



Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

MA2001B.301
Optimización determinista

Optimización de planes de viaje turísticos.

Kevin Antonio González Díaz - A01338316
Adrián Pineda Sánchez - A00834710
Héctor David Bahena Garza - A01284661
Gonzalo Garza Moreno - A01284950
Sarah Dorado Romo - A01540946

Profesores:
Dr. Fernando Elizalde Ramírez
Dra. Yadira Isabel Silva Soto

Monterrey, Nuevo León, México. Junio 2023

Índice

1. Introducción sobre el turismo en México	2
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
2. Introducción al problema	3
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
3. Definición del problema	12
3.1. Identificación de variables y parámetros	12
3.2. Restricciones	14
3.3. Función Objetivo	16
4. Implementación del modelo	16
4.1. Planteamiento	16
4.2. Datos utilizados para el modelo	17
4.3. Resultados preliminares	21
4.4. Experimentación y resultados	22
5. Conclusiones	25
6. Anexos	25
Referencias	30

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 [17]. 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.	33,3%	58,0%	42,9%	49,2%	66,9%	26,5%	44,0%	47,0%	0,291
	Visitar museos, restos arqueológicos, monumentos...	32,4%	41,2%	22,6%	32,3%	49,9%	12,0%	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%	9,5%	13,5%	30,0%	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%	76,5%	87,7%	0,128
	Disfrutar de la vida nocturna (bares, discotecas...)	46,2%	30,3%	48,2%	34,6%	12,9%	88,0%	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%	71,9%	69,1%	41,8%	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%	15,2%	40,4%	0,0%	24,7%	0,236
	Bonitos pueblos y paisajes	0,0%	0,0%	43,7%	51,2%	65,2%	15,1%	0,0%	44,7%	0,396
	Ambiente y vida nocturna	0,0%	0,0%	27,6%	18,9%	5,1%	64,4%	0,0%	28,3%	0,523
DISPUUESTO A PAGAR	Dispuesto a pagar 1.000 ptas por la playa limpia	51,9%	45,9%	61,6%	85,0%	60,7%	49,3%	68,6%	59,5%	0,172
	Dispuesto a pagar 1.000 ptas por la tranquilidad	48,1%	45,1%	36,8%	62,5%	73,6%	13,4%	39,2%	47,3%	0,406
	Dispuesto a pagar 1.000 ptas por el ambiente i la vida nocturna	39,6%	19,5%	36,5%	26,8%	5,6%	65,8%	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

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

viaje son una preocupación prioritaria para la mayoría de los turistas. Los aspectos económicos 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

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

Variables ilustrativas		Grupos								V Cramer	Sig.
		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Total		
PAÍS DE ORIGEN	Catalunya	0,9%	4,9%	35,6%	44,4%	40,4%	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%	0,0%	8,7%	3,9%	3,9%		
	Alemania	7,5%	13,9%	10,3%	3,2%	5,6%	6,7%	11,8%	7,8%		
	Reino Unido y Irlanda	21,7%	19,7%	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%	14,8%	11,5%	6,3%	6,7%	5,3%	7,8%	8,8%		
	Resto del mundo	7,5%	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%	27,5%	62,0%	41,2%	40,4%	0,195	0,000
	30-44 años	26,4%	38,5%	34,9%	35,2%	34,8%	28,7%	29,4%	32,9%		
	45-64 años	12,3%	17,2%	24,4%	25,0%	34,8%	9,3%	23,5%	21,3%		
	Más de 65 años	10,4%	12,3%	3,5%	5,5%	2,8%	0,0%	5,9%	5,4%		
OCUPACIÓN	Estudiante	30,2%	17,9%	8,1%	15,7%	9,6%	32,9%	27,5%	19,8%	0,162	0,000
	No ocupado	17,0%	23,6%	17,4%	15,0%	9,6%	4,0%	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%	8,1%	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%	31,5%	17,6%	22,0%		
	Obrero	8,5%	10,6%	11,6%	6,3%	16,3%	6,0%	13,7%	10,4%		
	Otras	0,9%	0,8%	8,1%	2,4%	3,4%	1,3%	2,0%	2,6%		

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 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

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 %

aspectos, como el problema del vendedor viajero (TSP)[18], el problema de entrenamiento de vehículos (VRP) [19], el problema del múltiple vendedor viajero (mTSP)[20], 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:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Complejidad computacional: Aunque el VRP puede ser un problema complejo, se han desarrollado diversos algoritmos y técnicas para su resolución, tanto exactos como aproximados.
5. 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 l días correspondiendo a las limitaciones establecidas por el usuario. Se tendrán en cuenta solamente rutas de automóvil para estandarizar distancias, tiempos, y costos de transporte.

3.1. Identificación de variables y parámetros

Los destinos turísticos se representan como el siguiente vector (1) con N elementos, en donde cada elemento u_i corresponde al destino turístico i :

$$[u_1, u_2, \dots, u_N] \quad (1)$$

El conjunto i va de 1 a N y representa la cantidad total de destinos, así como los conjuntos j y k . El conjunto l va de 1 a L y representa la cantidad de días. El conjunto dia va del 1 al 7 y representa los días de la semana, 1 siendo lunes y 7 siendo domingo. Las variables de decisión representan los viajes realizados y los horarios en los que se llegó a los destinos. Las variables de viajes se representan en una matriz $x(i, j, l)$ de N por N por L con valores binarios, donde i representa el lugar de origen, j el destino y l el día. 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 en ese día en particular. Por ejemplo, si tenemos $x(2, 3, 2) = 0$ y $x(4, 6, 2) = 1$ significa que en el día 2 el turista no realizará el viaje del punto 2 al 3 pero sí del punto 4 al 6. Su tamaño depende de la cantidad de destinos turísticos en el modelo.

$$\begin{array}{c} u_1 \quad u_2 \quad \dots \quad u_N \\ \begin{array}{c} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_N \end{array} \begin{bmatrix} x_{(1,1,1)} & x_{(1,2,1)} & \dots & x_{(1,N,1)} \\ x_{(2,1,1)} & x_{(2,2,1)} & \dots & x_{(2,N,1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{(N,1,1)} & x_{(N,2,1)} & \dots & x_{(N,N,1)} \end{bmatrix} \end{array} \quad (2)$$

La ecuación (2) es la representación de $x(i, j, l)$ para el primer día ($l = 1$).

