



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica  
Superior d'Enginyeria  
Informàtica

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica  
Universitat Politècnica de València

# **Planificación de técnicas de mejoras de planes para Smart Cities**

Trabajo Fin de Máster

**Máster Universitario en Ingeniería Informática**

**Autora:** Liseth Stefanía Jiménez Valencia

**Tutor:** Antonio Garrido Tejero

2018/2019

## **Dedicatoria**

Dedico este Trabajo Final de Máster, a Dios que es mi fuente de inspiración, a mi familia que son mi ejemplo de supervivencia en tiempos difíciles, a mi novio que siempre ha estado dándome ánimo, todos los días de esta aventura desde el otro lado del continente y a todas aquellas personas que no han dejado de estar pendiente de mí, en mi ausencia.

Liseth Jiménez Valencia.

# Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a mi querida Alma mater la Universidad de Guayaquil por ser parte de este gran reto, y motivar a sus estudiantes a soñar en grande. También a CISC - CINT (Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales y Carrera de Ingeniería en Networking) por todo los conocimientos brindados y el apoyo incondicional de sus maestros.

En segundo lugar, agradezco a la Beca del Senescyt (Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación) del Ecuador, por haber estado pendiente, de toda mi estancia fuera del país, y haber cumplido puntualmente con todo el contrato establecido por la beca.

En tercer lugar, agradezco a mi tutor Antonio Garrido por haberle dado seguimiento a este TFM desde el inicio hasta el final, aportando muchos de sus conocimientos, guiándome, y sobre todo teniéndome paciencia en muchas ocasiones. Gran parte de este resultado ha sido gracias a su guía como profesional y a sus recomendaciones.

En cuarto lugar, quiero agradecer la Universidad Politécnica de Valencia, en especial a su Máster de Ingeniería en Informática los conocimientos que me llevo son a gran escala. Y agradecer esa gran labor que tienen de convertir a los profesionales, además de técnicos(as), emprendedores(as) y con gran don de persona.

En quinto lugar, agradezco a mis compañeros del Máster, han sido un gran apoyo, el trabajo en equipo ha fortalecido gran parte de mis conocimientos, y sobre todo porque no han dudado ni un segundo en ayudarme cuando lo he necesitado.

Y un agradecimiento especial, finalmente, a mis amigos que han estado leyendo mi TFM y dándome recomendaciones a nivel de lector (que no están relacionados con el área informática), sin duda ha sido un gran aporte, para la culminación de este proyecto.

Gracias totales,

Liseth Jiménez Valencia.



## Resumen

---

Esta propuesta se basa en el concepto de las “Smart Cities” y sostenibilidad, las cuales se han convertido en una tendencia en las ciudades que invierten en tecnología, como también para aquellas que la ven como una necesidad para resolver problemas. En el presente trabajo de fin de máster, se ha analizado la dificultad en la que se encuentran actualmente los habitantes de Daule (provincia Guayas – Ecuador). De este modo para solucionar esta situación se ha planificado la gestión y distribución de camiones recolectores de desechos, tanto orgánicos como inorgánicos, donde se busca mejorar el servicio y la calidad de vida de las personas.

El problema se resolvió mediante un modelo informático que utiliza una biblioteca de funciones predefinidas mediante “Minizinc”, un software libre que utiliza un lenguaje sencillo. Asimismo, mediante la “Programación de satisfacción de restricciones” (CSPs), se crearon condiciones para gestionar las visitas de los camiones mediante su carga. Además, se ofreció información del orden de visita, horarios de entrada y de salida de cada una de las unidades desde el punto de partida al de llegada entre los sectores de las zonas rurales previamente mencionadas. Para alcanzar la solución, el objetivo es visitar la mayor cantidad de sectores por camiones recolectores dependiendo de la prioridad del sector. Como resultado se consiguió evaluar lo siguiente: Analizar diferentes niveles de optimización que ofrece el compilador; analizar la eficiencia de los resultados del tiempo de respuestas y analizar las soluciones con el usuario.

**Palabras clave:** Planificación, técnicas, distribución de camiones, *Smart cities*, logística, sostenibilidad, programación de restricciones.

# Abstract

---

This proposal is based on the concept of “*Smart Cities*” and sustainability, which have become a trend for cities that invest in technology, as well as those that see in it as a need to solve problems. In the present Master’s degree final project, the current situation in which the inhabitants of rural areas of the city of Daule (Guayas-Ecuador) live, was analyzed in order to later plan the management and distribution of waste collection trucks, both organic and inorganic, with which it is sought to improve the service and people's quality of life.

The problem was modeled using a library of predefined functions with "Minizinc", an open source software that uses simple language. Likewise, through the "Constraint Satisfaction Programming" CSPs, restrictions were entered to limit and sort the visits of the collector trucks through their cargo. Additionally, information was provided on the order of visit, entry and exit schedules of every unit from the point of departure to the point of arrival among the previously mentioned sectors. In order to achieve the proposed solution, the main objective is to visit the largest number of destinations by collection trucks depending on the priority of the sectors. As a result, the following was achieved: analyze different optimization levels offered by the compiler; analyze the response time results efficiency and; analyze the solutions in front of the user.

**Keywords:** planning, techniques, trucks distribution, Smart Cities, logistics, sustainability, constraint programming.



## Resum

---

Aquesta proposta 3s fonamenta en el concepte de les “Smart Cities” i sostenibilitat, les quals s'han convertit en una tend3ncia en ciutats que inverteixen en tecnologia, com tamb3 per a aquelles que veuen la tecnologia com una necessitat per a resoldre problemes. En el present treball de fi de m3ster, s'ha analitzat la situaci3 actual en la qual viuen els habitants de zones rurals del voltant de Daule, (prov3ncia de Guayas - l'Equador), per a posteriorment planificar la gesti3 i distribuci3 de camions recol·lectors de deixalles, tant org3nics com inorg3nics, on es busca millorar el servei i la qualitat de vida de les persones.

El problema es va plantejar emprant un model inform3tic que utilitza una biblioteca de funcions predefinides mitjançant “Minizinc”, un programari lliure amb un llenguatge senzill. Aix3 mateix, en la “Programaci3 de satisfacci3 de restriccions” (CSPs) es van aplicar m3todes per a gestionar les visites dels camions mitjançant la seua c3rrega i el seu horari; a m3s, d'oferir informaci3 de l'ordre de visita, horaris d'entrada i d'eixida de cadascuna de les unitats des del punt de partida al d'arribada entre els sectors de les zones rurals esmentades. Per a aconseguir la soluci3 proposada, l'objectiu principal 3s visitar la major quantitat de sectors per camions recol·lectors depenent de la prioritat de les 3rees. Com a resultat es va aconseguir avaluar el seg3ent: L'usuari podr3 analitzar diferents nivells d'optimitzaci3 que ofereix el compilador, l'efici3ncia dels resultats del temps de respostes i analitzar les solucions de cara amb l'usuari.

Paraules clau: Planificaci3, t3cniques, distribuci3 de camions, “Smart cities”, log3stica, sostenibilitat, programaci3 de restriccions.

# Índice General

---

Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Resumen	IV
Abstract	V
Resum	VI
Índice General	VII
Índice de Imágenes	X
Índice de Tablas	XII
Acrónimos	XIII
1. Introducción	14
1.1 Motivación	15
1.2 Objetivos	16
1.3 Limitaciones	16
1.4 Impactos esperados	17
1.5 Metodología de Trabajo	17
1.5.1 Fase 1: Levantamiento de Información	18
1.5.2 Fase 2: Análisis de la información adquirida	18
1.5.3 Fase 3: Propuesta de valor	18
1.5.4 Fase 4: Modelado de Restricciones en Minizinc	18
1.5.5 Fase 5: Análisis de Resultados y documentación	18
1.6 Cronograma	18
1.7 Antecedentes	20
1.8 Estructura de la memoria	25
2. Contexto Tecnológico	26
2.1 Smart cities y Gestión de Residuos	26
2.2 Logística y el Medio Ambiente	26



## Planificación de técnicas de mejoras de planes para *Smart cities*

2.2.1.	Logística Inversa	27
2.3.	Problemas de Rutas de Vehículos	28
2.3.1.	El problema del agente viajero (TSP)	28
2.3.2.	El problema de rutas de vehículos (VRP)	29
2.3.3.	VRP con capacidad limitada (CVRP)	30
2.3.4.	VRP con Ventanas Temporales (VRPTW)	30
2.4.	Programación de Restricciones (PR)	31
2.5.	Métodos de Optimización	33
2.5.1.	Optimización Matemática	33
2.5.2.	Métodos Aproximados Heurísticos	33
2.5.3.	Heurística de Ordenación de Variable	33
2.6.	Minizinc	34
2.6.1.	¿Por qué se usó Minizinc?	36
2.7.	Criterios del estudio	37
2.8.	Propuesta	38
2.8.1.	Resumen del contexto tecnológico	38
2.8.2.	Comparación de modelos (TSP, VRP, CVRP, VRPTW y MODEL-TFM)	39
2.8.3.	Mejoras con respecto a lo que hay	40
3.	Desarrollo de la Propuesta	41
3.1.	Descripción general de problema	41
3.2.	Estructura de datos de ingreso	42
3.3.	Parámetros	43
3.4.	Variables	44
3.5.	Restricciones	45
3.5.1.	Visitas	45
3.5.2.	Orden visita	46
3.5.3.	Carga actual del camión	46
3.5.4.	Horarios	47

3.5.5.	Función Objetivo	47
3.6.	Desarrollo del modelo de restricciones en Minizinc	48
3.6.1.	Parámetros y variables	48
3.6.2.	Restricciones	49
3.6.2.1.	Modelo uno	49
3.6.2.2.	Modelo dos	50
3.6.3.	Resultados	52
4.	Análisis y resultados	53
4.1.	Configuración de Niveles de Optimización	53
4.1.1.	Comparación de soluciones	54
4.2.	Análisis de soluciones (1 hora)	55
4.3.	Información de resultados en Minizinc	58
4.4.	Visualización de resultados	60
5.	Conclusiones y Trabajos Futuros	63
5.1.	Conclusiones	63
5.2.	Relación del trabajo realizado con el estudio cursado	64
5.3.	Trabajos Futuros	64
6.	Referencias	66
7.	Glosario de Términos	70
8.	ANEXO 1	71



# Índice de Imágenes

<i>Imagen 1 Cronograma del Proyecto</i> .....	19
<i>Imagen 2 Diagrama de Grantt</i> .....	19
<i>Imagen 3 Área del Mapa de Daule</i> .....	20
<i>Imagen 4 Camiones recolectores de basura de Daule</i> .....	20
<i>Imagen 5 Acumulación de basura del sector Juan Bautista Aguirre</i> .....	21
<i>Imagen 6 Porcentajes de frecuencia que circula un recolector</i> .....	22
<i>Imagen 7 Porcentajes de acumulación de Basura</i> .....	23
<i>Imagen 8 Porcentaje de contenedores de Basura</i> .....	23
<i>Imagen 9 Sugerencias y quejas de los habitantes</i> .....	24
<i>Imagen 10 Objetivo de la Logística y servicios</i> .....	27
<i>Imagen 11 Modelo TSP y VRP</i> .....	28
<i>Imagen 12 Variantes de VRP</i> .....	29
<i>Imagen 13 Técnicas de Solución para CSPs</i> .....	32
<i>Imagen 14 Área de trabajo de Minizinc</i> .....	34
<i>Imagen 15 Estructura de modelo de Minizinc</i> .....	35
<i>Imagen 16 Ejemplo de operadores lógicos en pseudocódigo</i> .....	35
<i>Imagen 17 Ejemplo de operadores lógicos en Minizinc</i> .....	35
<i>Imagen 18 Compilación de Chuffed 0.10.3</i> .....	35
<i>Imagen 19 Compilación Gecode Gist 6.1.0</i> .....	36
<i>Imagen 20 Grafo de recolección de basura</i> .....	41
<i>Imagen 21 Código Minizinc - Parámetro y variables</i> .....	48
<i>Imagen 22 Código Minizinc – Función Objetivo y restricciones, modelo uno</i> .....	49
<i>Imagen 23 Código Minizinc – restricciones, modelo uno</i> .....	49
<i>Imagen 24 Código Minizinc – restricciones, modelo uno</i> .....	50
<i>Imagen 25 Código Minizinc – restricciones, modelo uno</i> .....	51
<i>Imagen 26 Código Minizinc – restricciones, modelo uno</i> .....	51
<i>Imagen 27 Código Minizinc – resultados</i> .....	52
<i>Imagen 28 Niveles de optimización del Compilador</i> .....	53
<i>Imagen 29 Tiempo transcurrido y nivel de optimización – modelo uno</i> .....	54
<i>Imagen 30 Tiempo transcurrido y nivel de optimización – modelo dos</i> .....	54
<i>Imagen 31 Tiempo por sectores de 2 camiones</i> .....	56
<i>Imagen 32 Tiempo por sectores de 4 camiones</i> .....	56
<i>Imagen 33 Tiempo por sectores de 6 camiones</i> .....	56
<i>Imagen 34 Tiempo por sectores de 8 camiones</i> .....	56
<i>Imagen 35 Tiempo por sectores de 10 camiones</i> .....	57
<i>Imagen 36 Tiempo por sectores de 12 camiones</i> .....	57

<i>Imagen 37 Rendimiento del equipo en ejecución.....</i>	<i>58</i>
<i>Imagen 38 Opción Number of threads .....</i>	<i>58</i>
<i>Imagen 39 Resultados de Minizinc (2 camiones, 13 sectores).....</i>	<i>60</i>
<i>Imagen 40 Información real de sectores, vertedero y base.....</i>	<i>61</i>
<i>Imagen 41 Orden de visita a sectores asignados al camión uno.....</i>	<i>61</i>
<i>Imagen 42 Orden de visita a sectores asignados al camión dos.....</i>	<i>62</i>
<i>Imagen 43 Orden de visita a sectores asignados a cuatro camiones .....</i>	<i>62</i>
<i>Imagen 44 Cajas de Mangos.....</i>	<i>65</i>



# Índice de Tablas

<i>Tabla 1 Tipología de restricciones de un CSP</i> .....	32
<i>Tabla 2 Métodos de Optimización Matemática</i> .....	33
<i>Tabla 3 Resumen del espacio de conocimiento de la propuesta</i> .....	38
<i>Tabla 4 Características de los Modelos TSP, VRP, CVRP, VRPTW y MODEL-TFM</i> .....	39
<i>Tabla 5 Ingreso de Datos a sectores</i> .....	42
<i>Tabla 6 Pesos de las prioridades de los sectores</i> .....	42
<i>Tabla 7 Ingreso de Datos a Camiones</i> .....	43
<i>Tabla 8 Matriz de Distancia(costo) entre un origen y un destino</i> .....	43
<i>Tabla 9 Parámetros de Entrada al Modelo Matemático</i> .....	44
<i>Tabla 10 Variables</i> .....	44
<i>Tabla 11 Variable de decisión</i> .....	45
<i>Tabla 12 Compilación Geocode 6.1.0 – modelo uno</i> .....	55
<i>Tabla 13 Compilación Geocode 6.1.0 – modelo dos</i> .....	55
<i>Tabla 14 Tiempo total</i> .....	59
<i>Tabla 15 Tiempo de la mejor solución obtenida</i> .....	59
<i>Tabla 16 Número de soluciones</i> .....	59
<i>Tabla 17 Número de variables generadas</i> .....	60
<i>Tabla 18 Número de nodos</i> .....	60

# Acrónimos

**COOTAD:** Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización.

**CSPs:** Problema de Satisfacción de Restricciones.

**CVRP:** VRP con capacidad limitada.

**NLP:** Programación del lenguaje natural o Programación no-lineal.

**MDVRP:** VRP con depósitos múltiples.

**MIP:** Programación Entera-Mixta.

**ONU:** Organización de Naciones unidas.

**PNGIDS:** Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos.

**PVRP:** Periodic VRP.

**PR:** Programación de Restricciones.

**PL:** Programación Lineal.

**VRPPD:** VRP con recolección y entrega.

**SVRP:** Stochastic VRP.

**TIC's:** Tecnología de la Información y comunicación.

**TFM:** Trabajo Final de Máster.

**VRP:** Problemas de Rutas de Vehículos.

**VRPTW:** VRP con Ventanas Temporales.



# 1. Introducción

---

En el ámbito de la iniciativa en ciudades emergentes y sostenibles, la ruta hacia las *Smart cities* nos dice: **“Una ciudad inteligente, es la que coloca a las personas en el centro del desarrollo y la planificación, de acuerdo con una visión de largo plazo”** [1]. Las *Smart cities* logran situar en el centro de la planificación al sistema de transporte público y buscan frenar el crecimiento de la ciudad hacia áreas de riesgo, sobre todo, los lugares vulnerables frente a desastres naturales. Por supuesto tienen una agenda en la que priorizan: la seguridad ciudadana, los servicios públicos, las respuestas a emergencias, la participación de los ciudadanos, la tecnología como una herramienta para elaborar una visión y objetivos a largo plazo. Es decir, se está convirtiendo en una solución donde todas las partes implicadas ganan: los ciudadanos, la economía y el medio ambiente [2].

Según el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la ONU (Organización de Naciones Unidas) del 2018 [3] en los últimos años la población de América Latina y el Caribe, que vive en urbanizaciones, se ha incrementado en un 81%. Esta cifra convierte a estas regiones en las protagonistas del crecimiento demográfico más significativo a nivel mundial. El nivel de crecimiento ha provocado grandes consecuencias para la sostenibilidad, calidad de vida y competitividad.

Ahora bien, en Ecuador, el Ministerio de Medio Ambiente lleva a cabo PNGIDS (Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos) [4], el cual tiene como objetivo la gestión de residuos sólidos en los municipios del país. Además, se encuentra el COOTAD (Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización) que en el art. 55 establece que los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales son responsables directos del manejo de sus desechos sólidos. Es necesario mencionar que, a pesar de la existencia de una amplia normativa reguladora, la capacidad de gestión aún es mínima.

En el año 2015 se presentó el proyecto Ecuador 2030 [5], donde exitosos emprendedores ecuatorianos se comprometieron a llevar a cabo los 7 ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) de la Agenda 2030 de la ONU. Aquí se favorece el crecimiento económico y las necesidades sociales; no obstante, para lograr un reto tan ambicioso es necesaria la implicación del sector público y privado.

Este documento presenta una propuesta de solución para la gestión de desechos sólidos en las zonas rurales del Cantón Daule. La propuesta consiste en aplicar una planificación de técnicas de mejoras para el proceso de recolección de desechos. De este modo se ha demostrado que, conociendo toda la problemática real, se pueden crear modelos matemáticos con el fin de brindar una solución que satisfaga y optimice las necesidades encontradas.

## 1.1 Motivación

Lo que me ha llevado a elegir esta gran temática es el hecho de formar parte del estudio sobre las *Smart cities*, ya que siento un gran interés por la evolución de las ciudades inteligentes en Europa. Desde el inicio se revisaron varias alternativas que son necesidades públicas de Ecuador y del entorno en el cual me desenvuelvo. Evaluando cada una de estas alternativas junto con mi Tutor, terminé eligiendo la distribución de camiones para la Recolección de Desechos en Zonas Rurales del Cantón Daule. Es por ello que mi anhelo es aportar una nueva visión apoyada en la facilidad de obtener información real y visibilizar el proceso de recolección de basura en las zonas rurales donde el sector tecnológico no invierte ni un dólar, por ser áreas que no tienen retribución financiera.

El tema de planificación inteligente surgió luego, donde para resolver esta problemática debía involucrarme en temas de Problemas de Rutas de Vehículos, Logística y Programación de Restricciones. He de decir que si no hubiera sido por mi gran motivación no hubiera continuado. A pesar de haber visto el crédito de Logística y Servicios, profundizar estos conceptos han sido todo un reto para mí.

Como motivación profesional en Ecuador se empezó a trabajar en proyectos de innovación. Los cuales me interesaría liderar en un futuro próximo en el área de TICS que involucren las *Smart cities* y el Desarrollo Sostenible. De manera personal, pienso que la tecnología tiene mucho que ofrecer si la sabemos utilizar. El hecho de que cada vez exista más información para compartir nos da la facilidad de aprender sin una gran brecha de conocimientos.

En resumen, uno de mis objetivos es poder aportar los conocimientos adquiridos del Máster de Ingeniería Informática en las localidades más vulnerables de Ecuador, así como cantones, parroquias, recintos rurales, etc. La tecnología continúa evolucionando tan deprisa y las sociedades más afectadas por estos grandes cambios son aquellas que se encuentran ajenas a los Objetivos de Sostenibilidad. Los gobiernos deben impulsar el crecimiento económico del país con este enfoque.

