



RETO: Optimización de planes de viaje turísticos
MA2001B: Optimización determinista

Gpo. 201
Miércoles 8 de Mayo de 2023
Profesora: Yadira Isabel Silva Soto
Profesor: Fernando Elizalde Ramírez
Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey

Valeria María Serna Salazar.....**A01284960**

Diego Garza González.....**A01721186**

Víctor Hugo Garza Mantecón.....**A01284924**

Adalía Fernanda Aneiros Gutierrez.....**A00832680**

Índice

I	Introducción	2
1.1	El Turismo en México	2
1.2	La problemática: organización y optimización de un viaje turístico	2
1.2.1	Preferencias y Restiricciones	3
1.2.2	Modelos	4
II	Nuestro Problema	5
2.1	Variables	5
2.1.1	Traslados en k días	5
2.1.2	Asignación de visitas por k día	7
2.1.3	Declaración de variables en GAMS	8
2.2	Parámetros	8
2.2.1	Descripción de Parámetros	8
2.2.2	Declaración de variables en GAMS	8
2.3	Modelo matemático	9
2.3.1	Función Objetivo	9
2.3.2	Restricciones	9
III	Experimentación y Resultados	10
3.1	Características de la PC y software	10
3.1.1	Modelo de la PC	11
3.1.2	Sistema Operativo	11
3.1.3	Capacidad de disco duro	11
3.1.4	Memoria Ram y capacidad	11
3.1.5	Tipo de procesador y número de núcleos	12
3.1.6	Software utilizado y versión	12
IV	Resultados en GAMS	13
4.1	Viaje Corto	14
4.2	Viaje Mediano	14
4.3	Viaje Grande	15
V	Conclusión	16
VI	Anexos	16
VII	Referencias Bibliográficas	17

I Introducción

1.1 El Turismo en México

México es un país que, con el paso del tiempo, ha ido ganando importancia en el área del turismo. De hecho, actualmente, y desde hace unos cuantos años, se considera que el turismo es uno de los principales motores de crecimiento y generador de empleos para el país, así como uno de los sectores económicos de mayor importancia. Para ejemplificar lo anterior, es oportuno analizar ciertos datos. Según la Organización Mundial del Turismo de las Naciones Unidas (UNWTO, por sus siglas en inglés), sobre el turismo internacional, en 2019 México ocupó el séptimo lugar de los países con mayor llegada de turistas, con un total de 45 millones. Para 2020, ascendió al tercer lugar de la lista, con 24.3 millones (cifra que se vio afectada por el Covid-19). Finalmente, para 2021, el país ocupó el segundo lugar, con 31.9 millones de turistas, sólo por detrás de Francia.

Como es sabido, el turismo es una fuente importante de aporte económico para cualquier país. Para el caso de México, en 2019, ingresaron 24 mil 600 millones de dólares por turismo extranjero. Para el año siguiente, el ingreso de divisas fue de 10 mil 996 millones de dólares, y, finalmente, para 2021, de 19 mil 800 millones de dólares.

En lo que respecta al turismo local, en el país se ha buscado impulsarlo poniendo en práctica iniciativas como la de *Pueblos Mágicos*, lugares donde, efectivamente, se centra gran parte del turismo interno. Según la Secretaría de Turismo en la publicación anual del Compendio Estadístico del turismo en México (2018), hubieron 100.4 millones llegadas de turistas nacionales a hoteles, y, sumando la llegada de otros viajeros a distintos tipos de estancias, se estima un aproximado de 551.4 millones de viajeros residentes en México. Todo esto generando un consumo de 2.7 billones de pesos, teniendo mayor peso los rubros de alojamiento y transporte.

Asimismo, es importante mencionar que en México, desde 2012, el empleo en el sector turístico ha ido creciendo un 3% aproximadamente cada año, y para 2018 se afirmaba que 10 millones de trabajadores dependían del turismo, ya fuese de forma directa o indirecta [SECTUR, 2018].

Todos los datos dados anteriormente son el fruto de que este país cuente con un sinfín de destinos turísticos que resultan atractivos tanto para extranjeros como para locales. Algunos de ellos, como se mencionó anteriormente, son los Pueblos Mágicos, programa que nació en 2001 con la finalidad de dar un valor importante a pueblos con riqueza patrimonial significativa, siendo, hasta la fecha, 132. Sin embargo, además de estos, existen otros destinos que se caracterizan por su popularidad turístico-cultural, entre los que destacan Ciudad de México, Oaxaca, Chiapas, Cancún, Guanajuato, Chichen Itzá, Teotihuacán, Yucatán y Palenque [SECTUR, 2015].

1.2 La problemática: organización y optimización de un viaje turístico

Los turistas, al planificar un viaje, suelen apoyarse en cierta información para poder decidir su destino. Con el paso del tiempo, el internet se ha vuelto una herramienta esencial, pues

desde ahí se puede obtener información de hoteles, aerolíneas, agencias, guías turísticas, mapas, y hasta el acceso a foros o plataformas que fomentan la interacción de viajeros en el intercambio de experiencias y opiniones.

