

Lic. Rocio Ortiz Gancedo
Dr. Gemayqzel Bouza Allende
Dr. Enrique Castellanos Abella

Abstract

"EcoRuta" is a tool for the optimal design of tourist routes that seeks to maximize traveler satisfaction, a challenge in the tourism industry. Customized tourist itineraries are developed using mathematical optimization, considering visitors' preferences and time constraints. Using Python OR-Tools, an algorithm is built to generate efficient routes. The results show that EcoRuta can create itineraries that maximize customer satisfaction without exceeding the time limit. Although the algorithm can be used with other databases, this work illustrates its use with Cuba's geosites to promote ecological tourism on the island.

Keywords Customized Tourist Routes, Optimization Problem.

Resumen

"EcoRuta" es una herramienta para el diseño óptimo de rutas turísticas que busca maximizar la satisfacción del viajero, un desafío en la industria del turismo. Se desarrollan mediante optimización matemática itinerarios turísticos personalizados, considerando las preferencias y restricciones de tiempo de los visitantes. Utilizando Python OR-Tools se construye un algoritmo para generar rutas eficientes. Los resultados muestran que EcoRuta puede crear itinerarios que maximizan la satisfacción del cliente sin exceder el tiempo límite. Aunque el algoritmo puede utilizarse con otras bases de datos, en este trabajo se ilustra el uso de la de los geositios de Cuba para insentivar el turismo ecológico de la Isla.

Palabras clave Rutas Turísticas Personalizadas, Problema de Optimización.

1. Antecedentes y Objetivos

El diseño óptimo de rutas turísticas es un desafío en la industria del turismo y la planificación de viajes.[3] [7] Cuando los visitantes exploran una región, desean visitar lugares como monumentos históricos, paisajes naturales o atracciones culturales que se ajusten a sus deseos y sus restricciones de tiempo. Es interés de la agencia que el cliente quede satisfecho.

Anteriormente y en torno a este tema algunos autores han trabajado el diseño de itinerarios turísticos. Se habla del Problema de Orienteering (OP) [4] [6] [8] que es un problema de optimización que busca maximizar el beneficio total visitando la mayor cantidad de puntos posibles dentro de un límite de tiempo o distancia. Es una variante del Problema del Viajante (TSP). También se aplican otras ideas, tal es el caso de [2] en el que se utiliza un modelo Modelo Multi-Objetivo para resolver un problema real en Izmir, Turquía, considerando puntos turísticos atractivos con ventanas de tiempo específicas y se busca maximizar el beneficio total visitando puntos turísticos en un tiempo limitado.

El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo una herramienta para el diseño óptimo de rutas turísticas que maximice la satisfacción del viajero con el uso de optimización matemática y algoritmos computacionales. Se desea además ilustrar la misma con geositios de Cuba para promover el turismo ecológico en la isla.

En este escenario, nace “EcoRuta”, para automatizar la tarea de organizar los itinerarios, facilitando el trabajo de los agentes turísticos al suplir los deseos específicos de los clientes. El diseño de estas rutas implica seleccionar qué destinos incluir y en qué orden, de forma que no se exceda un tiempo límite y el cliente quede satisfecho.

2. Metodología

En esta parte se presenta el modelos matemático que describe el problema de dados un conjunto de puntos, su evaluación, tiempo de visita y las distancias a recorrer, se obtenga una ruta que tenga un cierto grado de complejidad, se realice en un determinado tiempo y maximice la satisfacción del cliente. Se define el siguiente modelo de optimización:

Dado un conjunto de ubicaciones (destinos turísticos), denotado como $N = \{1, 2, \dots, n\}$ donde de cada ubicación i tiene las siguientes propiedades:

- p_i : se define como la satisfacción asociada a visitar el lugar i .
- r_i : tiempo recomendado para permanecer en el lugar i
- $D_{i,j}$: distancia del punto i al punto j

Se asume que la ruta turística comienza en un punto de salida s y termina en un punto de regreso r , $s, r \in N$ y que no exceda el límite de tiempo total T . Se conoce la velocidad de movimiento V , por lo que se recorre la distancia $D_{i,j}$ en $\frac{D_{i,j}}{V}$ unidades de tiempo. Para esto se definen las siguientes variables:

Variables de Decisión

$$a_i, a_i = \begin{cases} 1 & \text{si se visita el punto } i \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$u_i, u_i \in \mathbb{Z}_+$ denota el momento en que se visita el vértice i . Si no se visita el punto $u_i = 0$.

$$x_{i,j}, x_{j,i} = \begin{cases} 1 & \text{si se va del punto } i \text{ al punto } j \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

Función objetivo

$$\text{máx} \sum_{i \in N} a_i p_i$$

Se establece también el conjunto de restricciones cuyo cumplimiento califica a una ruta factible.