## 1.2 Objetivos

El objetivo principal es ofrecer una propuesta para la Recolección de Desechos Orgánicos e Inorgánicos en los sectores rurales del Cantón Daule, provincia del Guayas – Ecuador mediante una herramienta Informática de Técnicas de Programación de Restricciones, para planificar y distribuir los camiones encargados de recoger las demandas de desechos diariamente. Para cumplir este objetivo, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Investigar el proceso de recolección de desechos en zonas rurales, mediante entrevistas al personal del departamento de Gestión de Medio Ambiente y encuestas a los ciudadanos.
- Analizar la información obtenida e identificar datos claves que no pueden faltar a la hora de planificar y distribuir cada camión a los sectores demandados.
- Definir variables, dominios y restricciones del modelo matemático del problema.
- Investigar la sintaxis de la herramienta informática a usar y desarrollar su modelo matemático en la aplicación, generando las pruebas pertinentes que logre una propuesta válida.

## 1.3 Limitaciones

Dentro de las limitaciones en el transcurso del análisis y desarrollo del proyecto tenemos:

- Se ha conseguido recopilar información del proceso que se realiza diariamente al distribuir los camiones, por medio de preguntas realizadas a Director de Medio Ambiente de la institución municipal del cantón Daule, vía mensajes por las redes sociales y correo electrónico, también se obtuvo información de los habitantes de las zonas rurales por medio de encuestas y se realizaron conversaciones vía online con personas específicas de cada sector.
- Se contactó de nuevo con el mencionado director y no se logró obtener el cronograma de actividades diario de las rutas de los camiones. El hecho de que todas gestiones hayan sido a distancia -virtual- y no de forma presencial fue una gran limitante para no conseguirlo.
- Solo se abordaron conceptos a nivel técnico CSPs, y ciertas heurísticas, el tema es bastante amplio y se puede llegar a más, pero por limitantes de tiempo de entrega solo se revisaron los temas ya antes mencionados.
- Las pruebas han sido realizadas con máximo 12 camiones y 25 nodos, el hecho de ser un problema exponencial, de complejidad computacional superior para su resolución, las pruebas han sido realizadas con ese límite de ingreso de datos.

- Los resultados obtenidos no tienen ningún desarrollo para la Interfaz gráfica, puesto que es problema de sus complejidades al resolverlo, en el caso de desarrollar una interfaz sería parte de una ampliación a nuevos objetivos.

## 1.4 Impactos esperados

Este proyecto es una propuesta con información obtenida de una problemática existente en las zonas rurales del cantón Daule, así como en la mayoría de los cantones del resto del país. Se espera que, al terminar este Trabajo de Fin de Máster, pueda compartirse con las Universidades del Ecuador y sirva de continuidad para más investigaciones en los problemas relacionados con la gestión y planificación de rutas, para que así pueda tener impacto a mediano y largo plazo en la esfera ambiental. De los cuales se presentan los siguientes:

- Mejorar el proceso de planificación en la distribución de ruta de los camiones de recolección de desechos y así beneficiar a las Instituciones Municipales con su labor de gestión y a los ciudadanos teniendo un mejor servicio.
- Demostrar que las *Smart cities* no solo tienen que ver con tecnología de última generación, sino que también se les puede aplicar con una pequeña innovación usando tecnología *Open Source*.
- Que se siga dando continuidad a esta investigación, ya que en temas de logística nos falta bastante que aprender y sobre todo comenzar a aplicar estos conocimientos para ayudar al desarrollo y crecimiento sostenible de Ecuador.
- Participar en los retos de la Agenda 2030 de la ONU, ya que el problema en la gestión de residuos no solo existe en Ecuador, sino en el mundo entero.
- Ayudar en los retos de Ecuador 2030, sería una buena iniciativa que a futuro nos beneficiaremos todos.

## 1.5 Metodología de Trabajo

Es relevante que se comprenda, que este prototipo no es un software que va a interactuar directamente con el usuario. En cuanto a los problemas que radican en la optimización, lo más importante son los resultados y no el software en sí. Este Plan de Trabajo se irá subdividiendo por fases según los plazos descritos:

### **1.5.1 Fase 1: Levantamiento de Información**

Establecer comunicación con el personal interno y externo que se relaciona con la problemática a solucionar, obtener imágenes del problema, investigar sobre la gestión de desechos, retos de la agenda 2030, *Smart cities*, logística y su relación con la sostenibilidad. Duración: 3 meses (Diciembre – Febrero, 2018-2019).

### **1.5.2 Fase 2: Análisis de la información adquirida**

Analizar e identificar los problemas de rutas de vehículos en comparación con el modelo planteado, programación de restricciones, problemas de optimización combinatoria, las *Smart cities*, logística y la relación de estas teorías con el medio ambiente: 1 mes (Marzo – Marzo, 2019)

### **1.5.3 Fase 3: Propuesta de valor**

Definir los parámetros a ingresar, las variables a utilizar, dominios y restricciones tanto en un modelo gráfico y como en pseudocódigo. Duración: 1 mes (Abril – Abril, 2019)

### **1.5.4 Fase 4: Modelado de Restricciones en Minizinc**

En esta fase se investigó sobre la herramienta Minizinc, su sintaxis, etc., y se modeló de forma funcional las exigencias del problema, logrando así poder ejecutar pruebas para la siguiente fase. Duración: 1 mes (Mayo – Mayo, 2019)

### **1.5.5 Fase 5: Análisis de Resultados y documentación**

Logrando culminar la fase cuatro, se generaron diferentes pruebas, pasando a analizar cada resultado obtenido mediante lecciones aprendidas en el transcurso del proyecto. La documentación ha sido realizada desde la fase tres, pero en esta fase se le ha dado forma a todo lo aprendido, analizando criterios propios que han sido redactados en la memoria de este TFM. Duración: 1 mes (Junio – Julio, 2019)

## **1.6 Cronograma**

En este apartado se muestra el cronograma detallado de las actividades que se han llevado a cabo para la realización de este proyecto (ver [Imagen 1](#)).

	Nombre	Duración	Inicio	Terminado	Predecesores	Nombres del Recurso
1	Planificación de técnicas de mejoras para planes Sma	181 days?	3/12/18 8:00	12/08/19 17:00		
2	Levantamiento de Información	61 days?	3/12/18 8:00	25/02/19 17:00		Liseth Jiménez Valencia
3	Gestión de comunicación con Municipio de Daule	19,125 days?	3/12/18 8:00	9/12/18 17:00		Liseth Jiménez Valencia
4	Encuestas a zonas rurales via online	34,125 days?	10/12/18 8:00	21/1/19 17:00	3	Liseth Jiménez Valencia
5	Gestión de captura de Imagenes	6,125 days?	27/12/18 16:00	29/12/18 17:00	4	Liseth Jiménez Valencia
6	Entrevistas por llamada telefonicas	22,125 days?	31/12/18 8:00	7/01/19 17:00	5	Liseth Jiménez Valencia
7	Investigación Procesos de Gestión de Desechos	25,125 days?	8/01/19 8:00	16/01/19 17:00	6	Liseth Jiménez Valencia
8	Investigación de Retos de la Agenda 2030	64,125 days?	17/01/19 8:00	7/02/19 17:00	7	Liseth Jiménez Valencia
9	Investigación sobre las Smart Cities	52,125 days?	8/02/19 8:00	25/02/19 17:00	8	Liseth Jiménez Valencia
10	Análisis de información Adquirida	22 days?	28/02/19 8:00	30/03/19 17:00	2	Liseth Jiménez Valencia
11	Análisis del proceso de Gestión de Desechos	28,125 days?	28/02/19 8:00	9/03/19 17:00		Liseth Jiménez Valencia
12	Análisis de Problemas de Rutas de Vehículos	13,125 days?	11/03/19 8:00	15/03/19 17:00	11	Liseth Jiménez Valencia
13	Análisis del problema encontrado	16,125 days?	18/03/19 8:00	23/03/19 17:00	12	Liseth Jiménez Valencia
14	Análisis de limites del problemas	16,125 days?	25/03/19 8:00	30/03/19 17:00	13	Liseth Jiménez Valencia
15	Propuesta de Valor	21 days?	2/04/19 8:00	30/04/19 17:00	10	Liseth Jiménez Valencia
16	Definir Parámetros	10,125 days?	2/04/19 8:00	5/04/19 17:00		Liseth Jiménez Valencia
17	Definir Variables y dominios	13,125 days?	8/04/19 8:00	12/04/19 17:00	16	Liseth Jiménez Valencia
18	Definir restricciones	46,125 days?	15/04/19 8:00	30/04/19 17:00	17	Liseth Jiménez Valencia
19	Modelado de Restricciones en Minizinc	24 days?	1/05/19 8:00	3/06/19 17:00	15	Liseth Jiménez Valencia
20	Investigar sintaxis de Minizinc	13,125 days?	1/05/19 8:00	5/05/19 17:00		Liseth Jiménez Valencia
21	Modelar Restricciones	58,125 days?	6/05/19 8:00	25/05/19 17:00	20	Liseth Jiménez Valencia
22	Pruebas lógicas	4,125 days?	27/05/19 8:00	28/05/19 17:00	21	Liseth Jiménez Valencia
23	Documentación Fase 1	4 days?	29/05/19 8:00	3/06/19 17:00	22	
24	Análisis y Resultados	9 days?	4/06/19 8:00	14/06/19 17:00		
25	Generar archivos de pruebas	7,125 days?	4/06/19 8:00	6/06/19 17:00		Liseth Jiménez Valencia
26	Análisis de los datos Obtenidos	22,125 days?	7/06/19 8:00	14/06/19 17:00	25	Liseth Jiménez Valencia
27	Documentación Fase 2	13,125 days?	17/06/19 8:00	21/06/19 17:00	26	Liseth Jiménez Valencia
28	Documentación Final	16,125 days?	24/06/19 8:00	29/06/19 17:00	27	Liseth Jiménez Valencia
29	Revisiones y Correccione	31 days	1/07/19 8:00	11/07/19 17:00		Liseth Jiménez Valencia;Ant...

Imagen 1 Cronograma del Proyecto

También se puede observar el progreso de las actividades mediante un diagrama de grantt (ver [Imagen 2](#))

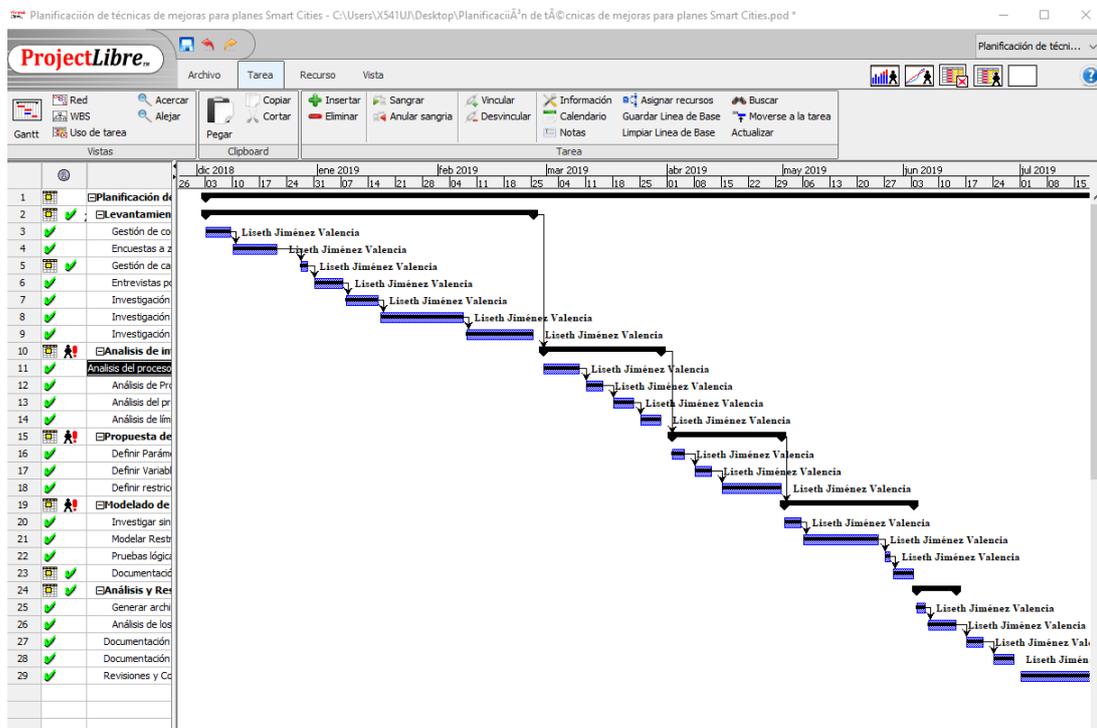
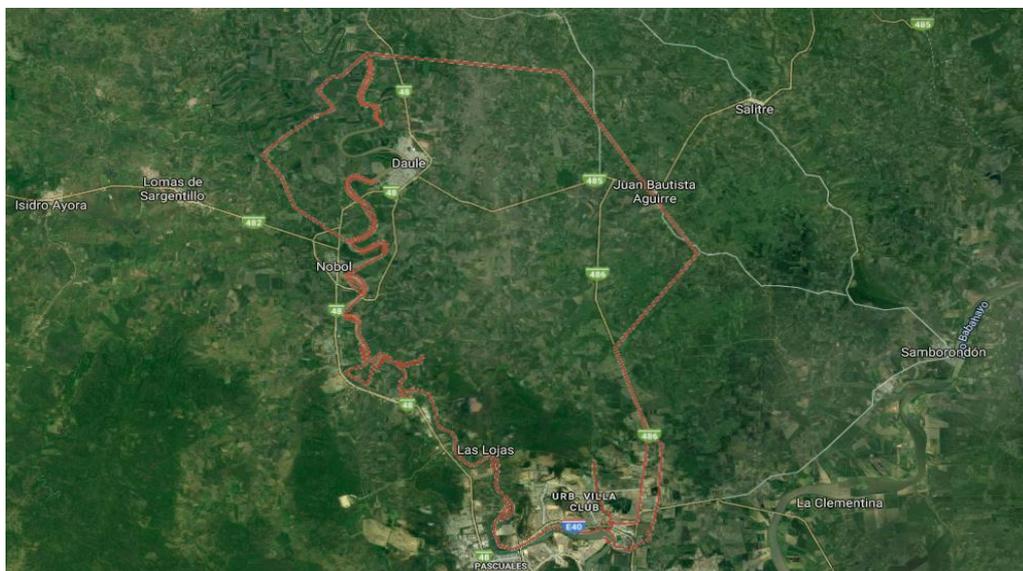


Imagen 2 Diagrama de Grantt

## 1.7 Antecedentes

El cantón Daule se encuentra localizado en Ecuador, provincia del Guayas, tiene una población de 120 326 habitantes según el último censo realizado en el año 2010.



*Imagen 3 Área del Mapa de Daule*

Alrededor de 65 mil personas viven en el área urbana de la ciudad y los restantes 54 mil en la zona rural. El Cantón está dividido en cuatro parroquias rurales: Los Lojas, Juan Bautista Aguirre, El Laurel y Limonal; y dos Parroquias Urbanas: Daule (la cabecera cantonal) y La Parroquia Satélite La Aurora. En la [Imagen 3](#) con la demarcación roja puede observarse la zona correspondiente al cantón.

El Municipio del cantón gestiona el servicio de recolección que se realiza de lunes a sábado de 05:30 a 13:30 horas. Para ello se cuenta con doce camiones recolectores de una capacidad aproximada de 110 toneladas, cada uno realiza los recorridos con un chofer y dos obreros [Imagen 4](#). La recolección es de tipo domiciliaria. Esta sigue una ruta que finaliza en un único vertedero de residuos (ver [Imagen 4](#)). Esta información ha sido obtenida por el director del Departamento de Medio Ambiente del Ilustre Municipio del Cantón Daule, Juan Carlos Fernández.



*Imagen 4 Camiones recolectores de basura de Daule*

El director también afirma que el área administrativa del municipio no cuenta con información digitalizada. La organización de los horarios es manual e improvisada. A manera de ejemplo, una nueva ruta se iniciará solamente en caso de reclamos ciudadanos locales a la Dirección General del Cantón o a diferentes entidades estatales de control.

Respecto a la clasificación de los residuos, esta se ejecuta al momento de la recolección, de la mano de solamente dos ayudantes, quienes manualmente separan elementos orgánicos de los inorgánicos, para posteriormente clasificarlos en el vertedero. A la fecha no se ha diseñado ningún plan de enseñanza o motivación para que la ciudadanía aprenda a clasificarlos.

La recolección de residuos generados en la zona rural no tiene la misma atención que en las zonas urbanas, bajo el argumento que los ciudadanos utilizan los desechos orgánicos para la alimentación de ganado, aves de corral, o como abono para cultivos. En tal sentido, el municipio aduce que la demanda es mínima, no obstante, la realidad es distinta, puesto que se genera acumulación y las familias terminan por quemar los residuos, enterrarlos o arrojarlos a terrenos baldíos, quebradas, ríos, acequias o canales. Esto genera bastante inconformidad entre los habitantes de las parroquias rurales.

Sin embargo, en la zona urbana (ver [Imagen 5](#)) también hay problemas de gestión de residuos, porque los sectores menos transcurridos, que también generan mucha basura, son menos gestionados. Mientras que las calles comerciales y principales tienen más atención ya que se supone que la demanda es alta.



*Imagen 5 Acumulación de basura del sector Juan Bautista Aguirre*

Como ya se había mencionado, la recolección es de tipo domiciliaria por calle, con lo cual los recolectores se detienen en puntos específicos de la vía pública, los que por lo general son esquinas. No obstante, debido a la no existencia de contenedores, los ciudadanos no tienen otra opción más que

arrojar los residuos en la calzada. Esto provoca que, especialmente los fines de semana, ocurra acumulación de desechos, malos olores y, en algunos casos, dispersión, cuando animales domésticos escarban.

Los horarios son manejados dependiendo del orden de la visita a los sectores, así como de la capacidad disponible y de la prioridad que tiene cada sector. Los sectores más demandados tienen visitas con mayores frecuencias. Por ejemplo, en la zona del mercado, las calles principales son visitadas casi, a diario. Mientras que los sectores de las zonas rurales se realizan visitas solamente una vez a la semana o más, pero no llega a ser con frecuencia diaria.

Posteriormente, se realizaron encuestas a los ciudadanos de las parroquias del cantón Daule. A continuación, se presentan las preguntas realizadas a las diferentes parroquias tanto rurales como urbanas con sus respectivos resultados:

### ¿Con qué frecuencia circula el recolector de basura en tu sector?

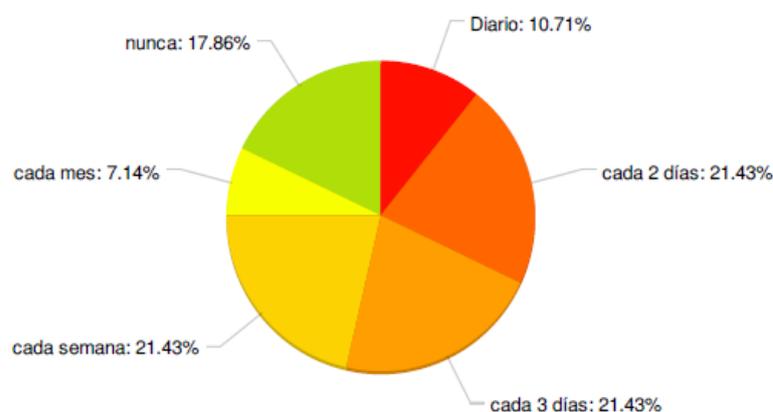


Imagen 6 Porcentajes de frecuencia que circula un recolector

Los sectores son visitados por demanda y por zonas principales, así se marca la prioridad de recolección (ver *Imagen 6*). Casi un 11% de la población tiene visitas a diario, un 22% cada 2 días, otro 22% cada 3 días, el 22% de la población se visita cada semana, un 7% de los sitios se visita 1 vez al mes, y casi un 18% nunca.

