverán, ya que muestran interés en visitar lugares diferentes en cada viaje.

Además, como se observa en la Figura 4, las consideraciones financieras y los costos de viaje son una preocupación prioritaria para la mayoría de los turistas. Los aspectos económi-

Figura 2: Tabla de contingencia entre las variables activas de percepción y los segmentos de mercado [1]

VALORACIONES	GRUPOS							Total de valoraciones por encima de la mediana	V Cramer
	1	2	3	4	5	6	7		
Calidad del agua del mar y la arena de la playa	<b>15,00%</b>	<b>15,60%</b>	<b>67,80%</b>	<b>8,7%</b>	28,8%	<b>12,0%</b>	<b>66,7%</b>	25,5%	0,461
Belleza del entorno natural (bosques, montañas...)	<b>15,10%</b>	<b>13,90%</b>	<b>82,80%</b>	<b>21,3%</b>	<b>42,1%</b>	<b>18,7%</b>	<b>82,4%</b>	33,7%	0,512
Tranquilidad (ausencia de ruidos molestos)	<b>7,50%</b>	27,90%	<b>50,60%</b>	<b>6,3%</b>	<b>42,7%</b>	28,7%	<b>60,8%</b>	29,7%	0,374
Calidad del medio ambiente urbano (estado de las calles, plazas...)	<b>9,40%</b>	36,90%	<b>66,70%</b>	<b>13,4%</b>	39,7%	27,5%	<b>56,9%</b>	33,0%	0,371
El tiempo atmosférico	31,10%	34,10%	<b>71,30%</b>	<b>25,0%</b>	33,7%	28,0%	<b>62,7%</b>	36,8%	0,301
Seguridad ciudadana	<b>18,70%</b>	34,40%	<b>87,20%</b>	<b>24,4%</b>	43,8%	39,3%	<b>58,0%</b>	40,7%	0,385
Variedad de la oferta de actividades culturales (excursiones a lugares de interés, visitas a museos...)	<b>15,10%</b>	35,20%	<b>74,40%</b>	<b>18,1%</b>	<b>56,2%</b>	31,5%	<b>62,0%</b>	39,6%	0,400
Variedad de la oferta lúdica y vida nocturna (bares, discotecas...)	23,40%	16,30%	<b>50,60%</b>	<b>14,1%</b>	<b>3,9%</b>	<b>50,0%</b>	<b>41,2%</b>	25,5%	0,414
Variedad de la oferta de actividades deportivas	<b>5,60%</b>	25,20%	<b>54,00%</b>	<b>7,1%</b>	33,0%	34,2%	<b>45,1%</b>	27,5%	0,344
Amabilidad y hospitalidad de la gente	<b>9,40%</b>	<b>16,40%</b>	<b>73,30%</b>	<b>12,60%</b>	<b>18,00%</b>	30,00%	<b>64,70%</b>	26,70%	0,464

cos tienen un gran impacto en las decisiones de viaje de los turistas. El costo es un factor determinante en la demanda de un destino turístico. Esto implica que el precio de los servicios turísticos, como alojamiento, transporte, alimentación y actividades, influye significativamente en la elección de los turistas [7].

En la figura 5 se observa que la mayoría de los turistas eligen compartir sus experiencias de viaje con alguien cercano, lo que puede implicar un enfoque más orientado hacia actividades en pareja y una planificación conjunta de sus viajes.

El 71 % de las personas prefieren elegir aviones como medio de transporte. Esto indica que el transporte aéreo es una opción popular entre los turistas, posiblemente debido a su velocidad, comodidad y la posibilidad de llegar a destinos lejanos de manera más eficiente.

La accesibilidad de los destinos turísticos es de vital importancia, por lo que mejorar la infraestructura y la conectividad entre las instalaciones turísticas y la red de transporte puede contribuir a ello. Por ejemplo, agregar enlaces directos dentro de la red de transporte entre el lugar de origen y el destino puede reducir la distancia y facilitar el acceso.