Realizar una buena planificación previa es primordial, pues de eso dependerá cómo surga el viaje. Normalmente, los turistas suelen basarse en su presupuesto, de lo que dependerá el destino y la duración de éste. Además, comparar tipos de traslados y hoteles es importante, que dependerán de la ubicación de los lugares que se deseen visitar. Éstos pueden basarse en el tipo de viaje que se busca hacer, pero normalmente suelen ser los lugares típicos o céntricos de la ciudad. Es por esto que contar con un buen recurso que nos permita acceder a esta información es necesario a la hora de planear y también al momento de estar realizando el viaje.

Tomando esto en cuenta, se propone la idea de buscar un medio mediante el cual, un turista pueda planear su viaje definiendo los lugares que quiere visitar, tomando en cuenta las restricciones que puedan existir y sus preferencias. Normalmente, los turistas no conocen las posibles rutas que se pueden tomar, por lo que se esperaría darle una variedad de respuestas de acuerdo a sus recursos de dinero y tiempo.

1.2.1 Preferencias y Restricciones

Para acortar y especificar las respuestas a los turistas, para que estas sean de su agrado, es mejor conocer las preferencias y restricciones de los turistas. A continuación, se enumeran **las preferencias** más importantes cuando se busca resolver un problema de optimización de este tipo.

- **Presupuesto:** El costo del viaje es un factor importante que debe ser considerado en un modelo para proporcionar el mejor itinerario posible dentro del presupuesto del viajero.
- **Actividades:** Se debe tener en cuenta las preferencias del viajero para las actividades que quiere realizar en su viaje. Se deben sugerir actividades que se alineen con los intereses del viajero.
- **Alojamiento:** El tipo y la calidad del alojamiento pueden afectar en gran medida la experiencia del viajero.
- **Cocina:** El modelo podría considerar las preferencias del viajero por diferentes tipos de cocina y sugerir restaurantes o recorridos gastronómicos que se alineen con los gustos.
- **Idioma:** El modelo podría considerar las preferencias de idioma del viajero y sugerir destinos donde podría comunicarse cómodamente y aprovechar al máximo su viaje.
- **Clima:** El modelo podría considerar las preferencias climáticas del viajero y sugerir destinos donde pueda disfrutar de las condiciones climáticas que prefiera.

A continuación, se enumeran **las restricciones** más importantes cuando se busca resolver un problema de optimización de este tipo.

- **Restricciones de tiempo:** La cantidad de tiempo que el viajero tiene disponible para el viaje es un factor crucial para el modelo, ya que el itinerario se tiene que ajustar al marco de tiempo disponible.
- **Distancia y transporte:** La distancias entre atracciones y la disponibilidad de transporte para moverse entre ellas es otra restricción importante.
- **Restricciones de viaje:** Las restricciones de viaje, como los requisitos de visa o las restricciones debido a COVID-19, pueden afectar la capacidad del viajero para visitar ciertos destinos. Se debe de tener en cuenta las regulaciones de viaje vigentes.
- **Accesibilidad:** El modelo debe tener en cuenta la accesibilidad de los destinos y atracciones, en particular para los viajeros con discapacidad o problemas de movilidad.
- **Salud y seguridad:** El modelo debe considerar la salud y la seguridad del viajero al sugerir destinos y actividades, particularmente en áreas con altos índices de criminalidad o alto riesgo de desastres naturales.
- **Restricciones culturales o religiosas:** El modelo debe tener en cuenta cualquier restricción cultural o religiosa que pueda afectar la capacidad del viajero para visitar ciertos destinos o participar en ciertas actividades.

Al considerar estas preferencias y restricciones, el modelo puede proporcionar un itinerario aún más personalizado que tenga en cuenta todos los factores que son importantes para el viajero.

1.2.2 Modelos

Con el paso del tiempo se han ido diseñando modelos que dan respuesta a este tipo de problemas, que se engloban en la Investigación de Operaciones orientada al turismo, como lo son:

- **Problema del agente viajero (TSP):** es un problema que se caracteriza por la necesidad de plantear rutas, pues un agente o vendedor debe visitar un conjunto de nodos mediante la ruta más corta para ofrecer sus productos o servicios.
- **Problema de ruteo de vehículos (VRP):** su objetivo es definir una flota de vehículos que se encuentran en un punto central y las rutas a seguir para darles servicio a clientes con diferentes ubicaciones, de manera que se minimice el costo y el tiempo.

