

Optimization of tourism route for Honduras

María Montoya, Student¹, Belinda Palma, Student², Nicole Sandoval, Student³, Harold Fúnez, Student⁴,
Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial y de
Sistemas, Tegucigalpa, Honduras, 11101, fmontoya14@unitec.edu, belindapalma@unitec.edu, sandovalnicole42@unitec.edu,
haroldfunez77@unitec.edu

Mentor: Daniel Montenegro, M.Sc¹

¹Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial y de
Sistemas, Tegucigalpa, Honduras, 11101, daniel.guerrero@unitec.edu.hm

Abstract– The goal of this study is to determine a good enough route for the personalized selection of travel destinations using a basic Traveling Salesman Problem (TSP) model solved with the implementation of heuristic methods. This research arises as a solution to a travel problem in which it demands to visit all the selected sites in the shortest amount of time, likewise, through the established route, to be able to provide the user with an estimate of the economic resources necessary to make their travel. In order to promote Honduran tourism, this was made with a guide to tourist destinations in that country, which were classified based on the type of activities that can be carried out in the place, so that each of the users could choose their activity plan based on their own preferences. In this investigation, two possible scenarios are presented where the same tourist destinations were considered for both cases and the only thing that varies is their starting point; With these data, a variation of one day was obtained in the duration of the route, a 9.79% variation in costs and a 5.51% variation in the distances traveled.

Keywords-- heuristics, traveling salesman problem, tourism, touristic destinations, nearest neighbor.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.650>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Optimización de ruta para recorrido turístico en Honduras

María Montoya, Estudiante Universitario¹, Belinda Palma, Estudiante Universitario², Nicole Sandoval, Estudiante Universitario³, Harold Fúnez, Estudiante Universitario⁴,
Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Tegucigalpa, Honduras, 11101, fmontoya14@unitec.edu, belindapalma@unitec.edu, sandovalnicole42@unitec.edu, haroldfunez77@unitec.edu

Mentor: Daniel Montenegro, M.Sc¹

¹Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Tegucigalpa, Honduras, 11101, daniel.guerrero@unitec.edu.hn

I. INTRODUCCIÓN

Abstract– *El objetivo de este estudio es determinar una ruta suficientemente buena para la selección personalizada de destinos de viaje haciendo uso de un modelo básico de Traveling Salesman Problem (TSP) resuelto con la implementación de métodos heurísticos. Esta investigación surge como solución a un problema de viaje en el cual se desea recorrer todos los sitios seleccionados en la menor cantidad de tiempo, de igual manera, mediante la ruta establecida, poder brindar al usuario una estimación de los recursos económicos necesarios para hacer dicho viaje. Con el fin de impulsar el turismo hondureño, el presente se realizó con una guía de destinos turísticos en dicho país, los cuales fueron clasificados con base al tipo de actividades que se pueden realizar en el lugar, de manera que, cada uno de los usuarios pueda escoger su plan de actividades con base a sus preferencias. En dicha investigación se presentan dos posibles escenarios donde se consideraron los mismos destinos turísticos para ambos casos y lo único que varía es su punto de partida; con estos datos, se obtuvo una variación de un día en la duración del recorrido, un 9.79% de variación en los costos y un 5.51% de variación en las distancias recorridas.*

Keywords– *heurística, traveling salesman problem, turismo, destinos turísticos, vecino más próximo.*

Abstract– *The goal of this study is to determine a good enough route for the personalized selection of travel destinations using a basic Traveling Salesman Problem (TSP) model solved with the implementation of heuristic methods. This research arises as a solution to a travel problem in which it demands to visit all the selected sites in the shortest amount of time, likewise, through the established route, to be able to provide the user with an estimate of the economic resources necessary to make their travel. In order to promote Honduran tourism, this was made with a guide to tourist destinations in that country, which were classified based on the type of activities that can be carried out in the place, so that each of the users could choose their activity plan based on their own preferences. In this investigation, two possible scenarios are presented where the same tourist destinations were considered for both cases and the only thing that varies is their starting point; With these data, a variation of one day was obtained in the duration of the route, a 9.79% variation in costs and a 5.51% variation in the distances traveled.*

Keywords– *heuristics, traveling salesman problem, tourism, touristic destinations, nearest neighbor.*

La investigación que se detallará a continuación brinda al usuario una ruta que le permitirá a este recorrer diferentes lugares turísticos dentro de Honduras de acuerdo con sus preferencias. El desarrollo de esta investigación se realizó con base en experiencias personales y datos proporcionados por el Instituto Hondureño de Turismo.

El turismo se ha convertido hoy en día en una de las industrias más grandes a nivel mundial; en el caso de Honduras es una de las industrias que más beneficios aporta al país. El turismo no solo genera la obtención de monedas extranjeras, sino que fortalece la identidad nacional logrando mantener al país en el mercado global competitivo.

Honduras se caracteriza por su patrimonio natural y cultural. En la actualidad, gran parte de las divisas provienen del capital de turismo.

Según cifras del Instituto Hondureño de Turismo, el ingreso que genera esta industria actualmente sobrepasa los \$500 millones de dólares al año; por otro lado, según estadísticas del mismo, se sabe que al año se reciben alrededor de 800,000 visitantes en el territorio (dato que ha fluctuado en los últimos años), impulsando la tendencia principalmente por excursionistas; la vía de ingreso más utilizada por los turistas en los últimos años ha sido la aérea [1].

Por otro lado, según la OMT (Organización Mundial de Turismo) alrededor de 1,239 millones de personas llegaron al país en cuenta registrada en el año 2016 [2].