En términos de alojamiento, el 48.6 % de los turistas eligen opciones de alojamiento económicas, como estancias en casas particulares. Esto indica que muchos turistas buscan opciones de alojamiento más asequibles y pueden preferir experiencias más auténticas y cercanas a la comunidad local.

En cuanto a las actividades turísticas, el 58.7 % de los turistas eligen el turismo natural, disfrutando de la belleza de la naturaleza, el mar, las montañas y actividades al aire libre.

Podemos ver que la mayoría de los turistas eligen organizar sus propios viajes, incluyendo la compra de boletos, reservas de alojamiento, restaurantes y servicios de transporte en el destino turístico. Esto puede indicar una preferencia por la autonomía y la personalización en



Figura 3: Tabla de contingencia entre las variables ilustrativas y los segmentos de mercado [1]

Variables ilustrativas		Grupos							Total	V Cramer	Sig.
		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7			
PAÍS DE ORIGEN	Catalunya	<b>0,9%</b>	<b>4,9%</b>	35,6%	<b>44,4%</b>	<b>40,4%</b>	35,3%	13,7%	27,6%	0,200	0,000
	Resto de España	17,9%	18,9%	6,9%	14,3%	17,4%	12,0%	23,5%	15,5%		
	Francia	14,2%	12,3%	14,9%	15,9%	10,7%	10,7%	11,8%	12,7%		
	Italia	6,6%	5,7%	2,3%	0,8%	<b>0,0%</b>	<b>8,7%</b>	3,9%	3,9%		
	Alemania	7,5%	<b>13,9%</b>	10,3%	3,2%	5,6%	6,7%	11,8%	7,8%		
	Reino Unido y Irlanda	<b>21,7%</b>	<b>19,7%</b>	8,0%	7,9%	6,7%	7,3%	7,8%	11,1%		
	Holanda, Bélgica y Luxemburgo	12,3%	9,8%	10,3%	6,3%	10,7%	13,3%	17,6%	11,0%		
	Otros de Europa	11,3%	<b>14,8%</b>	11,5%	6,3%	6,7%	5,3%	7,8%	8,8%		
	Resto del mundo	<b>7,5%</b>	0,0%	0,0%	0,8%	1,7%	0,7%	2,0%	1,7%		
EDAD	Menos de 30 años	50,9%	32,0%	37,2%	34,4%	<b>27,5%</b>	<b>62,0%</b>	41,2%	40,4%	0,195	0,000
	30-44 años	26,4%	38,5%	34,9%	35,2%	<b>34,8%</b>	28,7%	29,4%	32,9%		
	45-64 años	12,3%	17,2%	24,4%	25,0%	<b>34,8%</b>	<b>9,3%</b>	23,5%	21,3%		
	Más de 65 años	<b>10,4%</b>	<b>12,3%</b>	3,5%	5,5%	2,8%	<b>0,0%</b>	5,9%	5,4%		
OCUPACIÓN	Estudiante	<b>30,2%</b>	17,9%	<b>8,1%</b>	15,7%	<b>9,6%</b>	<b>32,9%</b>	27,5%	19,8%	0,162	0,000
	No ocupado	17,0%	<b>23,6%</b>	17,4%	15,0%	9,6%	<b>4,0%</b>	19,6%	13,9%		
	Profesional o Autónomo	14,2%	22,0%	19,8%	26,8%	25,3%	12,8%	11,8%	19,9%		
	Empresario con asalariados	0,9%	3,3%	4,7%	4,7%	3,4%	<b>8,1%</b>	3,9%	4,3%		
	Cargo medio o superior	6,6%	8,1%	10,5%	6,3%	11,2%	3,4%	3,9%	7,4%		
	Administra./ Comercial/ Técnico/ Especialista	21,7%	13,8%	19,8%	22,8%	21,3%	<b>31,5%</b>	17,6%	22,0%		
	Obrero	8,5%	10,6%	11,6%	6,3%	<b>16,3%</b>	6,0%	13,7%	10,4%		
	Otras	0,9%	0,8%	<b>8,1%</b>	2,4%	3,4%	1,3%	2,0%	2,6%		

la planificación de los viajes, lo que les permite adaptar sus experiencias según sus necesidades y preferencias individuales.