Restricción de tiempo

Ninguna ruta excede el tiempo límite T establecido.

$$\sum_{i \in N} a_i r_i + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, i \neq j} x_{i,j} \frac{D_{i,j}}{V} \leq T$$

Visitar un lugar

Si un lugar es visitado, debe tener una conexión de entrada y salida a menos que sean los lugares de inicio y final, en cuyo caso tendrán solo una conexión de salida o de entrada respectivamente.

$$a_i = \sum_{j \in N, i \neq j}^{|N|} x_{i,j} \quad \forall i \in N, i \neq R$$

$$a_i = \sum_{j \in N, i \neq j}^{|N|} x_{j,i} \quad \forall i \in N, i \neq S$$

Dado que de todo lugar que se visita se entra y se sale, la suma de conexiones de entrada y salida deben ser iguales. En el caso de la salida S , se sale una vez y al nodo R se llega una sola vez.

$$\sum_{j \in N, i \neq j} x_{i,j} = \sum_{j \in N, i \neq j} x_{j,i} \quad \forall i \in N, i \neq S \quad i \neq R$$

$$\sum_{j \in N, j \neq S}^{|N|} x_{S,j} = 1 \quad \forall i \in N, i \neq R$$

$$\sum_{j \in N, j \neq R}^{|N|} x_{j,R} = 1 \quad \forall i \in N, i \neq S$$

Eliminación de subrutas

Esta restricción garantiza que si se va de i a j no se visite j antes que i , eliminando así las subrutas o ciclos.

$$u_i - u_j + (|N| - 1) * x_{i,j} \leq n - 2, \quad \forall i, j \in N, i \neq j \quad (1)$$

Se utiliza OR-Tools [1] que es una biblioteca de Python de código abierto especializada en optimización. Está diseñada para resolver problemas complejos en diversas áreas tales como enrutamiento de vehículos, flujos y redes, programación lineal y de números enteros, y la programación de restricciones. Es una herramienta versátil con buenos resultados comprobados en varios dominios y por eso se trabaja con esta.

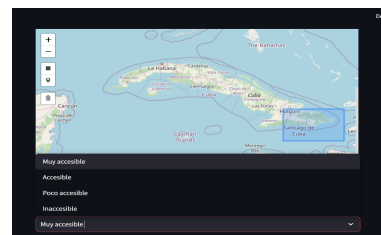
3. Resultados

La Herramienta

Ecorutas presenta un mapa de la Isla del cual el usuario selecciona la región que desea visitar, ver Figura 1a. El sistema permite escoger también el nivel de complejidad de los lugares a visitar, ver Figura 1b. Con estos datos se consideran los puntos que cumplen los criterios y se muestran en el mapa 2



(a) Región seleccionada



(b) Dificultad a seleccionar

Figura 1: Entrada de datos

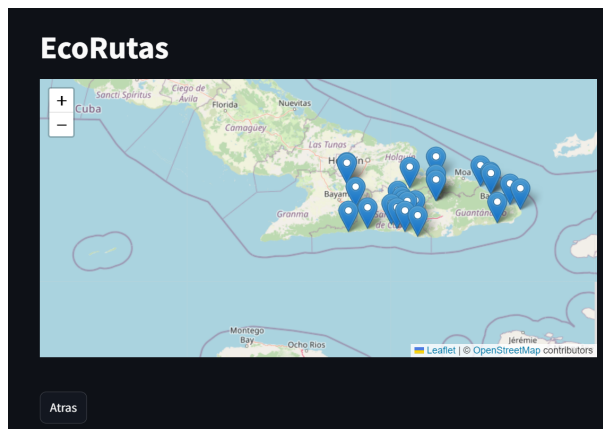


Figura 2: Puntos en la región

El usuario entra en la pestaña correspondiente y selecciona el tiempo máximo de duración de la ruta y la velocidad del transporte disponible. Con estos datos el sistema calcula las distancias entre los puntos usando la norma Euclídeana y se pasa a ejecutar el algoritmo de

optimización.

Se obtiene como resultado una ruta optimizada que maximiza la satisfacción del cliente y no sobrepasa el tiempo, ofreciendo una experiencia turística completa, ver Figura 3.