Bajo estas premisas, es importante que las personas sepan cuál es la forma más adecuada para planificar un recorrido turístico dentro del país, considerando el tiempo de estadía disponible dentro del territorio y a su vez lograr el más alto grado de satisfacción de los mismos; es por esto que el uso de un modelo heurístico en el proyecto es de mucha utilidad siendo este la herramienta que facilitará la elaboración de un itinerario para el usuario adaptándose a sus necesidades y cumpliendo con sus expectativas.

II. METODOLOGÍA

A. Recolección de la Información

a) Selección y categorización de los destinos

Con ayuda de distintas páginas de turismo del país se seleccionó una cantidad de 50 lugares a los que una persona podría visitar.

En la figura 1 se observa en que parte del país están ubicados cada uno de los destinos seleccionados.

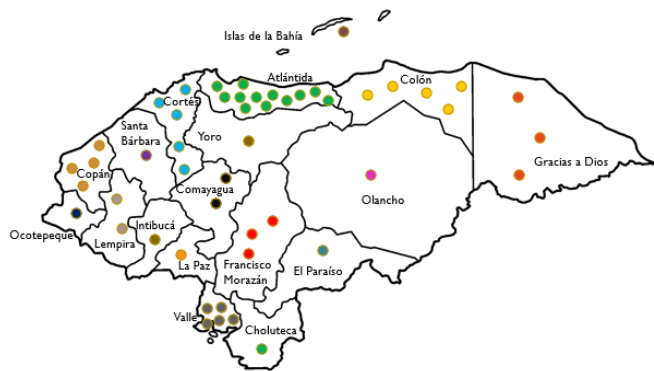


Fig. 1 Distribución departamental de los lugares turísticos seleccionados

Se dividieron estos destinos en distintas categorías de acuerdo con la oferta turística de cada lugar.

A continuación, en la tabla 1, se presenta parte de la distribución asignada de los lugares de acuerdo con la categoría a la que corresponden:

Tabla 1 Distribución categórica de lugares turísticos

Categoría	Lugar
Naturaleza (Flora y Fauna)	Cuero y Salado
	Lancetilla
	Parque Nacional Pico Bonito
	Punta Izopo
Playas	Trujillo
	El Porvenir
	Punta Sal
Parques	Parque Arqueológico Copan Ruinas
	Parque Arqueológico El Puente
	Parque Arqueológico El Chirical
...	...
Bahías	Bahía de Trujillo
	Bahía de Cuyamel
	Bahía de Chismuyo
Islas	Isla del Tigre
	Isla de los Pájaros
	Isla del Cisne

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2 se muestra la simbología utilizada para la categorización de los destinos turísticos, donde cada categoría tiene un color diferente y estos colores se utilizaron para la

elaboración de las matrices de distancias y costos para saber a qué categoría pertenece cada lugar.

Tabla 2 Simbología de división categórica

Simbología	
Color	Categoría
	Naturaleza (Flora y Fauna)
	Arrecifes
	Historia/Cultura
	Parque
	Cayos
	Playas
	Islas
	Bahías
	Fortalezas
	Cataratas
	Zoológicos
	Ríos
	Lagos y lagunas
	Cuevas
	Arte
	Museos
	Experiencias religiosas
	Puertos
	Muelles

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2, se puede observar que en el departamento de Atlántida es en donde se encuentra la mayor concentración de destinos turísticos, sumando un total de 11 destinos el cual representa un 22% del total de destinos seleccionados seguido por los departamentos de Colón, Cortés y Valle que cada uno representa el 10% del total de destinos seleccionados contando cada uno con 5 destinos turísticos de los 50 tomados en cuenta. De esta forma, se puede ir observando la cantidad (en porcentaje) que el resto de los departamentos posee.

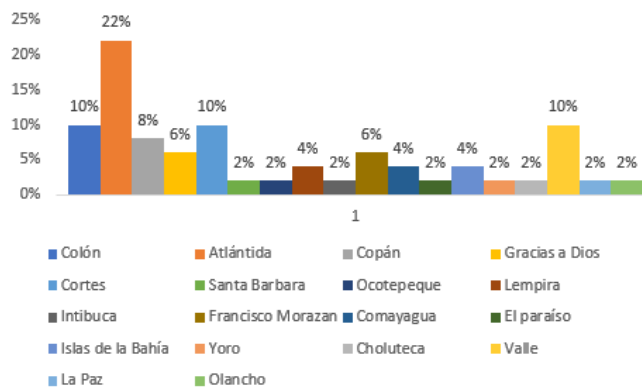


Fig. 2 Porcentaje total de destinos en cada departamento

Para el caso del departamento de Atlántida, que además de contar con la mayor cantidad de destinos turísticos que se tomaron en cuenta para esta investigación, también es el que contiene una mayor variedad de categorías de las ya establecidas.

Como se observa en la Tabla 3, en el departamento de Atlántida está presente un 36.84% del total de categorías que se han definido, o sea 7 de 19 categorías.

Tabla 3 Categorías presentes en el departamento de Atlántida

Atlántida	
Destino turístico	Categoría
Caida El Bejuco	Cataratas
Laguna de Cacao	Lagos y lagunas
Muelle de la Ceiba	Muelle
Museo de Tela	Museo
Cuero y Salado	Naturaleza
Lancetilla	Naturaleza
Parque Nacional Pico Bonito	Naturaleza
Punta Izopo	Naturaleza
El Porvenir	Playas
Punta Sal	Playas
Río Cangrejal	Río

Fuente: Elaboración propia

b) Tiempos

Mediante la herramienta Google Maps se realizó una matriz de tiempo total (en minutos), mostrada en la tabla 4, la cual involucra el tiempo de transporte del lugar i al destino j más el tiempo de estadía en el destino j.