En conclusión, podemos decir que los turistas tienden a preferir viajar en compañía de una pareja, eligen aviones como medio de transporte, buscan opciones de alojamiento económicas, disfrutan del turismo natural y tienden a organizar sus propios viajes. Estos comportamientos y preferencias pueden ser útiles para resolver el reto y brindar la solución más adecuada.

Figura 4: Cost Consideration [7]

No	Indicator	Percentage
1	Very Important	71.3%
2	Important	26%
3	Less Important	2.7%

#### 2.4.2. Modelos o formas de resolver el problema de planificación de rutas de viaje turísticas

Asimismo se efectuó un análisis exhaustivo de la literatura científica relacionada con modelos y métodos aplicados a la resolución del desafiante problema de planificación de rutas de viaje turísticas comparando fuentes de referencia, las cuales se seleccionaron por su relevancia y contribución al campo de estudio. Las fuentes analizadas abordan una amplia gama de enfoques, desde técnicas heurísticas hasta algoritmos metaheurísticos, y se exploran diferentes aspectos, como el problema del vendedor viajero (TSP), el problema de entrenamiento

Figura 5: Trip Arrangement [7]

No	Indicator	Percentage
1	Companion: - Alone - Couple - Family/relatives - Social Community	11.75% 63.3% 22% 3 %
2	Mode of transportation: - Personal vehicle - Travel transportation - Plane	15% 14 % 71%
3	Accommodation - Cheap homestay - 3 stars hotel - 4 stars hotel - 5 stars hotel	48.6% 31.9 % 15.2% 4.3%
4	Tour Types - Nature tourism - Adventure tourism - Marine tourism - Shopping Tourism - Pilgrimage Tourism	58.7 % 13.7 % 11.2 % 9.1% 7.3 %
5	Source of Purchase packages / types of tours - Online travel agent - Offline travel agent - Self -arranged travel	21.9% 30.4 % 47.7 %

de vehículos (VRP), el problema del múltiple vendedor viajero (mTSP), las restricciones de tiempo (TSPTW), entre muchos más[12]. A través de este análisis, se busca comprender la diversidad de opciones disponibles y las soluciones eficientes y efectivas para la planificación de rutas de viaje turísticas.

La planificación de rutas de viaje turísticas es un problema complejo y desafiante que involucra la determinación de la secuencia óptima de atracciones turísticas a visitar, teniendo en cuenta restricciones temporales, económicas y preferencias del viajero. En la presente investigación, se ha realizado un análisis en profundidad de cinco fuentes clave, a fin de examinar los modelos y métodos utilizados para abordar este problema.

A través de trabajos de investigación similares con el fin de conocer posibles modelos de solución, se indagó en artículos como: Tourist trip planning functionalities : state-of-the-art and future[13], el cual aborda la problemática de la planificación de viajes turísticos y propone el uso de modelos de Investigación de Operaciones (OR) para abordar este problema. Los turistas que visitan una ciudad o región tienen que seleccionar los puntos de interés (POI) más valiosos para ellos, pero enfrentan dificultades para obtener información actualizada y fiable sobre los horarios de apertura de los POI, exposiciones temporales en museos, cierres parciales debido a renovaciones, cambios en la programación de teatros, entre otros.[13]

El artículo destaca que las guías turísticas genéricas no tienen en cuenta el contexto individual de los turistas, como la ubicación de inicio y finalización, el tiempo disponible, la hora actual, el clima, entre otros factores. Además, los turistas de hoy en día desean utilizar su tiempo de manera óptima y esperan estar bien informados sobre lo que una ciudad o un POI específico puede ofrecer.[13]

En el artículo se hace referencia a dos modelos específicos utilizados en el campo de la Investigación de Operaciones para abordar la planificación de viajes turísticos. En primer lugar, se menciona el Problema del Orientador (OP), que integra la selección automatizada

de ubicaciones con la búsqueda del camino más corto, lo que lo convierte en un modelo adecuado para modelar problemas de diseño de viajes turísticos. En segundo lugar, se menciona el Problema del Vendedor Viajero (TSP) y su extensión con selección de actividades y alojamiento (ALS), que automatiza la selección de POI y alojamiento, considerando también múltiples objetivos, como minimizar los costos de transporte y alojamiento, y maximizar la atracción del alojamiento y las actividades.[13]