Los horarios en los que se visitan los destinos toman forma de la variable de decisión $w(i, l)$, donde la variable toma el valor de la hora en que se llega al destino i en el día l . Si no se visita el destino ese día, $w(i, l)$ toma el valor de 0.

$$\begin{array}{c} 1 \quad 2 \quad \dots \quad L \\ \begin{array}{c} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_N \end{array} \begin{bmatrix} w_{(1,1)} & w_{(1,2)} & \dots & w_{(1,L)} \\ w_{(2,1)} & w_{(2,2)} & \dots & w_{(2,L)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{(N,1)} & w_{(N,2)} & \dots & w_{(N,L)} \end{bmatrix} \end{array} \quad (3)$$

Todos los tiempos del modelo se manejan en minutos. Para representar un horario, se utiliza el minuto del día que es; 8:00 am se representa como el minuto 480 del día. Estas dos son las únicas variables del modelo, a continuación se explican los parámetros.

En la siguiente matriz (4) $v(i, j)$, se indica los tiempos en minutos que corresponden a cada viaje del punto i hacia el punto j . En donde, por ejemplo, si $v(2, 3) = 41$ significa que del punto 2 al punto 3 el tiempo de viaje es de 41 minutos. En la diagonal de la matriz $v(i, j)$ para todo $i = j$, es representada por 999 porque un mismo lugar es el origen y destino.

$$\begin{matrix} & u_1 & u_2 & \dots & u_N \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_N \end{matrix} & \begin{bmatrix} v_{(1,1)} & v_{(1,2)} & \dots & v_{(1,N)} \\ v_{(2,1)} & v_{(2,2)} & \dots & v_{(2,N)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{(N,1)} & v_{(N,2)} & \dots & v_{(N,N)} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4)$$

A continuación se presenta la matriz (5) $d(i, j)$, que indica las distancias en kilómetros del punto i hacia el punto j . En donde, por ejemplo, si $d(5, 3) = 17.3$ significa que del punto 5 al punto 3 la distancia es de 17,3 km. En la diagonal de la matriz $d(i, j)$ para todo $i = j$, es 0 porque un mismo lugar es el origen y destino.

$$\begin{matrix} & u_1 & u_2 & \dots & u_N \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_N \end{matrix} & \begin{bmatrix} d_{(1,1)} & d_{(1,2)} & \dots & d_{(1,N)} \\ d_{(2,1)} & d_{(2,2)} & \dots & d_{(2,N)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{(N,1)} & d_{(N,2)} & \dots & d_{(N,N)} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5)$$

Ambas matrices (4) y (5) corresponden a los valores preestablecidos por el modelo según el lugar que se desea visitar.

Las características de cada destino (incluyendo costo de entrada, tiempo esperado de visita y reputación del destino) se almacenan como vectores con los valores de cada destino en el orden preestablecido. La información se muestra en una tabla de valores en el Cuadro 1. 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	Reputación	Costo	Tiempo Visita	Preferencia
u_1	r_1	c_1	t_1	p_1
u_2	r_2	c_2	t_2	p_2
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
u_n	r_n	c_n	t_n	p_n

Otra característica de los destinos que se tiene que considerar son sus horarios de apertura $h1$ y cierre $h2$. Los cuales ya que pueden variar dependiendo del día de la semana, toman forma de una tabla donde las filas representan los destinos turísticos y cada columna representa un día de la semana $h1(i, dia)$.

$$\begin{array}{cccc}
& \text{Lunes} & \text{Martes} & \dots & \text{Domingo} \\
u_1 & \begin{bmatrix} h1_{(1,1)} & h1_{(1,2)} & \dots & h1_{(1,7)} \end{bmatrix} & & & \\
u_2 & \begin{bmatrix} h1_{(2,1)} & h1_{(2,2)} & \dots & h1_{(2,7)} \end{bmatrix} & & & \\
\vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
u_N & \begin{bmatrix} h1_{(N,1)} & h1_{(N,2)} & \dots & h1_{(N,7)} \end{bmatrix} & & &
\end{array}
\quad
\begin{array}{cccc}
& \text{Lunes} & \text{Martes} & \dots & \text{Domingo} \\
u_1 & \begin{bmatrix} h2_{(1,1)} & h2_{(1,2)} & \dots & h2_{(1,7)} \end{bmatrix} & & & \\
u_2 & \begin{bmatrix} h2_{(2,1)} & h2_{(2,2)} & \dots & h2_{(2,7)} \end{bmatrix} & & & \\
\vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
u_N & \begin{bmatrix} h2_{(N,1)} & h2_{(N,2)} & \dots & h2_{(N,7)} \end{bmatrix} & & &
\end{array}
\tag{6}$$

Por ejemplo si tenemos los datos del destino Museo de Antropología el día martes, con una reputación de satisfacción del 95 %, entrada gratuita al lugar, en un horario de apertura de 9:00 horas (540 minutos desde la hora 0:00) y con hora de cierre a las 20:00 (1200 minutos desde la hora 0:00), en donde el tiempo de visita aproximado es de 2 horas (120 min) y el cliente tiene un 90 % de preferencia por ese lugar lo podemos representar de la siguiente forma: $u_4 = \text{Museo de Antropología}$, $r_4 = 0.95$, $c_4 = 0$, $h1_{(4,2)} = 540$, $h2_{(4,2)} = 1200$, $t_4 = 120$ y $p_4 = 0.9$.