### ¿Existe acumulación de basura en tu sector?

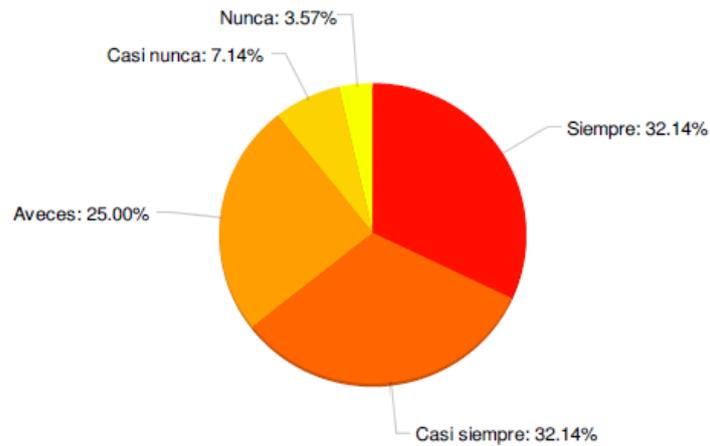


Imagen 7 Porcentajes de acumulación de Basura

A través de esta pregunta se quiso estimar el porcentaje de acumulación de basura por medidas de frecuencias (ver *Imagen 7*). Podemos observar que aproximadamente un 32% siempre tiene acumulación de basura y el 32% de la población encuestada respondió que casi siempre. Un 25% a veces, un 10% dice que nunca y casi nunca que coincide con el 11% donde los horarios del recolector son a diario.

### ¿Existen contenedores de basura en tu sector?

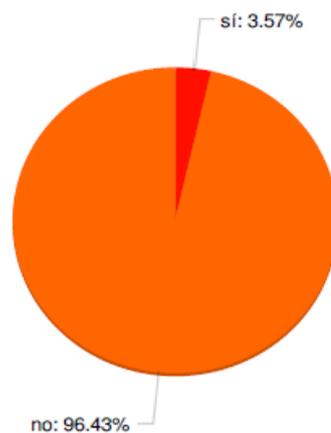


Imagen 8 Porcentaje de contenedores de Basura

Aproximadamente el 97% de la población no tiene contenedores en su sector (ver *Imagen 8*). Lo que hay en el cantón Daule son tachos o depósitos pequeños en las calles principales., siendo su material de plástico o de lata.

### ¿Crees que es importante mejorar el servicio de recolección de basura? ¿Déjanos tus sugerencias?

En esta pregunta se quiso obtener opiniones de los encuestados, para así poder emitir juicios sobre los comentarios de cada uno (ver *Imagen 9*). Se han copiado las respuestas textuales, de algunos de los comentarios, para que se verifique que no hay modificaciones en la redacción.

- Es muy importante k aya recolector de basura
- Si tratar de abarcar todas las avenidas.
- Si es muy importante para así mantener la ciudad limpia y asi evitar problemas de salud ya que al existir acumulación de basura esto genera malos olores y enfermedades.
- Si se debería mejorar
- Si, sería bueno implementar el reciclaje y que existiera la clasificación de basura en el carro de recolección
- Claro porque hay que botar la basura en pozos septicos o quemarla y el humo daño la capa de ozono..
- Claro sería mejor, para que así nuestra parroquia este mas limpia
- Si porque en mi sector donde vivo existen terrenos vacios y al votar la basura se acumula y contamina nuestros medio ambiente y nuestra comunidad
- Claro muy importante!!!!  
Que el recolector pase con mas frecuencia para que de esta manera no se genere la acumulacion de basura..
- si es importantes principalmente alrededor de escuelas y colegios existen acumulacion de basura y familias que no se preocupan por asear afuera de su casa y cuando lavan sus bus autos dejan acumulacion de barro ...creo que se debe ser un llamado a la ciudadanía por la limpieza en las veredas o multas
- Deben coordinar un plan que evite que la basura quede a la interperie de forma poco estética.
- Claro que sí es muy importante q en todo los sectores existan contenedores para cuando el carro de la basura pase encuentren hay la basura y no las fundas rotas por todos lados
- Daule es el canto que más basura hay y es pésimo la recolección de basura
- Mejorar en el recorrido para que las personas sepan a la hora que va a pasar
- Si es necesario ya a los trabajadores solo recojen la basura y pasan como corre camino
- Si xq se paga por un pésimo o nulo servicio..las personas que trabajan en los recolectores a la cuenta andan es corriendo.y dejan botado desperdicios en las calles...
- En mi parroquia el Municipio no envia los carros recolectores con frecuencia, y en los recintos de la parroquia van 1 o 2 veces por mes.  
Es un deber con la comunidad enviar los carros recolectores con frecuencia, la basura acumulada atrae insectos y a la vez enfermedades. Ademas todos los ciudadanos cancelan este servicio mensualmente...
- Claro es sumamente importante para el área de nuestro cantón
- Es una importancia increíble la que ocupa el servicio de recolección de basura, ya que la ausencia de este hace que la parroquia al acumular basura, tenga una apariencia desagradable, por eso pienso que se debe tener más control en los horarios de recolección, que pase más días a la semana el recolector y así, porque últimamente la parroquia parece basurero.
- Planificación
- Una mejor coordinación para que así el recolector de basura haga su recorrido por todo la parroquia en un horario donde los dueños de casa estén y puedan sacar su basura caso contrario si se las deja la basura abandonada animales la riegan y existen mal olores.

### *Imagen 9 Sugerencias y quejas de los habitantes*

Estos son los datos que se han podido obtener en esta encuesta. Podemos observar, de forma clara, que la mayoría de los sectores se visitan con poca frecuencia. La acumulación de basura es constante y no hay contenedores grandes de basura. Los habitantes sienten malestar por la situación y casi todos se quejan.

## 1.8 Estructura de la memoria

Esta memoria está estructurada de la siguiente manera:

En la Unidad 1, se presenta una breve introducción donde se encontrará una vista general sobre las *Smart cities* en ciudades emergentes y sostenibles, el incremento de las urbanizaciones en América Latina, la gestión del medio ambiente en el Ecuador, los retos del proyecto Ecuador 2030 y la planificación de técnicas de mejoras en procesos de recolección de basura. Además, se encontrará la motivación que impulsó esta investigación, el objetivo general, los objetivos específicos, impactos esperados, limitaciones y la metodología de trabajo que propone el cumplimiento de los objetivos.

En la Unidad 2, se presenta el contexto tecnológico donde se mencionan las interrogantes que han surgido, y se fundamentan las teorías mencionadas como son: las *Smart cities* y sus desafíos actuales en cuanto a la sostenibilidad, la logística y su relación con el medio ambiente, los problemas de rutas de vehículos, la programación de restricciones, los diferentes métodos de optimización matemática sobre el lenguaje de modelado Minizinc, criterios del estudio y propuesta de valor con respecto al problema.

En la Unidad 3, se presenta el desarrollo de la propuesta, se menciona la descripción general del problema, estructura de datos de ingreso, definiciones de los parámetros, variables y restricciones, información del desarrollo en Minizinc.

En la Unidad 4, se presenta Análisis y resultados, Comparación de tiempo de respuesta de los niveles de Optimización, Análisis de soluciones, Información de resultados en Minizinc y Visualización de resultados.

Finalmente, la Unidad 5 presenta las conclusiones y proyectos a futuro.

## 2. Contexto Tecnológico

---

En este apartado se proponen dos interrogantes surgidas a partir del planteamiento de este problema, se fundamentan conceptos técnicos y teóricos que se mencionan dentro de la solución.

**¿Cómo ayudar en este gran reto a países en vías de desarrollo, lugares donde aún se notan carencias en la digitalización de la información?**

**¿Será un gran aporte realizar Planificaciones de Técnicas de Mejoras en lugares donde los recursos para los servicios públicos son limitados?**

### 2.1. Smart cities y Gestión de Residuos

Una ciudad inteligente es una ciudad innovadora que utiliza Tecnologías de la Información y Comunicación TIC's y otros medios para mejorar la toma de decisiones, la eficiencia de los procesos y servicios urbanos; además de su competitividad [6]. También involucra, entre sus objetivos, la adecuada gestión de los residuos. Es un tema de preocupación para los agentes públicos por los impactos negativos en ámbitos locales y globales, los primeros como afecciones en la salud, el medio ambiente y la calidad de vida de la población, lo segundo por el agotamiento de recursos, cambio climático y basura marina.

Según el nuevo informe del Banco Mundial del 2018 [7], si no se actúa de forma urgente, la generación de residuo aumentará un 70% para el año 2050, en el mundo se maneja alrededor de 1.300 millones de toneladas/año, y se prevé que en el 2025 llegue a 2.200 millones por el mismo periodo [8]. Los desafíos de países con ciudades inteligentes y sostenibles [9], en la actualidad, son los de obtener datos de la capacidad de contenedores. De ahí que se enfocan en usar sensores para obtener datos en tiempo real, abordar temas de *Open Data* para reutilizar la información existente, y realizar evaluaciones predictivas. También involucran técnicas de optimización, aprendizaje de máquina y análisis de datos para soluciones perdurables en el tiempo.

### 2.2. Logística y el Medio Ambiente

La logística ambiental también denominada logística verde o logística inversa se llama al conjunto de políticas sostenibles y medidas encaminadas a reducir el impacto medioambiental que causan las

empresas [10]. La competitividad de este tipo de logística no solamente se orienta a brindar un servicio donde se maneje un producto de forma eficiente y de interés económico; también se debe analizar el impacto del producto con el medio ambiente [11].

Para resolver este tipo de cuestiones en esta area de estudio hay herramientas informáticas como (Minizinc, Choco, GAMS), que ofrecen un esquema para modelar problemas reales y convertirlo en una solución competitiva, capaz de ser analizada en relación con el medio ambiente. (ver [Imagen 10](#)).



*Imagen 10 Objetivo de la Logística y servicios*

Esta estrategia ahora mismo se la trata sólo como un problema de gestión y optimización, donde se decide tomar la mejor alternativa para satisfacer, maximizar o minimizar los objetivos deseados. Su aplicación se encuentra en varios tipos:

- Cuando se tiene objetivos y consecuencias claras de que es un problema típico o clásico de optimización.
- Cuando existe incertidumbre en las consecuencias de las decisiones que están dentro de la teoría de la decisión.
- Cuando existe desconocimiento de las prioridades.
- Cuando tenemos múltiples decisiones como la teoría de juegos.

### **2.2.1. Logística Inversa**

La logística inversa tiene un papel importante dentro de rescate del medio ambiente. Según González (2013), la logística inversa es parte del proceso crítico para el desarrollo práctico de responsabilidad social en las empresas, tales como reprocesamiento, reutilización, también se encarga de la recuperación y reciclaje de envases, embalajes y residuos peligrosos; así como retorno de exceso de inventario, devoluciones de clientes, productos obsoletos e inventario de estacionales, etc. [12].

Alguna de las ventajas al aplicar esta metodología es:

- Reaprovechamiento de algunos materiales.
- Posibilidad de crear nuevos mercados.
- Mayor confianza en el cliente al tomar decisiones de la compra.
- Mejora la imagen de la empresa, frente a los consumidores.

- Retroalimentación acerca de los productos.

## 2.3. Problemas de Rutas de Vehículos

Para resolver la gestión de recolección de basura en estos sectores rurales se plantea los siguientes enfoques: el problema del agente viajero (TSP), que, aunque es uno de los casos más sencillo de plantear, no deja de ser complejo al darnos soluciones debido a su valor exponencial, el otro es el problema de rutas de vehículos (VRP) que tiene muchas variantes y se adapta a diferentes casuísticas. Estos 2 problemas son los más estudiados en la optimización combinatoria.

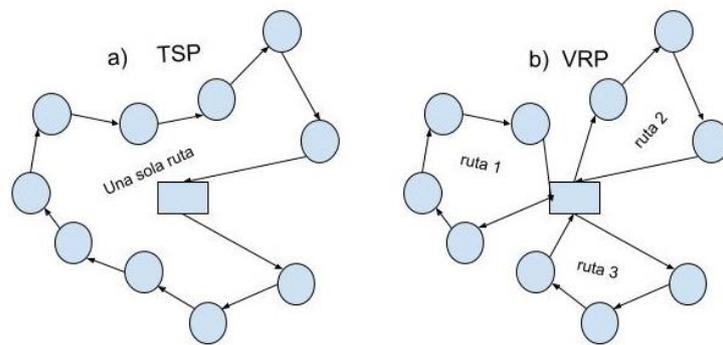


Imagen 11 Modelo TSP y VRP

### 2.3.1. El problema del agente viajero (TSP)

El TSP (Traveling Salesman Person) es la solución que dispone de un vehículo y una estación. En solo un viaje debe visitar todas las poblaciones y no requiere demanda. Una de sus restricciones es que tiene que regresar al mismo punto desde donde partió (ver [Imagen 11](#)) opción (a) [13].

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n C_{ij} \cdot X_{ij} \quad (1.1)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (1.2)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad \forall j \in \{1, \dots, n\} \quad (1.3)$$

$$y_i - y_j + nx_{ij} \leq n - 1; x_{ij}, y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E \quad (1.4)$$

La función objetivo 1.1 obtiene el coste total de la solución, donde realiza el sumatorio de los costes donde  $C_{ij}$  es la distancia de recorrer el camino de  $i$  a  $j$ .  $X_{ij}$  es una variable binaria que indica si se recorre o no dicho nodo y  $n$  el número de poblaciones. Las restricciones 1.2 y 1.3 indican que cada nodo debe llegar a único arco y partir otro. La restricción 1.4 evita la formación de subciclos.

### 2.3.2. El problema de rutas de vehículos (VRP)

Las primeras investigaciones de VRP (Vehicle Routing Problem) fueron realizadas por Dantszig y Ramser [14] en 1959, donde modelaron una situación real de distribución de gasolina para estaciones de carburante. Este tipo de modelo matemático dispone de varios vehículos que deben visitar a varias poblaciones y varias estaciones de dónde inician y terminan su recorrido (ver [Imagen 11](#)) opción b) [15].

El modelo VRP se encarga del diseño óptimo de rutas dirigida a una flota de vehículos con el fin de dar servicios a un conjunto de clientes, su importancia no solo radica en su gran dificultad de resolución, sino también en la cantidad de aplicaciones reales que existen hoy en día, su aplicabilidad asume ahorros en los costes ya sea un producto o un servicio [16].

El VRP se ha extendido a una multitud de variantes (ver [Imagen 12](#)), estas se han desarrollado a partir del modelo básico VRP. A continuación, se mencionará una breve descripción de cada una de ellas:

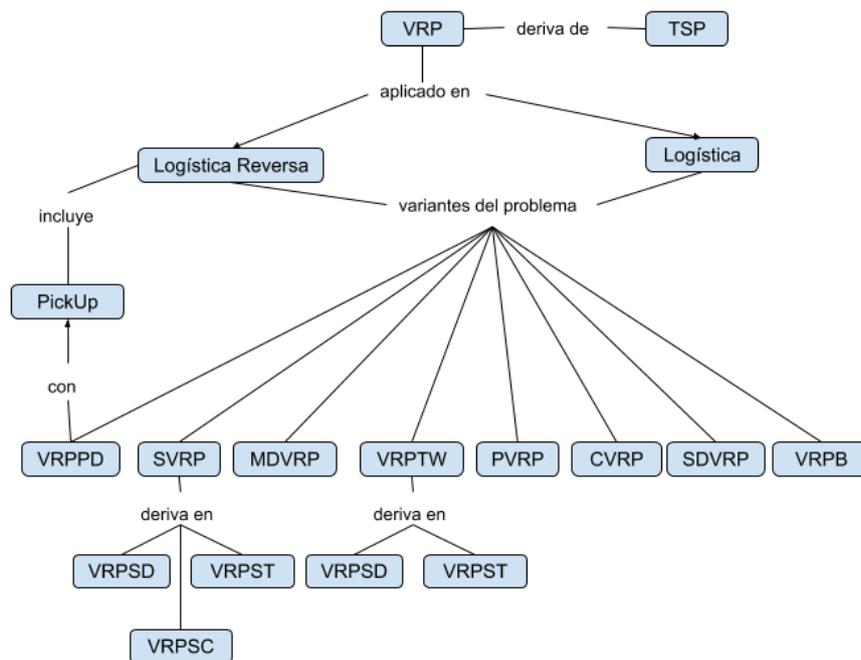


Imagen 12 Variantes de VRP

**VRP con recolección y entrega (VRPPD):** atiende casos donde una organización debe recolectar y entregar bienes en cantidades específicas para cada cliente registrado[17].

**Stochastic VRP (SVRP):** Esta variante propone que las variables involucradas sean desconocidas o aleatorias, y que pueda tener un rango de probabilidades. Ya sean número de clientes, sus demandas, tiempo de servicio, etc. [18].

**VRP con depósitos múltiples (MDVRP):** Implica que la organización tiene varios depósitos para abastecer a sus clientes [19].

**Periodic VRP (PVRP):** Analiza problemas donde el cliente recibe pedidos solo en ciertos días [20].

A las siguientes variantes, se les analizará su modelo matemático con el objetivo de hacer una comparación de sus características principales con el modelo que se ha planteado en este proyecto.

### 2.3.3. VRP con capacidad limitada (CVRP)

El CVRP (Capacited Vehicle Routing Problem) determina una capacidad limitada para la flota de vehículo y tiene un valor común para todos los vehículos, pero a la misma se le añaden restricciones de capacidad: Las demandas no deben acceder a la capacidad del vehículo y la función a minimizar es el coste de recorrido que también se la puede expresar como tiempo, distancia, coste económico, etc.

La formulación del problema, según Toth y Vigo [21] es la siguiente:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n C_{ij} \cdot \left( \sum_{k=1}^m X_{ij} \right) \quad (1.5)$$

$$\sum_{j=2}^n X_{1j} \leq m \quad (1.6)$$

$$\sum_{i=2}^n X_{i1} = \sum_{j=2}^n X_{1j} \quad (1.7)$$

$$u_i - u_j + Q \cdot X_{ij} \leq Q - D_i, \forall i \neq j, i, j \in \{2, \dots, n\}, X_{ij} \in \{0, 1\}, u \in R^+ \quad (1.8)$$

La función objetivo 1.5 es el coste total de la solución. Las restricciones 1.6 y 1.7 indica que  $m$  es la cantidad máxima de vehículos y obliga que todos los vehículos que parten del depósito deben regresar. La restricción 1.8 asegura que se respeten las capacidades máximas, y se evita que se formen subciclos.

### 2.3.4. VRP con Ventanas Temporales (VRPTW)

El VRPTW (VRP with Time Windows) se basa en el mismo modelo que el VRP, lo que se considera adicional en este modelo son las restricciones donde se obliga que los clientes sean atendidos en un espacio de tiempo ya sea para entregar o recoger mercancías. Su objetivo es minimizar la flota de vehículos y la suma de tiempos de viaje [22].

Características:

- El cliente debe ser atendido dentro su hora límite.

- Cada ruta debe empezar y terminar dentro de la ventana de tiempo que se asocia con el cliente.

## 2.4. Programación de Restricciones (PR)

La programación de restricciones es una metodología de software utilizada en la resolución efectiva de problemas con alta complejidad, ya sean combinatorios o de optimización, y son comunes en áreas como: inteligencia artificial, investigación operativa, base de datos y sistemas para recuperar información, también se aplica en temas de empaquetamiento, recubrimiento, rutas, horarios, planificación, etc.

Programar restricciones es resolver problemas mediante declaración de restricciones, la cual se aplica a un problema real, se logra satisfacer sus necesidades o lograr optimizar algunos criterios determinados. Estas técnicas pueden dividirse en dos ramas, la satisfacción de restricciones y la resolución de restricciones, comparten una misma terminología, pero sus orígenes y técnicas de resolución son diferentes [23].

Los problemas reales que forman parte del grupo NP-Completos y NP-Duros, son cuando presentan un problema de complejidad computacional superior para su resolución, por lo tanto, para la obtener una solución óptima se necesita métodos de relajación, y mejorados a su vez con aproximaciones heurísticas [24]. Para mejorar una solución óptima, es necesario usar restricciones para eliminar valores inviables de los dominios de las variables, podando espacios de búsqueda.

Existe un conjunto de técnicas para eliminar valores inviables como son: Las **técnicas de búsquedas**, que exploran el espacio de estado hasta encontrar una solución (backtracking cronológico, locales: taboo search, genetic algorithm). Las **técnicas de Inferencias** buscan deducir un CSPs equivalente que sea más fácil de resolver. Son completas si se logra extraer la solución del CSPs en forma **directa e incompletas** y si se complementa con un proceso de búsqueda posterior (por ejemplo, las técnicas de consistencias).

En la Tesis Doctoral de Arangú Lobig [25], clasifica las técnicas para la solución de un CSPs de la siguiente manera (ver [Imagen 13](#)).