Para enriquecer nuestro entendimiento de diferentes modelos relacionados, se aprendió del problema de entrenamiento de vehículos (VRP), que encuentra rutas óptimas para múltiples vehículos visitando un set de destinos; pero con un vehículo es equivalente a TSP [11]. Existen varios tipos de VRPs que se distinguen por sus diferentes parámetros, el VRPTW toma en cuenta ventanas de tiempo, VRPP toma en cuenta ganancias, SVRP que está basado en probabilidades, entre otros. [12]

Y es que a elección del modelo de Ruta de Vehículos (VRP) en lugar de otros modelos, depende de varios factores y consideraciones como:

- Eficiencia en la planificación de rutas: El VRP se centra específicamente en la optimización de la planificación de rutas de vehículos, lo que lo hace adecuado cuando se necesita encontrar soluciones óptimas o aproximadas para problemas de distribución, recolección o entrega.
- Consideraciones de capacidad y restricciones: El VRP es capaz de manejar restricciones de capacidad de los vehículos, es decir, limitaciones en la cantidad de carga o volumen que cada vehículo puede transportar.
- Ventanas de tiempo: El VRP puede tener en cuenta las ventanas de tiempo, es decir, restricciones de tiempo en las que se deben realizar las entregas o recogidas.
- Complejidad computacional: Aunque el VRP puede ser un problema complejo, se han desarrollado diversos algoritmos y técnicas para su resolución, tanto exactos como aproximados.
- Aplicaciones prácticas: El VRP se ha utilizado ampliamente en diversas industrias, como logística, transporte, distribución, servicios de mensajería y más. [12]

Para efectos de investigación se consultaron distintas fuentes y artículos que abordan el modelo (VRP) como el libro "Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications." editado por Golden y Assad. Este libro es una referencia amplia sobre el problema de la Ruta de Vehículos (VRP) y aborda tanto los problemas básicos de VRP como sus variantes y aplicaciones. [14]

El libro proporciona una visión general del VRP, presentando distintos enfoques y métodos para resolverlo. Cubre tanto algoritmos exactos como aproximados y discute las aplicaciones prácticas del VRP en diversas industrias, como logística, transporte y distribución.

A su vez, también se investigó, el artículo "The Vehicle Routing Problem." escrito por Toth y Vigo en 2002, es una referencia fundamental en el campo del problema de la Ruta de Vehículos (VRP).[15] El artículo proporciona una amplia visión general del VRP, que es un problema de optimización combinatoria que involucra la planificación de rutas eficientes para

un conjunto de vehículos que deben atender un conjunto de ubicaciones.

En cuanto a los métodos implementados y los resultados específicos, el artículo proporciona una descripción de varios algoritmos y enfoques utilizados para resolver el VRP. Estos métodos incluyen técnicas exactas como la programación lineal entera, así como algoritmos heurísticos y metaheurísticos, como la búsqueda local y algoritmos genéticos.[15]

En cuanto a los resultados, el artículo presenta ejemplos y estudios de casos para ilustrar la aplicación de los métodos en diferentes contextos y problemáticas del VRP. Estos resultados varían según la variante del VRP, los conjuntos de datos y los enfoques de solución utilizados.[15]

Adicionalmente, se investigó el artículo "The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms"[16] escrito por Laporte en 1992, es una revisión exhaustiva de los algoritmos exactos y aproximados utilizados para resolver el Problema de la Ruta de Vehículos (VRP).

El autor se enfoca en los algoritmos desarrollados hasta ese momento para resolver el VRP, tanto aquellos que encuentran soluciones óptimas como los que proporcionan soluciones aproximadas.