Tabla 4 Matriz de tiempo total

Lugares	San Pedro Sula	Tegucigalpa	Cuero y Salado	...	Isla de los Pájaros	Isla del Cisne
San Pedro Sula	0	484	804	...	757	874
Tegucigalpa	484	0	1150	...	713	1036
Cuero y Salado	324	1150	0	...	889	602
...
Isla de los Pájaros	517	713	1129	...	0	1074
Isla del Cisne	634	1036	842	...	1074	0

Fuente: Elaboración propia

Los tiempos de estadía en el destino j, mencionados anteriormente, se establecieron con base en experiencias personales asignándole un tiempo prudente de estadía en cada uno de los destinos turísticos de acuerdo a la categoría a la que pertenece (ver Tabla 5).

Tabla 5 Tiempos de estadía de acuerdo a cada categoría

De acuerdo a categoría	
Categoría	Horas a considerar (min)
Naturaleza (Flora y Fauna)	600
Arrecifes	480
Historia/Cultura	300
Parque	600
Cayos	240
Playas	360
Islas	360
Bahías	300
Fortalezas	300
Cataratas	300
Zoologicos	180
Ríos	180
Lagos y lagunas	300
Cuevas	180
Arte	180
Museos	120
Experiencias religiosas	120
Puertos	120
Muelles	60

Fuente: Elaboración Propia

c) Distancias

La herramienta de Google Maps, brinda otro tipo de información además de los tiempos y distancias entre lugares; información como: si llegar a un lugar requiere peaje, transporte marítimo o ferry. Es por eso, que se decidió incluir esta información en la investigación ya que esto genera un costo adicional que deberá ser considerado en el reporte final.

En la Tabla 6 se muestra la simbología de estos requerimientos adicionales mencionados anteriormente, para que, de esta forma, se logre señalar dentro de “la matriz de distancia total” cualquiera de estas restricciones en caso de que aplique.

Tabla 6 Simbología de necesidades de transporte

Simbología	
Color	Significado
Rojo	Requiere peaje
Azul	Mar
Amarillo	Incluye ferry y requiere peaje
Verde	Incluye ferry

Los datos de las distancias se recolectaron simultáneamente con los datos de los tiempos, siempre usando la herramienta de Google Maps. En la Tabla 7 se muestra parte de la matriz con las distancias (en kilómetros) que hay entre cada uno de los lugares seleccionados.

Tabla 7 Matriz de distancia total del lugar i al destino j

Lugares	San Pedro Sula	Tegucigalpa	Cuero y Salado	...	Isla de los Pájaros	Isla del Cisne
San Pedro Sula	0	333.8	169	...	344	384
Tegucigalpa	333.8	0	468.8	...	152.8	837.8
Cuero y Salado	169	468.8	0	...	471	390
...
Isla de los Pájaros	344	152.8	471	...	0	887
Isla del Cisne	384	837.8	390	...	887	0

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que, por ejemplo, para viajar de “Cuero y Salado” a “San Pedro Sula”, de acuerdo a la simbología de la tabla 6, el turista necesitará pagar un costo de peaje para poder llegar a su destino, es por eso que dicha casilla está pintada en color rojo.

Para el caso de los lugares en donde el usuario no pueda llegar en automóvil, el usuario deberá trasladarse al punto más cercano de los ya establecidos para poder tomar otro tipo de transporte (en este caso, ferry).

d) Costos

Como parte de la recolección de datos y con base en los alcances esperados de la investigación, se recolectaron diferentes costos que ayudarán a la generación de un reporte completo para el usuario.

Para definir el costo de hospedaje, se investigó el costo de hoteles por departamento y con base en esta información, se calculó un promedio para poder establecer solamente un costo de hotel por departamento (ver Tabla 8).

Tabla 8 Costos de hospedaje por departamento

No.	Departamento	Destino	Promedio (L)
1	Francisco Morazán	Cantarranas	L1,383.33
		El picacho	L1,383.33
		Ojojona	L1,383.33
2	Colón	Trujillo	L1,975.00
		Muelle viejo Trujillo	L1,975.00
		Puerto Castilla	L1,975.00
		Bahía de Trujillo	L1,975.00
		Cayo Blanco	L1,975.00
...
18	Yoro	Museo Ferroviario	L1,112.50

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3, de acuerdo a los costos promedios establecidos anteriormente, se observa que los costos más altos se encuentran en los departamentos de Ocatepeque e Islas de la Bahía, siendo estos costos de L. 2,225.00 y L. 2,300.00 respectivamente. Y, por otro lado, el costo más bajo se encuentra en el departamento de Santa Bárbara con un costo de L. 575.00. El resto de departamentos se encuentran en un rango entre L. 750.00 y L. 2,000.00.

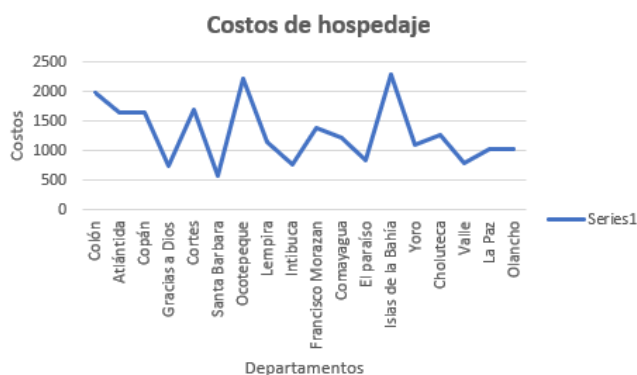


Fig. 3 Costos de hospedaje

De igual forma, se realizaron estimaciones de costos de gasolina por kilómetro y de peaje bajo el supuesto que el medio de transporte será un vehículo particular. Por último, se estimó el costo del ferry para los casos en los que sea necesario su uso (ver Tabla 9).