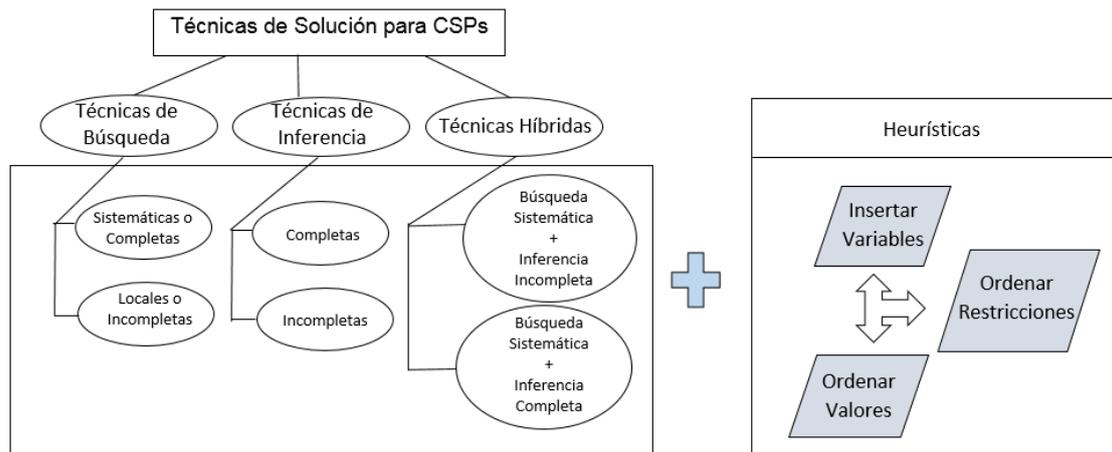


Imagen 13 Técnicas de Solución para CSPs

**Las técnicas híbridas** buscan combinar las dos técnicas anteriores. A esto se suman las heurísticas que ayudan a mejorar el desempeño de los algoritmos de una solución en los CSP, donde tenemos: las heurísticas de ordenación de variables, de ordenación de valores y de ordenación de restricciones.

Estos problemas son representados por variables ( $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ), dominios de interpretación ( $D = \langle D_1, \dots, D_n \rangle$ ) y un conjunto de restricciones entre sus variables  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ . Dado un CSP, la solución es una instanciación consistente de las variables, de forma que satisfacen las restricciones con diferentes tipologías existentes (ver [Tabla 1](#)).

Un estado está definido por una asignación de valores a algunas o todas las variables. Una asignación es cuando no se viola ninguna restricción la cual se le llama consistente o asignación válida.

Tabla 1 Tipología de restricciones de un CSP

TIPOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
Unaria	Participan una variable
Binarias	Participan dos variables
No-binario o n-ario	Que las restricciones tienen 2 o más variables.
Aridad	#de variables involucradas
Cualitativas/Métricas	Orden/Orden y distancia
Condicionales	¡Equivale a expresión lógica!
Fuertes(hard)	Son restricciones cuya satisfabilidad es imprescindible
Débiles(soft)	Son restricciones cuya satisfabilidad no es imprescindible
Difusas (fuzzy)	Son restricciones definidas sobre niveles de preferencia
Disyuntivas/ No-Disyuntivas	Son restricciones compuestas por un conjunto disjunto de restricciones.
Ponderadas	Las restricciones tienen asociado un peso o ponderación
Temporales	Están asociadas a puntos de tiempo, intervalos o duraciones.

## 2.5. Métodos de Optimización

Los métodos de Optimización usados frecuentemente para el estudio de técnicas de Optimización matemática, Teoría de Decisión, Métodos aproximados (Heurísticos y Metaheurísticos), etc.

### 2.5.1. Optimización Matemática

Un problema de optimización consiste en maximizar o minimizar una función real, encontrando el valor que deben tomar las variables, satisfaciendo una o varias restricciones para hacer óptima la función objetivo. Entre los métodos de optimización usados para resolver este tipo de problemáticas (ver [Tabla 2](#)), tenemos la programación lineal, programación entera-mixta (MIP), programación no-lineal (NLP), programación multiobjetivo que son métodos clásicos desde los inicios de este estudio [26].

Tabla 2 Métodos de Optimización Matemática

TIPOS DE MÉTODOS	EJEMPLO DE MODELOS
<b>Programación Lineal (PL)</b> Dedicado a maximizar o minimizar (optimizar) una función lineal.	$x_i \geq 0, x_i \in R \quad i = 1, 2, \dots, n$ $\sum a_{ij}x_i \leq   =   \geq b_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, m$ $f = \text{Max} \sum c_i x_i$
<b>Programación Entera-Mixta (MIP)</b> Algunas variables solo pueden tomar Valores enteros.	$x_i \geq 0, x_i \in Z \quad i = 1, 2, \dots, n$ $\sum a_{ij}x_i \leq   =   \geq b_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, m$ $f = \text{Max} \sum c_i x_i$
<b>Programación no-lineal (NLP)</b> Hay 2 tipos: con restricciones y sin restricciones. Alguna de las restricciones o la función objetivo no son lineales.	Variables: $x \geq X$ Función objetivo: $\text{Max } f(x)$
<b>Programación Multiobjetivo</b> Que tiene múltiples objetivos.	$f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)]$

### 2.5.2. Métodos Aproximados Heurísticos

Un método heurístico o aproximado nos proporciona una buena solución del problema, aunque no necesariamente tiene que ser la solución óptima, los algoritmos de búsquedas para la satisfacción de restricciones demandan un orden en el cual se estudian las variables, se debe estudiar el orden de los valores del dominio en cada una de las variables, también el orden que se aplican las restricciones [25].

### 2.5.3. Heurística de Ordenación de Variable

Es el orden en el cual son asignadas las variables durante la búsqueda puede tener un impacto significativo en el espacio de búsqueda explorado. Tenemos heurísticas de ordenación de variables estáticas y heurísticas de ordenación de variables dinámicas.

Las variables estáticas generan un valor fijo antes de iniciar la búsqueda y las dinámicas cambia el orden de las variables dinámicamente, basándose en la información local que se genera de la búsqueda. La función de las heurísticas de ordenación de variables es tratar de seleccionar primero las variables que más restringen a las demás, para así poder identificar situaciones sin salidas lo antes posible, reduciendo el número de Backtraking [25].

## 2.6. Minizinc

Minizinc es un lenguaje de modelado de restricciones, que permite resolver problemas de satisfacción de restricciones y optimización ya sea para maximizar o minimizar de una forma independiente, aprovechando una gran biblioteca de funciones predefinidas [27]. Fue desarrollado por un equipo de la Universidad de Monash<sup>1</sup> en colaboración con Data61 Sciences<sup>2</sup> y la Universidad Melbourne<sup>3</sup>.

Minizinc tiene un IDE fácil, sencillo y bastante intuitivo (ver [Imagen 14](#)), su area de trabajo está dividida en el: editor de modelado, las herramientas de configuración y la ventana de salida de resultados. Este software admite dos tipos de archivos, con extensión .mzn para el modelado de las restricciones y .dzn para almacenar datos.

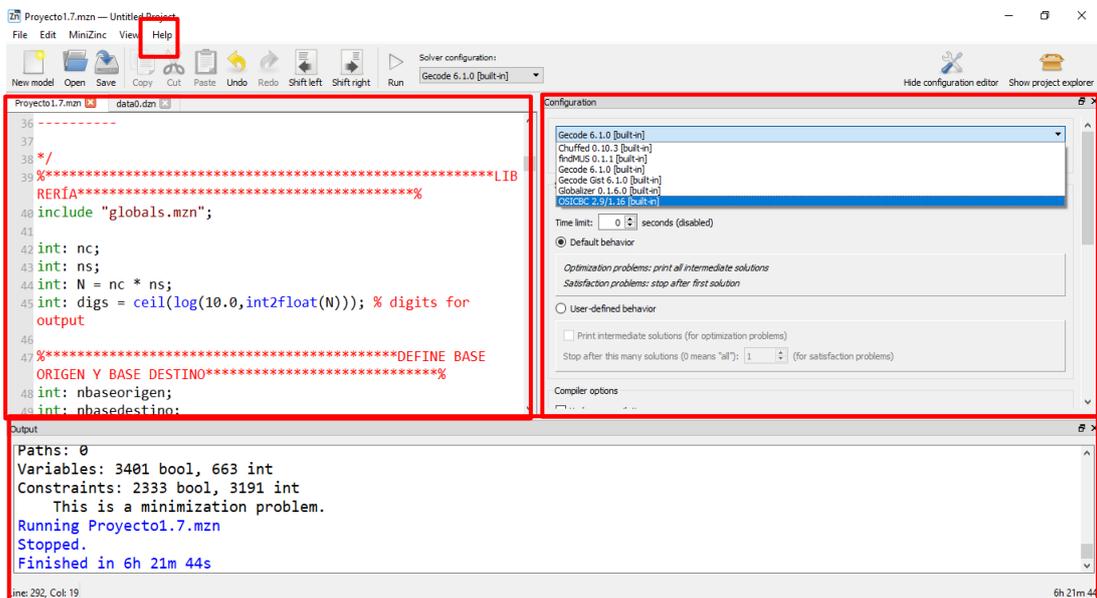


Imagen 14 Área de trabajo de Minizinc

1 <https://www.monash.edu/>  
 2 <https://research.csiro.au/data61/tag/decision-sciences/>  
 3 <https://unimelb.edu.au/>

Esta es una estructura de un modelado en Minizinc (ver [Imagen 15](#)), contiene librerías globales, declaración de parámetros, declaración de variables, restricciones, tipo de solución que usa este modelo y salida de resultado:

```
include "globals.mzn";           % libreria global

int: n;                          % declarar parametro
var 1..n: x;                      % declarar variable
array[1..n] of var 1..n: y;      % declarar variable array
constraint sum(y) <= x;          % restricción

solve satisfy;                   % encontrar una solución satisfactoria

output ["Solution:\n", "x = ", show(x), % salida de resultados
        "y = \ \(y)"];          % salida de resultados
```

Imagen 15 Estructura de modelo de Minizinc

Una de las sintaxis que es diferente a las que normalmente conocemos (ver [Imagen 16](#)), son los operadores lógicos un AND se escribe de la siguiente manera en minizinc ( $\wedge$ ) y el OR de la siguiente manera en minizinc ( $\vee$ ) (ver [Imagen 17](#)).

$$\begin{aligned} \text{suma sector columna}_s &= \sum_{c,s} \text{visita}_{c,s} \quad \forall c \in \text{camión}, s \in (2..sector - 2) \\ \text{suma sector columna}_s &= 1 \text{ OR } \text{suma sector columna}_s = 0 \quad (1.1) \end{aligned}$$

Imagen 16 Ejemplo de operadores lógicos en pseudocódigo

La [Imagen 16](#) es un ejemplo de pseudocódigo que se tiene en el problema real presentado. Y la [Imagen 17](#) es un ejemplo del código que se tiene realizado en Minizinc.

```
*****Obliga que un sector sea visitado solo por un camión*****
constraint forall (s in sect_2) (
    suma_sector_columna[s] = sum(c in camion)(visita[c,s])
    /\ (suma_sector_columna[s] = 1 \vee suma_sector_columna[s] = 0)
);
```

Imagen 17 Ejemplo de operadores lógicos en Minizinc

La opción de configuración tiene varios tipos de compilación, de los cuales se va a presentar algunos que llamaron la atención en el desarrollo del modelo:

Output									
0	8	7	8	8	2	5	8	0	2
0	8	8	6	7	8	1	8	0	0
0	8	8	7	5	8	0	7	0	3
0	1	8	8	8	8	3	6	0	3
Horarios al entrar a cada sector:									
479	147	231	150	810	181	416	810	472	182
388	734	810	319	600	792	736	11	117	410
338	493	158	805	182	437	810	703	684	257
520	51	777	697	649	451	696	104	799	469
393	810	16	201	708	549	398	530	20	713

Imagen 18 Compilación de Chuffed 0.10.3

**Chuffed 0.10.3 [built-in]**, ejecutar en este tipo de compilación ayudó a verificar que todas las variables tengan un valor asignado (ver [Imagen 18](#)). Esta prueba sirvió para disminuir el tiempo de respuesta de cada solución.

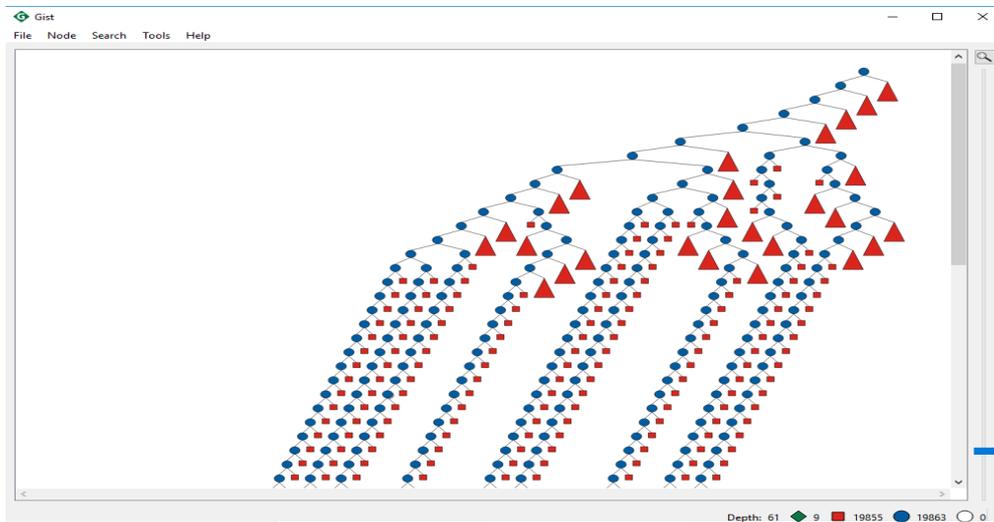


Imagen 19 Compilación Gecode Gist 6.1.0

**Gecode Gist 6.1.0 [built-in]**, muestra un diagrama de los nodos que se forman dependiendo del modelo planteado (ver [Imagen 19](#)). En este caso no sirve de mucho presentarles el diagrama de nodos en las pruebas de este problema ya que es bastante extenso, y no se entiende entender a primera vista. Pero al ser ejemplos pequeños sirve bastante para entender la creación de nodos de búsquedas.

### 2.6.1. ¿Por qué se usó Minizinc?

Este lenguaje yo no lo conocía, en el Máster se realizaron ejemplos con lenguajes de modelado como es Choco y GAMS. En la Fase 4 del desarrollo de este problema me lo recomendó mi Tutor, ya analizamos temas de tiempo y vimos que era viable, había bastante información de apoyo y sobre todo lo están usando bastante actualmente.

Otro de los motivos por el cual me interesó mucho Minizinc, es que se puede ejecutar desde interfaces como Python<sup>4</sup> y Visual Studio<sup>5</sup>, ya que de esta manera sería fácil integrarlo con aplicaciones web para visualizar los resultados.

<sup>4</sup> <https://www.minizinc.org/doc-2.3.0/en/python.html>

<sup>5</sup> <https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=DekkerOne.minizinc>

## 2.7. Criterios del estudio

El Máster de Ingeniería Informática (Muiinf), abordó temáticas que me generaron mucho interés al ser problemas reales tales como: NLP, VRP, etc.

En el experimento de NLP se trató sobre las “Elecciones catalanas 2015”, donde se intentaba predecir los resultados de las elecciones analizando los mensajes de Twitter por medio de características de sentimientos como odio, felicidad, etc., los resultados eran porcentajes de niveles a favor, en contra o neutral. NLP es bastante complejo al entender cómo funciona, al menos se debe tener conocimientos generales de algoritmos matemáticos, heurísticas, y algoritmos genéticos [28], ya que es una rama de la inteligencia artificial.

El VRP, como ya se ha visto en la sección (2.3) de esta unidad. Como trabajo final del crédito se propuso realizar un modelado para camiones recolectores de desechos, ya que el tema era libre y aprovechaba para involucrarme en este estudio del TFM. Al realizar este trabajo pude darme cuenta de que, para plantear el problema real, me es muy fácil plantear ideas, pero para resolverlo me hacían falta conocimientos básicos que todo informático debe conocer si quiere dedicarse a tecnologías futuras.

Pienso que para resolver problemas reales en esta área de estudio no es necesario ser un matemático o una matemática, ya que es normal en una gestión de proyectos armar equipos de múltiples disciplinas. Pero es necesario tener conocimientos generales para poder entender soluciones más complejas, y convertirlas en soluciones informáticas funcionales. Esto aplica no solamente para problemas de logística o análisis de sentimiento como se ha revisado en los ejemplos anteriores. Aplica en muchas competencias como son la medicina, la ciencia de los datos y competencias totalmente diferente a lo que se acostumbra a resolver.

La realización del proyecto me ha servido para madurar falencias de conocimientos básicos en esta área de logística donde se maneja una variedad de modelos matemáticos. Muchos informáticos nos asustamos cuando aparecen problemas de los cuales nunca hemos tratado, y debemos ser conscientes que pertenecemos a un área de estudio, que está constantemente en evolución y que en vez de tratar este tipo de problema como un inconveniente se debe aprovechar para actualizar conocimientos y ser profesionales en tecnología, flexibles al mundo real y a los problemas que vayan surgiendo con el paso del tiempo.

## 2.8. Propuesta

En esta sección se va a resumir, aclarar y justificar las diferencias de mejoras y lo que aporta esta solución. Puesto que este Trabajo Final de Máster reúne los conceptos de *Smart cities*, Logística, Problema de Optimización y sobre la herramienta de lenguaje de modelado de restricciones Minizinc.

### 2.8.1. Resumen del contexto tecnológico

Para aclarar la relación del contexto tecnológico con el objetivo de este estudio, como es la distribución de rutas de camiones recolectores de desechos en las zonas rurales del Cantón Daule se ha realizado un resumen donde se puede identificar el objetivo de cada tecnología investigadas (ver [Tabla 3](#)).

Tabla 3 Resumen del espacio de conocimiento de la propuesta

Distribución de Rutas de Camiones recolectores	Smart cities	Logísticas	Problema de Optimización	Minizinc
¿Qué aporta?	<b>Innovación.</b>	Competitividad.	Las mejores soluciones o las óptimas soluciones.	Análisis de resultados, mediante los diferentes niveles de optimización.
¿Quién está involucrado?	Localidades rurales.	<b>Las localidades rurales, la población y los agentes públicos.</b>	Camiones, sectores, demanda, tiempo de servicio, capacidad, distancia, prioridad y hora	Las variables, los dominios y las restricciones.
¿Cómo ayuda?	Tecnología de información y comunicación.	<b>En el rescate del medio ambiente.</b>	Maximizando las visitas en el día de trabajo.	Biblioteca de funciones predefinidas.
¿Cuándo es útil?	La tecnología ayuda a mejorar procesos.	Se brinda un mayor nivel de servicio en 1 día.	<b>Cuando se tiene objetivos y consecuencias claras.</b>	Modelar matemáticamente problemas reales.
¿Dónde se lo aplica?	Cantón Daule	Cantón Daule	Cantón Daule	Cantón Daule
¿Porqué?	Coloca a las personas en el centro del desarrollo y la planificación.	Es un problema de gestión y optimización.	Brinda siempre una solución.	<b>Se puede modelar soluciones de forma sencilla.</b>

Los siguientes conceptos están realizados con los conceptos a destacar de la [Tabla 3](#)

La distribución de rutas de los camiones recolectores de desechos del cantón Daule, es un prototipo de impacto social, donde las *Smart cities* tienen cierto protagonismo ya que este concepto busca establecer en el ámbito urbano a las personas como centro del desarrollo y la planificación. La

logística es muy útil en este problema cuando se brinda un mayor número de servicio en las visitas a los sectores, aportando competitividad en el rescate del medio ambiente, donde se involucra las localidades rurales, la población y los agentes públicos.

Este es un problema de optimización, ya que debe brindar una solución, maximizando las visitas de cada camión. Realiza programación de restricciones ya que se tiene objetivos y consecuencias claras que aporta a tener una solución. Se usa minizinc porque es un programa sencillo de usar, es útil para modelar de forma matemática una solución a problemas reales, mediante variables, dominios y restricciones, usando bibliotecas y funciones predefinidas.

Y es así como se quiere lograr por medio de la innovación el rescate del medio ambiente a zonas rurales, donde intervienen los agentes públicos y los ciudadanos, teniendo objetivos y consecuencias claras por medio de herramientas de planificación inteligente que modela soluciones de forma sencilla, ayudando así a una sociedad con pocos recursos a enfrentarse a los retos de la sostenibilidad.

