



PROYECTO JUNIOR PIJ-15-12

"Modelos de enrutamiento vehicular para la planificación de rutas y la asignación de carga a encuestadores en el INEC"

En la ciudad de Quito D.M., a los veintinueve días del mes de octubre del año dos mil diecinueve, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto Junior **PIJ-15-12 "Modelos de enrutamiento vehicular para la planificación de rutas y la asignación de carga a encuestadores en el INEC"**, por una parte la **Ph.D. Alexandra Patricia Alvarado Cevallos** en calidad de **Vicerrectora de Investigación, Innovación y Vinculación** de la Escuela Politécnica Nacional, y por otra la **Ph.D. Sandra Elizabeth Gutiérrez Pombosa** en calidad de **Directora del Proyecto Junior PIJ-15-12**, al tenor de lo siguiente:

1. ANTECEDENTES:

- El 4 de mayo de 2015, el Consejo de Investigación y Proyección Social mediante Resolución 22, aprueba el Cronograma de la Convocatoria para la presentación de Proyectos de Investigación Internos, Semilla, Junior y Multi e Interdisciplinarios 2015.
- El 21 de septiembre de 2015, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación y Proyección Social, mediante Resolución 53, se aprobaron los proyectos junior 2015, entre ellos el denominado: "Modelos de enrutamiento vehicular para la planificación de rutas y la asignación de carga a encuestadores en el INEC", presentado por la Ph.D. Sandra Gutiérrez.
- Mediante Memorando EPN-VIPS-2016-0593-M, del 31 de mayo de 2016, se informa a los Directores de los proyectos Junior 2015 que la fecha de inicio de los proyectos es el 1 de junio del 2016.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

Código de Proyecto	PIJ-15-12
Nombre del Proyecto	Modelos de enrutamiento vehicular para la planificación de rutas y la asignación de carga a encuestadores en el INEC
Directora del Proyecto	Ph.D. Sandra Elizabeth Gutiérrez Pombosa
Colaboradores del Proyecto	Ph.D. Ramiro Daniel Torres Gordillo Ph.D. Diego Fernando Recalde Calahorrano Ph.D. Luis Miguel Torres Carvajal
Departamento	Matemática
Líneas de Investigación	<ul style="list-style-type: none">Optimización matemática y controlTransporte y contaminación
Objetivo	Abordar desde un punto teórico y práctico un problema de enrutamiento de vehículos (VRP) capacitado con varios depósitos y uso múltiple de vehículos
Duración del Proyecto	<ul style="list-style-type: none">Inicio: 1 de junio del 2016Fin planificado: 31 de mayo del 2018Prórroga Ordinaria: 7 meses, hasta el 31 de diciembre de 2018Duración total: 31 meses
Entrega del Informe Final	26 de septiembre del 2019
Presupuesto asignado	\$ 77.244,72 USD (setenta y siete mil doscientos cuarenta y cuatro dólares americanos con 72/100)
Presupuesto ejecutado	\$ 17.683,92 USD (diecisiete mil seiscientos ochenta y tres dólares americanos con 92/100)



3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando Nro. EPN-PIJ-15-12-2019-0003-M del 26 de septiembre de 2019 la Ph.D. Sandra Gutiérrez, Directora del Proyecto PIJ-15-12, presenta el Informe Final del Proyecto Junior, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación, y que se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

CONCLUSIONES:

- Para el problema planteado, se ha obtenido una solución que combina métodos heurísticos y exactos. Se hace un aporte interesante al área de enrutamiento de vehículos, la cual es una rama de la Optimización Combinatoria que ha venido evolucionando desde los años 50, puesto que por primera vez se integra en la modelización tanto rutas vehiculares como pedestres y se sincronizan los tiempos dentro de límites de horarios de trabajo, pausas para encuestadores y capacidad de transporte vehicular. Se logran mejoras en el costo operativo, el cual se reduce en 66%, puesto que se ha encontrado una solución para la instancia de prueba que utiliza menos recursos y se puede realizar en menor tiempo que el que se utiliza con una solución empírica en el INEC.
- Los resultados obtenidos en este proyecto son de índole general y pueden ser extendidos a problemas similares, en los cuales se requiera la integración temporal de rutas para vehículos con diferentes velocidades de desplazamiento y capacidad de carga. Así mismo, otras aplicaciones interesantes podrían realizarse bajo el mismo esquema como por ejemplo planificación de rutas de vigilancia de policías a pie transportados inicialmente por un vehículo hacia un punto específico de una ciudad; entrega de correspondencia en determinados barrios que combinen rutas de vehículos con rutas de carteros, entre otras.
- Durante el primer año del proyecto se evaluaron métodos heurísticos de solución para construir inicialmente las rutas pedestres y luego mediante un proceso de fijación de variables alimentar el modelo general con estos resultados, para proceder al enrutamiento vehicular. Se estudiaron algoritmos que en sí eran variaciones de los métodos tradicionales de Prim y Kruskal, para la construcción de árboles generadores de peso mínimo y variaciones aleatorizadas de los mismos. En esta primera etapa se llegó a la conclusión que aún con una solución óptima en la construcción de caminos pedestres, no se garantizaba la existencia de una solución factible para el problema de enrutamiento vehicular, por lo que durante las etapas posteriores del proyecto, se analizaron métodos que consideraron la partición de los datos en grupos más pequeños (clusters) y trabajar dentro de estos grupos por separado. Es innegable que al hacer este último proceso se puede perder optimalidad en el problema general, pero es un método que se comprobó exitoso luego de establecer el esquema de solución propuesto en el reporte técnico y artículo de investigación, ya que al menos se garantiza que existirán soluciones factibles para los enrutamientos vehiculares.
- El requerimiento de recursos computacionales para este proyecto es exigente puesto que se manejan grandes cantidades de datos y la construcción computacional del modelo en sí ocupa grandes cantidades de memoria por lo tanto la sección de experimentación computacional, representó un reto para los investigadores, debiendo utilizar diferentes enfoques de programación y tratamiento del problema. En las diferentes etapas se utilizaron los siguientes paquetes computacionales: Combo de