- **Problema de orientación de equipo (TOP):** se utiliza cuando el viaje dura más de un día y es necesario planificar las rutas diarias, por lo que se determinan estas rutas que están delimitadas por un tiempo máximo, y se maximiza su beneficio. Éste es una extensión del problema básico de orientación (OP), con el cual se busca obtener una única ruta y sacarle el mayor beneficio tomando en cuenta la limitante del tiempo.
- **Problema de orientación de equipo con ventanas de tiempo (TOPTW):** tiene como objetivo el maximizar la suma de las puntuaciones que tiene cada uno de los puntos de interés por un número de rutas fijo, por lo que se permitiría visitar ciertos lugares en los momentos adecuados.
- **Uso de inteligencia artificial y machine learning:** el acceso a internet también es una de las formas más óptimas para definir un plan, pues se puede acceder a información sobre el destino de interés, y mediante nuestra geolocalización, podremos saber las rutas posibles que toman el menor tiempo, además de que es capaz de tomar en cuenta nuestras limitantes para ofrecernos la mejor opción.

II Nuestro Problema

Conociendo que la ciudad de México es una de las ciudades más visitadas en el país, el objetivo del problema es encontrar la manera de optimizar las rutas y diferentes paradas diarias, para así mejorar la experiencia del visitante y propiciar el turismo en el país. Esto, al utilizar el método SIMPLEX y usando a la programación entera como una herramienta para optimizar el escenario que se presenta.

Cabe aclarar que el problema se plantea como el "viaje perfecto", al considerar los 12 puntos más atractivos y culturalmente ricos que ofrece la ciudad, así como optar por hacer todos los traslados en automóvil, optimizando solamente el tiempo de traslado entre cada punto. También, se consideran 5 días de viaje, pues según diversas fuentes, este es el tiempo perfecto para conocer la Ciudad de México.

2.1 Variables

2.1.1 Traslados en k días

Para desarrollar el problema, se identifican 2 variables importantes. La primera variable de decisión será el número de paradas que el usuario busca hacer en el día, cada posible lugar de interés en la ciudad deberá tomar un valor binario (0 o 1), representando si el turista lo visitará o no en un k día. Los lugares que se consideran son:

Estos lugares son reconocidos dentro de los más visitados por turistas en la Ciudad de México, por las siguientes razones:

Punto	Lugar	Tiempo de estadía
A ₁	Plaza de la Constitución	150
A ₂	Templo Mayor	120
A ₃	Palacio de Bellas Artes	100
A ₄	Bosque de Chapultepec	80
A ₅	Museo de Frida Kahlo	180
A ₆	Estadio Azteca	60
A ₇	Teotihuacán	330
A ₈	Xochimilco	180
A ₉	Museo Soumaya	150
A ₁₀	Papalote Museo del Niño	350
A ₁₁	Torre Latinoamericana	30
A ₁₂	Paseo de la Reforma	60
A ₁₃	Parque Ecológico Xochimilco	200
A ₁₄	Museo Nacional de Antropología	150
A ₁₅	Museo Jumex	100

Figura 1: Lugares a considerar con su tiempo de estadía (minutos).

- **Plaza de la constitución:** mejor conocido como Zócalo, es la plaza principal de la Ciudad y la segunda más grande a nivel mundial por su superficie. Actualmente, es testigo de importantes movimientos de carácter político y cultural.
- **Templo Mayor:** resguarda piezas arqueológicas preciadas para el país que son prueba del linaje de todos los mexicanos y de su gran cosmogonía.
- **Palacio de Bellas Artes:** famoso por su arquitectura y por su acervo de 17 murales de artistas nacionales, además de tener salas para el disfrute de conciertos y obras de teatro.
- **Bosque de Chapultepec:** un lugar que reúne tanto a ciudadanos como extranjeros, debido a sus museos, lugares para caminar, zoológico, áreas recreativas para niños, entre otros, que permiten disfrutar de un día agradable, familiar y tranquilo.
- **Museo de Frida Kahlo:** reconocido por ser la casa donde nació, vivió y murió Frida Kahlo, además de albergar muchas de sus obras, objetos personales, y hasta sus cenizas.
- **Estadio Azteca:** un foro con capacidad aproximada de 105 mil personas, convirtiéndose por esta razón en uno de los más reconocidos en su categoría. Actualmente, es uno de los

lugares más emblemáticos de toda la ciudad.