## 2.8.2. Comparación de modelos (TSP, VRP, CVRP, VRPTW y MODEL-TFM)

El problema de rutas de vehículos no es un problema que se vaya a inventar, hoy en día las ciudades de países desarrollados tienen su planificación inteligente para manejar la distribución de los vehículos de recolección de desechos tanto urbanos como rurales.

Es el caso por el cual se ha realizado una comparación de las características de modelos ya existentes en relación con el modelo planteado (ver [Tabla 4](#)).

*Tabla 4 Características de los Modelos TSP, VRP, CVRP, VRPTW y MODEL-TFM*

RESTRICCIONES	TSP	VRP	CVRP	VRPTW	MODEL-TFM
Usa un solo Vehículo.	X				
Usa una flota de Vehículos.		X	X	X	X
Usa un depósito.	X		X		X
Usa varios depósitos.		X		X	
Realiza distribución o recolección.	X	X	X	X	X
Evita formación de subciclos.	X	X	X	X	X
Tiene asociada capacidad limitada.			X		X
Maneja distancia desde una ubicación origen y una Destino.	X	X	X	X	X
Obliga que no se visiten demandas sin prioridad.					X
Maneja espacios de tiempo en el que se debe brindar servicios.				X	X
Maneja un control del tiempo de uso del vehículo.					X

Como podemos observar en la [Tabla 4](#), el modelo TSP y VRP son los problemas de optimización combinatoria más importantes y estudiados con respecto a los problemas de rutas de vehículos. El TSP es uno de los más básicos, el cual solo se aplica a un solo vehículo que debe visitar todas las poblaciones en un solo viaje. El VRP aplica a una flota de vehículo que deben visitar varias rutas. A través del tiempo se ha dividido en muchas variantes, ya que su modelo sirve de base para muchos problemas reales más complejos. En el modelo planteado se ha verificado que tiene características de las variantes CVRP ya que se maneja la capacidad límite de camión, y VRPTW porque controla los espacios de tiempo que brinda el servicio. El modelo planteado obliga que no se visiten demandas sin prioridad.

### **2.8.3. Mejoras con respecto a lo que hay**

Si nos situamos en los antecedentes mencionados de esta problemática, a nivel de tecnología no nos enfrentamos a ninguna solución existente, y más que aplicar mejoras lo que si se ha hecho es un estudio de lo que ocurre en estas zonas rurales. Enfrentando nuevos retos de conocimientos para hacer una propuesta viable en base a los Objetivos de Desarrollo Sostenible que tenemos actualmente a nivel mundial.

### 3. Desarrollo de la Propuesta

---

En el análisis de este Problema se va a detallar el desarrollo de la solución propuesta, el cual forma parte de los objetivos específico del prototipo, sección (1.2)

#### 3.1. Descripción general de problema

En esta sección se muestra un grafo descriptivo, de la situación actual de este problema, en la cual se indican los parámetros principales que se debe conocer al implementar el modelo matemático (ver [Imagen 20](#)).

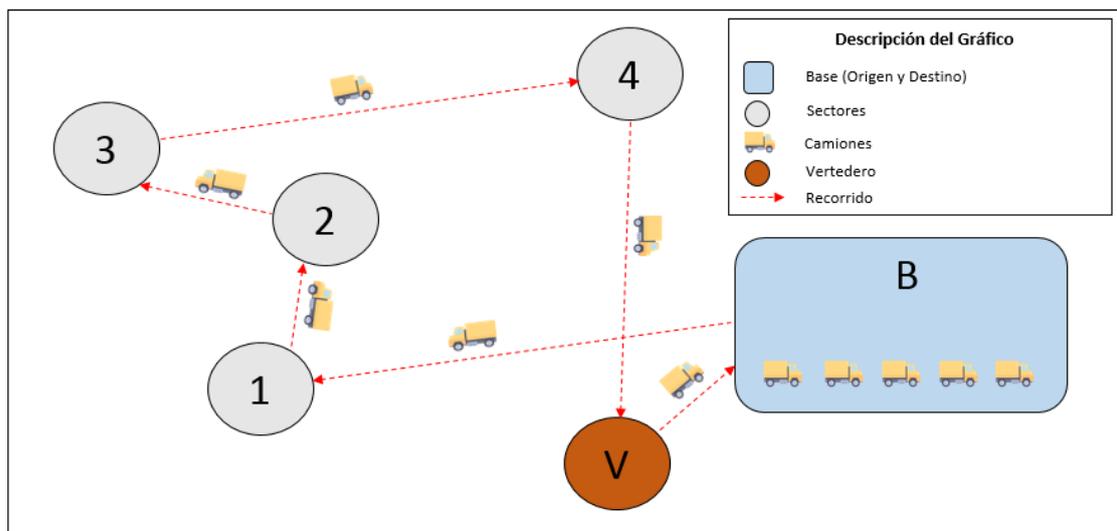


Imagen 20 Grafo de recolección de basura

Hay otros parámetros de entrada, que no están en la imagen y son los siguientes: la demanda de basura de cada sector, tiempo de servicio, prioridad de cada sector, capacidad máxima por camión y tiempo de jornada por camión. Es importante destacar que solo se tendrá una base origen, una base destino y el vertedero. Se puede incrementar y decrementar el número de camiones y el número de sectores.

Se han definido las siguientes categorías que son las principales restricciones para modelar en base a las sus variables:

- Visitas

- Orden de visita
- Carga actual del camión
- Horarios

### 3.2. Estructura de datos de ingreso

Los datos que se encuentran en cada una de las tablas no es información real. El objetivo es mostrar un ejemplo de la estructura de los datos de ingreso de cada uno de los parámetros.

Se tendrá el identificador de cada sector ( $SECTOR_i$ ). El ingreso de las demandas a recoger ( $DEMANDARECOGER_s$ ). El tiempo de servicio ( $TSERVICIO_i$ ) que será estimado por el usuario dependiendo del tiempo que tarda en recoger una demanda por sector. La prioridad también es otro dato de ingreso por el usuario ( $PRIORIDAD_i$ ) (ver [Tabla 5](#)).

Tabla 5 Ingreso de Datos a sectores

$SECTOR_i$	$DEMANDARECOGER_s$	$TSERVICIO_i$	$PRIORIDAD_i$
1	0	0	0
2	10	120	4
3	5	60	1
4	3	30	1
5	2	30	0
6	6	80	1
7	5	60	1
8	5	60	1

En el parámetro  $PRIORIDAD_s$  se ha realizado un criterio de ingreso (ver [Tabla 6](#)). El objetivo es que se mantenga un estándar al momento de ingresar esta información, pues, muchas veces depende de la demanda de cada sector. Más adelante se debe tener la opción de calcular la prioridad de forma automática teniendo en consideración estas condiciones:

Tabla 6 Pesos de las prioridades de los sectores

$DEMANDA_s \geq 10 \text{ AND } DEMANDA_s \leq 13$	4
$DEMANDA_s \geq 9 \text{ AND } DEMANDA_s \leq 10$	3
$DEMANDA_s \geq 7 \text{ AND } DEMANDA_s \leq 9$	1
$DEMANDA_s \leq 2 = 0$	0

Los camiones tienen capacidad de 8 ton / 21 yd<sup>3</sup> y 13 ton / 25 yd<sup>3</sup>. Y se han creado los parámetros ( $IDC_c$ ,  $CAPACIDADMAX_c$ ,  $TJORNADA_c$ ) para los camiones (ver [Tabla 7](#)). El parámetro tiempo de jornada se lo ha creado para brindar una solución a los camiones que por motivo de su deterioro se le asignan pocas horas de trabajo.

Tabla 7 Ingreso de Datos a Camiones

$IDC_j$	$CAPACIDADMAX_c$	$TJORNADA_c$
1	8	4
2	8	6
3	13	8

El horario de entrada de la flota de camiones ha sido considerado como parámetro de entrada *HINICIO*, la hora fin se la obtiene del tiempo de jornada de cada camión más un tiempo extra, ya que el camión puede tener algún tipo de retraso.

Esta es una estructura de ingreso donde el parámetro de entrada  $TIEMPO\_RECORRIDO_{sect\_origen,sect\_destino}$ , es una matriz de distancia entre un sector origen(s1) y un sector destino(s2) (ver [Tabla 8](#)).

Tabla 8 Matriz de Distancia(costo) entre un origen y un destino

$TR_{s1,s2}$	<b>BO</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>V</b>	<b>BD</b>
<b>BO</b>	0	15	40	30	40	10	15	30	30	35
<b>2</b>	10	0	30	32	34	36	40	50	40	10
<b>3</b>	40	30	0	20	30	15	35	30	45	47
<b>4</b>	30	40	20	0	20	30	20	20	30	30
<b>5</b>	40	50	30	30	0	20	10	20	28	20
<b>6</b>	50	60	40	30	10	0	15	30	30	50
<b>7</b>	45	20	35	40	50	30	0	60	40	30
<b>8</b>	30	10	20	30	60	40	60	0	20	20
<b>V</b>	20	20	10	20	30	60	10	40	0	45
<b>BD</b>	10	30	15	10	40	50	50	20	45	0

A continuación, se describirá de manera formal los parámetros, las variables, dominios y restricciones del modelo matemático de este problema:

### 3.3. Parámetros

En este apartado se definen los parámetros que han sido analizados y evaluados en los antecedentes del problema (ver [Tabla 9](#)). Permitiendo identificar la entrada de los datos en el modelo, donde CAMION y SECTOR son entradas que puede disminuir he incrementar su valor.

Tabla 9 Parámetros de Entrada al Modelo Matemático

<b>PARÁMETRO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<i>CAMION</i>	Define el número de camiones, $nc=12$ .
<i>SECTOR</i>	Define el número de sectores, $ns=25$ .
<i>BASE ORIGEN</i>	Define el identificador Base Origen, $nbaseorigen=1$
<i>BASE DESTINO</i>	Define el identificador de Base Destino, $nbasedestino=25$
<i>VERTEDERO</i>	Define el identificador del Vertedero, $nvertedero=24$
<i>DEMANDA RECOGER<sub>s</sub></i>	Define la demanda de basura generada en cada sector (1..ns), esto está dado en toneladas.
<i>TIEMPO SERVICIO<sub>s</sub></i>	Define el tiempo de servicio en cada sector (1..ns), dado en minutos, dato de entrada por el usuario.
<i>TIEMPO RECORRIDO<sub>s,s+1</sub></i>	Define la matriz de distancia, que es el tiempo desde el sector donde se encuentra el camión (s) al sector donde se dirige (s+1).
<i>CAPACIDADMAX<sub>c</sub></i>	Define la capacidad de cada camión (1..nc), dato que se ingresa por cada camión, la medida está dada en kilogramos.
<i>TJORNADA<sub>c</sub></i>	Define la disponibilidad de cada camión, que es el tiempo de jornada de cada uno de estos (1..nc).
<i>PRIORIDAD<sub>s</sub></i>	Define la Prioridad de cada sector (1..ns), esta depende de la demanda del sector y del usuario.
<i>HINICIO</i>	Define la hora que inicia la jornada laboral.
<i>TIEMPO</i>	Define un tiempo en el que un camión podría retrasarse al brindar los servicios a un sector.

Para identificar de forma rápida con qué tipo de entrada se está trabajando se han definido los parámetros en mayúsculas y las variables en minúsculas.

### 3.4. Variables

En este apartado se definen las variables (ver [Tabla 10](#)) que son aquellas instancias que van a tomar valor en la ejecución del modelo. También se tiene una variable de decisión (ver [Tabla 11](#)).

Tabla 10 Variables

<b>VARIABLES</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<i>orden_visita<sub>camion,sect</sub></i>	Define el orden que va a visitar el camión a cada sector.
<i>carga_actual_entrar<sub>camion,sect</sub></i>	Define la capacidad actual de cada camión al entrar a un sector.

$carga\_actual\_salir_{camion,sect}$	Define la capacidad actual de cada camión al terminar el servicio de un sector.
$horario\_entrar_{camion,sect}$	Define la hora en la que un camión entra a un sector.
$horario\_salir_{camion,sect}$	Define la hora en la que un camión deja de servir a un sector.
$suma\_sector\_columna_{sect}$	Define el número de camiones que han visitado a un sector.
$suma\_sector\_fila_{camion}$	Define el número de sectores visitados por un camión.

Tabla 11 Variable de decisión

VARIABLE BINARIA	DESCRIPCIÓN
$visita_{camion,sect}$	Es un número binario que indica 1 si el sector es visitado por algún camión y 0 si el sector no ha sido visitado por un camión.

## 3.5. Restricciones

A continuación, se describen las restricciones fuertes del modelo matemático en pseudocódigo.

### 3.5.1. Visitas

La restricción (1.1), obliga que un sector puede ser visitado sólo por un camión o por ninguno.

$$\begin{aligned} suma\_sector\_columna_s &= \sum_{c,s} visita_{c,s} \quad \forall c \in camión, s \in (2..sector - 2) \\ suma\_sector\_columna_s &= 1 \text{ OR } suma\_sector\_columna_s = 0 \end{aligned} \quad (1.1)$$

La restricción (1.2), obliga que los camiones se encuentren en una base origen, regresen a una base destino y tengan que ir a un vertedero.

$$\begin{aligned} visita_{c,baseorigen} = 1 \text{ AND } visita_{c,basedestino} = 1 \text{ AND } visita_{c,vertedero} = 1 \\ \forall c \in camion \end{aligned} \quad (1.2)$$

### 3.5.2. Orden visita

La restricción (1.3), obliga que el orden visita en la base origen sea igual 1 y que el orden visita del vertedero sea igual al orden visita de base destino menos 1 en todos los camiones.

$$\begin{aligned} \text{orden visita}_{c,baseorigen} = 1 \text{ AND } \text{orden visita}_{c,vertedero} = \text{orden visita}_{c,basedestino} - 1 \\ \forall c \in \text{camion} \end{aligned} \quad (1.3)$$

La restricción (1.4), obliga que el orden visita en todos los sectores sean números diferentes excepto el 0.

$$\text{orden visita}_{c,s} \neq, \text{ except when } \text{orden visita}_{c,s} = 0 \forall (c \in \text{camión}, s \in (2..sector - 2)) \quad (1.4)$$

La restricción (1.5), obliga a dar valor a la variable de orden visita de la base destino, mediante la suma de todos los sectores visitados y obliga que el orden visita de los sectores sea mayor a 2.

$$\begin{aligned} \sum_{c,s} \text{visita}_{c,s} + 3 = \text{orden visita}_{c,basedestino} \text{ AND } \text{orden visita}_{c,basedestino} \geq 2 \\ \forall c \in \text{camión}, s \in (2..sector - 2) \end{aligned} \quad (1.5)$$

La restricción (1.6), obliga que se mantenga un orden sucesivo en los números del orden visita.

$$\text{orden\_visita}_{c,s} + 1 \leq \text{orden\_visita}_{c,basedestino} \quad \forall c \in \text{camión} \quad (1.6)$$

### 3.5.3. Carga actual del camión

La restricción (1.7), obliga a la carga actual a salir en base origen y que al entrar en base destino los valores sean igual a cero y que su carga no sobrepase a la capacidad máxima del camión.

$$\begin{aligned} \text{carga actual entrar}_{c,s} \leq \text{CAPACIDADMAX}_c \\ \text{AND } \text{carga actual salir}_{c,s} \leq \text{CAPACIDADMAX}_c \end{aligned} \quad (1.7)$$

La restricción (1.8), obliga que la carga actual al salir de un sector del orden visita x es igual a la carga actual al entrar a un sector del orden de visita x+1, y la carga actual al entrar de un camión más la demanda a recoger es igual a la carga actual al salir de un sector.

$$\begin{aligned} \text{IF } \text{orden visita}_{c,s} + 1 = \text{orden visita}_{c,s2} \text{ THEN} \\ \text{carga actual salir}_{c,s} = \text{carga actual entrar}_{c,s2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{AND carga actual entrar}_{c,s} + \text{DEMANDARECOGER}_s = \text{carga actual salir}_{c,s} \\
& \forall c \in \text{camión}, s \in (2..sector - 2), s2 \in (2..sector) \quad (1.8)
\end{aligned}$$

### 3.5.4. Horarios

**La restricción (1.9)**, obliga que los horarios de los camiones pueden ser menor o igual a la hora fin. Los horarios están dados en minutos. Y hora disponible debe ser mayor o igual a la hora de inicio.

$$\begin{aligned}
& \text{horario\_entrar}_{c,s} \leq (\text{TJORNADA}_c * 60) + \text{HINICIO} \\
& \text{AND horario\_salir}_{c,s} \leq (\text{TJORNADA}_c * 60) + \text{HINICIO} \\
& \forall c \in \text{camión}, s \in (2..sector - 2) \quad (1.9)
\end{aligned}$$

**La restricción (2)**, obliga que el horario de entrada de todos los camiones debe ser mayor o igual a la *HINICIO*

$$\text{horario\_entrar}_{c,baseorigen} \geq \text{HINICIO} \quad \forall c \in \text{camion} \quad (2)$$

**La restricción (2.1)**, obliga que el horario al entrar a un sector más el tiempo de servicio, es igual al horario de salida de un sector. Y el horario de salir, más el tiempo de recorrido desde el sector origen al sector destino, más un tiempo de provisión en caso de que ocurra un inconveniente en el camino de un orden de visita de un sector origen, es igual horario de entrar del orden de visita de un sector destino.

$$\begin{aligned}
& \text{IF orden\_visita}_{c,s} + 1 = \text{orden\_visita}_{c,s2} \text{ THEN} \\
& \text{horario\_entrar}_{c,s} + \text{TIEMPOSERVICIO}_s = \text{horario\_salir}_{c,s} \\
& \text{AND horario\_salir}_{c,s} + \text{TIEMPO RECORRIDO}_{s,s2} + \text{NTIEMPO} = \text{horario\_entrar}_{c,s2} \\
& \forall c \in \text{camión}, s \in \text{sect1}, s2 \in \text{sect} \quad (2.1)
\end{aligned}$$

### 3.5.5. Función Objetivo

Maximizar el número de visitas por medio de las prioridades que tiene cada sector.

$$\max \sum_{c,s} \text{PRIORIDAD}_s * \text{visita}_{c,s} \quad \forall c \in \text{camión}, s \in (2..sector - 2)$$

## 3.6. Desarrollo del modelo de restricciones en Minizinc

Se brinda 2 soluciones del Modelo en Minizinc, para que sea un punto de partida, a otros investigadores que sé quieran unir al mundo de la logística. La diferencia entre los dos modelos está, en el tiempo de respuesta, uno de ellos acota las búsquedas por medio de condiciones lógicas (heurísticas).

### 3.6.1. Parámetros y variables

En esta primera sección de código se tiene parámetros de ingreso y variables que tomaran valor en la ejecución desde la línea 3-31 y las variables desde la línea 33- 40 estas están declaradas como una matriz y cada una tiene su dominio (ver [Imagen 21](#)). El dominio de visita es de [0..1] ya que es una variable de decisión y sólo tiene 0 y 1, y lo mismo con la otras variables dependiendo del rango de valores que maneje cada una.

```

1 %*****LIBRERÍA*****
2 include "globals.mzn";
3 int: NC;
4 int: NS;
5 int: N = NC * NS;
6 int: digs = ceil(log(10.0,int2float(N))); % digits for output
7 %*****DEFINE BASE ORIGEN Y BASE DESTINO*****
8 int: nbaseorigen;
9 int: nbasedestino;
10 int: nvertedero=nbasedestino-1;
11 %*****DEFINE RANGOS DE SECTORES*****
12 set of int: sect = 1..NS;
13 set of int: sect_2_1 = 2..NS;
14 set of int: sect_1 = 1..NS-1;
15 set of int: sect_2 = 2..NS-2;
16 set of int: sect_2_21 = 2..NS-1;
17 set of int: sect_1_2 = 1..NS-2;
18 %*****CAMIONES*****
19 set of int: camion=1..NC;
20 %*****HORA DE INICIO*****
21 int: HINICIO;
22 int: NTIEMPO;
23 %*****CAPACIDAD MÁXIMA DE CADA CAMIÓN*****
24 array[camion] of int: CAPACIDADMAX;
25 array[camion] of int: TJORNADA;
26 %*****DEMANDA MÁXIMA*****
27 array[sect] of int: DEMANDARECOGER;
28 array[1..NS] of int: PRIORIDAD;
29 array[sect] of int: TIEMPOSERVICIO;
30 %*****MATRIZ DE TIEMPO DE RECORRIDO*****
31 array[sect,sect] of int: TIEMPO_RECORRIDO;
32 %*****Matriz de visitas*****
33 array[camion,sect] of var 0..1: visita;
34 array[camion,sect] of var 0..15: orden_visita;
35 %*****variables*****
36 array[camion,sect] of var 0..10: carga_actual_salir; %Carga actual al salir
37 array[camion,sect] of var 0..10: carga_actual_entrar; %Carga actual al entrar
38 array[camion,sect] of var 0..850: horario_entrar; %Horario a entrar
39 array[camion,sect] of var 0..850: horario_salir; %Horario a salir
40 array[sect] of var 0..NC: suma_sector_columna; %Numero de camiones que visita un sector

```

Imagen 21 Código Minizinc - Parámetro y variables

## 3.6.2. Restricciones

En esta sección se modelan las restricciones, y es aquí donde se puede diferenciar entre el código del modelo uno y modelo dos realizado en Minizinc, se explicará algunas de las restricciones más importantes.

