

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES**

Maestría en Ecoeficiencia Industrial con mención en Eficiencia Energética

**“Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).”**

Realizado por:

**MENA ZAPATA MARCO ANDRES**

Director del proyecto:

**Ing. Marisol del Valle Materran Sanchez, MSc.**

Lectores:

**Ing. Jesús López, Ph.D.**

**Ing. Katty Coral, Msc.**

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGISTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL**

Quito, septiembre, 2020

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

## DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, MARCO ANDRES MENA ZAPATA, con cédula de identidad # 171970263-9, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA

171970263-9

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

## **DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE DESECHOS SÓLIDOS QUE GENERA LA CIUDAD DE QUITO, DESDE LAS ESTACIONES DE TRANSFERENCIA NORTE, SUR HACIA EL RELLENO SANITARIO DEL INGA, MEDIANTE UN ANÁLISIS MULTISECTORIAL (AMBIENTAL, ENERGÉTICO Y ECONÓMICO).”**

Realizado por:

**MARCO ANDRES MENA ZAPATA**

Como Requisito para la Obtención del Título de:  
**MAGISTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL**

Ha sido dirigido por el profesor

**MSC. MARYSOL MATERRAN SANCHEZ**

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

*Marysol Materán S*

FIRMA

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

## LOS PROFESORES INFORMANTES

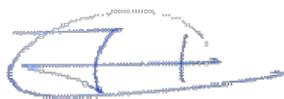
Los Profesores Informantes:

**JESÚS LOPEZ**

**KATTY CORAL**

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral  
ante el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, septiembre 2020

**Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se lo dedico con mucho amor a Dios, a mi familia y esposa, ya que con su apoyo incondicional e ímpetu fue posible su culminación. Gracias por la constancia y los ánimos a seguir creciendo como persona y profesional.

**Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres Marco y Marianita de Jesús; a mis hermanos Paúl y Juan; a mi hermosa esposa María Belén por el apoyo incondicional de todos los días, principalmente cada fin de semana y posterior a las horas de trabajo para llegar a buen término esta etapa de estudios. De igual manera a mi Tutora Marysol, por sus lineamiento y experiencia para llegar a una solución idónea, coherente y de corto plazo para el transporte de residuos sólidos de la Ciudad de Quito. A la Empresa Metropolitana de Gestión de Residuos Sólidos EMGIRS EP por acogerme durante un año dentro de sus filas como Especialista Ambiental y brindarme toda la apertura de datos para el análisis del presente estudio. A mis lectores, Doctor Jesús López por sus consejos y recomendaciones y, a mi entrañable y excelente profesora Katty Coral, que nuevamente tengo la fortuna de contar con su apoyo, lineamientos y consejos como fue hace 10 años para ser un mejor profesional cada día. Por ultimo y no menos importante a mi Universidad Internacional SEK, que me acogió por segunda vez para seguir creciendo profesionalmente y decir en todo momento, en toda instancia soy ORGULLO SEK.

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

## **Resumen.**

El presente proyecto de investigación tiene como propósito la optimización de transporte de 2200 toneladas de residuos y desechos sólidos de la ciudad de Quito, que son almacenadas diariamente en las dos estaciones municipales de transferencia, ubicadas en el norte y sur de la ciudad, para luego ser transportadas hacia el relleno sanitario, ubicado en el sector del INGA, para su disposición final. La Empresa Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos EMGIRS EP, es la encargada de estas dos fases de la gestión (transporte y disposición final), para lo cual realiza una operación de 24 horas 7 días a la semana, generando 3300 toneladas de Co<sub>2</sub> al año. La operatividad continua de la flota y la falta de mantenimientos preventivos produce daños permanentes y de reparación compleja, ocasionando el no cumplimiento de la meta diaria de transporte, generando un almacenamiento prolongado de los residuos sólidos urbanos en las estaciones de transferencia, formando malos olores y proliferación de vectores. Para realizar una propuesta de optimización se tomó datos mediante el método descriptivo, basado en levantamiento de información primaria: horarios de operación, distancia de estaciones de transferencia hacia el relleno sanitario, número de flota para el transporte y costos de operación. Posterior al análisis y creación del modelo matemático, con el apoyo del software LINDO, se identificó la mejor distribución horaria de la flota acorde a las necesidades de la EMGIRS EP, con un ahorro de 34 viajes día al actual procedimiento, como también, los tiempos necesarios para la elaboración de mantenimientos preventivos y correctivos a toda la flota generando una tendencia de 830 toneladas menos de emisiones de Co<sub>2</sub>.