El artículo también discute los métodos aproximados, que son algoritmos heurísticos y metaheurísticos utilizados para obtener soluciones cercanas a la óptima en un tiempo razonable. Laporte presenta una revisión de varias técnicas, como la búsqueda local, el recocido simulado y los algoritmos genéticos, entre otros. Estos métodos ofrecen soluciones subóptimas, pero son más eficientes computacionalmente.[16]

En términos de resultados, el artículo proporciona una revisión de la literatura existente hasta ese momento y resume los principales enfoques y técnicas utilizados en la resolución del VRP.[16]

### 3. Definición del problema

Para resolver este problema, se creará un modelo de programación lineal que proponga una secuencia de destinos turísticos que maximice la satisfacción esperada del usuario, tomando también en cuenta restricciones de tiempo y presupuesto establecidas por el cliente. El modelo retornará un itinerario de varios días correspondiendo a las limitaciones establecidas por el usuario. También se tendrán en cuenta solamente rutas de automóvil para estandarizar distancias, tiempos, y costos de transporte.<sup>1</sup>

#### 3.1. Identificación de variables y parámetros

Las variables de decisión representan los sitios turísticos visitados y se muestran en una matriz cuadrada con valores binarios. Su tamaño depende de la cantidad de destinos turísticos

---

<sup>1</sup>El plan inicial es solo incluir transporte de automóvil. En la medida en que implementamos el modelo, decidiremos qué otros medios de transporte serán aptos en ciertos casos y la manera de incluirlos en el programa.

en el modelo. Si un valor es igual a 1, viendo la columna y fila en la que se encuentra, sabemos que sitio se está visitando y el destino que se visitará después.

Entre estas variables se incluye el punto de partida donde se inicia y termina el día. En la siguiente matriz, cada fila corresponde a ún día de trayecto.

$$\begin{array}{c} \text{Ubi 1} \quad \text{Ubi 2} \quad \dots \quad \text{Ubi k} \\ \text{Ubicación 1} \\ \text{Ubicación 2} \\ \vdots \\ \text{Ubicación k} \end{array} \begin{bmatrix} u_{[1,1]} & u_{[1,2]} & \dots & u_{[1,k]} \\ u_{[2,1]} & u_{[2,2]} & \dots & u_{[2,k]} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{[k,1]} & u_{[k,2]} & \dots & u_{[k,k]} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Se tendrán dos tipos de parámetros; parámetros de entrada del usuario y parámetros establecidos en el modelo. Los parámetros del modelo consisten principalmente en valores constantes preestablecidos correspondientes a distintas propiedades del entorno. Los destinos turísticos se representan como el siguiente vector, en donde cada elemento corresponde a un destino turístico:

$$[x_1, x_2, \dots, x_n] \quad (2)$$

Este vector de destinos turísticos incluirá también ubicaciones como hoteles, aeropuertos, centrales de autobuses, entre otros, Esto para que el usuario los pueda seleccionar como punto de partida o punto final. Características de cada destino (incluyendo costo de entrada, tiempo esperado de visita, horario de apertura y reputación del destino) se almacenarán en una tabla de valores. Cabe mencionar que la reputación de cada destino estará definida por la popularidad de la atracción de acuerdo con el público general, y tomará un valor entre 0 y 1 (inclusivo).

Cuadro 1: Tabla de Características para cada Destino

Destino	Costo de Entrada	Tiempo de Visita	Horario de Apertura	Reputación
$x_1$	$c_1$	$t_1$	$h_1$	$r_1$
$x_2$	$c_2$	$t_2$	$h_1$	$r_2$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$x_n$	$c_n$	$t_n$	$h_1$	$r_n$

La distancia de trayecto entre cada par de destinos se almacenarán en una matriz de tamaño  $n \cdot n$ :

$$\begin{array}{c} x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_n \\ x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{array} \begin{bmatrix} 0 & d_{[1,2]} & \dots & d_{[1,n]} \\ d_{[2,1]} & 0 & \dots & d_{[2,n]} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{[n,1]} & d_{[n,2]} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Lo mismo se hará para el tiempo estimado de viaje entre cada par de destinos en una matriz adicional:

$$\begin{array}{c}
x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_n \\
x_1 \begin{bmatrix} 0 & v_{[1,2]} & \dots & v_{[1,n]} \end{bmatrix} \\
x_2 \begin{bmatrix} v_{[2,1]} & 0 & \dots & v_{[2,n]} \end{bmatrix} \\
\vdots \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{bmatrix} \\
x_n \begin{bmatrix} v_{[n,1]} & v_{[n,2]} & \dots & 0 \end{bmatrix}
\end{array} \quad (4)$$