Tabla 9 Costos operación de la empresa

Precio de gasolina por km	HNL 1.54
Precio de peaje	HNL 25.00
Precio del ferry	HNL 780.00

Problema del Agente Viajero

Según Taha, el problema del TSP (Agente viajero) trata de encontrar el recorrido más corto en una situación de n ciudades, donde cada ciudad es visitada solamente una vez [3]. Por otro lado, Fuentes Penna, en su ensayo para la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, describe el TSP como un modelo que posee un conjunto de nodos que

deben de ser visitados por una entidad sin visitar dos veces el mismo nodo [4].

En un modelo desarrollado por Mancilla, se logró determinar un conjunto de rutas turísticas de distancia mínima, para que los turistas puedan visitar “Los pueblos mágicos de México” respetando los recursos disponibles que posee (tiempo y dinero). Esta herramienta brinda una solución personalizada y flexible que se adapta a los intereses del usuario, al tiempo y presupuesto disponible del cliente [5].

La solución del modelo se llevó a cabo mediante la conexión de LINGO a Excel y para la ejecución, tomaron en cuenta datos como: lugares turísticos, distancias que existen entre cada uno de los destinos, costos demandados para cubrir las necesidades, capacidad económica del viajero, tiempo demandado en el lugar turístico y tiempo disponible del viajero.

Existen diversos métodos para resolver modelos de TSP (Travelling Salesman Problem) sin embargo, algunos de estos métodos no son viables en ciertas aplicaciones ya que muchas veces, cuando se cuenta con demasiadas variables estos métodos podrían tardar demasiado tiempo para generar una solución óptima y es por eso que debido a la cantidad de variables (o destinos) que se presentan en esta investigación, se hará uso de métodos heurísticos.

Heurística

Es una herramienta que facilita la resolución de problemas de planeación de rutas turísticas y que, a pesar de no dar una solución óptima, esta trata de generar una respuesta rápida y a su vez acercándose lo más posible a la respuesta óptima.

Juan Cockbaine dice que la heurística se utiliza para los problemas que no es posible encontrar una solución óptima en un tiempo razonable, circunstancia que justifica el desarrollo y perfeccionamiento de algoritmos capaces de abordar ese tipo de problemas que pertenecen al método de TSP [6].

También Crespo Hurtado en su tesis realizada para la realización de un modelo sustentado en la heurística que ayudase a la enseñanza de la matemática, explica que un modelo matemático heurístico muestra al espectador los problemas reales que un investigador se enfrenta al realizar su trabajo en el campo, debiendo utilizar métodos que se aproximen a la realidad con base en sus experiencias, sin embargo, estas aproximaciones no son meramente creadas por el investigador, sino que siguen un conjunto de reglas que permiten la credibilidad de su estudio [7].

Existen varios tipos de heurística, pero para fines de esta investigación se utilizará la heurística del vecino más próximo.

Heurística del vecino más próximo

Este algoritmo fue creado por Lewis, Rosenkrantz, & Stearns. Este tipo de heurística trata de modelar un ciclo Hamiltoniano (el cual establece que el viajero recorra todos los nodos exactamente una vez hasta llegar al último) basándose en la idea de moverse de una ciudad a la siguiente de tal forma que la ciudad siguiente elegida sea la más cercana

a la ubicación del viajero, tomando distancias y costos mínimos [8].

Macros Visual Basic en Excel

Este es un lenguaje de programación de Excel que sirve para modelar sistemas de ecuaciones o matrices generando una interfaz de variables de entrada que se registrarán para encontrar una solución lo suficientemente factible [9].

Una macro es un conjunto de instrucciones que se almacenan para poder ser ejecutadas de manera secuencial mediante una orden de ejecución; fue con ayuda de esta herramienta que se desarrolló gran parte del proyecto ya que esta es la que permite la selección de los lugares turísticos con ayuda de otras funciones como ser los filtros de Excel.

En el manual de Jose Pedro, se explica que no es necesario un conocimiento amplio de programación para poder utilizar el editor Visual Basic. En esta herramienta se utilizan controles booleanos, bucles y condicionales para programar las restricciones que el modelo tenga [10].

C. Resolución del problema

Para el desarrollo de la investigación se utilizó un modelo de TSP con el fin de definir una función objetivo y restricciones para poder obtener una respuesta suficientemente buena para el usuario. El TSP hace uso de dos tipos de resultados 0 y 1 donde 1 indica si se llega de la ciudad i al destino j y 0 indica caso contrario.

El software utilizado para la realización del proyecto fue Microsoft Excel, así mismo, se hizo uso de una de los complementos de este programa, las macros, se realizaron algunas grabaciones de macros para la elaboración de los diferentes botones de filtrado y generación de nuevo reporte.