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

Los parámetros definidos por el usuario consisten en el vector de preferencias previamente mencionado $p(i)$ (el cual toma valores entre 0 y 1), el presupuesto total C_{max} , los horarios de salida y regreso para cada día $td(l, \beta)$, los días de la semana que va a estar $sem(l)$. y los destinos iniciales y finales para cada día $m(l, \beta)$. El conjunto β simplemente va de 1 a 2 y se utiliza solamente en estos parámetros.

Cuadro 2: Tabla de parámetros de entrada por el usuario

Vector de Preferencias	p_i
Presupuesto	C_{max}
Horarios de Usuario	$td_{(l,\beta)}$
Días de la semana	sem_l
Origenes y Destinos Usuario	$m_{(l,\beta)}$

Ya que se utilizan elementos del modelo de ruta más corta, utilizando los parámetros ingresados por el usuario de origen y destino, se crea el parámetro $b(i, l)$, un vector que permite el uso de la restricción 1 que se explica en la siguiente sección.

3.2. Restricciones

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

1. La diferencia entre el número total de arcos que salen del punto i y el número total de arcos que llegan al punto j debe ser igual a $b(i, l)$ con valores igual a 0 en sus entradas, con excepción del primero que es 1 y el último que es -1 . Esto asegura que se cumpla la restricción de flujo para cada punto en el problema del TSP (Travelling Salesman Problem).

$$\sum_j^N x_{(i,j,l)} - \sum_k^N x_{(k,i,l)} = b_{(i,l)} \quad \forall(i,l) \quad (7)$$

2. Al visitar dos lugares consecutivos, con punto de origen $u(i)$ y punto de llegada $u(j)$, el tiempo entre la hora de llegada al segundo lugar $w(j,l)$ y la hora de llegada al primero $w(i,l)$, debe ser menor o igual al tiempo que dura el recorrido en el primer lugar $t(i)$ más el tiempo de traslado al segundo $v(i,j)$.

$$w_{(i,l)} + x_{(i,j,l)}[t_{(i)} + v_{(i,j)} + \mu] - \mu \leq w_{(j,l)} \quad \forall(i,j,l) : i \neq j \quad (8)$$

Donde μ es un número muy grande.

3. Los lugares $u(i)$ que no sean visitados deben tener hora de llegada $w(i,l)$ igual a 0.

$$w_{(i,l)} \leq \mu \sum_j^N x_{(i,j,l)} \quad \forall(i,l) : i \neq m_{(l,1)}, m_{(l,2)} \quad (9)$$

Donde μ es un número muy grande.

4. Si el usuario tiene una preferencia del 100 % por visitar un lugar específico ($p(i) = 1$), entonces el lugar debe estar incluido en el recorrido.

$$\sum_j^N \sum_l^L x_{(i,j,l)} \geq p_{(i)} - 1 + \eta \quad \forall i \quad (10)$$

Donde η es un número muy pequeño.

5. La hora de llegada en todos los lugares $w(i,l)$ debe ser mayor o igual a la hora de inicio del día proporcionada por el cliente correspondiente a ese día.

$$w_{(i,l)} \geq td_{(l,1)} \sum_j^N x_{(i,j,l)} \quad \forall(i,l) \quad (11)$$

6. La hora de llegada a cada lugar $w(i,l)$ más el tiempo de estancia en ese lugar $t(i,l)$ debe ser menor o igual a la hora de llegada del final del día proporcionada por el cliente correspondiente a ese día.

$$w_{(i,l)} + t_{(i)} \sum_j^N x_{(i,j,l)} \leq td_{(l,2)} \quad \forall(i,l) \quad (12)$$

7. La hora de llegada $w(i,l)$ a cada lugar visitado debe ser mayor o igual a la hora de apertura del mismo $h1(i, \text{dia})$ en ese día de la semana particular.

$$w_{(i,l)} \geq h1_{(i,\text{dia})} \sum_j^N x_{(i,j,l)} \quad \forall(i,l,\text{dia}) : \begin{cases} i \neq m_{(l,1)}, m_{(l,2)} \\ \text{dia} = \text{sem}_{(l)} \end{cases} \quad (13)$$

8. La hora de llegada $w(i, l)$ a cada lugar más el tiempo de estancia en ese lugar $t(i, l)$ debe ser menor o igual a la hora de cierre del lugar visitado $h2(i, \text{dia})$ en ese día de la semana particular.

$$w_{(i,l)} + t_{(i)} \leq h2_{(i,\text{dia})} \quad \forall (i, l, \text{dia}) : \text{dia} = \text{sem}_{(i)} \quad (14)$$

9. No se pueden viajar a un nodo $u(i)$ si el nodo actual es el mismo $u(i)$.

$$x_{(i,j,l)} = 0 \quad \forall (i, j, l) : i = j \quad (15)$$

10. La suma de los costos por cada lugar visitado más el costo del traslado entre lugares debe ser menor al presupuesto total del cliente C_{max} .

$$\sum_i^N \sum_j^N \sum_l^L x_{(i,j,l)} [c_{(i)} + d_{(i,j)}e] \leq C_{max} \quad (16)$$

11. Un destino no puede ser visitado en distintos días. Esto no aplica para destinos considerados puntos de partida o llegada (hoteles, aeropuertos, etc.) los cuales en este caso en particular son los destinos 1, 10 y 11.

$$\sum_j^N \sum_l^L x_{(i,j,l)} \leq 1 \quad \forall i : i \neq 1, 10, 11 \quad (17)$$

3.3. Función Objetivo

La función objetivo a maximizar consiste en una suma ponderada de los destinos visitados dividida entre el mayor valor posible de esta misma. La ponderación de cada destino se trata del producto de la preferencia, reputación y tiempo de visita de cada destino.

$$z = \frac{\sum_i^N \sum_j^N \sum_l^L x_{(i,j,l)} p_{(j)} r_{(j)} t_{(j)}}{\sum_j^N p_{(j)} r_{(j)} t_{(j)}} \quad (18)$$

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. Cuando el itinerario propuesto por el modelo visite todos los destinos con $p_{(j)} r_{(j)} t_{(j)} > 0$, el valor de la función objetivo será 1. El modelo buscará combinaciones de destinos que maximicen la cantidad de estos asociados con altos valores de preferencias y reputación, tomando en cuenta también el presupuesto del cliente, sus parámetros establecidos y las restricciones del modelo.