### 3.6.2.1. Modelo uno

En esta sección (ver [Imagen 22](#)), se tiene la función objetivo en línea 44, donde se maximiza las visitas que realiza un camión dependiendo de los pesos que tiene la prioridad. Otras de las restricciones duras como la que se puede observar línea 46-50 donde se obliga que un sector sea visitado solo por un camión o por ninguno.

```
44 %Función objetivo
45 solve maximize sum (c in camion, s in sect_2) (PRIORIDAD[s]*visita[c,s]);
46 %*****Obliga que un sector sea visitado solo por un camión o por ninguno*****
47 constraint forall (s in sect_2) (
48     suma_sector_columna[s] = sum(c in camion)(visita[c,s])
49     /\ (suma_sector_columna[s] = 1
50     \/ suma_sector_columna[s] = 0)
51 );
52 %*****Obliga que la base origen sea mayor a 1 y base destino mayor o igual a 2*****
53 constraint forall(c in camion)(
54     visita[c,nbaseorigen]-1 %Obliga que en la visita la base origen sea igual a 1
55     /\ visita[c,nvertedero]-1 %Obliga que en la visita al vertedero sea igual a 1
56     /\ visita[c,nbasedestino]-1 %Obliga que en la visita, base destino sea igual a 1
57     /\ orden_visita[c,nbaseorigen] = 1 %Obliga que en la orden visita, base origen sea igual a 1
58     /\ orden_visita[c,nvertedero] = orden_visita[c,nbasedestino]-1
59     %Obliga que en la orden visita de todos los camiones en el vertedero sea menor al orden visita de la base destino
60     /\ carga_actual_salir[c,nbaseorigen] = 0 %Obliga a todos los camiones que la carga actual al salir de la base origen sea igual a 0
61     /\ carga_actual_entrar[c,nbasedestino] = 0 %Obliga a todos los camiones que la carga actual al entrar de la base origen sea igual a 0
62     /\ carga_actual_entrar[c,nbaseorigen] = 0 %Obliga a todos los camiones que la carga actual al entrar de la base destino sea igual a 0
63     /\ carga_actual_salir[c,nvertedero]=0 %Obliga a todos los camiones que la carga actual al salir del vertedero sea igual a 0
64     /\ horario_entrar[c,nbaseorigen] >= HINICIO %Obliga que todos los camiones el horario a entrar
65 );
66
67 %**La suma de la visita de un camión a todos los sectores es igual a la orden de visita a la base destino *****
68 constraint forall (c in camion) (
69     sum(s in sect_2)(visita[c,s]) +3 = orden_visita[c,nbasedestino]
70 );
```

Imagen 22 Código Minizinc – Función Objetivo y restricciones, modelo uno

En el siguiente código (ver [Imagen 23](#)), se tiene la restricción desde la línea 73-75 obliga que el orden de visita sea diferente, excepto cuando sea 0.

```
72 %**Que cada elemento de fila sea diferente para la sequencematriz cuando el sequencevalor no sea igual a 0.**%
73 constraint forall(c in camion)(
74     alldifferent_except_0([orden_visita[c,s] | s in sect_2_21])
75 )/\
76 forall(c in camion, s in sect_2)(
77     if visita[c,s] = 1 then
78         orden_visita[c,s] < orden_visita[c,nvertedero]
79     /\ orden_visita[c,s] >= 2
80     endif
81 );
82
83 %*****Se obliga que los números se ordenen de forma secuencial*****|*****
84 constraint forall(c in camion, s in sect_2_21)(
85     orden_visita[c,s]+1<=orden_visita[c,nbasedestino]
86 );
87 %*****Que la carga de los camiones al salir y al entrar sean mayor o sea igual a cero*****
88 %*****y que su carga no sobrepase a la capacidad máxima del camión *****
89 constraint forall(s in sect_2, c in camion)(
90     carga_actual_salir[c,s] <= CAPACIDADMAX[c] /\ carga_actual_entrar[c,s] <= CAPACIDADMAX[c]
91 );
92 ;
```

Imagen 23 Código Minizinc – restricciones, modelo uno

Otra de las restricciones importantes (ver [Imagen 23](#)) en la línea 84 se obliga que el orden de visita a los sectores sea secuencial. También se tiene restricciones de capacidad, en la línea 89-91 se obliga que la carga actual al salir debe ser menor o igual a la capacidad máxima de un camión.

En la [Imagen 24](#) encontramos restricciones de carga, entre la línea 94-100, lo que obliga que la carga actual de un camión al salir de un sector origen debe ser igual a la carga actual de un camión al entrar a un sector destino línea 97 y la carga actual de un camión al entrar a un sector más la demanda del sector a la carga actual del camión al salir del mismo sector en la línea 98.

```

93 %*****La carga del camión al entrar + DEMANDARECOGER = carga al salir del sector *****%
94 constraint
95     forall(c in camion, s in sect_2, s2 in sect_2_21 )(
96         if (orden_visita[c,s]+1 = orden_visita[c,s2]) then
97             carga_actual_salir[c,s] = carga_actual_entrar[c,s2] /\
98             carga_actual_entrar[c,s] + DEMANDARECOGER[s] = carga_actual_salir[c,s]
99         endif
100     );
101 %*****Que los horarios de los camiones pueden ser <= a la hora fin*****%
102 %*****Los horarios están dados en minutos*****%
103 constraint forall(s in sect, c in camion)(
104     horario_entrar[c,s] <= TJORNADA[c]*(60) + HINICIO
105 );
106 %*****La hora al entrar mas el Tiempo recorrido de un sector a otro es = a la hora en salir*****%
107 constraint
108     forall(c in camion,s in sect_1, s2 in sect_2_1 )(
109         if (orden_visita[c,s] + 1 = orden_visita[c,s2] /\ orden_visita[c,nvertedero] >2) then
110             (horario_salir[c,s] + TIEMPO_RECORRIDO[s,s2] + NTIEMPO = horario_entrar[c,s2])
111             /\ horario_entrar[c,s] + TIEMPOSERVICIO[s] = horario_salir[c,s]
112         endif
113     );
114

```

Imagen 24 Código Minizinc – restricciones, modelo uno

En esta sección de código (ver [Imagen 24](#)) se tiene otras de las restricciones duras como son los manejar los horarios en la línea 103 -114.

### 3.6.2.2. Modelo dos

Este modelo ofrece una mayor eficiencia en tiempo de ejecución, se va a mostrar algunas restricciones que servirá para entender la manera que se está aplicando heurísticas con condicionales. Una de las restricciones duras está entre las líneas 58 -64 donde se busca identificar si un camión ha visitado un sector o más, entonces debe obligatoriamente ir al vertedero.

```

47 %Objetivo del Problema
48 solve maximize sum (c in camion, s in sect_2) (PRIORIDAD[s]*visita[c,s]) ;
49 %*****Obliga que un sector sea visitado solo por un camión*****
50 constraint forall (s in sect_2) (
51     suma_sector_columna[s] = sum(c in camion)(visita[c,s])
52     /\ (suma_sector_columna[s] = 1 /\ suma_sector_columna[s] = 0)
53 );
54 %*****Suma que un camión pueda estar en más de un sector*****
55 constraint forall (c in camion) (
56     suma_sector_fila[c] = sum(s in sect_2)(visita[c,s]) );
57 %***Si se suman las visitas de los sectores y es mayor o igual a 1 debe un camión ir al vertedero caso contrario será cero**
58 constraint forall (c in camion) (
59     if (suma_sector_fila[c]>=1) then
60         visita[c,nvertedero] = 1
61     else
62         visita[c,nvertedero] = 0
63     endif
64 );
65 %-----Valida que base origen sea mayor a 1 y base destino mayor o igual a 2-----
66 constraint forall(c in camion)(
67     visita[c,nbaseorigen]=1
68     /\ visita[c,nbasedestino]=1
69     /\ orden_visita[c,nbaseorigen] = 1
70     /\ carga_actual_salir[c,nbaseorigen] = 0
71     /\ carga_actual_entrar[c,nbasedestino] = 0
72     /\ horario_entrar[c,nbaseorigen] >= HINICIO
73 );
74 %*****Que la carga de los camiones al salir y al entrar sean mayor o sea igual a cero*****
75 %*****Y que su carga no sobrepase a la capacidad máxima del camión *****
76 constraint forall(s in sect, c in camion)(
77     (carga_actual_salir[c,s] <= CAPACIDADMAX[c]
78     /\ carga_actual_entrar[c,s] <= CAPACIDADMAX[c] /\ visita[c,s]=1)
79     /\ visita[c,s]=0
80 );
81 ;
82 ;

```

Imagen 25 Código Minizinc – restricciones, modelo uno

También en la línea 77-82 se tiene la restricción que obliga que la carga actual de un camión al salir o entrar de un sector debe ser menor a la capacidad máxima de un camión (ver [Imagen 25](#)).

```

123 %*****Se obliga que los horarios de los camiones pueden ser igual o > cero y <= a la hora fin*****
124 %*****Los horarios están dados en minutos*****
125 constraint forall(s in sect, c in camion)(
126     horario_entrar[c,s] <= TJORNADA[c]*(60) + HINICIO
127     /\ horario_salir[c,s] <= TJORNADA[c]*(60) + HINICIO
128 );
129 %*****Se obliga que la hora entrar + tiempo de servicio = hora salir.*****
130 constraint forall (c in camion,s in sect_1) (
131     if ( visita[c,s] != 0 ) then
132         horario_entrar[c,s] + TIEMPOSERVICIO[s] = horario_salir[c,s]
133     else
134         horario_salir[c,s] = 0
135     endif
136 );
137 %*****Se obliga que la hora al entrar + el Tiempo recorrido de un sector a otro es = a la hora en salir*****
138 constraint forall(c in camion,s in sect_1_2, s2 in sect_2)(
139     if (orden_visita[c,s] + 1 = orden_visita[c,s2] ) then
140         (horario_salir[c,s] + TIEMPO_RECORRIDO[s,s2] + NTIEMPO = horario_entrar[c,s2] )
141     endif
142 );
143 %*****La máxima hora de un camión al salir es igual a la hora al entrar al vertedero*****
144 var int: stemp;
145 constraint forall(c in camion)(
146     if (visita[c,nvertedero]=1) then
147         max(stemp in sect_2)(horario_salir[c,stemp]) + TIEMPO_RECORRIDO[stemp,nvertedero] = horario_entrar[c,nvertedero]
148     endif
149 );
150 %La hora al entrar mas el Tiempo recorrido de un sector a otro es = a la hora en salir.
151 constraint forall(c in camion)(
152     if visita[c,nvertedero]=1 /\ horario_salir[c,nvertedero] !=0 then
153         (horario_salir[c,nvertedero] + TIEMPO_RECORRIDO[nvertedero,nbasedestino] + NTIEMPO = horario_entrar[c,nbasedestino] )
154         /\ horario_entrar[c,nbasedestino] <= TJORNADA[c]*(60) + HINICIO
155     endif
156 );
157 ;

```

Imagen 26 Código Minizinc – restricciones, modelo uno

En esta [Imagen 26](#) se puede visualizar un conjunto de restricciones. Las mismas que se hacen en el modelo uno, pero en este caso interpretar de forma diferente.

### 3.6.3. Resultados

En esta sección de resultados (ver [Imagen 27](#)), se tiene la forma de presentar cada una de las variables, por medio de Minizinc.

```

112 output
113 [ "DEMANDA RECOGER: ", show(DEMANDARECOGER) ++ " \n" ] ++
114 [ "TIEMPOSERVICIO: ", show(TIEMPOSERVICIO) ++ " \n" ] ++
115 [ "Visita de los camiones a los sectores: \n" ] ++
116 [ show_int(digs,visita[j,i]) ++
117     if i == NS then "\n" else " " endif |
118     j in 1..NC,i in 1..NS ] ++
119 [ "Orden Visita: \n" ] ++
120 [ show_int(digs,orden_visita[j,i]) ++
121     if i == NS then "\n" else " " endif |
122     j in 1..NC,i in 1..NS ] ++
123 [ "Carga actual del camión de entrar a un sector: \n" ] ++
124 [ show_int(digs,carga_actual_entrar[j,i]) ++
125     if i == NS then "\n" else " " endif |
126     j in 1..NC,i in 1..NS ] ++
127 [ "Carga actual del camión al salir de un sector: \n" ] ++
128 [ show_int(digs,carga_actual_salir[j,i]) ++
129     if i == NS then "\n" else " " endif |
130     j in 1..NC,i in 1..NS ] ++
131 [ "Horarios al entrar a cada sector: \n" ] ++
132 [ show_int(digs,horario_entrar[j,i]) ++
133     if i == NS then "\n" else " " endif |
134     j in 1..NC,i in 1..NS ] ++
135 [ "Horarios al salir de cada sector: \n" ] ++
136 [ show_int(digs,horario_salir[j,i])++
137     if i == NS then "\n" else " " endif |
138     j in 1..NC,i in 1..NS ] ;

```

Imagen 27 Código Minizinc – resultados

## 4. Análisis y resultados

---

En esta sección se muestran los resultados de las diferentes pruebas y se realiza un análisis crítico de cada una de ellas. Datos importantes que se debe conocer de esta planificación:

### Problema

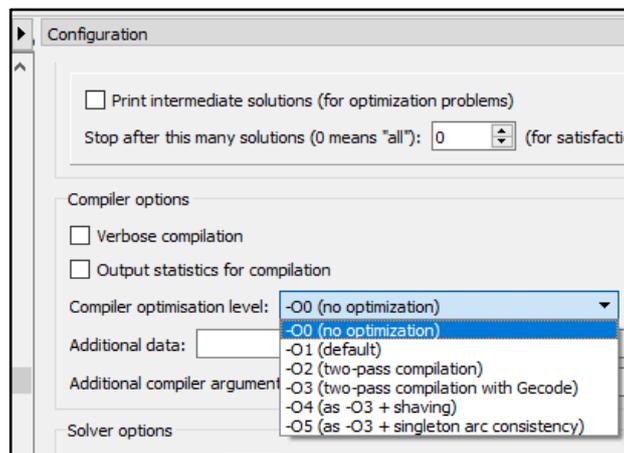
- Es importante conocer que se debe generar una planificación para cada día de la semana según esta propuesta.

### Programa

- El tiempo límite que se le puede configurar en el programa para compilar es hasta 3600 seg.

### 4.1. Configuración de Niveles de Optimización

Minizinc tiene en sus opciones de compilación 5 niveles de optimización (ver [Imagen 28](#)), son los siguientes: **-O0(no optimización)**, **-O1(default)**, **-O2(two-pass compilation)**, **-O3(two-pass compilation with Gecode)**, **-O4(as -O3 + shaving)**, **-O5(as -O3 + singleton arc consistency)**.



*Imagen 28 Niveles de optimización del Compilador*

La siguiente prueba consiste en analizar los niveles de compilación para los modelos desarrollados en Minizinc, el cual se analizará los tiempos de respuestas con respecto a los diferentes niveles de optimización. El objetivo es que las siguientes pruebas se realicen con el modelo que tiene el mejor tiempo de respuesta y la mejor opción de compilación.

Este escenario de prueba se ha realizado con 2 camiones y 10 sectores (incluido base origen, base destino y vertedero).

#### 4.1.1. Comparación de soluciones

En esta prueba se ha analizado los dos modelos que se proponen en Minizinc. Se analiza la mejor opción a nivel de compilación y el mejor tiempo de respuesta. Y se usará esas características para las siguientes pruebas.

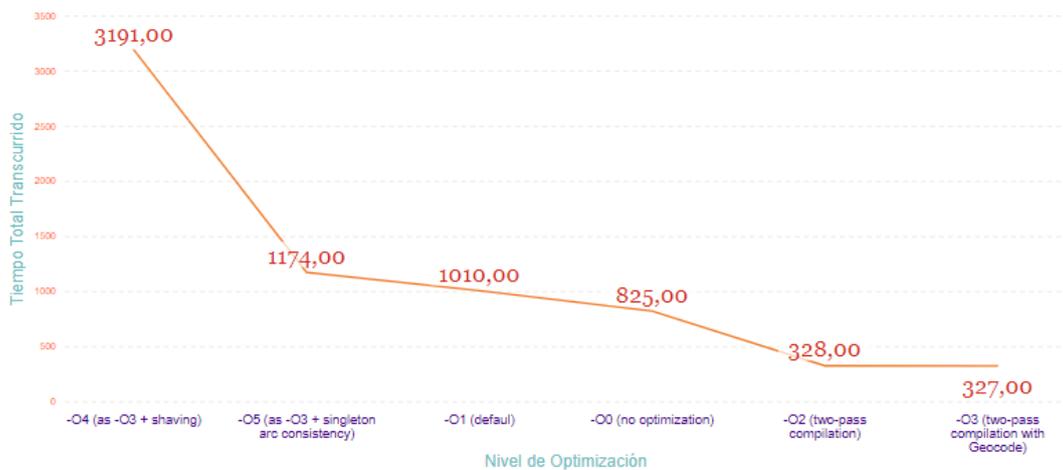


Imagen 29 Tiempo transcurrido y nivel de optimización – modelo uno

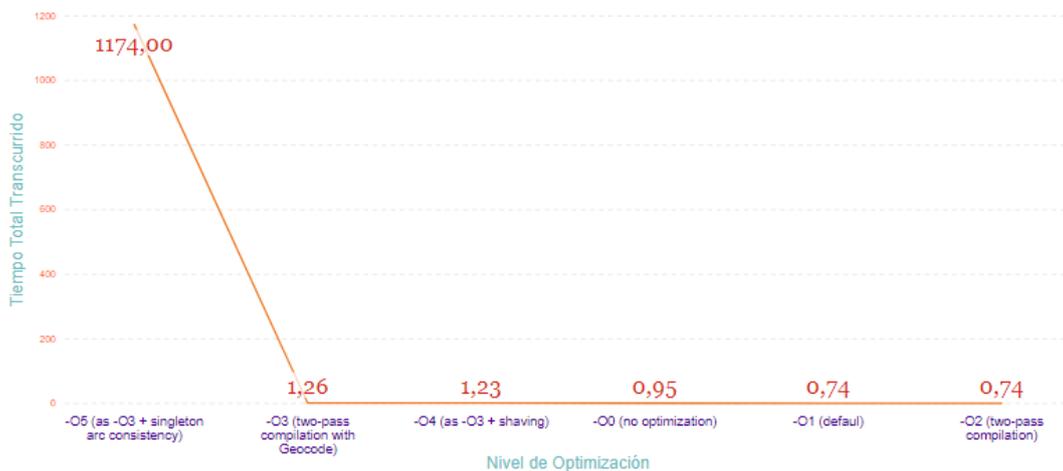


Imagen 30 Tiempo transcurrido y nivel de optimización – modelo dos

Los siguientes resultados (ver *Imagen 29,30*) están dados en segundos. El modelo uno de la sección (3.6.1), su tiempo de respuesta más bajo es 327 segundos que equivale a (5m 27 seg) y el modelo dos su tiempo de respuesta más bajo está en un rango de 1,25 a 0,74 segundos que equivale a (1 s 24 msec

a 740 msec). Por lo tanto, el modelo dos se va a utilizar para las siguientes pruebas en conjunto con el nivel de optimización -O3 (two-pass compilation with Geocode).

A nivel técnico estos 2 modelos se han generado debido a las restricciones. El modelo uno se busca hacer la menor cantidad de condiciones, con el objetivo de que su compilador se encargue de buscar la mejor solución o la más óptima. Por lo tanto, sólo se crean 8 restricciones, es fácil de entender, pero su tiempo de respuesta es muy lento.