- **Teotihuacán:** esta zona arqueológica que cuenta con templos, pirámides, exhibiciones y museos es la más visitada del país en su categoría. Además, en sus alrededores se puede disfrutar de una de las mejores especialidades gastronómicas mexicanas.
- **Xochimilco:** una zona declarada como Patrimonio Cultural de la UNESCO por ser un vestigio de lo que fue Tenochtitlan. Se puede disfrutar de sus canales, chinampas, zonas verdes, y de sus famosas trajineras.
- **Museo Soumaya:** tiene como objetivo principal compartir la colección de Fundación Carlos Slim, en donde se encuentran colecciones de arte americano y europeo, y exposiciones diversas de carácter nacional e internacional.
- **Papalote Museo del Niño:** ubicado en el Bosque de Chapultepec, busca, mediante exposiciones artísticas y tecnológicas, aportar al aprendizaje y convivencia de los niños.
- **Torre Latinoamericana:** un museo y un mirador dignos de disfrutar desde uno de los rascacielos más importantes, donde antes se encontraba el zoológico de Moctezuma.
- **Paseo de la Reforma:** considerada la avenida más importante de la Ciudad de México, donde, en 14 km de longitud, se pueden encontrar diversas zonas, monumentos, museos, hoteles, restaurantes, tiendas, entre otros.
- **Parque Ecológico Xochimilco:** ideal para pasear alrededor del lago a pie o en bicicleta, dar un paseo por el lago en lacha, rentar una palapa o simplemente disfrutar de sus áreas naturales.
- **Museo Nacional de Antropología:** en este importante recinto se guardan los testimonios arqueológicos y antropológicos realizados por múltiples grupos culturales durante cientos de años de historia, y, a su vez, rinde un homenaje a los pueblos indígenas del México de hoy a través de un acervo que rescata los usos, representaciones, expresiones, conocimientos y tradiciones que son patrimonio intangible de la nación y legado que pertenece a toda la humanidad.
- **Museo Jumex:** uno de los museos más importantes de Arte Contemporáneo, con diferentes exposiciones al mes.

2.1.2 Asignación de visitas por k día

La segunda variable sería una variable binaria que mantiene el orden del viaje dentro de sus valores. La variable indicará con un 1 si es que el viajero irá en el día k al nodo i. En su contra parte, la variable indicaría un 0 si el viajero NO irá en el día k al nodo i.

2.1.3 Declaración de variables en GAMS

Las variables anteriormente mencionadas se programan en GAMS de la siguiente forma:

```
Binary Variables
x(i,j,k) '1 si en el día k se fue de i a j, en otro caso 0'
y(i,k)   '1 si el timepo para visitar i está despinible en el día k, en otro caso 0';
```

Figura 2: Declaración del variables en GAMS

1. $x_{(i,j,k)}$: Variable binaria la cual indica si se pasó del nodo i al nodo j en el día k.
2. $y_{(i,k)}$: Variable que indica si estaremos en el nodo i en el día k.

2.2 Parámetros

Ya que las variables han sido definidas, se deben establecer los parámetros los cuales ayudarán a plantear un modelo adecuado para la asignación de horarios, en este caso, pensamos hacer un modelo CVRP que minimice el tiempo de transporte. Para lograr lo anterior, se necesitan los siguientes parámetros:

2.2.1 Descripción de Parámetros

- **Tiempo de transporte:** Se debe establecer una matriz la cual incluya las conexiones entre los nodos y su costo (en minutos) de cuando tardarías en llegar del nodo i al nodo j.
- **Tiempos de visita:** Se establece un vector el cual incluye las los minutos promedio que dura una persona en cada nodo i.
- **Tiempo disponible por k días:** Se debe disponer de un tiempo por día para visitar los nodos. Se declara un vector con la disponibilidad en minutos que se tiene por cada día que se planea tener el viaje.

2.2.2 Declaración de variables en GAMS

Los parámetros mencionados anteriormente se programan en GAMS de la siguiente forma:

1. a_i : Vector con el.
2. b_i : Vector con el tiempo que toma estar en el nodo i.
3. $c_{(i,j)}$: Matriz de costo en minutos del tiempo que toma ir del nodo i al j.

```

Parameter
  a(k) 'tiempo disponible al día (12 horas)'
  /D1 720
  D2 720
  D3 720
  D4 720
  D5 720
  D6 720/

  b(i) 'tiempo para'
  /hotel 0
    A1 150
    A2 120
    A3 100
    A4 80
    A5 180
    A6 60
    A7 330
    A8 180
    A9 150
    A10 350
    A11 30
    A12 60
    A13 200
    A14 150
    A15 100/;

Table c(i,j) 'tiempo de traslado (minutos)'
  hotel  A1  A2  A3  A4  A5  A6  A7  A8  A9  A10  A11  A12  A13  A14  A15
  hotel  999  6  10  16  23  18  25  75  45  37  23  13  23  29  28  46
  A1    7   999  4  14  27  21  29  74  50  36  26  9   21  32  25  51
  A2    14   12  999  21  38  29  35  75  59  44  37  19  25  37  29  60
  A3    11   8   7   999  23  28  38  87  67  33  27  4   16  41  19  68
  A4    22   31  29  22  999  37  31  91  66  20  4   28  15  31  8   67
  A5    16   19  23  28  30  999  21  90  46  48  26  26  40  24  34  47
  A6    23   28  33  37  36  21  999  104  31  52  31  37  47  13  43  32
  A7    62   66  65  66  70  68  85  999  109  73  70  70  67  99  62  110
  A8    38   48  52  58  43  42  20  120  999  53  40  56  62  24  60  1
  A9    40   43  42  37  30  59  54  105  83  999  20  43  28  46  16  84
  A10   33   41  41  34  14  40  34  101  63  21  999  37  26  63  85  64
  A11   11   6   5   6   26  32  47  90  81  33  30  999  14  36  17  82
  A12   19   23  23  15  18  45  55  88  81  20  23  20  999  47  9  82
  A13   40   48  51  56  41  33  11  87  24  45  64  49  60  999  42  24
  A14   29   27  29  19  8   32  42  64  58  15  88  17  9   45  999  58
  A15   38   49  53  59  44  42  21  121  1   54  41  57  63  25  61  999;