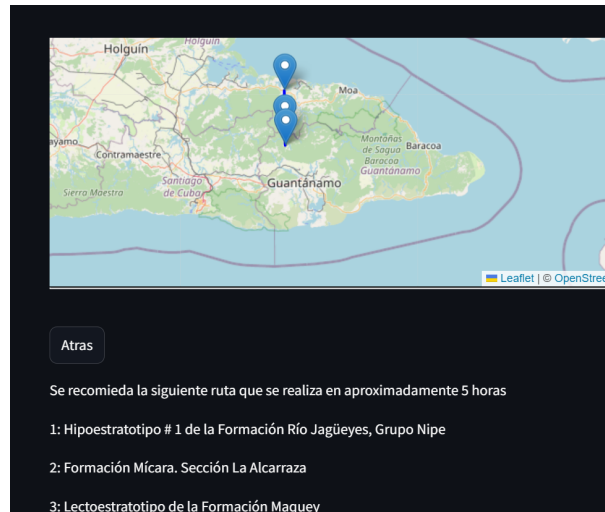


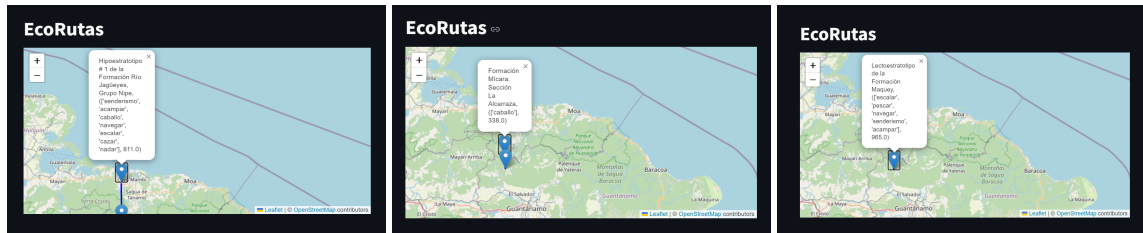
Figura 3: Ruta Resultante

Detalles de la ruta

El algoritmo se basa en las actividades recreativas establecidas por la base de datos además de otros intereses que puedan brindar los lugares como científico, estético o histórico. A partir de estos datos, el algoritmo se basa para seleccionar los puntos de la ruta, ver Figura 4. Como vemos los puntos de la Figura 4a, 4b y 4c brindan una satisfacción de 811, 338 y 965 respectivamente pues brindan varias actividades recreativas que pueden apreciarse. De esta forma se hace una oferta agradable y novedosa al cliente.

4. Conclusiones y Recomendaciones

Si bien, "EcoRuta" puede generalizarse a otros contextos, esta primera versión está enfocada en el diseño de recorridos para visitar los geositios de Cuba, ver Gaceta Oficial [5]. La base de datos incluye características detalladas de cada punto de interés, tales como el



(a) Formación Río Jagüeyes

(b) Sección La Alcarraza

(c) Formación Maquey

Figura 4: Datos de los puntos

valor histórico, belleza, repetibilidad, accesibilidad entre otros, permitiendo construir índices de satisfacción del cliente y de complejidad de la ruta. Esto es especialmente beneficioso para el turismo ecológico en Cuba, un país con una riqueza natural impresionante que va más allá de sus famosas playas. De esta forma los viajeros pueden disfrutar itinerarios turísticos personalizados y descubrir los tesoros naturales cubanos de manera segura.

”EcoRuta” promueve un turismo ecológico y consciente y brinda a los agentes una herramienta para diversificar sus ofertas de forma automática.

Se recomienda incorporar la retroalimentación de los usuarios para mejorar la herramienta y las rutas generadas y mantener la capacidad de modificar itinerarios en tiempo real para adaptarse a imprevistos durante el viaje.

Referencias

- [1] 30 de ago. de 2024. URL: <https://developers.google.com/optimization/introduction/python?hl=es-419>.
- [2] Eyüp Ensar Işıka, Ertuğrul Ayyıldızb y Alev Taşkına. “A constraint programming approach for multi-objective tourist trip design problem with mandatory visits: A case study for İzmir Turkey”. En: *Journal of Project Management* (2024).
- [3] FAVA: Formación en Ambientes Virtuales de Aprendizaje y SENA: Servicio Nacional de Aprendizaje. “Diseño de Rutas Turísticas”. En: (2016).

- [4] Gunawan, A., Lau, H. C. y Vansteenwegen, P. "Orienteering Problem: A survey of recent variants, solution approaches and applications". En: *European Journal of Operational Research* (2016).
- [5] Ministerio de Justicia. En: *Gaceta Oficial De La República De Cuba* 30 (30 de abr. de 2024), págs. 453-483.
- [6] Karabulut, K. y Tasgetiren, M. F. "An evolution strategy approach to the team orienteering problem with time windows". En: *Computers and Industrial Engineering* (2020).
- [7] A. Puig. *Los Nuevos Negocios Turísticos*. 2006.
- [8] Vansteenwegen, P., Souffriau, W. y Oudheusden, D. Van. "The orienteering problem: A survey". En: *Computers and Industrial Engineering* (2011).
- [9] Verbeeck, C., Vansteenwegen, P. y Aghezzaf, E. H. "Solving the stochastic time-dependent orienteering problem with time windows". En: *European Journal of Operational Research* (2016).