El modelo dos funciona con 15 restricciones, y se analiza que este limita las búsquedas por medio de las condiciones. En este caso el compilador no hace sólo su trabajo porque se le aplica una serie de lógicas, técnicamente llamadas heurísticas. Lo que hace que tarde menos tiempo en responder.

Tabla 12 Compilación Geocode 6.1.0 – modelo uno

Nivel de Optimización	Tiempo Trans	Soluciones	Variables	nodos	Tiempo transcurrido
-O0 (no optimization)	616,48	9	972	89577494	13m 45s
-O1 (default)	525,25	9	968	107810862	16m 50s
-O2 (two-pass compilation)	145,95	9	948	35482789	5m 28s
-O3 (two-pass compilation with Geocode)	195,9	9	948	35751580	5m 27s
-O4 (as -O3 + shaving)	747,61	9	878	466743424	53m 11s
-O5 (as -O3 + singleton arc consistency)	1111,41	9	878	135428262	19m 34s

Tabla 13 Compilación Geocode 6.1.0 – modelo dos

Nivel de Optimización	Tiempo Trans (s)	Soluciones	Variables	nodos	Tiempo transcurrido
-O0 (no optimization)	0,09	9	662	39593	950 msec
-O1 (default)	0,03	9	660	33182	740 msec
-O2 (two-pass compilation)	0,03	9	660	30688	740 msec
-O3 (two-pass compilation with Geocode)	0,03	9	660	34055	1 s 263 msec
-O4 (as -O3 + shaving)	0,02	9	660	33298	1 s 232 msec
-O5 (as -O3 + singleton arc consistency)	0,03	9	660	35895	19m 34s

Se puede verificar este análisis (ver [Tabla 13](#) y [Tabla 14](#)), si verificamos los nodos y variables generadas en modelo uno en comparación con el modelo dos, podemos comprobar que al modelo uno le toma más tiempo de respuesta ya que genera muchas más búsquedas.

## 4.2. Análisis de soluciones (1 hora)

Esta prueba se realiza aplicando un límite de tiempo de 3600 segundos (1 hora), y usando la opción de nivel de compilación -O3(two-pass compilation with Geocode). El objetivo de esta es analizar hasta que número de camiones y sectores, se tiene una solución óptima, ya que se puede controlar las pruebas hasta el límite de tiempo indicado anteriormente.

## Planificación de técnicas de mejoras de planes para *Smart cities*

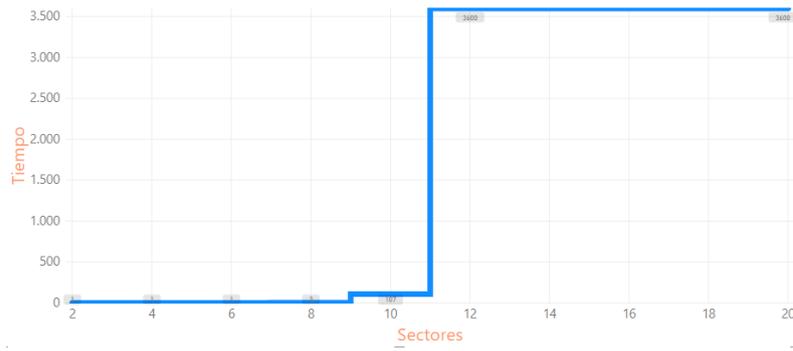


Imagen 31 Tiempo por sectores de 2 camiones

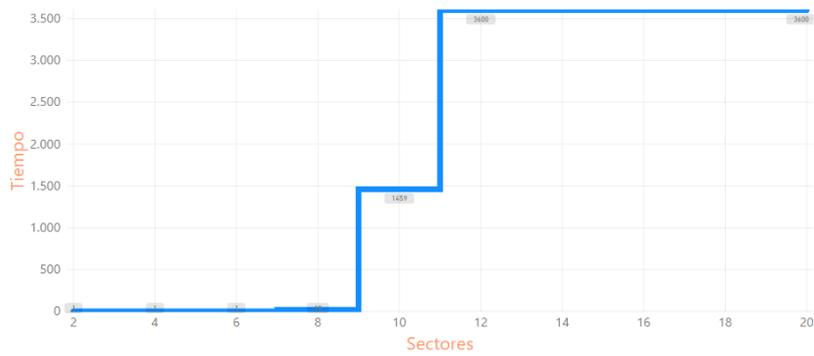


Imagen 32 Tiempo por sectores de 4 camiones

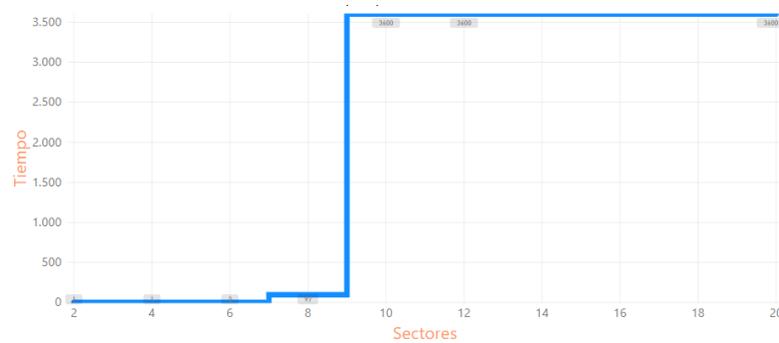


Imagen 33 Tiempo por sectores de 6 camiones

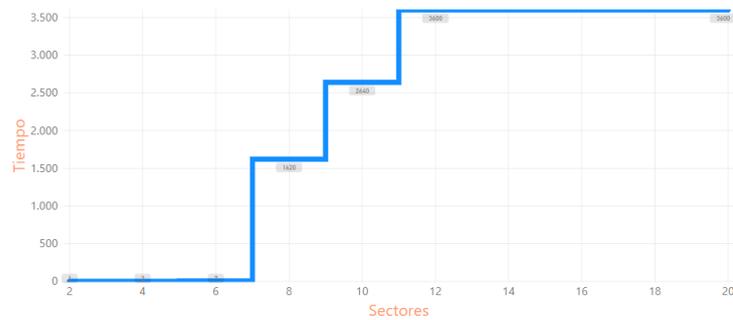


Imagen 34 Tiempo por sectores de 8 camiones

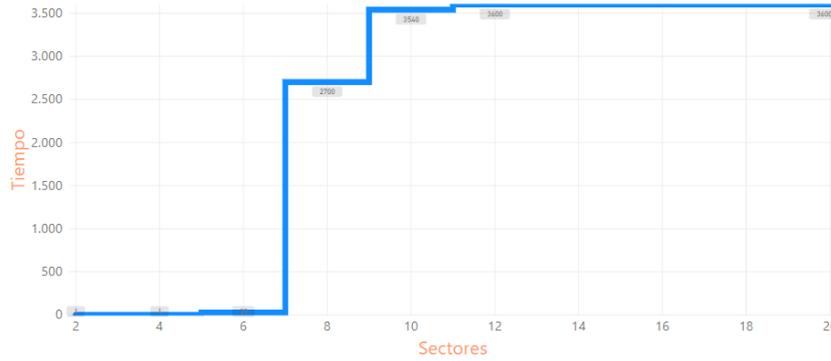


Imagen 35 Tiempo por sectores de 10 camiones

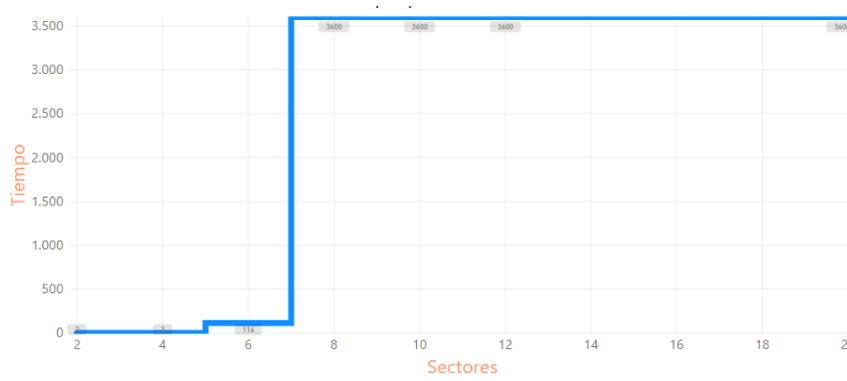


Imagen 36 Tiempo por sectores de 12 camiones

En esta prueba el modelo matemático comienza a tener problemas de tiempo para generar una solución a partir de los 15 nodos (ver *Imagen 31 a 36*). A los 12 sectores se le incrementa la base origen, la base destino y el vertedero, entonces son 15 nodos. A pesar de usar el modelo más eficiente es normal que ocurran problemas de tiempo. Ya que se quiere maximizar un objetivo sobre un gran número de soluciones que crece de forma exponencial en función al tamaño del problema.

Es importante conocer que una solución óptima en problemas reales, como el que está resolviendo, el tiempo de respuesta, puede llegar a tardar semanas o meses en dar una solución. En algunos casos el objetivo de las planificaciones en problemas reales no es realizarla todos los días, de hecho, la importancia de estas radica en que sirven para brindar un servicio permanente hasta que las restricciones cambien. Otro punto clave que varía el tiempo de respuesta de estas soluciones es el rendimiento del equipo en el cual se está ejecutando la solución (ver [Imagen 37](#)).

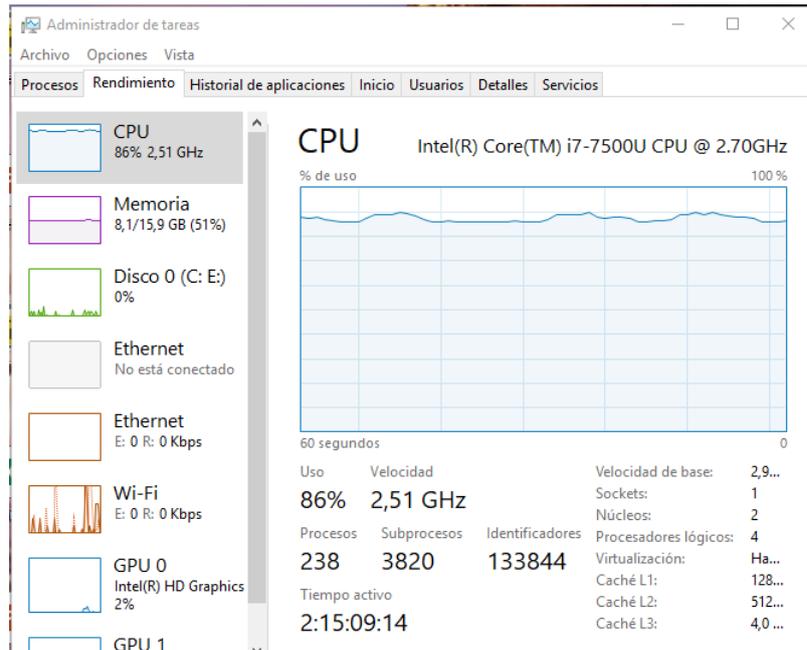


Imagen 37 Rendimiento del equipo en ejecución

Si se activa la opción *Number of threads* en la sección de configuración, se realizan varias ejecuciones en paralelo. Esta opción hace uso del CPU al máximo (ver [Imagen 38](#)).



Imagen 38 Opción *Number of threads*

### 4.3. Información de resultados en Minizinc

En esta sección se presentará un conjunto de pruebas que se realizaron con el objetivo de analizar el comportamiento varias salidas de Minizinc. Estas son: tiempo total al ejecutarse una solución, el tiempo que tarda en ejecutarse sólo la mejor solución obtenida, el número de soluciones obtenidas, el número de variables y el número de nodos. El tiempo límite de esta prueba es de 3 m 30 seg.

Tabla 14 Tiempo total

		Camiones						
S e c t o r e s		2	4	6	8	10	12	
	20	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s
	18	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s
	16	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s
	14	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s
	12	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s
	10	1m 47s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s
	8	3s 156 msec	18s 169msec	1m 37s	3m 21s	3m 21s	3m 21s	3m 21s
	6	799 msec	1s 186msec	1s 927msec	6s 731msec	28s 704msec	1m 56s	
4	681 msec	772msec	900msec	1s 84msec	1s 380msec	1s 664msec	1s 664msec	
2	645 msec	694msec	748msec	798msec	952msec	1s 747msec	1s 747msec	

Aquí se visualiza el tiempo total transcurrido de cada escenario (ver [Tabla 14](#)). Donde se tiene un conjunto de pruebas donde las columnas son los sectores y las filas son los camiones.

Tabla 15 Tiempo de la mejor solución obtenida

		Camiones						
S e c t o r e s		2	4	6	8	10	12	
	20	199,017	197,207	195,445	193,611	192,34	191,127	
	18	199,296	197,936	196,496	195,322	193,9	192,567	
	16	199,549	198,542	197,479	196,317	194,74	193,947	
	14	199,819	198,935	198,039	197,21	196,167	195,614	
	12	199,949	199,276	198,627	197,98	197,292	196,394	
	10	106,369	199,708	198,879	198,681	198,209	197,758	
	8	2,345	16,944	0,043	199,231	198,649	198,512	
	6	0,098	0,012	0,836	5,386	26,983	113,894	
4	0,11	0,115	0,015	0,164	0,233	0,101		
2	0,102	0,113	0,006	0,106	0,106	0,011		

En la [Tabla 15](#), se tiene información del tiempo que tarda en generarse la mejor solución ya sea dentro o fuera del tiempo límite.

Tabla 16 Número de soluciones

		Camiones						
S e c t o r e s		2	4	6	8	10	12	
	20	8	5	8	7	5	4	
	18	4	9	4	4	7	4	
	16	7	10	8	7	7	6	
	14	12	11	11	9	10	6	
	12	17	15	15	15	11	10	
	10	13	15	14	12	12	13	
	8	9	11	11	11	11	11	
	6	8	9	9	9	9	9	
4	7	7	7	7	7	6		
2	4	4	4	4	4	4		

En la [Tabla 16](#), se puede observar el número de soluciones generadas en cada escenario de prueba. De acuerdo con los datos mostrados en la [Tabla 9](#), cuando se tiene una matriz de 6x8 (6 camiones y 11 nodos), se obtiene una solución óptima en menos de 3 min, de lo contrario se obtiene una mejor solución, pero no precisamente la óptima.

Tabla 17 Número de variables generadas

		Camiones						
S e c t o r e s		2	4	6	8	10	12	
	20	2112	6471	9705	12939	16174	19368	
	18	2763	5408	8110	10812	13514	16180	
	16	2273	4440	6658	8876	11094	13280	
	14	1831	3568	5350	7132	8914	10668	
	12	1437	2792	4186	5580	6974	8344	
	10	1091	2112	3166	4220	5274	6308	
	8	791	1524	2284	3044	3804	4549	
	6	541	1036	1552	2068	2584	3089	
4	341	648	970	1292	1614	1928		
2	187	352	526	700	874	1044		

En esta [Tabla 17](#), se puede observar, las instancias de variables que se generan en cada uno de los casos.

Tabla 18 Número de nodos

		Camiones						
S e c t o r e s		2	4	6	8	10	12	
	20	11849148	3864700	2098039	1341336	952357	67635	
	18	8420389	4924366	2851995	1856793	1303270	95212	
	16	9758971	5868628	4044800	2553062	1806199	116790	
	14	11601778	7424314	5020611	3596803	2583970	146723	
	12	14913797	9610627	6680074	5252958	4030286	208242	
	10	10340521	11849148	8762028	7077914	5744402	271224	
	8	334627	1466660	4701146	7590697	6936713	351862	
	6	7110	15306	58671	344831	1324642	245060	
4	323	829	2335	6560	15840	2374		
2	102	215	342	486	645	68		

En esta [Tabla 18](#) podemos visualizar, el número de nodos que se genera en cada uno de los escenarios de pruebas.

## 4.4. Visualización de resultados

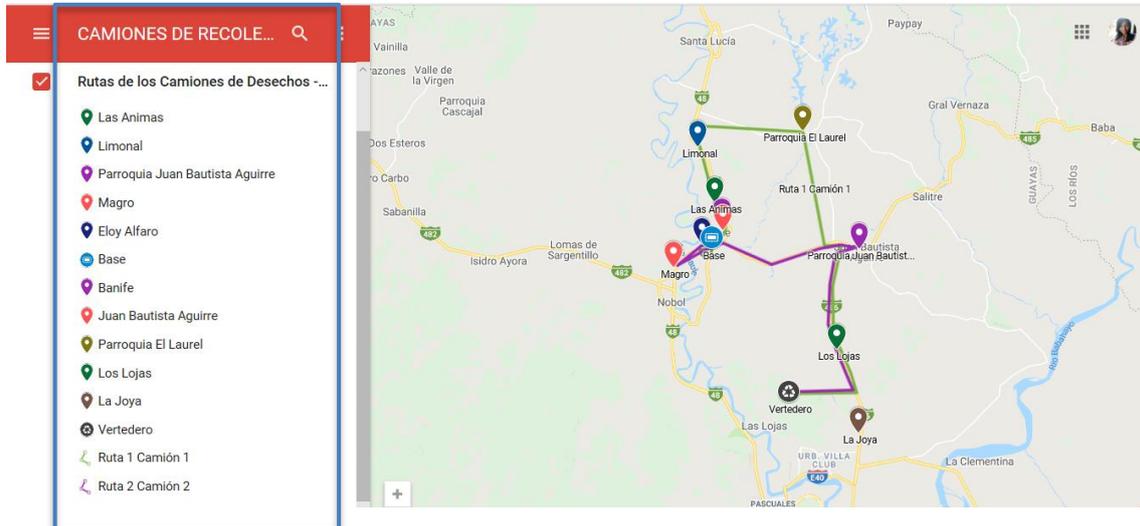
En esta sección se mostrará los resultados de 2 soluciones optimas del set de pruebas anterior. Y se los pasarán a datos reales, para verificar la información que retorna el software.

```

Visita de los camiones a los sectores:
1 0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1
1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 1 1
Orden Visita:
1 0 4 0 0 0 0 3 2 0 0 5 6
1 0 0 4 3 2 0 0 0 0 0 5 6
Carga actual del camión de entrar a un sector:
0 0 6 0 0 0 0 5 0 0 0 8 0
0 0 0 7 1 0 0 0 0 0 0 8 0
Carga actual del camión al salir de un sector:
0 0 8 0 0 0 0 6 5 0 0 0 0
0 0 0 8 7 1 0 0 0 0 0 0 0
Horarios al entrar a cada sector:
330 0 470 0 0 0 0 450 360 0 0 560 630
330 0 0 485 435 385 0 0 0 0 0 505 590
Horarios al salir de cada sector:
340 0 530 0 0 0 0 460 400 0 0 570 0
340 0 0 505 445 395 0 0 0 0 0 550 0
% time elapsed: 2.38 s
    
```

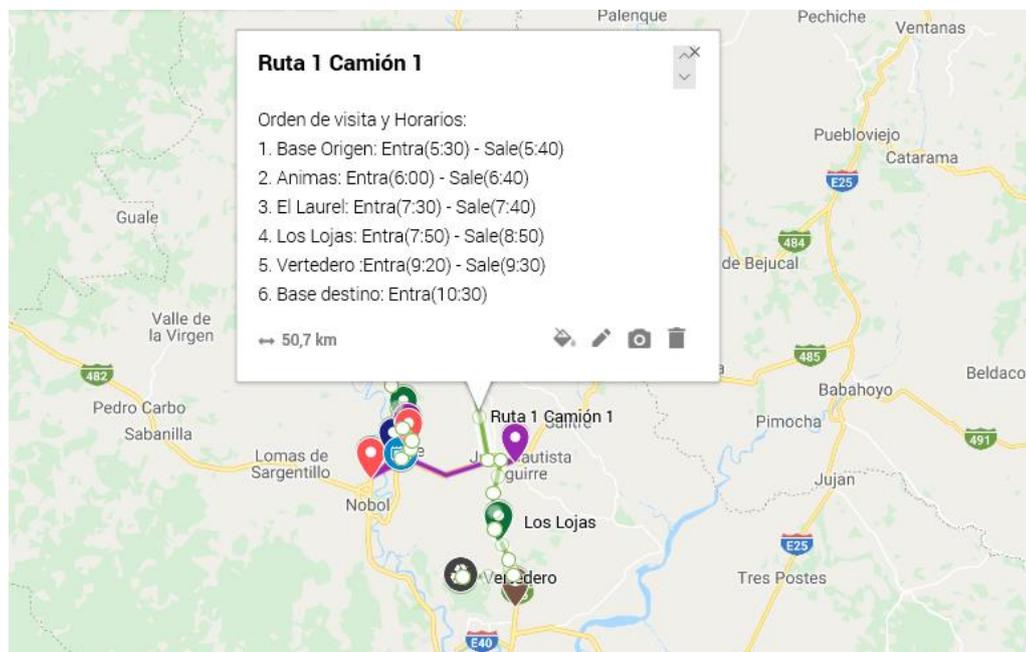
Imagen 39 Resultados de Minizinc (2 camiones, 13 sectores)

Este conjunto de datos (ver [Imagen 39](#)), que es la planificación de 2 camiones con una capacidad de 8 toneladas, se la ha realizado visualmente con datos reales (ver [Imagen 40](#)) para un mejor entendimiento de los resultados. Aquí se puede ubicar los recursos tales como sectores que se visitan, base origen, base destino, el vertedero y las rutas de los 2 camiones disponibles.