4. Implementación del modelo

4.1. Planteamiento

En torno al estudio en la metodología del modelo a implementar se escogió el modelo TSP debido a que involucra una serie de ventajas en el desarrollo del sistema de asignación de

rutas de lugares a visitar y se adapta a la implementación del reto que se estudió inicialmente en esta situación [21], como por ejemplo:

1. Simplicidad conceptual: El TSP es un problema bien definido y fácil de entender. La idea central es encontrar la ruta más corta que visite todas las ciudades una vez y regrese al punto de partida, en este caso realizamos la adaptación en torno a los lugares turísticos a visitar dentro de una ciudad.[21]
2. Estructura matemática clara: El TSP se puede formular matemáticamente como un problema de optimización combinatoria, lo que proporciona una estructura clara y permite utilizar una variedad de técnicas y algoritmos específicamente diseñados para este tipo de problemas.[21]
3. Amplia investigación y desarrollo: El TSP ha sido objeto de investigación intensiva durante décadas, lo que ha llevado al desarrollo de una amplia gama de algoritmos y métodos heurísticos para resolverlo.[21]

En torno a la definición de nuestra variable e economía de combustible, la cual hace referencia en torno al costo por kilómetro realizado en auto, se justifica en torno a la investigación del costo de un litro promedio de gasolina en la ciudad de México durante el año 2023 [22], dividido sobre el rendimiento de un coche 4 puertas promedio en dicha ciudad en el mismo año hasta la información actual [23].

4.2. Datos utilizados para el modelo

La fundamentación, en torno a los lugares a visitar, se basa en la elección arbitraria y experiencia empírica de sitios turísticos reconocidos dentro de la ciudad de México por el equipo desarrollador, con la información obtenida hasta el año 2023 [24].

Definimos la distancia de destinos seleccionados en Kilómetros, además de los tiempos estimados de llegada con la herramienta 'Google Maps'. Esto por su precisión al momento de predecir el tráfico en la zona [25]. Los valores obtenidos se observan en las figuras 6 y 7. Utilizando distintas fuentes se determinaron también los costos de entrada, horarios de apertura y cierre, duración de visita, y reputación de cada destino turístico.

A continuación se presenta la lista de lugares en torno al ingreso de dichos sitios en nuestro programa de GAMS:

1. Hotel Emporio
2. Ángel de la Independencia
3. Museo Soumaya
4. Museo de Antropología e Historia
5. Palacio de Bellas Artes
6. Basílica de Guadalupe
7. Xochimilco

8. Teotihuacán
9. Six Flags
10. Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México
11. Hotel Emporio

Se justifica la doble presencia del Hotel Emporio debido a que es el sitio donde parte el recorrido del trayecto, así como que al finalizar termina siendo el destino a donde vuelve el turista hipotético.

Como primer paso, se ingresaron los parámetros en GAMS del cliente y de los destinos para maximizar la satisfacción del cliente:

Cuadro 3: Datos ingresados en el modelo

$c(i)$	$r(i)$	$t(i)$	$p(i)$	$b(i,1)$	$b(i,2)$
0	$-\mu^a$	η	0.1	1	1
0	0.9	20	0.9	0	0
0	0.9	180	0.3	0	0
90	1	180	1	0	0
0	0.9	120	0.7	0	0
0	0.9	90	0.4	0	0
500	0.8	80	0.1	0	0
155	1	240	0.9	0	0
900	0.8	360	1	0	0
0	$-\mu$	η	0.1	0	-1
0	$-\mu$	η	0.1	-1	0

^a Se asignan valores negativos a la reputación de estos destinos (hotel y aeropuerto) para que el algoritmo no los visite a menos que sea absolutamente necesario (que sean denominados como el destino final). De lo contrario, el algoritmo a veces visita estos destinos durante su trayecto cuando no tendría sentido hacerlo (no son puntos de interés turístico). Por razonamiento similar se asignan valores muy pequeños de tiempo a estos destinos.

Se puede observar que el usuario considera obligatorio visitar el destino 4 (Museo de Antropología e Historia) y el destino 9 (Six Flags). Además, como se puede observar en los vectores $b(i, 1)$ y $b(i, 2)$ en el Cuadro 3 y los valores de $p(1, 1), p(1, 2), p(2, 1), p(2, 2)$ en el Cuadro 4, el usuario desea iniciar ambos días en el Hotel Emporio, terminar el primer día en el mismo hotel y terminar el segundo día en el Aeropuerto.

Figura 6: Matriz de distancias en km $d(i, j)$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	2.2	7.2	4.2	1.7	9.2	27	48.7	21.5	10.7	0
2	1.5	0	5.3	2.3	3.2	10.9	33.2	50.5	21.2	14.1	1.5
3	5.8	5.3	0	5.4	7.7	14.5	32.9	77	20.4	17.4	5.8
4	3.7	2.4	5.2	0	5.3	12.7	31.9	52.3	19.4	16	3.7
5	2.9	3.7	8.7	5.7	0	8.1	25.8	47.7	22.9	10.8	2.9
6	10	10.6	15.3	13.2	8.6	0	39.4	41.1	29	10.4	10
7	33.6	33.3	32.3	31.1	24.4	43.6	0	72.6	17.5	26.4	33.6
8	48.3	48.9	53.4	51.3	47.9	40.7	75.3	0	73.6	46.3	48.3
9	21.5	20.8	20.3	19	23.2	30.9	15.8	69.6	0	29.3	21.5
10	11.7	12.5	18	16.3	10.3	9.4	29.7	45.2	28	0	11.7
11	0	2.2	7.2	4.2	1.7	9.2	27	48.7	21.5	10.7	0;

