

## Documentación Ejecutiva Pueblos Mágicos

Padilla Robles Artemio Santiago

05 de Febrero del 2021

*Matemáticas Discretas y Algoritmos - IIMAS*  
*Universidad Nacional Autónoma de México*

En esta documentación se explica brevemente la implementación de una aplicación que busca la ruta óptima para recorrer un conjunto de Pueblos Mágicos que se deseen explorar. Para esto se presenta al usuario la lista de estados y sus Pueblos Mágicos de tal manera que sea fácil para él seleccionarlos, además de que se le pregunta el punto de partida que desea tener para el viaje. Con la solicitud particular del usuario se procede a calcular la ruta óptima para hacer el viaje que a este le interesa realizar.

Dependiendo del número de paradas que tiene este viaje se utilizan dos heurísticas de solución, la primera, para una cantidad de 10 o menos Pueblos Mágicos se realiza por exploración exhaustiva, la segunda, para una cantidad superior de Pueblos Mágicos se hace por aproximación a la solución óptima. Con las soluciones calculadas se propone al usuario una ruta de viaje. En este documento también se discute brevemente los efectos positivos en la derrama económica que podría tener sugerir a usuarios las rutas óptimas para hacer este tipo de viajes turísticos, así como algunas consideraciones que se tienen para poder proponer estas soluciones.

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En 2001 la Secretaría de Turismo puso en marcha el programa de los Pueblos Mágicos, con el cual se ha buscado incentivar el desarrollo turístico de las comunidades asociadas al mismo. Las comunidades asociadas a este programa destacan por su belleza arquitectónica y natural, su riqueza cultural e histórica. Estos pueblos reciben un presupuesto de la federación para mejorar su infraestructura y mejorar su posicionamiento como centros turísticos, por lo que suelen ser lugares referentes de la belleza nacional [1].

El listado de Pueblos Mágicos reconoce a un conjunto de las localidades que viven en el imaginario colectivo de México y las posiciona en un mejor lugar para ser descubiertos por turistas nacionales e internacionales y que estos conozcan y vivan los encantos de nuestro país [2].

Tal es el éxito de este programa que los márgenes de pobreza y carencias sociales de las comunidades que participan en el son generalmente superiores a la media nacional, aportan a la reactivación económica y hasta se ha designado el día 5 de diciembre como el Día Nacional de los Pueblos Mágicos [3].

Dado que los Pueblo Mágicos son referentes geográficos para hacer turismo por el país se podrían implementar Tours para visitar un conjunto de ellos o incentivar viajes turísticos centrados en su visita y exploración. Sin embargo, el problema de optimización de qué viajes hacer si alguien quisiera visitar varios Pueblos Mágicos, como podrían ser todos los de su estado o todos los que pertenezcan a un conjunto de interés, no es un problema sencillo de resolver.

Este problema es una particularización del viejo problema del agente viajero, el cual es bien sabido que es un problema difícil y computacionalmente costoso de resolver de manera exacta, prácticamente imposible con una cantidad de más de unas cuantas decenas de paradas en la ruta [4].

Con esto en mente, en este trabajo proponen dos métodos para buscar rutas óptimas para visitar Pueblos Mágicos. En el primer método se considera que la cantidad de Pueblos Mágicos a visitar es menor a 10, lo cual sucede con los Pueblos Mágicos de cualquier estado dado y asegura la ruta óptima para visitarlos, este primer método podría resultar útil para que los estados promocionen viajes por los Pueblos Mágicos que poseen e incentiven el turismo estatal. El segundo método es una aproximación a la solución óptima y se puede aplicar a una mayor cantidad de Pueblos Mágicos, este método podría ser útil para planear viajes turísticos nacionales que recorran gran parte del país y podría servir para promocionar el turismo interestatal e internacional.