optimización del instituto ZIB de Berlín (Zimpl-SCIP), C++, Python, Gurobi. Siendo necesario en cada uno de ellos la introducción del modelo propuesto y su validación.

PRODUCTOS:

1. Artículo enviado para revisión: "Integrated vehicle and pollster routing"; Gutiérrez Sandra, Recalde Diego, Torres Ramiro, Torres Luis Miguel, Miniguano Andrés; "Computers and Operations Research" (Scopus Q1); ISSN: 03050548; septiembre 2019.
2. Conferencia: "Integrated vehicle and pollster routing"; Gutiérrez Sandra; 29th European Conference on Operational Research, Valencia, España; julio 2018.
3. Póster: "Una metaheurística para un problema de planificación de rutas vehiculares y pedestres"; Gutiérrez Sandra, Andrés Miniguano, Recalde Diego, Torres Luis, Torres Ramiro, Zuleta Pablo; XXII Escuela Latinoamericana de Verano de Investigación de Operaciones, Marvella, Chile; marzo 2018.
4. Proyecto de titulación de Matemática: "Algoritmos matheurísticos para un problema de planificación de rutas vehiculares y pedestres"; Miniguano Trujillo Andrés Ricardo, Zuleta Sarango Pablo Andrés; <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19065>; mayo 2019.
5. Conferencia para difusión de resultados a la comunidad de la EPN: "Optimizando rutas de vehículos y encuestadores"; Torres Ramiro; Encuentros EPN 2016 en el marco de Habitat III; octubre 2016.
6. Conferencia para difusión de resultados a la comunidad de la EPN: "Modelo de programación lineal entera para la planificación de rutas y asignación de carga a encuestadores"; Miniguano Andrés; XV encuentro de Matemática y sus aplicaciones, EPN; octubre 2016.
7. Conferencia para difusión de resultados a la comunidad de la EPN: "Integrated vehicle and pollster routing"; Recalde Diego; XVI encuentro de Matemática y sus aplicaciones, EPN; octubre 2018.

4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

El monto asignado al Proyecto Junior PIJ-15-12 fue de \$ 77.244,72 USD (setenta y siete mil doscientos cuarenta y cuatro dólares americanos con 72/100), y se ejecutó \$ 17.683,92 USD (diecisiete mil seiscientos ochenta y tres dólares americanos con 92/100), conforme al detalle emitido por la Unidad de Gestión de Investigación y Proyección Social del Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, que se adjunta a la presente Acta y forma parte integrante de la misma.

5. FINALIZACIÓN:

Con la presente Acta se declara finalizado y cerrado el Proyecto Junior PIJ-15-12 "**Modelos de enrutamiento vehicular para la planificación de rutas y la asignación de carga a encuestadores en el INEC**".



Para constancia de lo ejecutado y por estar de acuerdo con el contenido de la presente Acta, las partes libre y voluntariamente suscriben la misma, en tres ejemplares de igual contenido, tenor y valor legal.

Dado en la ciudad de Quito, D.M. a los veintinueve días del mes de octubre del año dos mil diecinueve.

Ph.D. Alexandra Alvarado

Ph.D. Alexandra Alvarado
Vicerrectora de
Investigación, Innovación y
Vinculación



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Y PROYECCIÓN SOCIAL

Ph.D. Sandra Gutiérrez

Ph.D. Sandra Gutiérrez
Directora del Proyecto
PIJ-15-12

Recibido

7 / 11 / 2019

8:33

sp/cr