De igual forma, se creó un macro donde se programó la heurística del vecino más próximo que permite resolver los modelos con una cantidad grande de variables de manera rápida.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Modelo Matemático

a) Variables y Nomenclatura

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si se llega desde la ciudad } i \text{ al destino } j \\ 0, & \text{lo contrario} \end{cases}$$

Donde

$$\begin{aligned} i &= \text{lugar de partida (1, 2, \dots, 50)} \\ j &= \text{lugar de destino (1, 2, \dots, 50)} \end{aligned}$$

b) Función Objetivo

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Donde

$$d_{ij} : \text{distancia total del lugar } i \text{ al destino } j$$

c) Restricciones

Se puede partir de cada lugar de origen solamente una vez.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Se puede visitar cada destino solamente una vez.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Las respuestas deberán estar dadas en números binarios.

$$X_{ij} = \text{bin} \quad (4)$$

Después del recorrido, el usuario deberá regresar al lugar que definió como punto de partida.

$$\text{Se debe de regresar al punto de partida} \quad (5)$$

B. Interfaz de Usuario

A continuación, se muestra la información que contiene la interfaz de la herramienta creada.

En la Tabla 10, se muestra la matriz principal que contiene las distancias en kilómetros entre cada uno de los lugares, ya que, considerando que el objetivo es minimizar distancias, es con esta matriz que trabajará la heurística del vecino más cercano. Se asignó un valor de 10000 a los lugares que tienen distancia 0 (por ejemplo, de Tegucigalpa a Tegucigalpa) para que, a la hora de trabajar con la heurística, este no tome en cuenta estas distancias y, por ende, no seleccione estos lugares.

Tabla 10 Matriz principal

Lugares	San Pedro Sula	Tegucigalpa	Cuero y salado	...	Isla de los Pájaros	Isla del Cisne
San Pedro Sula	10000	333.8	169	...	344	384
Tegucigalpa	333.8	10000	468.8	...	152.8	837.8
Cuero y salado	169	468.8	10000	...	471	390
...
Isla de los Pájaros	344	152.8	471	...	10000	887
Isla del Cisne	384	837.8	390	...	887	10000

Fuente: Elaboración propia

Se implementó un panel de selección (mostrado en la figura 4) el cual permite la adición de las categorías que se desea visitar (criterios) y la selección del punto donde desea partir (Tegucigalpa o San Pedro Sula); al lado derecho de este panel de selección se encuentra ubicada la "Matriz principal" de la Tabla 10.

PANEL DE SELECCIÓN																					
PUNTO DE PARTIDA	<input checked="" type="radio"/> Tegucigalpa <input type="radio"/> San Pedro Sula																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Categorías</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/> Naturaleza</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Playas</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Parque</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Historia/Cultura</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Puertos</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Museos</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Arte</td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/> Cataratas</td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/> Cuevas</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Lagos y lagunas</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Ríos</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Arrecifes</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Muelles</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Zoológicos</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Fortalezas</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Exp religiosas</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Cayos</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Bahías</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Islas</td></tr> </tbody> </table>		Categorías	<input type="checkbox"/> Naturaleza	<input type="checkbox"/> Playas	<input type="checkbox"/> Parque	<input type="checkbox"/> Historia/Cultura	<input type="checkbox"/> Puertos	<input type="checkbox"/> Museos	<input type="checkbox"/> Arte	<input checked="" type="checkbox"/> Cataratas	<input checked="" type="checkbox"/> Cuevas	<input type="checkbox"/> Lagos y lagunas	<input type="checkbox"/> Ríos	<input type="checkbox"/> Arrecifes	<input type="checkbox"/> Muelles	<input type="checkbox"/> Zoológicos	<input type="checkbox"/> Fortalezas	<input type="checkbox"/> Exp religiosas	<input type="checkbox"/> Cayos	<input type="checkbox"/> Bahías	<input type="checkbox"/> Islas
Categorías																					
<input type="checkbox"/> Naturaleza																					
<input type="checkbox"/> Playas																					
<input type="checkbox"/> Parque																					
<input type="checkbox"/> Historia/Cultura																					
<input type="checkbox"/> Puertos																					
<input type="checkbox"/> Museos																					
<input type="checkbox"/> Arte																					
<input checked="" type="checkbox"/> Cataratas																					
<input checked="" type="checkbox"/> Cuevas																					
<input type="checkbox"/> Lagos y lagunas																					
<input type="checkbox"/> Ríos																					
<input type="checkbox"/> Arrecifes																					
<input type="checkbox"/> Muelles																					
<input type="checkbox"/> Zoológicos																					
<input type="checkbox"/> Fortalezas																					
<input type="checkbox"/> Exp religiosas																					
<input type="checkbox"/> Cayos																					
<input type="checkbox"/> Bahías																					
<input type="checkbox"/> Islas																					

Fig. 4 Panel de selección

A continuación, se mostrará un ejemplo de cómo funciona la herramienta seleccionando a Tegucigalpa como punto de partida y dos categorías que serán: cataratas y cuevas.

C. Filtrado de Datos

La herramienta cuenta con 3 botones que permiten su funcionamiento: el primer botón “Filtrar” mostrado en la figura 5, se encarga de filtrar los destinos ubicados en las filas con base a la selección del usuario, simultáneamente, filtra las distancias desde el punto de origen seleccionado a cada uno de los destinos de la matriz (ya sea Tegucigalpa o San Pedro Sula).

En la tabla 11, se muestra la matriz con sus filas filtradas donde incluye solamente los destinos que pertenecen a cataratas y cuevas y el punto de partida que es Tegucigalpa.