### 2. JUSTIFICACIÓN DE ELECCIÓN DE DATOS BASE Y COMPLEMENTARIOS

Para empezar a desarrollar esta aplicación se necesita conocer la totalidad de los Pueblos Mágicos registrados. Para obtener el listado de Pueblos Mágicos se partió de la base de datos encontrada en el portal de Datos Abiertos del Gobierno de México [5], esta base de datos está actualizada hasta el año 2017 y registra a 112 Pueblos Mágicos. No obstante, al año 2021 ya hay 132 localidades con dicho nombramiento, por lo que los Pueblo Mágicos que aún no aparecen en la

base de datos original se obtuvieron de una publicación de la Secretaría de Turismo en la página oficial del Gobierno de México [2]. Con estos datos es posible conocer todas las localidades que cuentan con reconocimiento de Pueblo Mágico, así como al estado que pertenecen.

Para calcular las distancias entra cada par de Pueblos Mágicos se utilizó el servicio de Google Maps, con el cual se puede obtener la distancia en kilómetros que uno tendría que recorrer para desplazarse de un Pueblo Mágico cual sea a otro. Con esto se puede obtener información de las distancias entre todos los Pueblos Mágicos, la cual será usada para calcular los viajes de distancia mínima que visiten los Pueblos Mágicos y regresen al punto de origen. También se utilizó el servicio de Google Maps para conocer las coordenadas de todos los Pueblos Mágicos para poder realizar mapas de sus ubicaciones y rutas de una manera sencilla.

### 3. METODOLOGÍA ESCRITA EN TÉRMINOS NO TÉCNICOS

La aplicación inicial preguntando al usuario que estados desea visitar, posteriormente pregunta que Pueblos Mágicos de los estados seleccionados son a los que quiere ir y finalmente solicita al usuario la ubicación del punto de partida.

Para encontrar el viaje óptimo a los pueblos mágico la aplicación soluciona de manera diferente el problema cuando la cantidad de Pueblos Mágicos a visitar es menor o igual a 10 que mayor o igual a 10. A continuación se explica brevemente como se procede a solucionar el problema en cada caso.

#### 1. Método para viajes con 10 o menos Pueblos Mágico

Para resolver el problema del tour óptimo para un número pequeño Pueblos Mágicos podemos explorar todos los posibles caminos que podemos tomar de tal manera que partamos de la ubicación que indique el usuario y que regresemos a la ubicación inicial pasando por el subconjunto de Pueblos Mágicos seleccionados. Cada vez que encontremos un posible tour analizamos la distancia que implicaría recorrerlo y si es la mínima distancia de las que hayamos calculado hasta el momento la guardamos como nuestra mejor solución. Al terminar de analizar todas las posibles rutas habremos encontrado la ruta de menor distancia.

#### 2. Método para viajes con más de 10 Pueblos Mágico

Para el caso donde se desean considerar muchos Pueblos Mágicos no es factible analizar todas las posibles rutas, pues, por ejemplo, en el caso de querer visitarlos todos esto equivaldría a analizar 132! combinaciones, lo cual es una tarea que para una computadora convencional tomaría más que el tiempo de vida del universo, por lo cual resolver

este tipo de instancias del problema mediante búsquedas exhaustivas se vuelve inviable.

Para solucionar el problema con una cantidad más grande de Pueblos Mágicos lo que se propondrá como respuesta es una aproximación a la ruta óptima. Para obtener esta aproximación se utilizará el concepto de árbol generador de peso mínimo, el cuál esta dado por la colección de distancias entre Pueblos Mágicos más corta que recorra a todos los Pueblos Mágicos sin hacer ciclos, por lo que si quisiéramos visitar todos los Pueblos Mágicos del árbol mencionado tendríamos que visitar varias veces algún pueblo. A partir de esta construcción iremos eliminando recorridos hacia pueblos anterior visitados para no repetir paradas y así mejorar la ruta a seguir, lo cual nos da como solución un aproximado que en el peor de los casos tiene una distancia de recorrido dos veces la distancia óptima, sin embargo, en la práctica esta solución aproximada suele estar entre 15 % al 20 % arriba de la solución óptima [4].