Figura 7: Matriz de tiempos en minutos de traslados $v(i, j)$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	999	12	26	16	7	19	55	64	39	21	999
2	7	999	16	8	11	17	57	67	33	20	7
3	22	20	999	18	28	29	49	54	32	31	22
4	18	13	16	999	24	25	49	70	28	28	18
5	12	13	28	20	999	15	52	58	44	19	12
6	35	33	41	34	29	999	73	50	65	24	35
7	67	58	56	56	71	72	999	106	38	51	67
8	67	68	73	68	66	45	101	999	92	52	67
9	47	44	37	35	51	49	34	88	999	39	47
10	34	36	46	37	34	24	51	51	45	999	34
11	999	12	26	16	7	19	55	64	39	21	999

Cuadro 4: Datos del cliente

Preferencias $p(i)$	(Cuadro 3)
Presupuesto C_{max}	4000
Horario de inicio $td_{(1,1)}$	480
Horario final $td_{(1,2)}$	1110
Horario de inicio día 2 $td_{(2,1)}$	600
Horario de fin día 2 $td_{(2,2)}$	1200
Origen día 1 $m_{(1,1)}$	1
Destino día 1 $m_{(1,2)}$	11
Origen día 2 $m_{(2,1)}$	1
Destino día 2 $m_{(2,2)}$	10

Figura 8: Matriz de horarios de apertura en minutos $h1(i, \text{dia})$

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	630	630	630	630	630	630	630
4	9999	540	540	540	540	540	540
5	9999	660	660	660	660	660	660
6	420	420	420	420	420	420	360
7	480	480	480	480	480	480	480
8	480	480	480	480	480	480	480
9	9999	9999	9999	600	600	600	600
10	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0

Figura 9: Matriz de horarios de cierre en minutos $h2(i, \text{dia})$

	1	2	3	4	5	6	7
1	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440
2	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440
3	1110	1110	1110	1110	1110	1110	1110
4	9999	1080	1080	1080	1080	1080	1080
5	9999	1020	1020	1020	1020	1020	1020
6	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
7	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140
8	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020
9	9999	9999	9999	1080	1110	1260	1200
10	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440
11	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440

Cabe mencionar que para estos resultados preliminares, no se consideraron todavía los horarios de apertura variables con respecto a los días de la semana (aquellos en las Figuras 8 y 9), sino que se consideraron constantes cada día. Es por esta razón que no se especifica para este ejemplo en los parámetros los días de la semana de la visita. Esta funcionalidad fue agregada posteriormente.

4.3. Resultados preliminares

Como resultado del modelo obtuvimos los valores de los vectores:

$$\begin{bmatrix} w_{(1,1)} & w_{(2,1)} & \dots & w_{(11,1)} \\ w_{(1,2)} & w_{(2,2)} & \dots & w_{(11,2)} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Que nos dirán la selección de los lugares que serán visitados y el orden en el que se harán en ambos días, por lo que podremos generar un itinerario con los horarios y el costo total del recorrido de ambos días.

$$\begin{bmatrix} 480 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 535 & 0 & 703 & 0 & 1110 \\ 600 & 809 & 0 & 616 & 840 & 1085 & 0 & 0 & 0 & 1200 & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

En la matriz 20 se observan los resultados para ambos días. Por lo que podemos observar que los lugares elegidos para visitar el primer día son los siguientes:

Cuadro 5: Itinerario Día 1

Destino	Hora de Llegada
Hotel Emporio	08:00 am
Xochimilco	09:45 am
Six Flags	11:42 am
Hotel Emporio	06:30 pm

Mientras que el segundo día visitará los siguientes:

Cuadro 6: Itinerario Día 2

Destino	Hora de Llegada
Hotel Emporio	10:00 am
Museo de Antropología e Historia	10:16 am
Ángel de la Independencia	01:29 pm
Palacio de Bellas Artes	02:00 pm
Basílica de Guadalupe	06:05 pm
Aeropuerto	08:00 pm

En ambos días, se inicia y termina el recorrido de acuerdo a los horarios establecidos por el usuario, y se visitan los destinos en horarios en los que se encuentran abiertos. El costo total para ambos días se obtuvo del valor de la restricción 10, \$1725.25 el cual es menor a

\$4000, que es el presupuesto máximo del cliente.

En general, podemos observar que el modelo propone un itinerario que cumple con todas las restricciones necesarias, incluyendo las visitas obligatorias al Museo de Antropología e Historia y Six Flags, maximizando la cantidad de destinos visitados que son tanto interesantes para el usuario además de reconocidos como destinos turísticos con buena reputación.

4.4. Experimentación y resultados

El problema en total tiene, por la manera planteada aquí:

1. 8 puntos turísticos (+ 2 ubicaciones adicionales)
2. 11 nodos por día (10 puntos + 1 punto duplicado), para un total de 11L nodos
3. 2 matrices de decisión, significando en total $121L + 11L = 132L$ variables de decisión
4. 11 restricciones, muchas de las cuales están indexadas sobre i, j o l

Las $121L$ variables de decisión $x(i, j, l)$ son binarias, por lo que solo pueden tomar dos valores, pero las $11L$ variables de decisión $w(l)$ pueden tomar cualquier valor entero entre 0 y 1440. Esta última variable causa que el problema sea distinto a un problema simple de redes (nodos y arcos), por lo que las cantidades de nodos reportadas por GAMS en los ejemplos a continuación no coinciden directamente con lo aquí reportado.