```

Figura 3: Declaración de los parámetros en GAMS

2.3 Modelo matemático

2.3.1 Función Objetivo

Ya que se decide el tipo de modelo, se declaran las variables y los parámetros, se establece una función objetivo que cumplirá con minimizar el tiempo de transporte. La función objetivo se define como (1).

$$(1) \quad z = \min \sum_{i=0} c_{(i,j)} * x_{(i,j,k)}$$

2.3.2 Restricciones

Lo anterior está, S.A:

Asignación de atracciones por día:

La suma de tiempo gastado en cada atracción por cada día k debe ser menor o igual al

tiempo disponible por cada día.

$$(2) \quad \sum_{i=0} b_i * y_{(i,k)} \leq a_k ; \quad \forall k$$

Salida y regreso al hotel:

$$(3) \quad \sum_{k=0} y_{(i,k)} = card(k) ; \quad \forall i ; \quad ord(i) = 1$$

Asignamos nodos a cada día:

Solo se puede ir a una atracción 1 vez en todo el viaje.

$$(4) \quad \sum_{k=0} y_{(i,k)} = 1 ; \quad \forall i ; \quad i \neq 1$$

Nodos predecesores:

Todos los nodos conectados deben tener un nodo posterior.

$$(5) \quad \sum_{j=0} x_{(i,j,k)} = y_{(i,k)} ; \quad \forall i, k$$

Nodos antecesores:

Todos los nodos conectados deben tener un nodo anterior.

$$(6) \quad \sum_{i=0} x_{(i,j,k)} = y_{(j,k)} ; \quad \forall j, k$$

III Experimentación y Resultados

3.1 Características de la PC y software

Ya que entendimos nuestro problema y planteamos un modelo matemático el cual nos permite organizar un viaje de k días minimizando el tiempo de transporte, es momento de hacer la implementación del modelo. Un factor muy importante a considerar para calcular soluciones óptimas es el dispositivo en donde se ejecute el modelo. Para que esta solución sea replícale, hablaremos un poco a profundidad sobre el dispositivo que se utilizó para ejecutar el modelo.

3.1.1 Modelo de la PC

El computador que se utilizó para ejecutar el modelo es un computador de la marca OMEN. El computador es específicamente una laptop OMEN 15 con un procesador Ryzen 7 de AMD serie 4000 y una tarjeta NVIDIA RTX 2060.



Figura 4: Fotografía del computador utilizado

3.1.2 Sistema Operativo

El sistema operativo que utiliza el computador OMEN es Windows 11. Con este sistema operativo se puede utilizar el software GAMS para programar modelos matemáticos para optimización.

3.1.3 Capacidad de disco duro

El disco duro que tiene el computador es un disco duro de estado sólido M2 de 500 GB de espacio. Esta clase de discos duros suelen ser hasta 10 veces más potentes que los discos duros mecánicos tradicionales. Esta potencia de procesamiento de información hace que al calcular cosas en GAMS el computador logre completar el proceso.

3.1.4 Memoria Ram y capacidad

El computador OMEN que se utilizó para optimizar el horario cuenta con un total de 16 GB de RAM dividido en 2 tarjetas de 8GB conectadas en Dual Chanel. Este tipo de conexión de las tarjetas hacen que el procesamiento de la memoria sea mucho más eficiente y disminuye la probabilidad de sturación de datos en la memoria.



Figura 5: Fotografía del procesador M2 marca XPG de 512 GB

3.1.5 Tipo de procesador y número de núcleos

El procesador que el computador tiene es un AMD Ryzen 7 4800H con gráfica integrada. El procesador tiene como velocidad base 2.90 GHz, 8 núcleos y 16 procesadores lógicos. Los CPU de marca Ryzen se caracterizan por tener una gran capacidad de procesamiento y son la competencia directa de la marca Intel, la cual, es el estándar de procesadores a nivel mundial. En los últimos años AMD se ha esforzado en mejorar sus procesadores para incrementar la cantidad de procesamiento dentro de sus chips y este trabajo duro se nota al ver la velocidad de procesamiento.

3.1.6 Software utilizado y versión

El software que se utiliza para hacer la modelación del CVRP es por medio de GAMS. Este software matemático nos permite plantear modelos de programación lineal y programación entera que nos ayuda a poder optimizar diferentes recursos, en este caso el tiempo, y ayudarnos a tomar mejores decisiones según nuestros intereses. La versión que se utiliza para ejecutar el modelo es la siguiente: 42.5.0 cf11b917 WEX-WEI x86 64bit/MS Windows.