**Palabras clave:** residuos y desechos, optimización, Estaciones de transferencia, programación lineal, huella de carbono.

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

## **Abstract**

The purpose of this research project is to optimize the transport of 2,200 tons of waste and solid waste in the city of Quito, which are stored daily in the two municipal transfer stations, located in the north and south of the city, for later be transported to the sanitary landfill, located in the INGA sector, for final disposal. The Metropolitan Solid Waste Management Company EMGIRS EP oversees these two phases of management (transportation and final disposal), for which it performs 24-hour operation 7 days a week, generating 3300 tons of Co2 per year. The continuous operation of the fleet and the lack of preventive maintenance produces permanent damage and complex repair, causing non-compliance with the daily transport goal, generating a prolonged storage of urban solid waste in the transfer stations, forming bad odors and vector proliferation. To carry out an optimization proposal, data was collected using the descriptive method, based on the gathering of primary information: hours of operation, distance from transfer stations to the sanitary landfill, number of fleets for transportation and operating costs. After the analysis and creation of the mathematical model, with the support of the LINDO software, the best time distribution of the fleet was identified according to the needs of the EMGIRS EP, saving 34 trips a day to the current procedure, as well as the times necessary for the development of preventive and corrective maintenance to the entire fleet, generating a trend of 830 tons less Co2 emissions.

**Keywords:** waste and waste, optimization, Transfer stations, linear programming, carbon footprint

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

## LISTA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
ESTADO DEL ARTE .....	15
Clasificación de los residuos sólidos.....	16
Gestión de residuos sólidos urbanos en Europa.....	16
Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina.....	18
Gestión de Residuos Sólidos en el Ecuador. ....	19
Gestión de Residuos Sólidos en la ciudad de Quito.....	22
Ámbito legal de la Gestión Integral de Residuos Sólidos en la ciudad de Quito.....	24
Residuos sólidos orgánicos compostables. ....	25
Actores para la Gestión Integral de residuos sólidos en la ciudad de Quito (GIRS).....	26
Secretaría de Ambiente.....	26
Empresa Pública Metropolitana de Aseo (EMASEO-EP).....	27
Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de los Residuos Sólidos, EMGIRS -EP .....	27
Investigación de operaciones en el transporte.....	28
Programación Lineal. Modelo de programación lineal .....	29
Variables de decisión:.....	29
Función objetivo.....	29
Restricciones limitantes: .....	29
Programación lineal Software LINDO. ....	29
Huella de carbono en el transporte.....	30
Transporte de carga Sustentable .....	30
Nivel de Servicio (SLA) .....	31
CAPITULO II .....	32
Gestión de transporte de los desechos y residuos solidos del DMQ.....	34
Descripción de las fases de Gestión.....	35
Generación y recolección. -.....	35
Almacenamiento y Transporte. ....	36

**Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).**

<i>Estación de Transferencia Norte</i> .-	36
<i>Estación de Transferencia Sur.</i>	36
<i>Horario de transporte.</i>	40
<i>Capacidad de Carga.</i>	42
<i>Distancia de recorrido.</i>	43
<i>Costos de Transporte.</i>	44
<i>Kilómetros recorridos año 2019</i>	45
<i>Toneladas transportadas (enero-julio 2020) desde las Estaciones de Transferencia hacia el relleno sanitario.</i>	46
<i>Valor promedio por Horario de trabajo.</i>	47
<b>CAPITULO III</b>	49
<i>Variables de decisión.</i>	49
<i>Análisis de condiciones ideales.</i>	51
<i>Tiempos de embarque, transporte y desembarque de los RSU.</i>	51
<i>Análisis de capacidad de carga por viaje.</i>	59
<i>Cálculo de emisiones huella de carbono</i>	62
<b>CAPITULO IV</b>	63
<i>Cálculo de costo por viaje.</i>	64
<i>Restricciones</i>	65
<i>Alternativa 1.</i>	67
<i>Alternativa 2.</i>	68
<i>Comparación entre estado actual, Alternativa 1 - Alternativa 2.</i>	71
<i>Estado Actual EMGIRS EP.</i>	71
<i>Alternativa 1. (15 Tractocamiones 0 back)</i>	72
<i>Alternativa 2. (14 tractocamiones 01 back)</i>	73
<i>Comparación de Emisiones de Co2 para el proceso actual y alternativas</i>	73
<i>Bibliografía.</i>	77

**Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).**

## **LISTA DE ECUACIONES**

Ecuación 1 Valor tonelada por km recorrido .....	44
Ecuación 2 Valor transportado por horario de operación enero 2020-julio2020.....	47
Ecuación 3 Meta de viajes diarios para toda la flota de transporte .....	64
Ecuación 4 Función objetivo minimización de costos de transporte de rsu .....	65
Ecuación 5 Restricciones para estacion norte.....	65
Ecuación 6 Restricción para estacion de transferencia sur .....	65
Ecuación 7 Oferta igual a demanda .....	65
Ecuación 8 Restricciones de viajes por cada día de trabajo.....	66
Ecuación 9 Restricciones de viajes por cada horario de operación .....	66

## **LISTA DE TABLAS.**

Tabla 1 Línea de tiempo de residuos sólidos en la ciudad de quito.....	22
Tabla 2 Estructura de la unidad de transporte y logística.....	34
Tabla 3 Estado actual de la girs-quito .....	35
Tabla 4 Inversión para el transporte de rsu .....	37
Tabla 5 Gastos fijos y variables periodo (2015-2019) .....	38
Tabla 6 Promedio de kilómetros recorrido por la flota de transporte emgirs ep .....	40
Tabla 7 Distribución de horarios de conductores .....	41
Tabla 8 Análisis de ingresos y costos de la unidad de transporte y logística .....	44
Tabla 9 Gastos fijos y variables, unidad de transporte y logística año 2019.....	45
Tabla 10 Kilómetros recorridos de la flota correspondientes al año 2019 .....	45
Tabla 11 Toneladas transportadas desde las estaciones de transferencia hacia el relleno sanitario, en el periodo enero-julio 2020.....	46
Tabla 12 Costo promedio mensual de transporte de rsu en horarios de operación etn a rs .....	47
Tabla 13. Costo promedio mensual de transporte de rsu en horarios de operación ets a rs .....	48
Tabla 14 Análisis de sla por horarios de operación de la estación de transferencia norte.....	51
Tabla 15 Análisis de sla por horarios de operación de transferencia sur.....	53
Tabla 16 Resumen de tiempos de transporte de rsu desde las estaciones de transferencia hacia el relleno sanitario.....	55
Tabla 17 Eficiencia de viajes de transporte de rsu por horario de operación.....	55
Tabla 18 Eficiencia de viajes de transporte de los rsu desde la estación sur hacia el rs, por horario de operación .....	58

**Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).**

Tabla 19	Análisis de transporte de rsu, en el periodo enero 2020-julio 2020 .....	61
Tabla 20	Kilómetros recorridos para el transporte de rsu desde las estaciones de diferencia hacia el rs (periodo enero 2020-julio2020).....	61
Tabla 21	Resultados de emisiones de carbono para el transporte de rsu, año 2019 .....	62
Tabla 22	Datos resumen para el transporte de rsu desde las estaciones de transferencia hacia el rs.....	63
Tabla 23	Costos de viaje idóneo por cada horario de trabajo .....	64
Tabla 24	Costos óptimos de viaje por horario de operación .....	64
Tabla 25	Costos diarios, mensuales de la alternativa 1 .....	67
Tabla 26	Costos diarios, mensuales de la alternativa 2 .....	70
Tabla 27	Análisis de viajes y toneladas transportadas por la emgirs ep, desde enero 2020-julio 2020 .....	71
Tabla 28	Análisis de viajes y toneladas según demanda de 7 meses, bajo los parámetros de alternativa 1.....	73
Tabla 29	Análisis de viajes y toneladas según demanda de 7 meses, bajo los parámetros de alternativa 2.....	73
Tabla 30	Análisis de generación de co2, flota emgirs ep. ....	74