Realizamos una prueba con varios grupos distintos, de acuerdo al número de puntos de visita considerados por el turista y también de acuerdo con las preferencias por cada lugar, modificando estas preferencias y la cantidad de lugares, tomaremos los resultados de las métricas como la calidad de la solución (objetivo), el tiempo de procesamiento, el número de iteraciones y nodos. Se realizarán tres grupos de puntos a visitar, es decir, pequeño, mediano, grande, y haremos 5 corridas por cada grupo cambiando los puntos de interés.

Utilizamos una MacBook Pro 2020 de 13 pulgadas para correr el código y obtener las métricas de los resultados. Las características de la computadora se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7: Características de la PC y software

Modelo de PC	MacBook Pro (13 pulgadas, chip M1)
Sistema Operativo	macOS
Capacidad de disco duro	512 GB
Memoria RAM y capacidad	8 GB
Tipo de procesador	M1 de Apple
Número de núcleos	8 de CPU y 8 de GPU
Software utilizado y versión	macOS Ventura 13.4

Para realizarlo se tomó en cuenta nuestro vector de preferencias por el usuario $p(i)$, que representa la preferencia del usuario por visitar el lugar i , en donde el 1 representa que el

lugar es obligatorio de visitar y el 0 que no se visita. Para el grupo pequeño tomamos en consideración que se visitaran cinco lugares: el aeropuerto, el hotel Emporio y los otros tres los fuimos cambiando por cada corrida.

Para hacer esto tuvimos que eliminar cinco lugares de las opciones, y en el vector de preferencias le dimos un valor de 0 a los lugares que eliminamos de las opciones del usuario. Para el grupo mediano tomamos en consideración el aeropuerto y el hotel Emporio como base, y aparte otros cinco lugares más, eliminando de las opciones a dos lugares. Y finalmente para el grupo grande dejamos todos los destinos para ser elegidos en el itinerario.

Por ejemplo, para probar el algoritmo con el grupo mediano en la primera corrida que se observa en el Cuadro 9, usamos el vector que se muestra a continuación:

Cuadro 8: Vector de preferencias del usuario

	$p(i)$
1	0.1
2	0
3	0.9
4	0.2
5	0
6	0.8
7	0.8
8	0
9	0.9
10	0.1
11	0.1

En donde podemos observar que el destino 2. Ángel de la Independencia, 5. Palacio de Bellas Artes y 8. Teotihuacán, no son considerados por el usuario debido a que tienen 0 como preferencia y por la restricción mencionada no son tomados en cuenta.

Los resultados al correr el código de GAMS obtuvimos un tiempo total de proceso de 0.07 sec. (47.31 ticks), 718 iteraciones, 39 nodos y función objetivo igual a 1, la cual busca maximizar el número de visitas a destinos con alta reputación y preferencia por el usuario. Esta función trata de aumentar la tasa del producto de las preferencias del usuario por cada destino, la tasa de reputación del destino y el tiempo de visita. En nuestro caso, como son tres días los que elegimos para que el usuario pueda recorrer los destinos, esta tasa se maximiza porque tiene tiempo de visitar todos los lugares de su preferencia, en dado caso que tenga poco tiempo y sean muchos los lugares que el usuario desea visitar, esta tasa de satisfacción disminuiría.

Las 718 iteraciones que se muestran representan el número de veces que el solver de GAMS ha evaluado y actualizado las variables de decisión para encontrar la mejor configuración. Los 39 nodos nos indica el número de nodos en el árbol de búsqueda que se han explorado durante el proceso de búsqueda de la solución óptima. Cada nodo representa un punto en el espacio de soluciones del problema, y el solver explora diferentes nodos para encontrar la solución

óptima.

En cuanto al tiempo, los resultados que se presentan muestran el tiempo de procesamiento y el número de ticks (unidades de tiempo de CPU) utilizados en diferentes etapas del proceso de optimización del modelo. La parte “Real Time” nos muestra el tiempo real transcurrido durante el procesamiento del nodo raíz antes de aplicar la técnica de ramificación y acotamiento (branch and cut), en donde los 35.55 ticks indican el número de ticks de CPU utilizado en el procesamiento del nodo raíz.

De manera análoga ocurre con las demás corridas con respecto del tipo de grupo que se analice y se pruebe el algoritmo, donde varía el número de nodos, iteraciones, así como el tiempo de solución, conservando cierta familiaridad y proporcionalidad entre los resultados con respecto del tamaño del grupo que se analice.

Cuadro 9: Prueba por tamaño de grupo y preferencias

	Grupo pequeño	Grupo mediano	Grupo grande
Puntos de visita	5	7	10
Calidad de solución 1	1	1	1
Tiempo 1	0.04 sec. (32.26 ticks)	0.07 sec. (47.31 ticks)	0.56 sec. (664.36 ticks)
Nodos 1	24	39	1217
Iteraciones 1	485	718	13768
Calidad de solución 2	1	1	1
Tiempo 2	0.04 sec. (18.64 ticks)	0.04 sec. (36.14 ticks)	0.14 sec. (151.16 ticks)
Nodos 2	0	51	354
Iteraciones 2	145	755	4873
Calidad de solución 3	1	1	1
Tiempo 3	0.03 sec. (25.47 ticks)	0.06 sec. (36.79 ticks)	0.10 sec. (82.29 ticks)
Nodos 3	0	11	110
Iteraciones 3	172	305	1485
Calidad de solución 4	1	1	1
Tiempo 4	0.02 sec. (18.90 ticks)	0.05 sec. (39.09 ticks)	0.11 sec. (93.54 ticks)
Nodos 4	0	7	205
Iteraciones 4	103	282	2464
Calidad de solución 5	1	1	1
Tiempo 5	0.04 sec. (20.11 ticks)	0.06 sec. (39.31 ticks)	0.29 sec. (319.50 ticks)
Nodos 5	0	17	923
Iteraciones 5	159	488	10691

5. Conclusiones

A través del análisis y realización de este proyecto pudimos darnos cuenta de la importancia de optimizar los tiempos de viaje de los turistas en la Ciudad de México, ya que es esencial para mejorar la experiencia turística y abordar el problema de la contaminación. Al reducir la congestión del tráfico y promover el uso de medios de transporte más sostenibles, se pueden lograr múltiples beneficios, como una experiencia turística enriquecedora, la promoción del turismo sostenible, la mejora de la calidad del aire y el impulso económico. Es crucial que las autoridades y los actores involucrados trabajen juntos para implementar medidas efectivas que optimicen la movilidad en la ciudad, garantizando así un futuro más prometedor para el turismo y el medio ambiente.