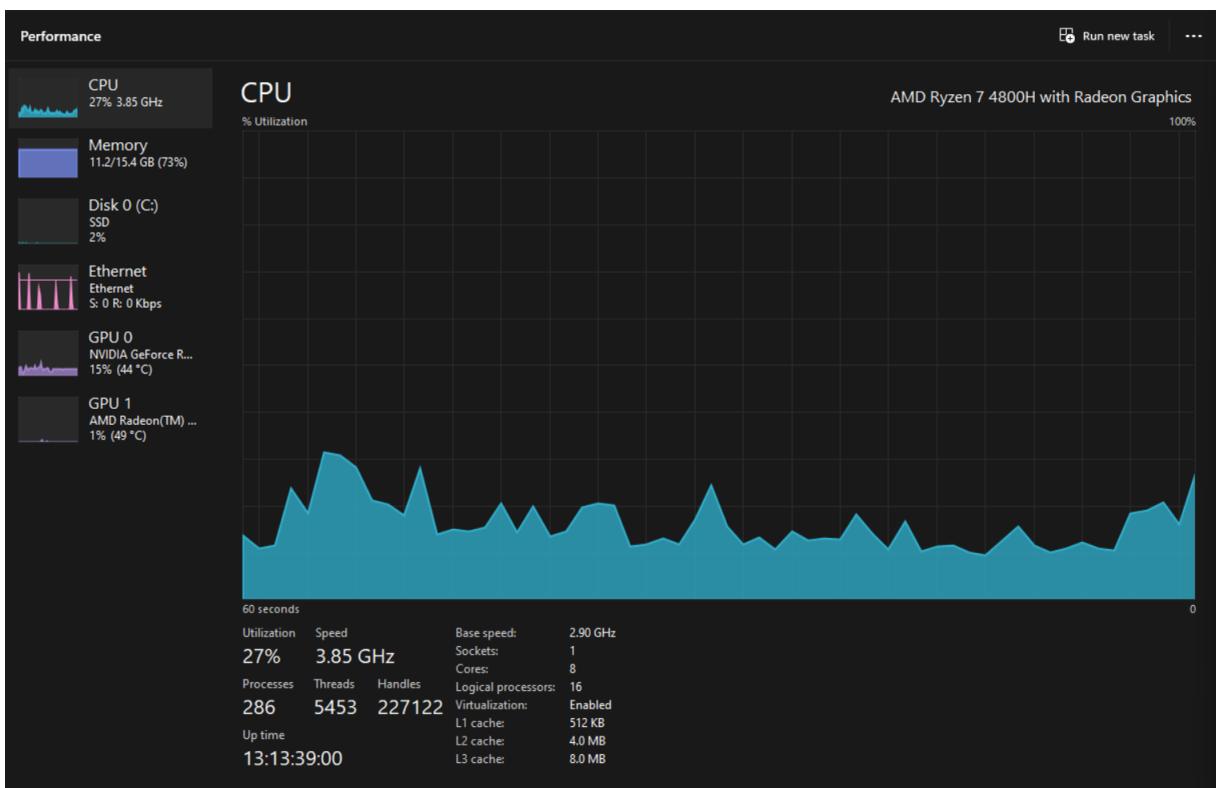


Figura 6: Características del procesador

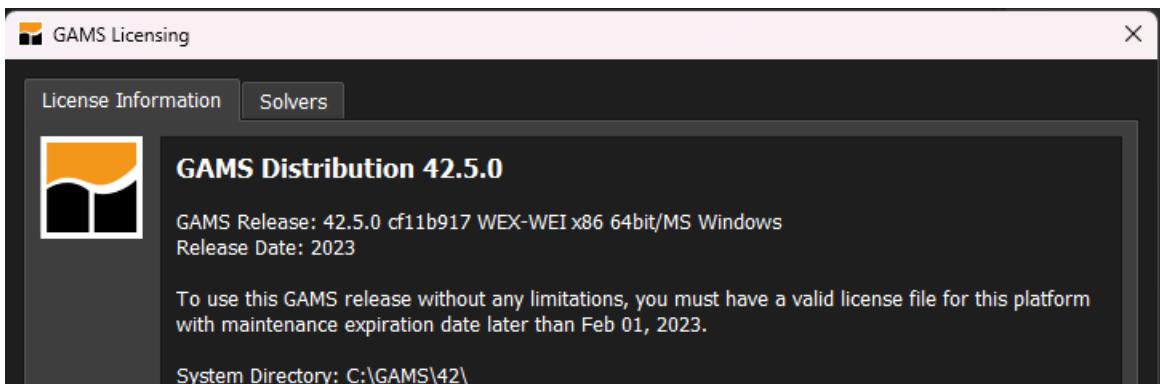


Figura 7: Versión utilizada de GAMS

IV Resultados en GAMS

Al querer comprobar el correcto funcionamiento del modelo matemático planteado, se ejecutan 3 versiones diferentes del código al modificar los puntos de visita y los días para hacerlo. Además, se corre 5 veces cada problema, resultando con resultados iguales y un tiempo muy parecido. De tal manera, se exponen los siguientes resultados.