**LISTA DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1	Artículos relacionados a la girs.....	20
Ilustración 2	Problema del transporte ilustración .....	28
Ilustración 3	Estructura orgánica de la emgirs ep .....	33
Ilustración 4	Transporte de rsu desde las estaciones de transferencia hacia el relleno sanitario.....	49
Ilustración 5	Diagrama de tiempos idóneo y real etn-rs.....	54
Ilustración 6	Diagrama de tiempo idóneo y real ets-rs.....	54
Ilustración 7	Promedio de viajes realizados por turno de operación desde la et norte hacia el rs (enero 2020-julio2020) .....	57
Ilustración 8	Análisis estadístico de viajes por horario de operación desde la etn hacia el rs.....	57
Ilustración 9	Promedio de viajes realizados por turno de operación desde la estación norte hacia el rs, en el periodo enero 2020-julio 2020.....	59
Ilustración 10	Análisis de carga de rsu, de cada viaje realizados por los tractocamiones de la emgirs ep.....	60
Ilustración 11	Resultado, corrida alternativa 1 programación lineal lindo .....	67
Ilustración 12	Ingreso de datos de alternativa 2, al software lindo .....	68
Ilustración 13	Resultados de la alternativa 2, software lindo .....	69
Ilustración 14	Obtención de línea de tendencia .....	72

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

## INTRODUCCIÓN

Las distintas empresas, sean estas públicas o privadas, consideran al proceso de logística trascendental para su giro de negocio, donde integra de forma coordinada su inventario, instalaciones, transporte y distribución de los diferentes bienes, servicios o productos, la coordinación y la eficiencia de cada uno de estos implementos representan ahorro económico para las empresas. (Angel León Gonzalez Ariza 2015).

El presente proyecto busca brindar una solución operativa a la Empresa Municipal de Gestión de Residuos Sólidos - EMGIRS EP, referente al transporte diario de desechos y residuos que realiza desde sus dos estaciones de transferencia hacia el relleno sanitario, mediante un análisis de eficiencia en los horarios de transporte, la carga promedio de cada viaje y el número de flota, preguntándonos así ¿Es necesario incrementar la flota actual para el transporte de 2200 toneladas de RSU diarias que son almacenadas en las estaciones de transferencia y trasladadas hacia el relleno sanitario, en un lapso de 24 horas?

El Ecuador bajo la Constitución de la República y en beneficio y derecho de todos sus habitantes de vivir en un ambiente sano, en lo que se refiere a la gestión de los desechos sólidos y bajo las competencias exclusivas de los Gobiernos Municipales descritos en su articulado 264 en su numeral 4to expresa “ *Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley*”.

En el Distrito Metropolitano de Quito se generan diariamente un promedio de 2,200 toneladas de residuos y desechos sólidos. Para la gestión correcta de los residuos y bajo los lineamientos de la Constitución del Ecuador y el Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización - COOTAD determinan que, las competencias exclusivas referente a la gestión integral de desechos sólidos recaen en los Municipios Cantonales. El DMQ para cumplir benévolamente la ley crea bajo ordenanza municipal dos Empresas.

La primera empresa denominada EMASEO EP, se encarga de la recolección a pie de vereda, contenerización y barrido, con el apoyo de 60 carros recolectores; distribuidos en 187 rutas de

**Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).**

pie de vereda, 49 rutas de contenerización y 14 rutas de carga frontal (EMPRESA MUNICIPAL DE ASEO 2018). Posterior a la recolección, las 2200 toneladas diarias son almacenadas temporalmente en las dos estaciones de transferencia ubicadas en el norte y sur de la ciudad de Quito.