Para calcular el costo estimado de trayecto también se tendrá una variable constante de eficiencia económica de transporte, es decir costo por kilómetro de viaje (en caso de los automóviles, la economía de combustible del vehículo):

$$e_e \quad (5)$$

Los parámetros de entrada del usuario son aquellos que ingresará este mismo cada vez que utilice la aplicación. Primeramente, el usuario definirá la cantidad de días que desea disponer para el itinerario  $k$ . El usuario definirá el punto de partida y punto final de su trayecto, denominadas ubicación inicial y ubicación final para cada uno de estos días.

$$\begin{array}{c}
\text{Día 1} \\
\text{Día 2} \\
\vdots \\
\text{Día k}
\end{array}
\begin{bmatrix} u_{i1} & u_{f1} \\ u_{i2} & u_{f2} \\ \vdots & \vdots \\ u_{ik} & u_{fk} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Estas tendrán que ser seleccionadas de la lista de destinos previamente establecido por el modelo. El usuario podrá seleccionar para sus ubicaciones iniciales y finales cualquier ubicación que se encuentre en la lista de destinos, la cual incluye también hoteles, aeropuertos, centrales de autobuses y otros puntos comunes de tránsito turístico. El tiempo disponible del usuario para cada día de su visita también deberán de ser establecidos por el usuario. Estos se manejarán de manera similar a las ubicaciones iniciales y finales, ya que para cada día se tomará una hora de inicio (por ejemplo 8am) y una hora final (por ejemplo 8pm):

$$\begin{array}{c}
\text{Día 1} \\
\text{Día 2} \\
\vdots \\
\text{Día k}
\end{array}
\begin{bmatrix} t_{i1} & t_{f1} \\ t_{i2} & t_{f2} \\ \vdots & \vdots \\ t_{ik} & t_{fk} \end{bmatrix} \quad (7)$$

También será necesario que el usuario establezca un presupuesto, el cual será manejado como una variable constante:

$$c_{max} \quad (8)$$

Las preferencias del usuario se tendrán en cuenta para las decisiones que tome el modelo, por lo que es necesario tener parámetros de entrada del usuario que definan la prioridad que el cliente le quiera asignar a cada destino. Estos se asignarán a un vector, y tendrán valores entre 0 y 1 (inclusivo).

$$[p_1, p_2, \dots, p_n] \quad (9)$$

### 3.2. Función objetivo a optimizar y restricciones

La función objetivo a maximizar consistirá en una suma ponderada en donde cada término corresponda a un destino propuesto por el modelo que represente la satisfacción esperada. El valor de la ponderación para cada destino dependerá de dos factores; la preferencia establecida por el usuario como parámetro de entrada y la reputación del destino en cuestión.

$$z = \sum_i p_i \cdot r_i \text{ (} i \text{ toma los índices de los destinos propuestos)} \quad (10)$$

Cuando el modelo proponga destinos con alta reputación y alta preferencia la satisfacción será alta. Cuando el modelo proponga destinos con baja preferencia y baja reputación la satisfacción será baja. El modelo buscará combinaciones de destinos que maximicen la cantidad de estos asociados con altos valores de preferencias y reputación, tomando en cuenta también las restricciones del modelo.

Las restricciones a las cuales se tendrá que apegar la solución tienen que ver principalmente con los parámetros definidos por el usuario. A continuación se describen las restricciones principales:

- El costo total de la secuencia de destinos propuesta por el modelo (incluyendo trayectos y costos de entrada) no debe sobrepasar el presupuesto establecido por el usuario.
- El tiempo total del viaje, incluyendo tanto tiempos de visita como tiempos de trayectos, no debe sobrepasar el límite de tiempo establecido por el cliente por día.
- La secuencia de destinos propuesta por el modelo debe de terminar con la ubicación inicial y final indicada por el usuario para cada día.
- El modelo no debe de sugerir el mismo destino más de una vez en la secuencia de destinos que propone al usuario.
- El modelo debe evitar agendar visitas a los destinos en horarios que se encuentren cerrados.