Fig. 5 Botón de filtrado de filas

Tabla 11 Ejemplo: Primer filtro para dos categorías seleccionadas

Lugares	San Pedro Sula	Tegucigalpa	Cuero y salado	...	Isla de los Pájaros	Isla del Cisne
Tegucigalpa	333.8	10000	468.8	...	152.8	837.8
Caída el Bejuco	202	464.8	59.8	...	504	380
Cascadas de Pulhapanzak	62.2	279.8	187	...	290	530
Poza Azul	155	201.8	281	...	212	857
Cuevas de Taulabe	125	271.8	247	...	288	903
Cuevas de Talgua	431	295.8	425	...	358	587

Una vez mostrada la tabla con el filtro de filas aplicado, se necesita que el modelo genere una nueva matriz reducida a sólo las selecciones del usuario, dado esto, se colocó un segundo botón de filtrado “Filtrar (2)” mostrado en la figura 6; este botón se encarga de filtrar las columnas y reducirlas a la

selección de las categorías del usuario, de igual manera, se encarga de dejar finalmente un solo punto de partida (sea Tegucigalpa o San Pedro Sula) para efectos del ejemplo, será “Tegucigalpa” el punto de partida, mostrando como resultado final, la matriz reducida a las categorías escogidas (ver tabla 12).



Fig. 6 Botón de filtrado de columnas

Tabla 12 Ejemplo de tabla filtrada con 8 categorías por segunda vez

Lugares	Tegucigalpa	Caída el Bejuco	Cascadas de Pulhapanzak	Poza Azul	Cuevas de Taulabe	Cuevas de Talgua
Tegucigalpa	10000	464.8	279.8	201.8	271.8	295.8
Caída el Bejuco	464.8	10000	229	314	279	369
Cascadas de Pulhapanzak	279.8	229	10000	101	66	409
Poza Azul	201.8	314	101	10000	92.5	337
Cuevas de Taulabe	271.8	279	66	92.5	10000	459
Cuevas de Talgua	295.8	369	409	337	459	10000

Una vez reducida la matriz general a la matriz personalizada, se procede a la aplicación del método heurístico del vecino más cercano para realizar la generación de la ruta de viaje, siendo esto el funcionamiento del tercer y último botón (ver figura 7).



Fig. 7 Botón de generación de ruta

Simultáneamente con la generación de la ruta de viaje, se genera el reporte de viaje, el cual, se explica en la siguiente sección.

D. Reporte de Viaje

Una vez seleccionada la ruta más factible para las opciones de viaje, el modelo genera un reporte el cual incluye la siguiente información:

- Cantidad de lugares a visitar (destinos seleccionados).
- Punto de partida seleccionado.
- El orden de lugares a visitar generados por la heurística del vecino más cercano.
- Tiempos y distancias por cada lugar.
- Costos de transporte y los costos de hospedaje, peaje y ferry en caso de requerirlos.
- Finalmente, una tabla resumen de la duración total del recorrido, distancia total recorrida y el costo total (que sería la sumatoria de los costos de transporte, hospedaje, ferry y peajes).

A continuación, se ve en detalle todas las partes que contiene el reporte.

En la Figura 8 se muestra la parte inicial del reporte, que son los datos iniciales dados por el usuario, donde los destinos seleccionados es la cantidad total de lugares que va a visitar con base en las categorías que seleccionó, en este caso, para la categoría de “Cuevas” se tiene un total de 2 destinos y para la categoría de “Cataratas” se tiene un total de 3 destinos,

generando un total de 5 destinos. Así mismo, se muestra el punto de partida que seleccionó el usuario, siendo “Tegucigalpa” para este ejemplo.

Destinos seleccionados	5	Punto de partida	Tegucigalpa
------------------------	---	------------------	-------------

Fig. 8 Destinos seleccionados y punto de partida

Seguidamente, se muestra la ruta generada por la heurística del vecino más cercano mostrando de igual forma, la distancia en kilómetros que hay entre cada destino.

En la Figura 9 se muestra la ruta para este ejemplo, donde se sabe que de Tegucigalpa deberá ir a Poza Azul y así sucesivamente hasta llegar a Cuevas de Talgua, que sería el último lugar a visitar de los 5 destinos seleccionados para después hacer su retorno a Tegucigalpa.

Lugar	4	5	3	2	6
	Poza Azul	Cuevas de Taulabe	Cascadas de Pulhapanzak	Caída el Bejuco	Cuevas de Talgua
Distancia (km)	201.8	92.5	66	229	369

Fig. 9 Ruta generada por la heurística del vecino más cercano

Luego de esto, en la Tabla 13 se muestra un itinerario que generará automáticamente la herramienta a partir de la ruta generada por la heurística.

Tabla 13 Itinerario

Itinerario						
Día	Lugar a visitar	Tiempo por lugar en horas (transporte + estadía)	Distancia recorrida por lugar (km)	¿Requiere hospedaje?	¿Requiere peaje?	¿Requiere ferry?
1	Tegucigalpa	0.00	0	No	No	No
1	Poza Azul	8.93	201.8	No	Si	No
1	Cuevas de Taulabe	6.47	92.5	Si	No	No
2	Cascadas de Pulhapanzak	6.68	66	No	No	No
2	Caída el Bejuco	9.00	229	Si	No	No
3	Cuevas de Talgua	8.98	369	Si	No	No

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla se muestra la siguiente información:

- La primera columna indica el día en el que será visitado cada lugar, el cálculo para estos días se tomo considerando el tiempo total que requiere cada lugar, tanto de transporte como de estadía, y bajo el supuesto de que se tienen solamente 16 horas disponibles al día para poder dar 8 horas diarias de descanso al usuario.
- En la segunda columna se muestran los lugares a visitar en el orden establecido por la heurística.
- En la tercer y cuarta columna se muestra la información de tiempos y distancias por cada lugar, información que se extrae de la matriz de “Tiempo total” y de la matriz de “Distancia total” respectivamente.

- Finalmente, en la quinta, sexta y séptima columna se indica si el lugar requiere de hospedaje o si requiere de peaje o ferry, basandose en los colores que se establecieron en la matriz de distancias.