La segunda empresa municipal denominada EMGIRS EP, realiza el transporte y la disposición final correcta de los residuos y desechos en el relleno sanitario de Quito, ubicado en el sector del INGA.

Durante el 2019, la EMGIRS EP transportó un promedio de 684,880 t/año. (59.143 t/mes) de RSU desde las estaciones de transferencia hacia el RSQ. Para poder disponer de una manera técnica los residuos sólidos, esta empresa cuenta con maquinaria y equipos que operan de manera constante cumpliendo un régimen de trabajo de 24 horas diarias los 7 días de la semana. En referencia a la flota vehicular, cada tractocamión recorre un promedio de 149.302 kilómetros año. (Julio Morales 2019).

El transporte de los residuos y desechos del DMQ se encuentra en un escenario estático, donde se conoce la distancia y la ruta única de transporte (vía de primer orden). Este escenario tiene divergencia en horas pico de tráfico, alterando así su eficiencia, produciendo sobrecostos a la EMGIRS EP.

El presente documento se enmarca en el análisis del transporte de residuos sólidos que maneja la EMGIRS EP, con el objeto de validar la mejor alternativa de eficiencia mediante multiparámetros: técnico, ambiental y social.

El objetivo principal de esta tesis es el desarrollo de una herramienta de optimización matemática de horarios, mediante la creación de un modelo de programación lineal representativo y su posterior resolución usando el software LINDO, para que el transporte de los desechos y residuos sea más eficiente desde las dos estaciones de transferencia hacia el relleno sanitario.

La herramienta de optimización se basará en un procedimiento de recolección de datos de

**Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).**

tiempos, horarios de trabajo y análisis de la flota que realiza el transporte de 2200 toneladas diarias de desechos y residuos.

El segundo objetivo de la tesis es el análisis multisectorial ambiental y social para obtener un ahorro financiero y económico para la EMGIRS EP.

Por lo antes expuesto, este trabajo se encuentra estructurado en 4 capítulos como se describe a continuación.

El capítulo 1, se basará en un contexto bibliográfico del manejo de desechos sólidos con especificidad en el transporte a su disposición final conocido como el estado del arte. También se describirán los fundamentos detrás de la optimización de problemas de transporte usando modelos de programación lineal (PL), y se describirá el software LINDO, una herramienta sofisticada usada para la resolución de modelos de PL. Por último, se hará referencia a la huella de carbono en el sistema de transporte.

En el Capítulo 2, se identificará la situación actual del manejo del transporte de los desechos sólidos que se encuentra a cargo de la EMGIRS EP, para posteriormente determinar las variables de decisión en relación a las restricciones y los costes asociados que intervendrán para la creación del modelo matemático. De igual manera, en este capítulo se tomará en cuenta las constantes de la EMGIRS EP, estas son la cantidad de desechos orgánicos e inorgánicos a transportar, la capacidad del vehículo expresado en metros cúbicos (m<sup>3</sup>) y la distancia desde las estaciones de transferencia hacia su destino final (Relleno Sanitario del Inga).

En el Capítulo 3, se alimentará las variables escogidas al software LINDO para su análisis de resultados en beneficio de la EMGIRS EP.

Para finalizar el capítulo 4, contemplará los resultados y discusión, se analizará las alternativas planteadas y se realizará la comparación con el proceso actual, su eficiencia, su valor económico por viaje y la generación de emisiones de Co<sub>2</sub>, como de igual manera las conclusiones más significativas derivadas del presente estudio, así como las recomendaciones para un futuro cercano.

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

## **ESTADO DEL ARTE**

Se tratará el concepto básico de la gestión integral de residuos sólidos a nivel Europeo caso Portugal , y América Latina caso Brasil, para luego analizar cómo se encuentra estructurado la GIRS en el Ecuador desde un ámbito de responsabilidades y competencias con base en la Constitución de la República, hasta llegar a su control y seguimiento que cae en manos del hoy llamado Ministerio de Ambiente y Agua, para concluir en la revisión de la normativa local de la ciudad de Quito propuesta en el código municipal Nro 001 del 17 de marzo del 2020.