Aplicamos lo aprendido en el curso de Optimización determinista MA2001B.301 impartido por el Dr. Fernando Elizalde Ramírez y la Dra. Yadira Isabel Silva Soto sobre la optimización de redes utilizando programación lineal en GAMS. Este modelo se puede escalar en la cantidad de días, destinos e incluso se puede adaptar a distintas ciudades, por lo que puede ser muy útil para distintas aplicaciones.

Es necesario realizar análisis continuos, ajustes y actualizaciones del algoritmo, teniendo en cuenta factores cambiantes como el tráfico, las temporadas turísticas y las condiciones ambientales. Consideramos que nuestra área de mejora es tratar de hacerlo de la forma más realista posible, eliminando ciertos supuestos, como el de la constante del tiempo de viaje en CDMX, porque como sabemos debido a la cantidad de tráfico en la ciudad, este tiempo es muy relativo y depende de muchos factores que podríamos considerar al implementar el modelo, como la época del año en la que el turista viaja o el día de la semana y las horas específicas. Si bien siempre hay margen de mejora, consideramos que hemos logrado un resultado exitoso. Hemos demostrado nuestra capacidad para trabajar juntos de manera efectiva, enfrentar desafíos y alcanzar metas comunes.

6. Anexos

```
Código en GAMS:
option optcr=0.0001;
set
i /1*11/;;
alias (i,j,k);
set
l /1*3/
dia /1*7/
two /1*2/;
parameter
*orden de los destinos turísticos en los parámetros
*1. Hotel Emporio
*2. Ángel de la Independencia
*3. Museo Soumaya
*4. Museo de Antropología e Historia
*5. Palacio de Bellas Artes
*6. Basilica de Guadalupe
```

*7. Xochimilco
 *8. Teotihuacán
 *9. Six Flags
 *10. Aeropuerto
 *11. Hotel Emporio
 c(i) *costo de entrada de cada destino /
 1 0
 2 0
 3 0
 4 90
 5 0
 6 0
 7 500
 8 155
 9 900
 10 0
 11 0
 /
 r(i) *reputacion de cada destino /
 1 -100000000
 2 0.9
 3 0.9
 4 1
 5 0.9
 6 0.9
 7 0.8
 8 1
 9 0.8
 10 -100000000
 11 -100000000
 /
 t(i) *tiempo de visita que toma cada destino /
 1 0.0000001
 2 20
 3 180
 4 180
 5 120
 6 90
 7 80
 8 240
 9 360
 10 0.0000001
 11 0.0000001
 / p(i) *preferencia del usuario (1 = visitar es obligatorio. 0 = no se visita)/
 1 0.1
 2 0.9
 3 0.9
 4 0.9
 5 0.9
 6 0.9

```

7 0.9
8 0.9
9 0.9
10 0.1
11 0.1
/
sem(1) *dias de la semana que se va a estar 1 es lunes 7 es domingo
/
1 6
2 7
3 1
/;
table h1(i,dia) *horario de apertura de destinos. por día
1 2 3 4 5 6 7
1 0 0 0 0 0 0
2 0 0 0 0 0 0
3 630 630 630 630 630 630 630
4 9999 540 540 540 540 540 540
5 9999 660 660 660 660 660 660
6 420 420 420 420 420 420 360
7 480 480 480 480 480 480 480
8 480 480 480 480 480 480 480
9 9999 9999 9999 600 600 600 600
10 0 0 0 0 0 0 0
11 0 0 0 0 0 0 0;
table
h2(i,dia) *horario de cierre de destinos
1 2 3 4 5 6 7
1 1440 1440 1440 1440 1440 1440 1440
2 1440 1440 1440 1440 1440 1440 1440
3 1110 1110 1110 1110 1110 1110 1110
4 9999 1080 1080 1080 1080 1080 1080
5 9999 1020 1020 1020 1020 1020 1020
6 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200
7 1140 1140 1140 1140 1140 1140 1140
8 1020 1020 1020 1020 1020 1020 1020
9 9999 9999 9999 1080 1110 1260 1200
10 1440 1440 1440 1440 1440 1440 1440
11 1440 1440 1440 1440 1440 1440 1440;
table
b(i, l) *origen y destino
1 2 3
1 0 1 1
2 0 0 0
3 0 0 0
4 0 0 0
5 0 0 0
6 0 0 0
7 0 0 0
8 0 0 0