Si se observa en la tabla anterior, la suma total del tiempo de visita en Poza Azul y Cuevas de Taulabe es de 15.4 horas, tomando en cuenta que se dispone de 16 horas al día para los recorridos, Cascadas de Pulhapanzak ya no podría formar parte del día 1 y por eso se decide hospedar a la persona en Taulabe; sin embargo, en el día 1 sobran 0.6 horas de las 16 que el usuario tiene disponible, este tiempo será considerado como tiempo de holgura que podrá utilizar el usuario para sus necesidades personales o simplemente para brindar flexibilidad en caso de existir algún tipo de imprevisto o retraso.

En la Tabla 14 se detallan los costos de transporte, costo de hospedaje en caso de requerirlo extrayendo los datos de la tabla de “Costos de estadía por departamento” y por último, los costos de peaje y ferry en caso de requerirlos.

Tabla 14 Costos

Lugar a visitar	Costos			
	Costo por transporte	Costo de hospedaje	Costo de peaje	Costo de ferry
Tegucigalpa	HNL -	HNL -	HNL -	HNL -
Poza Azul	HNL 310.77	HNL -	HNL 25.00	HNL -
Cuevas de Taulabe	HNL 142.45	HNL 1,216.67	HNL -	HNL -
Cascadas de Pulhapanzak	HNL 101.64	HNL -	HNL -	HNL -
Caída el Bejuco	HNL 352.66	HNL 1,650.00	HNL -	HNL -
Cuevas de Talgua	HNL 568.26	HNL 1,025.00	HNL -	HNL -

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, se presenta una tabla con la información del retorno donde se muestra el último lugar a visitar, en este caso sería Cuevas de Talgua; la distancia que hay entre el último destino al punto de partida (distancia entre Cuevas de Talgua y Tegucigalpa) y sus respectivos costos (ver Tabla 15).

Tabla 15 Información del retorno

Información del retorno						
	Lugar	Distancia (km)	Tiempo	Costo por	Costo por	Costo por
De:	Cuevas de Talgua	295.8	8.13	HNL 455.53	HNL -	HNL -
Hacia:	Tegucigalpa					

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se muestra una tabla resumen (ver Tabla 16) que indica la duración total del recorrido que para efectos de este ejemplo indica que visitará los 5 destinos en un total de 4 días (el retorno está incluido); la distancia total recorrida y el costo total del recorrido, siendo 1,254.10 km de distancia recorrida y un costo total de L. 5,847.98 para este ejemplo.

Cabe destacar que dentro de este costo solo este incluido costo de transporte, hospedaje, peaje y ferry; costos adicionales a estos deberán ser considerados aparte por el usuario.

Tabla 16 Tabla resumen del recorrido

Duración total del recorrido	4	días
Distancia total recorrida	1,254.10	km
Costo total del recorrido	HNL 5,847.98	

Fuente: Elaboración propia

Para finalizar, para la generación de una nueva ruta de viaje se colocó un cuarto botón que permite a los usuarios crear una nueva selección de destinos para repetir el proceso nuevamente (ver figura 10).



Fig. 10 Botón de generación de nuevo reporte

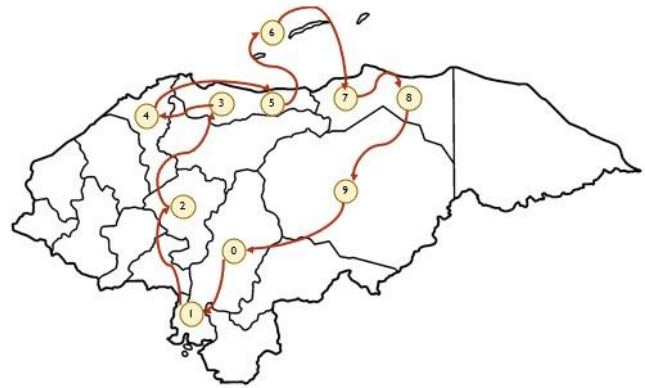


Figura 11 Recorrido del usuario 1

E. Ejemplo y comparación de resultados

En el siguiente ejemplo se consideraron dos posibles escenarios, donde dos usuarios eligieron las categorías de playas, cuevas, arrecifes y bahías, en el cual, los destinos a visitar son los que se muestran en la tabla 17.

Tabla 17 Destinos a visitar

Destinos a visitar
Arrecifes de Islas de la Bahía
Bahía de Chismuyo
Bahía de Cuyamel
Bahía de Trujillo
Cuevas de Talgua
Cuevas de Taulabe
El porvenir
Punta sal
Trujillo

Sin embargo, ambos tomaron diferentes puntos de partida. Para el escenario número 1, el usuario 1 tomo como punto de partida “Tegucigalpa” y para el escenario número 2, el usuario 2 tomo como punto de partida “San Pedro Sula”. Esta información se ingresó a la herramienta creada y los resultados fueron los siguientes:

En la figura 11 se muestra el recorrido que deberá hacer el usuario 1 partiendo desde Tegucigalpa y en la figura 12 se muestra el recorrido que deberá hacer el usuario 2 partiendo desde San Pedro Sula donde, para ambos casos, el 0 representa el punto de partida.