### **Clasificación de los residuos sólidos**

Los Residuos Sólidos a nivel mundial han sido clasificados de diversas maneras, pero en si, comparten algunas características; desde su origen químico, como de igual manera desde su fuente generadora. (Manuel Virginie 2011).

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI, 2008) en su manual, Introducción a la producción más limpia define “(...) *desechos y las emisiones son materias primas y materiales del proceso - en su mayoría adquiridos a muy alto costo - que no se han transformado en productos comerciables o en materias primas para ser usados como insumo en otro proceso de producción. Incluyen todos los materiales sólidos, líquidos y gaseosos que se emiten al aire, agua o tierra, así como el ruido y el calorresidual. El proceso de producción también comprende actividades que uno a menudo tiende a olvidar, como mantenimiento, reparación, limpieza, así como el área de oficinas.*”

### **Gestión de residuos sólidos urbanos en Europa.**

La gestión de residuos en esta parte del mundo se enmarca desde el principio del siglo XX a un cambio de paradigma en base a un desarrollo sostenible con principios generales de eco-eficiencia, donde se acoge el impacto en la producción primaria, el compromiso social y la factibilidad tanto política como técnica de la implantación de nuevas tecnologías (Lemmes Abril, 1998).

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

Para la gestión integral de residuos sólidos, primero se debe conocer la información básica de patrones de consumo, el poder adquisitivo, los hábitos culinarios y varias otras características sociales, culturales y económicas de cada (Chu et al. 2015).

La gestión de recolección de los desechos en la mayoría de Europa se basó en la recolección diferenciada desde inicio de los años 90. En el caso de Portugal, en el año 1995 según (Pássaro 2003) el 26% de los RSU generados en Portugal aseguraban un tratamiento adecuado, mientras que el resto se eliminaba en más de 340 vertederos (en algunos casos, más de un vertedero por municipio). En relación con la recolección diferenciada, existía un porcentaje mínimo en ciudades metropolitanas, el caso puntual de la ciudad de Lisboa que inicio la recolección de papel y vidrio.

En 2002, después de 7 años de decisiones políticas y técnicas basadas ya en los principios de ecoeficiencia, Portugal pasa a tener 3 plantas de incineración; 7 plantas de recuperación de residuos orgánicos (RSU orgánicos de recolección mixta); 37 rellenos sanitarios; 77 estaciones de transferencia; 18 plantas de clasificación manual de material para empaque de residuos; 133 centros de entrega (eco centros); y, 13500 puntos de entrega (eco puntos). (Pássaro 2003)

Desde el 2002, casi todos los municipios de Portugal realizan recolección mixta, gracias a la construcción de 35 sistemas de gestión de RSU, creando instalaciones centralizadas siguiendo los lineamientos de su plan de gestión integrado de RSU. Para el 2005, Portugal pasa a una segunda fase de ya no colocar en un espacio controlado (relleno sanitario), sino en la construcción de plantas de tratamiento mecánico y biológico (MBT), obteniendo una disminución considerable de lixiviados, emisiones de metano (Viana et al. 2014)

Para llegar a estos resultados, Europa se basó en los principios generales de prevención, recuperación y disposición final, pero significativamente legislación que obliga la reducción de la generación y de igual manera, el cumplimiento de las tres tendencias de gestión de RSU de la Unión Europea que son:

- Imposición de metas de recuperación cada vez más altas.

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

- La restricción del depósito de residuos orgánicos en rellenos sanitarios.
- La implantación de un valor calorífico mínimo para los residuos que serán utilizados para la generación de energía. (municipal-waste-management-across-european-countries)

Así mismo, la tendencia para el 2030 es el tratamiento biológico de la fracción orgánica, misma que es de mayor porcentaje de permanencia en los desechos y residuos sólidos.