```

```

9 0 0 0
10 1 0 -1
11 -1 -1 0;
table
v(i,j) *tiempo de viaje
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
1 999 12 26 16 7 19 55 64 39 21 999
2 7 999 16 8 11 17 57 67 33 20 7
3 22 20 999 18 28 29 49 54 32 31 22
4 18 13 16 999 24 25 49 70 28 28 18
5 12 13 28 20 999 15 52 58 44 19 12
6 35 33 41 34 29 999 73 50 65 24 35
7 67 58 56 56 71 72 999 106 38 51 67
8 67 68 73 68 66 45 101 999 92 52 67
9 47 44 37 35 51 49 34 88 999 39 47
10 34 36 46 37 34 24 51 51 45 999 34
11 999 12 26 16 7 19 55 64 39 21 999;
table
d(i,j) *distancia
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
1 0 2.2 7.2 4.2 1.7 9.2 27 48.7 21.5 10.7 0
2 1.5 0 5.3 2.3 3.2 10.9 33.2 50.5 21.2 14.1 1.5
3 5.8 5.3 0 5.4 7.7 14.5 32.9 77 20.4 17.4 5.8
4 3.7 2.4 5.2 0 5.3 12.7 31.9 52.3 19.4 16 3.7
5 2.9 3.7 8.7 5.7 0 8.1 25.8 47.7 22.9 10.8 2.9
6 10 10.6 15.3 13.2 8.6 0 39.4 41.1 29 10.4 10
7 33.6 33.3 32.3 31.1 24.4 43.6 0 72.6 17.5 26.4 33.6
8 48.3 48.9 53.4 51.3 47.9 40.7 75.3 0 73.6 46.3 48.3
9 21.5 20.8 20.3 19 23.2 30.9 15.8 69.6 0 29.3 21.5
10 11.7 12.5 18 16.3 10.3 9.4 29.7 45.2 28 0 11.7
11 0 2.2 7.2 4.2 1.7 9.2 27 48.7 21.5 10.7 0;
Variable
z;
binary Variable
x(i,j,l);
integer Variable
w(i,l);
Table
td(l, two)
1 2
1 540 1200
2 440 1140
3 440 1200;
table
m(l, two)
1 2
1 10 11
2 1 11
3 1 10;
scalar

```

e *economia de combustible /2.5/
 cmax *presupuesto /4500/
 Equations
 obj, r1, r2, r3, r4, r6, r7, r8, r9, r10, r11, r12;
 *OBJETIVO: MAXIMIZAR VISITAS A DESTINOS CON ALTA REPUTACIÓN Y
 PREFERENCIA
 obj.. z =E= sum((i,j,l), (x(i,j,l))*p(j)*r(j)*t(j))/sum(j,p(j)*r(j)*t(j));
 *TSP r1(i,l).. sum(j,x(i,j,l))-sum(k,x(k,i,l)) =E= b(i,l);
 *ESTABLECIMIENTO DE w(i)
 r2(i,j,l) (ord(i) <> ord(j))..w(i,l) + x(i,j,l) * (t(i) + v(i,j) + 100000000) - 100000000 =
 L = w(j,l);
 *RESTRICCIÓN QUE HACE w(i) = 0 PARA DESTINOS QUE NO SE VISITAN
 r3(i,l) (ord(i) <> m(l,'1')andord(i) <> m(l,'2'))..w(i,l) = L = sum(j,x(i,j,l)) *
 100000000;
 *RESTRICCIÓN QUE HACE VISITAR DESTINOS CON p(i) = 1 OBLIGATORIO
 r4(i).. sum((j,l),x(i,j,l)) =G= p(i) - 1 + 0.00001;
 *RESTRICCIONES DE HORARIOS DE CLIENTE
 r6(i,l).. w(i,l) =G= sum(j,x(i,j,l))*td(l,'1');
 r7(i,l).. w(i,l) + t(i)*sum(j,x(i,j,l)) =L= td(l,'2');
 *RESTRICCIONES DE HORARIOS DE ESTABLECIMIENTO
 r8(i,l,dia) (ord(i) <> m(l,'1')andord(i) <> m(l,'2')andord(dia) = sem(l))..w(i,l) =
 G = sum(j,x(i,j,l)) * h1(i,dia);
 r9(i,l,dia) (ord(dia) = sem(l))..w(i,l) + t(i) = L = h2(i,dia);
 *RESTRICCIÓN QUE PROHIBE IR DEL NODO i AL NODO j CON i=j
 r10(i,j,l) (ord(i) = ord(j))..x(i,j,l) = E = 0;
 *PRESUPUESTO
 r11.. sum((i,j,l),(x(i,j,l))*(c(i)+d(i,j)*e)) =L= cmax;
 *RESTRICCIÓN QUE PROHIBE VISITAR EL MISMO DESTINO EN DIFERENTES
 DIAS
 r12(i) (ord(i) <> 1andord(i) <> 10andord(i) <> 11)..sum((j,l),x(i,j,l)) = L = 1
 model reto /all/;
 solve reto using MIP max z;

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/

- [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*,
- [17] OMT — Organización Mundial del Turismo Agencia especializada de la ONU. (2022). Unwto.org. <https://www.unwto.org/es>
- [18] Solving the Traveling Salesman Problem with Reinforcement Learning — Eki.Lab. (2021, November 3). Github.io. <https://ekimetrics.github.io/blog/2021/11/03/tsp/>
- [19] Qué es el VRP y cuáles son sus variantes. UNISOLUTIONS NEWS; UNISOLUTIONS NEWS. <https://unisolutionsnews.wordpress.com/2016/08/22/que-es-el-vrp-y-cuales-son-sus-variantes/>
- [20] Guide, N. (2022, August). Multiple Traveling Salesman Problem (mTSP) - NEOS Guide. NEOS Guide. <https://neos-guide.org/case-studies/tra/multiple-traveling-salesman-problem-mtsp/>
- [21] Godart, J. (1999). Combinatorial Optimisation Based Decision Support System for Trip Planning. *Information And Communication Technologies In Tourism 1999*, 318-327. doi: 10.1007/978-3-7091-6373-3_31
- [22] Conoce los precios nacionales de la gasolina y diésel en México hoy – gasolina . (2023). Nacionalgasolinero.com. <https://nacionalgasolinero.com>
- [23] Nexu.mx. (2023, February 27). Autos con mejor rendimiento en México en 2023. Nexu Blog; Nexu Blog. <https://www.nexu.mx/blog/autos-con-mejor-rendimiento-de-combustible/>
- [24] Voyage. (2023, May 11). Qué ver en México: las 35 mejores cosas que hacer y visitar. Voyage Mexique. <https://www.voyagemexique.info/es/que-hacer-en-mexico/>
- [25] Google (2023). <https://www.google.com/maps>