4.1 Viaje Corto

Al visitar solamente 5 puntos (A1-A5) durante 3 días en la Ciudad de México, el resultado del modelo se muestra en la figura 8, y el valor óptimo de z resulta en 113, significando que tomará 113 minutos de traslado (1.9 horas) en recorrer los puntos en esa cantidad de días. El tiempo de ejecución que toma el correr el programa y probar la solución es de 0:00:00.097.

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL	
hotel.hotel.D1	.	.	1.0000	999.0000	
hotel.hotel.D2	.	.	1.0000	999.0000	
hotel.hotel.D3	.	.	1.0000	999.0000	
hotel.A1 .D1	.	1.0000	1.0000	6.0000	
hotel.A1 .D2	.	.	1.0000	6.0000	
hotel.A1 .D3	.	.	1.0000	6.0000	
hotel.A2 .D1	.	.	1.0000	10.0000	
hotel.A2 .D2	.	.	1.0000	10.0000	
hotel.A2 .D3	.	.	1.0000	10.0000	
hotel.A3 .D1	.	.	1.0000	16.0000	
hotel.A3 .D2	.	.	1.0000	16.0000	

Proven optimal solution
 MIP Solution: 113.000000 (29 iterations, 0 nodes)
 Final Solve: 113.000000 (0 iterations)
 Best possible: 113.000000
 Absolute gap: 0.000000
 Relative gap: 0.000000
 ... Reading solution for model CVRP
 *** Status: Normal completion
 --- Job RetoChiquito.gms Stop 05/08/23 09:30:08 elapsed 0:00:00.097

Figura 8: Resultados obtenidos en el viaje más corto.

Las rutas que resultan, de una manera más clara, son:

Día 1	Día 2	Día 3
A1 a Hotel Hotel a A1	Hotel a A4 A4 a A3 A3 a A2 A2 a Hotel	Hotel a A5 A5 a Hotel

Figura 9: Tabla con las rutas

De una manera visual, el grafo resultante es:

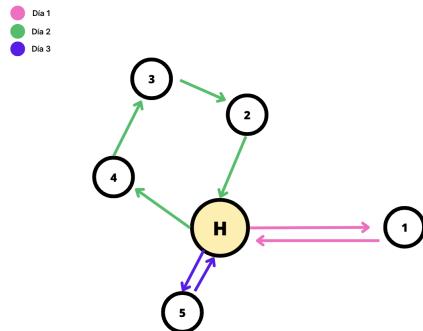


Figura 10: Grafo

4.2 Viaje Mediano

El segundo viaje que se plantea consta de visitar 12 puntos (A1-A12) durante 5 días, el resultado se muestra en la figura 11, y el valor óptimo de z resulta en 358, significando que tomará 5.96 horas hacer el recorrido en esa cantidad de días. El tiempo de ejecución que toma el correr el programa es de 0:00:00.214.

Las rutas que resultan, de una manera más clara, son:

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL	
hotel.hotel.D1	.	.	1.0000	999.0000	
hotel.hotel.D2	.	.	1.0000	999.0000	
hotel.hotel.D3	.	.	1.0000	999.0000	
hotel.hotel.D4	.	.	1.0000	999.0000	

Proven optimal solution
MIP Solution: 358.000000 (1382 iterations, 159 nodes)
Final Solve: 358.000000 (0 iterations)
Best possible: 358.000000
Absolute gap: 0.000000
Relative gap: 0.000000

Figura 11: Resultados obtenidos en el viaje mediano.

Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
A1 a Hotel Hotel a A1	Hotel a A7 A7 a Hotel	Hotel a A3 A3 a A11 A11 a A2 A2 a Hotel	Hotel a A4 A4 a A10 A10 a A9 A9 a A12 A12 a Hotel	Hotel a A8 A8 a A6 A6 a A5 A5 a Hotel

Figura 12: Tabla con las rutas

De una manera visual, el grafo resultante es:

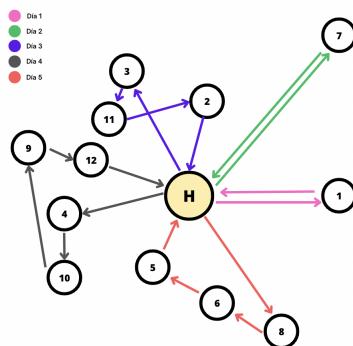


Figura 13: Grafo

4.3 Viaje Grande

Finalmente, se plantea el viaje final que consta de 15 puntos de atracción y 6 días de viaje, el resultado se muestra en la figura 14, y el valor óptimo de z resulta en 421, significando que tomará 7 horas hacer el recorrido en esa cantidad de días. El tiempo de ejecución que toma el correr el programa es de 0:00:02.134.