Con estas metodologías podemos obtener rutas óptimas para visitar los Pueblos Mágicos. La aplicación utiliza estos procesos anteriormente descritos y en base a los requerimientos del usuario, el cual puede ingresar una cantidad arbitraria de estados que desea conocer y de estos estados una cantidad arbitraria de sus Pueblos Mágicos que desea conocer, así como desde donde quiere partir, podemos proponerle rutas para realizar este viaje turístico.

Un ejemplo de una ruta con distancia mínima de recorrido para explorar todos los Pueblos Mágicos del estado de Querétaro partiendo del centro de Querétaro se muestra a continuación.

La ruta a seguir es:

Querétaro Centro

Bernal

Jalpan de Serra

San Joaquín

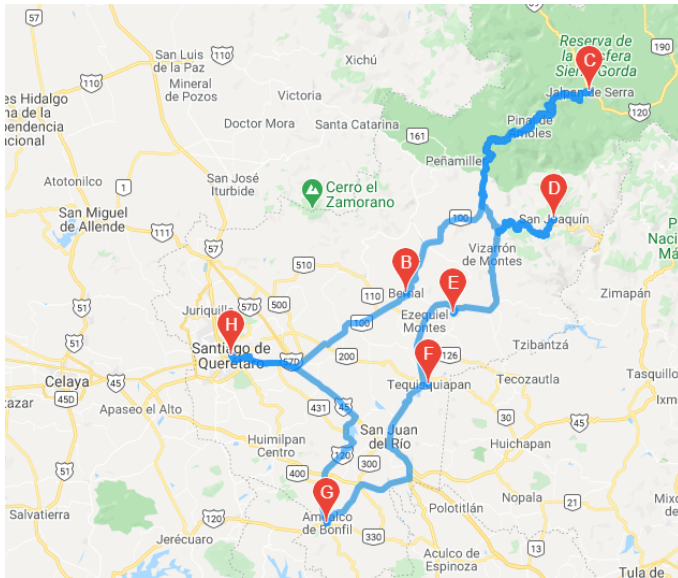
Cadereyta de Montes

Tequisquiapan

Amealco de Bonfil

Querétaro Centro

Esta ruta tiene una distancia total de recorrido de 553.7 km y se muestra gráficamente en la figura 1.



**Fig. 1.** Ruta óptima sugerida para visitar todos los Pueblos Mágicos de Querétaro partiendo de el centro del estado.

#### 4. DISCUSIÓN DEL USO DE RECURSOS COMPUTACIONALES

Encontrar la solución óptima de este problema de manera exacta implica tener que realizar la exploración del espacio de estado, por lo tanto encontrar esta solución óptima solo es viable para un número limitado de Pueblos Mágicos. La solución al problema del agente viajero ha sido estudiada por años y hasta la fecha no se conoce una manera sencilla de solucionar este problema, por lo que conseguir la solución exacta implica tener que realizar un número muy grande de operaciones computacionales, este número de operaciones computacionales crece exponencialmente con el número de Pueblos Mágicos que deseamos visitar, para ilustrar este problema notemos que si consideramos que una computadora en promedio realiza 1,000,000 de operaciones, y para hacer la exploración exhaustiva del espacio de estados de las posibles soluciones se tienen que hacer  $n!$  operaciones, esto quiere decir que para solucionar el problema de 10 Pueblos Mágicos necesitamos alrededor de 4 segundos, para 11 Pueblos Mágicos se necesitan alrededor de 40 segundos y para 12 Pueblos Mágicos son alrededor de 8 minutos. Por lo que rápidamente los tiempos de cómputo necesarios para este tipo de soluciones exactas se vuelven una limitante para encontrar las soluciones.