*Imagen 40 Información real de sectores, vertedero y base*

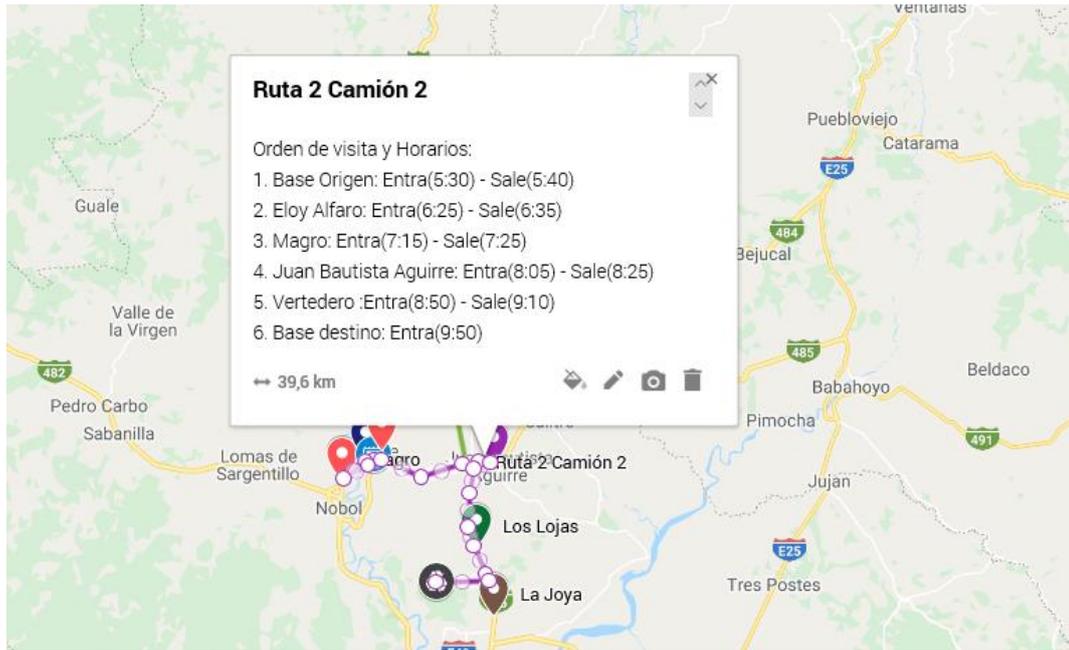
También se puede visualizar el orden de visita a cada sector con sus respectivos horarios (ver [Imagen 41](#)), este mapa en el que se está situando la información es del cantón Daule con sectores rurales del lugar. Donde se puede visualizar la ruta del camión 1.



*Imagen 41 Orden de visita a sectores asignados al camión uno*

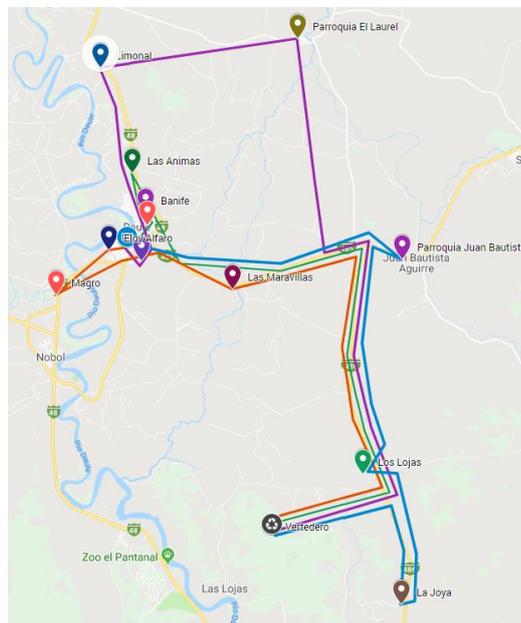
Y también se puede visualizar orden de visita de la ruta del camión número 2 (ver [42](#)).

## Planificación de técnicas de mejoras de planes para *Smart cities*



*Imagen 42 Orden de visita a sectores asignados al camión dos*

Y si la solución es para 4 camiones, las rutas de cada una serían de la siguiente manera (ver [Imagen 43](#)).



*Imagen 43 Orden de visita a sectores asignados a cuatro camiones*

Esta sería una de las formas para poder presentar este tipo de resultados. En el aplicativo Minizinc se puede manipular su salida. Una de las formas de tratar esta data es que la salida tenga un formato tipo json, y con ello los resultados poderlos usar en un aplicativo frond end.

## 5. Conclusiones y Trabajos Futuros

---

En este apartado se mencionará una serie de conclusiones que se han generado al realizar este trabajo y también se comentarán nuevos objetivos a partir de la finalización de estos.

### 5.1. Conclusiones

El análisis de este proyecto ha sido una oportunidad para conocer de cerca las necesidades que tenemos hoy en día y las consecuencias que podríamos tener mañana con respecto, al medio ambiente. El detenernos en el tiempo, y poder analizar soluciones globales, hacen llenar de esperanza un futuro incierto.

Ver a la tecnología como parte de la solución parece despiadado, en zonas donde la naturaleza siempre ha estado en primer lugar, los tiempos cambian y muchas personas que se negaban al cambio ya no están. Esta nueva generación ya no puede ignorar más su inconformidad, con una ciudad que no brinda los servicios suficientes para vivir con dignidad. ¿Es acaso la tecnología la culpable de visibilizar estos problemas?

Realizar el planteamiento del modelo matemático probablemente ha sido lo más complicado en el desarrollo del presente TFM, ya que además de brindar una solución gran parte del proyecto ha sido de investigación. No obstante, luego de haberlo conseguido, la investigación debía continuar. Se analizó y se implementó el modelo de pseudocódigo a Minizinc la cual también tuvo sus complejidades, pero ya con un objetivo claro a resolver.

Realizar el proceso de pruebas finales, también ha sido satisfactorio, ya que poder verificar exitosamente cada solución, es sentir que todo el esfuerzo dedicado a llegado a su fin. Técnicamente hablando considero que el modelo tiene sus falencias y que para implementar modelos eficientes hay que tener ciertos grados de experiencia. Por lo tanto, el hecho de haber conseguido todos los objetivos planteados. Me hace tener la confianza de proponer nuevos objetivos a medio y largo plazo que se puedan implementar.

Siempre había pensado que el tema *Smart cities*, era un término que se trataba solamente para proyectos en ciudades influyentes, pero me ha emocionado mucho el tema de relacionarlo con el medio ambiente, de conocer más sobre los 7 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030, sobre la organización de Ecuador 2030 que apoya a proyectos de desarrollo sostenible, hay muchos

conceptos que he aprendido con esta temática de TFM, y que sin duda me servirán en el mundo profesional.

## **5.2. Relación del trabajo realizado con el estudio cursado**

Considero que haber recibido asignaturas nuevas para mí ha resultado ser un reto no solo profesional sino también personal. Así como la Inteligencia Artificial, la Inteligencia Ambiental, Gestión Integral, Gobernanzas TI, Logística y Servicio, Sistemas empotrados y Ubicuos, Automatización y Robótica. El hecho de haber aprobado el crédito con esfuerzo y éxito me hace ver que soy capaz de proponer soluciones a problemas reales indiferentemente de la tecnología a la cual nos enfrentamos.

## **5.3. Trabajos Futuros**

Esta temática es bastante flexible para muchos trabajos futuros, sobre todo lo relacionado a logística inversa. Al referirnos al modelo matemático actual del proyecto, se debería ampliar lo siguiente:

- Se necesita que el camión de recolección de desechos pueda ir varias veces al vertedero en el día. Es un proceso que se debe abordar a mediano plazo ya que en ocasiones de fiestas o eventos culturales los desechos orgánicos e inorgánicos se acumula en gran cantidad dentro de una localidad.
- Se requiere que este modelo logre ser multiobjetivo tales como: minimizar la distancia de un sector a otro, minimizar el número de vehículos, etc.
- Crear una interfaz web donde los resultados puedan ser transformados y consultados en línea, y los conductores de los camiones puedan hacer uso de esta interfaz.

Con respecto adaptar el modelo informático propuesto a otros problemas que tengan que ver con la recolección de demandas, capacidad y horarios. Se menciona el siguiente:

- En la provincia de Guayas del cantón Daule hay recolección de frutas de manera temporal, que se recogen de forma masiva, como son los frutos de mangos, etc. Esta solución del problema de este TFM sería de gran ayuda, ya que el proceso que realizan camiones recolectores de fruta es parecido al modelo planteado:



*Imagen 44 Cajas de Mangos*

Las actividades que realizan estos conductores son las siguientes:

- a) Los camiones disponen de una capacidad máxima.
- b) Se dedican a recoger cajas pequeñas el día entero, a los micro agricultores.
- c) Cuando su capacidad está completa.
- d) Viajan a un punto específico donde depositan toda su mercancía, hasta el siguiente día.

También como algo general me gustaría proponer estrategias para el tema de clasificación de basura ya que en el cantón Daule no existe este tipo de iniciativas, involucrando a la ciudadanía con aplicaciones móviles y web, en la cual se encuentren siempre informados de cada acción que se realice con las gestiones del medio ambiente.

## 6. Referencias

- [1] BID. La ruta hacia las smart cities: Migrando de una gestión tradicional a plusvalías: el caso de la recuperación del frente costero del río la ciudad inteligente [online]. 2016, 1–148. Dostupné z: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7743/La-ruta-hacia-las-smart-cities-Migrando-de-una-gestion-tradicional-a-la-ciudad-inteligente.pdf?sequence=10&isAllowed=y>
- [2] BOUSKELA, Mauricio, Márcia CASSEB, Silvia BASSI, Cristina DE LUCA a Marcelo FACCHINA. La ruta hacia las Smart Cities. Migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente. *Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo* [online]. 2016, (IDB-MG-454), 454. Dostupné z: doi:10.18235/0000377
- [3] NACIONES UNIDAS DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES. Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo. *United Nations* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>
- [4] MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Programa „PNGIDS" Ecuador* [online]. 2013. Dostupné z: <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>
- [5] ECUADOR 2030. *Productivo y Sostenible. ¡Súmate al cambio!* [online]. 2015. Dostupné z: <http://ecuador2030.org/>
- [6] VILLAGRA, A, M ERRECALDE, D MOLINA, V VARAS, S OROZCO, J VALDÉZ, J RASJIDO, V MERCADO, C MONTENEGRO, L CARBALLO a D PANDOLFI. Soluciones inteligentes para el desarrollo urbano sostenible. 2018, 50–55.
- [7] RESIDUOS PROFESIONAL. *El Banco Mundial alerta del aumento de la generación de residuos.* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.residuosprofesional.com/generacion-mundial-residuos-2050/>
- [8] SANCHEZ, ESTHER; PLANELLES, Manuel. La ONU pide cambios sin precedentes para evitar la catástrofe medioambiental del planeta. *EL PAÍS* [online]. 2019. Dostupné z: [https://elpais.com/sociedad/2019/03/12/actualidad/1552409167\\_549272.html](https://elpais.com/sociedad/2019/03/12/actualidad/1552409167_549272.html)
- [9] HERNANDEZ, Noelia. Sensores IoT para la gestión inteligente de los residuos. *Hablemos de Empresa* [online]. 2018. Dostupné z: <https://hablemosdeempresas.com/grandes-empresas/iot->

para-gestionar-residuos/

- [10] MECALUX, Soluciones de Almacenaje. *Logística ambiental o logística verde: definición, retos y soluciones* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.mecalux.es/blog/logistica-ambienta>
- [11] BALLESTEROS, Diana, Pedro BALLESTEROS a Tito DUARTE. Contribuciones de la logística al desarrollo sostenible. *Contribuciones de la logística al desarrollo sostenible* [online]. 2009, **XV**(41), 171–176. Dostupné z: <http://www.redalyc.org/pdf/849/84916680030.pdf>
- [12] GARCÍA GONZÁLEZ, Cleotilde. La logística inversa y su impacto al medio ambiente. *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA* [online]. 2018. Dostupné z: [doi:10.29057/icea.v1i2.43](https://doi.org/10.29057/icea.v1i2.43)
- [13] HINCAPIÉ, RICARDO ALBERTO, RÍOS PORRAS, CARLOS ALBERTO, GALLEGO, RAMÓN ALFONSO. TÉCNICAS HEURÍSTICAS APLICADAS AL PROBLEMA DEL CARTERO VIAJANTE (TSP). *Scientia Et Technica* [online]. 2004, 2. Dostupné z: [doi:ISSN 0122-1701](https://doi.org/10.1122-1701)
- [14] DANTZIG, G. B. a J. H. RAMSER. The Truck Dispatching Problem. *Management Science* [online]. 2008. ISSN 0025-1909. Dostupné z: [doi:10.1287/mnsc.6.1.80](https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80)
- [15] PEREZ CABRERA, Carlos Rafael. *Problemas de Rutas de Vehiculos Algunas de sus variantes mas conocidas* [online]. B.m., 2016. Universidad de La Laguna. Dostupné z: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/3046/Problemas+de+Rutas+de+Vehiculos.+Algunas+de+sus+variantes+mas+conocidas..pdf;jsessionid=69DA46667C135334369967CC EA49396A?sequence=1>
- [16] LÓPEZ, Erasmo, Óscar SALAS a Álex MURILLO. EL PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO: UN ALGORITMO DETERMINÍSTICO USANDO BÚSQUEDA TABÚ THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM: A DETERMINISTIC ALGORITHM USING TABU SEARCH. 2014, **21**(1), 127–144. ISSN 1409-2433.
- [17] PÉREZ CABRERA, Carlos Rafael. Problemas de Rutas de Vehículos Algunas de sus variantes más conocidas. In: . 2016.
- [18] BERHAN, Eshetie, Birhanu BESHAH, Daniel KITAW a Ajith ABRAHAM. Stochastic Vehicle Routing Problem: A Literature Survey. *Journal of Information & Knowledge*

- Management* [online]. 2014. ISSN 0219-6492. Dostupné z: doi:10.1142/s0219649214500221
- [19] GIOSA, I. D., I. L. TANSINI a I. O. VIERA. New assignment algorithms for the multi-depot vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society* [online]. 2002. ISSN 01605682. Dostupné z: doi:10.1057/palgrave.jors.2601426
- [20] PRODHON, Caroline. A hybrid evolutionary algorithm for the periodic location-routing problem. *European Journal of Operational Research* [online]. 2011. ISSN 03772217. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejor.2010.09.021
- [21] TOTH, Paolo a Daniele VIGO. 1. An Overview of Vehicle Routing Problems. *The Vehicle Routing Problem* [online]. 2011, (January), 1–26. Dostupné z: doi:10.1137/1.9780898718515.ch1
- [22] OPTIMIZACIÓN, Posgrado EN, Ing EDWIN MONTES OROZCO ASESORES a Roman ANSELMO MORA GUTIÉRREZ JAVIER RAMÍREZ RODRÍGUEZ. *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA AZCAPOTZALCO Metaheurísticas para el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRP-TW)*. nedatováno.
- [23] FEDERICO BARBER a MIGUEL A. SALIDO. Introduction to constraint programming. *INTELIGENCIA ARTIFICIAL* [online]. 2003, 7(20) [vid. 2019-07-10]. ISSN 1988-3064. Dostupné z: doi:10.4114/ia.v7i20.372
- [24] BARBER, Federico, Sanchís ANTONIO, Lova RUIZ a Mariamar CERVANTES POSADA. *Nuevos Métodos Meta Heurísticos para la Asignación Eficiente, Optimizada y Robusta de Recursos Limitados Dirigida por: Presentada por*. nedatováno.
- [25] ARANGU LOBIG, MARLENE ALICIA. *MODELOS Y TÉCNICAS DE CONSISTENCIA EN PROBLEMAS DE SATISFACCIÓN DE RESTRICCIONES* [online]. Valencia (Spain), 2011 [vid. 2019-07-10]. Universitat Politècnica de València. Dostupné z: doi:10.4995/Thesis/10251/14120
- [26] TOTH, Paolo. a Daniele. VIGO. *The vehicle routing problem*. B.m.: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002. ISBN 9780898714982.
- [27] STUCKEY, Peter J, Kim MARRIOO a Guido TACK. *MiniZinc Handbook Release 2.2.1*. 2018.
- [28] THE POWER TO KNOW. *Procesamiento del lenguaje natural* [online]. 2019. Dostupné z: [https://www.sas.com/es\\_es/insights/analytics/what-is-natural-language-processing-](https://www.sas.com/es_es/insights/analytics/what-is-natural-language-processing-)

nlp.html%0A

## 7. Glosario de Términos

**Agenda 2030 de la ONU:** Son retos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Organización de Naciones Unidas.

**Cantón:** Los cantones son entidades territoriales, que subdividen a un municipio, una provincia u otro distrito. Ecuador es uno de los países de tiene 24 provincias, se subdividen en más de 200 cantones y estos se dividen en parroquias y las parroquias en recintos.

**Ecuador 2030:** Busca la participación de empresarios y emprendedores para construir la Agenda Empresarial del ECUADOR al año 2030.

**Municipio:** Dirección territorial Administrativo o Ayuntamiento.

**Sector:** Es un conjunto de casas en una misma calle, derivan de las parroquias.

**Recolección domiciliaria:** Realiza la recolección de desechos por cada casa o domicilio.

**Logística inversa:** Que realiza el reverso, por ejemplo, en vez de distribuir hace un proceso de recoger.

## 8. ANEXO 1

Información obtenida de entrevista al jefe del departamento de medio ambiente de la Ilustre Municipalidad del Cantón Daule.

Información	Valor	Detalles extra
Número de Camiones	12	
Número de vertederos	1	
Horario normal	5:30 a 13:30	
Número de veces que van los camiones al vertedero	1 vez al día Lunes y viernes 2 veces	
Toneladas que recogen diario.	110 toneladas	
Tipo de recolección que se hace	Domiciliaria	
Encargados de Camión	3	1 conductor, 2 ayudantes.
Población Daule	120.326 habitantes	
Parroquias Urbana	Daule (la cabecera cantonal) y La Parroquia Satélite La Aurora.	¿Cuántos sectores Urbanos son visitados actualmente?
Parroquias Rurales	Los Lojas, Juan Bautista Aguirre, El Laurel y Limonal	¿Cuántos sectores Rurales son visitados actualmente? Según moradores solo visitan Laurel y Yurima
Residuos Urbanos	Residuos de la actividad domésticas son tratados de la misma forma que los residuos de la actividad Comercial	¿Residuos de la actividad comercial como son manejados?
Frecuencia con que se visitan las parroquias	Las cabeceras parroquiales van 3 veces por semana. Recintos pequeños se visitan cada 8 días.	
Tipo de Residuos	Orgánicos, papel/cartón, envases, vidrio, etc..	Solo se separan botellas lo demás va al mismo vertedero.
Organización	¿Si viene un nuevo sector que solicita la visita del camión como le organizas?	
Reciclaje	Se reciclan botellas	¿Se aplican alguna clase de reciclaje?
¿Tiempo máximo que se demoran en un sector? ¿Tiempo mínimo que se demoran en un sector?		

Planificación de técnicas de mejoras de planes para *Smart cities*

¿Distribución actual cómo se organizan para la recogida de residuos?		
Base de los Vehículos	¿De dónde salen los camiones todos los días?	Dirección Tienen una única base
Tiempo de descarga de camiones		
Problema de asignación de recurso	Los 2 ayudantes siempre los rotan Y los recorridos También	