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL	
hotel.hotel.D1	.	.	1.0000	999.0000	
hotel.hotel.D2	.	.	1.0000	999.0000	
hotel.hotel.D3	.	.	1.0000	999.0000	
hotel.hotel.D4	.	.	1.0000	999.0000	
hotel.hotel.D5	.	.	1.0000	999.0000	
hotel.hotel.D6	.	.	1.0000	999.0000	
hotel.A1 .D1	.	.	1.0000	6.0000	

... Fixed MIP status (1): optimal.
... Cplex Time: 0.00sec (det. 1.56 ticks)

Proven optimal solution
MIP Solution: 421.000000 (25152 iterations, 1885 nodes)
Final Solve: 421.000000 (0 iterations)
Best possible: 421.000000
Absolute gap: 0.000000
Relative gap: 0.000000

Figura 14: Resultados obtenidos en el viaje más largo.

Las rutas que resultan, de una manera más clara, son:

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
Hotel a A10 A10 a A4 A4 a Hotel	Hotel a A2 A2 a A1 A1 a Hotel	Hotel a A5 A5 a A13 A13 a A15 A15 a A8 A8 a A6 A6 a Hotel	Hotel a A11 A11 a A3 A3 a Hotel	Hotel a A12 A12 a A9 A9 a A14 A14 a Hotel	Hotel a A7 A7 a Hotel

Figura 15: Tabla con las rutas

De una manera visual, el grafo resultante es:

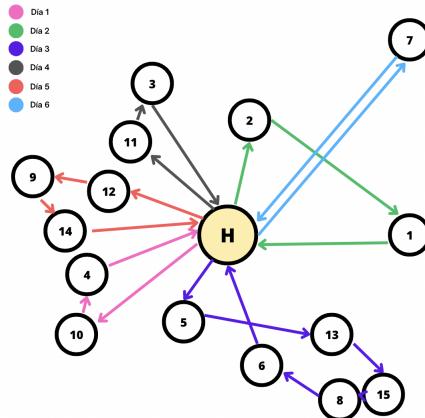


Figura 16: Grafo

V Conclusión

Primero, se comprueba que el resultado planteado a la problemática establecida es computacionalmente accesible, pues toma de 2 segundos plantear una solución óptima entre 15 nodos. Una limitante que aparece con el método establecido es que el modelo CVRP no podría solucionar un problema mayor a 30 nodos, sin embargo, es aplicable en este proyecto específico pues un viaje turístico normal no visitará más de esa cantidad.

También, se demuestra la importancia de la programación y las matemáticas en la vida cotidiana, pues son una herramienta clara en la resolución de problemas que se presentan día con día, como lo es un viaje turístico a un lugar cualquiera. También, resaltó lo esencial que es el pensamiento crítico e ingenieril en nuestra persona, al hacernos pensar más allá y realmente cuestionar el método numérico y matemático que se planteaba para solucionar el reto. Finalmente, se muestra la importancia del trabajo en equipo, pues cada integrante logró aportar sus fortalezas para enriquecer la solución y entregar un resultado complejo y correcto.

VI Anexos

Se puede accesar al código de Gams por medio del siguiente enlace: [Google Drive](#)

VII Referencias Bibliográficas

- [Aguilera, 2022a] Aguilera, V. E. M. (2022a). Planificación de viajes: cómo planificar viajes turísticos efectivos. <https://www.bbva.com/es/mx/salud-financiera/como-planear-unas-vacaciones-de-forma-eficiente/>.
- [Aguilera, 2022b] Aguilera, V. E. M. (2022b). ¿cómo planear unas vacaciones de forma eficiente? <https://www.bbva.com/es/mx/salud-financiera/como-planear-unas-vacaciones-de-forma-eficiente/>.
- [Dávila, 2020] Dávila, J. B. (2020). Optimización de rutas turísticas.
- [Editores, 2017] Editores, T. O. M. (2017). 50 lugares que debes visitar al menos una vez en la cdmx.
- [Levy, 2018] Levy, L. L. (2018). Las territorialidades del turismo: el caso de los pueblos mágicos en México. *Ateliê Geográfico*, 12(1):6–24.
- [Madrid, 2020] Madrid, F. (2020). Del dato al relato en turismo.
- [Mancilla, 2013] Mancilla, B. I. Y. (2013). Modelo de ruteo para generar rutas turísticas.
- [SECTUR, 2015] SECTUR (2015). Resumen ejecutivo del estudio estratégico de viabilidad del turismo cultural en México.
- [SECTUR, 2018] SECTUR (2018). Política turística de estado: 5 objetivos de política pública.
- [SECTUR, 2019] SECTUR (2019). Ranking mundial del turismo internacional. <https://www.datatur.sectur.gob.mx/SitePages/RankingOMT.aspx>.
- [SECTUR, 2022] SECTUR (2022). Resultados 2020 barómetro de turismo mundial omt (marzo 2022), gasto medio per cápita 2020 y salidas de los “us citizen travel to international regions 2021”.