# Referencias

- [1] Garcia, C. R., Gallard, G. C. (2002). Segmentación del mercado turístico según las preferencias ambientales. Cuadernos de Turismo, (9), 123-136.
- [2] Chiodi, J. A., Mouliá, P. I., Fernandez, M. J., Eriz, M., Chiodi, M., Chelmicki, F., Lazzari, L. L. (2009). Preferencias del segmento joven en la elección de un destino turístico. Cuadernos del CIMBAGE, (11), 59-84.
- [3] Cattell, R.B. (1966): «The scree test for the number of factors», Multivariate Behavioural Research, 1, 245-276
- [4] Carvache-Franco, M., Carvache-Franco, W., Molina Bravo, G., Arteaga Peñafiel, M., Villagómez Buele, C. (2018). La Demanda Turística Desde La Perspectiva De La Satisfacción, La Actitud Y Las Preferencias Respecto a Su Gastronomía: El Caso De Salitre (Ecuador)(The Tourist Demand from the Perspective of the Satisfaction, Attitude and Preferences of Their Gastronomy: The Case of Salitre (Ecuador)). Turismo y Sociedad, (22).
- [5] Liu, Z., Siguaw, J. A., Enz, C. A. (2008). Using tourist travel habits and preferences to assess strategic destination positioning: The case of Costa Rica. Cornell Hospitality Quarterly, 49(3), 258-281.
- [6] Plog, S. C. 2001. Why destination areas rise and fall in popularity: An update of a Cornell Quarterly classic. Cornell Hospitality Restaurant and Administrative Quarterly 42 (3): 13-24.
- [7] Truong, V. N., Tetsuo, S. (2017). The Effect of Transportation on Tourism Promotion: Literature review on application of the Computable General Equilibrium (CGE) model. Japan: Tokyo Metropolitan University.
- [8] SECTUR. (s. f.). México se reposiciona en el 9° lugar mundial en captación de divisas por turismo, según la OMT. gob.mx. <https://www.gob.mx/sectur/prensa/mexico-se-reposiciona-en-el-9-lugar-mundial-en-captacion-de-divisas-por-turismo-segun-la-omt>
- [9] World Travel Tourism Council. (2022). news-article. wtcc.org. <https://wtcc.org/news-article/ciudad-de-mexico-y-cancun-lideran-la-recuperacion-del-sector-de-viajes-y-turismo-del-pais>
- [10] Héctor. (2023, 8 mayo). 10 Lugares Turísticos de la Ciudad de México que debes Visitar. Viajero M. <https://viajerom.com/mexico/ciudad-de-mexico-turismo/>
- [11] Google Developers (2023, 16 enero). Vehicle Routing Problem. <https://developers.google.com/optimization/routing/vrp>
- [12] Patel Rakesh (2023, 1 mayo) The Vehicle Routing Problem (VRP) Demystified: Solutions for Your Delivery Operations. Upper. <https://www.upperinc.com/blog/vehicle-routing-problem/>
- [13] Souffriau, W., Vansteenwegen, P. (2010). Tourist trip planning functionalities: state-of-the-art and future. In F. Daniel F. M. Facca (Eds.), Lecture Notes in Computer Science (Vol. 6385, pp. 474–485). [https://doi.org/10.1007/978-3-642-16985-4\\_46/](https://doi.org/10.1007/978-3-642-16985-4_46/)



- [14] Golden, B. L., Assad, A. A. (Eds.). (2015). Vehicle routing: problems, methods, and applications (2nd ed.). Society for Industrial and Applied Mathematics.
- [15] Toth, P., Vigo, D. (2002). The vehicle routing problem. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- [16] Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. European Journal of Operational Research,