Por esta razón es que se han desarrollado diversas aproximaciones a la solución óptima, como la empleada en la aplicación. Estas soluciones reducen la tasa de crecimiento de los tiempos de cómputo de tal manera que se vuelve viable trabajar con cientos e incluso miles de Pueblos Mágicos. De esta manera, la implementación realizada puede encontrar soluciones óptimas cuando esto es viable y cuando no lo es encuentra buenas aproximaciones a las rutas óptimas.

En cuanto al uso de memoria, el mayor requerimiento del programa se encuentra en almacenar la matriz distancias entre todos los Pueblos Mágicos, esta matriz tiene  $132 \times 132 = 17,424$  entradas, lo cual corresponde a la distancia que hay entre cada pareja de Pueblos Mágicos.

Otro uso importante de mencionar de recursos computacionales de esta aplicación son las llamadas a la plataforma de Google Maps que realiza. Por cada Pueblo Mágico que el usuario desea visitar la aplicación tiene que solicitar la distancia entre el punto de partida y cada uno de los Pueblos Mágicos de interés, además de solicitar las coordenadas de la ubicación de partida, por lo que si el usuario desea visitar una cantidad dada de Pueblos Mágicos se realizarán también aproximadamente la misma cantidad de llamadas al servicio de Google Maps.

Debido a que no existen cambios frecuentes en las distancias entre Pueblos Mágicos, en caso que querer realizar la ruta varias veces, como lo podría desear hacer una agencia de viajes, se podrían calcular rutas óptimas para algún punto de origen dado y los Pueblos Mágicos que se deseen explorar y guardar los resultados de tal forma que se puedan consultar sin tener que volver a hacer los cálculos computacionales ni las llamadas al servicio de Google Maps.

#### 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se implementa una aplicación que brinda soluciones exactas y aproximadas para encontrar la ruta óptima para visitar un conjunto dado de Pueblos Mágicos de interés para el usuario partiendo y regresando de un punto que este escoja.

El usuario puede elegir los estados que desea visitar y los Pueblos Mágicos que le interesa conocer y obtener una ruta sugerida para realizar este viaje. Saber que tiene una ruta óptima, o una aproximación a la misma puede incentivar que el usuario decida hacer este viaje y por lo tanto contribuir a la derrama económica asociada al turismo. Además esta aplicación podría ser usada por agencias de viajes o agentes gubernamentales para promocionar rutas turísticas e incentivar la activación económica asociada.

La aplicación está pensada para poder brindar soluciones al problema particular que cada usuario pueda tener dependiendo de donde quiera iniciar su viaje y qué Pueblos Mágicos quiera visitar.

Dado que ningún estado de la república tiene más de 10 Pueblos Mágicos, por lo que si esta aplicación se utiliza para encontrar la ruta óptima para los Pueblos Mágicos de un mismo estado esta siempre brindará la solución óptima. Esto puede ser útil para organizar viajes desde alguna ciudad para conocer todos los Pueblos Mágicos del estado que se desee visitar y podría ser usado por los gobiernos estatales para promocionar viajes turísticos dentro de sus fronteras locales.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] D. G. de Divulgación de la Ciencia, *Pueblos Mágicos: historia y tradición*. Fundación UNAM, 2020. Consultado el 1 de enero del 2021 en <https://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/pueblos-magicos-historia-y-tradicion/>.
- [2] S. de Turismo, *Pueblos Mágicos de México*. Gobierno de México, 2020. Consultado el 1 de enero del 2021 en <https://www.gob.mx/sectur/articulos/pueblos-magicos-206528>.
- [3] S. de Turismo, *Se instituye al 5 de octubre como el “Día Nacional de los Pueblos Mágicos”*. Gobierno de México, 2020. Consultado el 1 de enero del 2021 en <https://www.gob.mx/sectur/articulos/pueblos-magicos-206528>.
- [4] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, and C. Stein, *Introduction to algorithms*. MIT press, 2009.
- [5] S. de Turismo, *Localidades que cuentan con el nombramiento de Pueblo Mágico (DGGD)*. Gobierno de México, 2017.