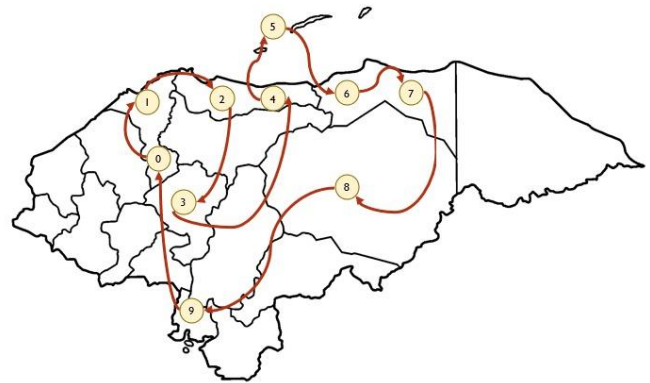


Figura 12 Recorrido del usuario 2

La tabla resumen del recorrido generada por el reporte se detalla en la tabla 18 para el usuario 1 y en la tabla 19 para el usuario 2.

Tabla 18 Tabla resumen del recorrido del usuario 1

Duración total del recorrido	9	días
Distancia total recorrida	1,838.20	km
Costo total del recorrido	HNL 15,592.48	

Tabla 19 Tabla resumen del recorrido del usuario 2

Duración total del recorrido	8	días
Distancia total recorrida	1,945.30	km
Costo total del recorrido	HNL 14,065.75	

Se puede observar, que el punto de partida ha influido de alguna manera en la generación de la ruta, cambiando completamente dicha ruta para poder cumplir su objetivo que es minimizar las distancias.

En el caso del usuario 1 que partió desde Tegucigalpa, hace todo su recorrido en 9 días, recorriendo una distancia total de 1,838.20 km y con un costo total de L. 15,592.48 en cambio, el usuario 2 que partió desde San Pedro Sula haría el mismo recorrido pero en 8 días, con un total de 1,945.30 km recorridos y un costo de L. 14,065.75.

Para el caso de este ejemplo se demuestra que, al cambiar el punto de partida hay una variación de 1 día para hacer el

recorrido completo; esto debido a que San Pedro Sula viene siendo un lugar más céntrico que Tegucigalpa con respecto a los destinos seleccionados por los usuarios.

Así mismo, la distancia recorrida en el escenario 1 es 5.51% menor a la del escenario 2 y el costo total del recorrido en el escenario 1 es 9.79% mayor que los costos del escenario 2 y esto se debe a que en el escenario 1 hay un costo extra de hospedaje debido a que su duración es de un día más que el escenario 2.

IV. CONCLUSIONES

1. Con el modelo heurístico propuesto se logró optimizar la distancia recorrida en el viaje a través de una forma automática dependiendo de la elección personalizada del usuario. La ruta incluye los costos y las estadías en cada uno de los lugares lo cual genera confianza al usuario de que su bienestar está asegurado además de tener el presupuesto justo para ello.
2. La herramienta elaborada en Excel, ofrece flexibilidad con respecto al tiempo a cada usuario, ya que existe un tiempo de holgura que puede quedar en cada uno de los días el cual podrá ser utilizado por los usuarios para dedicar mayor tiempo a sus necesidades personales o podría ser de ayuda en caso de presentarse algún tipo de imprevisto.
3. El tiempo total de viaje es dependiente de la elección del usuario, ya que este elige las diferentes categorías que le interesa visitar y con esta información el modelo heurístico le dicta el tiempo que toman los recorridos de lugar a lugar y el tiempo total de estadía en los diferentes lugares.

V. TRABAJO FUTURO

1. Con la realización de este proyecto se obtuvo la ruta más factible para cumplir con la menor distancia y tiempo posible. Una proyección sería la inclusión de más lugares turísticos para proporcionar una mayor diversificación y de esta manera, el usuario posea mayor capacidad de elección.
2. A causa del tiempo, se estableció un estándar de precios de hoteles lo cual no está directamente ligado a nuestra función objetivo, sin embargo, se podrían implementar opciones de tal forma que el usuario tenga la libertad de elegir el tipo de hotel en el que le gustaría hospedarse, de acuerdo a sus intereses y capacidad económica.
3. Para buscar satisfacer necesidades comerciales y funcionalidad en el mercado laboral, se recomendaría colocar una opción de cantidad de viajeros ya que generalmente, los usuarios no viajan solos y así se abarataran costos totales.
4. En vista de la limitante de diversificación de actividades de cada lugar de destino, se buscaría adicionar mayor cantidad de actividades para cada uno de dichos lugares

ya que, varios de ellos cuentan con más de una actividad para realizar y esto sería un valor agregado al proyecto.

REFERENCIAS

- [1] ITH. (2015). Instituto Hondureño del Turismo. Obtenido de <http://www.iht.hn/wp-content/uploads/2015/10/CatalagodeProyectosIHT2015.pdf>
- [2] OMT. (2017). Organización Mundial del Turismo. Obtenido de <https://www.unwto.org/es>
- [3] Taha, H. A. (2017). Investigación de Operaciones. Pearson.
- [4] Fuentes Penna, A. (s.f.). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Obtenido de <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/tlahuelilpan/n3/e5.html>
- [5] Mancilla, B. I. (2013). Modelo de ruteo para generar rutas turísticas. México, D.F.
- [6] Juan Cockbaine Ojeda, R. S. (s.f.). Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052013000200004
- [7] Crespo Hurtado, E. T. (2007). Modelo didáctico sustentado en la heurística para el proceso de enseñanza-aprendizaje de la matemática asistida por la computadora.
- [8] Lewis, Rosenkrantz, & Stearns. (s.f.). Obtenido de <http://knuth.uca.es/moodle/mod/page/view.php?id=3417>
- [9] VBA. (s.f.). Obtenido de <https://www.excel-easy.com/vba.html>
- [10] Jose Pedro, D. S. (2014). Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <http://personales.upv.es/jpgarcia/linkedddocuments/macrosvisualbasicparaexcel.pdf>