### **Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina.**

Según (Alejandrina Sáez 2014) el manejo de los residuos sólidos en la América Latina y el Caribe, bajo un análisis integral y sustentable, se encuentra en un estado insipiente, para que esto tenga un giro de 180 grados se necesita voluntad por parte de los gobernantes, fuertes inversiones y educación continua de la ciudadanía en el tema del aprovechamiento de los residuos.

Todos los países de América latina y el Caribe tienen algo en común que son las etapas de la gestión de residuos sólidos: generación, almacenamiento, recolección, transporte, transferencia, tratamiento y disposición final. Según (Osvaldo Ochoa 2009) el esquema se ha reducido a “recolección y disposición final”, descartando las fases de aprovechamiento, reciclaje y tratamiento de residuos. En muchos países de la región se utilizan vertederos y/o botaderos a cielo abierto, existiendo un gran número de segregadores (recicladores de base) tanto en calle como en los vertederos (Pilar Tello Espinoza 2011).

Sin embargo, todos los esfuerzos de realizar reciclaje de los países de América finalizan en incentivos privados e iniciativas mixtas que no evolucionan ocasionando su deterioro en el tiempo, por no tomar en cuenta tres aspectos, El primer aspecto, el mercado selecciona tecnologías eficientes que no siempre es la apropiada, los niveles actuales de reciclaje pueden reflejar accidentes históricos y fuerzas sociales más que un aspecto económico. La segunda preocupación es por los problemas ambientales a largo plazo en la gestión de residuos sólidos y finalmente, las decisiones sociales que no pueden reducirse a las preferencias individuales de los consumidores (Ackerman 1997).

**Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).**

En relación con la recolección y transporte de residuos sólidos en América Latina, se define como el conjunto de actividades que incluye la recogida y transporte de los residuos sólidos desde los sitios destinados para su depósito o almacenamiento por parte de los generadores, hasta el lugar donde serán descargados. Este lugar puede ser una instalación de procesamiento de materiales, de tratamiento, una estación de transferencia o un relleno sanitario. Para esta actividad y para la disposición final, las empresas/municipios destinan la mayor parte de su presupuesto (Jorge Jaramillo 1999).

Según, (BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO 2010) señala que aproximadamente un 53% de la población de América Latina y el Caribe recibe el servicio de recolección entre 2 y 5 veces por semana, mientras que, el 45,4% tiene una frecuencia de recolección diaria. El 1,8% recibe el servicio de forma semanal. La recolección diferenciada de RSU, comúnmente denominada recolección selectiva es muy baja. No obstante, hay casos como Brasil, donde el 62% de los municipios implementa programas de recolección selectiva de RSU.

En Latinoamérica, entre 60% y 70% del costo total del servicio se utiliza para la recolección y disposición final de residuos sólidos. Para el caso de Latinoamérica y El Caribe, la OPS en el 2015, indicó que el sistema de recolección de residuos sólidos se realiza casa por casa con diversos tipos de vehículos cuyas capacidades varían según el tamaño de la ciudad servida; desde camiones volteo de 3 m<sup>3</sup> hasta camiones compactadores de 15 m<sup>3</sup> de capacidad con 2 a 4 operarios para las ciudades grandes y medianas, mientras que, las ciudades pequeñas y las zonas que no son accesibles con camiones, utilizan vehículos de tracción animal y carritos manuales, generalmente con un solo operario. Este servicio de recolección puerta-puerta resulta mucho más costoso que sistemas semi-mecanizados o mecanizados, pero el nivel de tecnología aplicada a la actividad de recolección depende de la situación económica de cada país. Una práctica común en estos países es el transporte directo desde los sitios de recolección hasta los lugares de disposición final, sin la utilización de intermediarios ni estaciones de transferencia (Javier Silgado 2006)

## **Gestión de Residuos Sólidos en el Ecuador.**

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

Para comprender como se encuentra estructurada la gestión de residuos sólidos en el Ecuador, se ha recopilado en el siguiente cuadro con los artículos relacionados a la GIRS, siguiendo la estructura de KELSEN.

Ilustración 1 Artículos relacionados a la GIRS

Constitución del Ecuador	Artículos 14, 66 numeral 27, 71, 72, 264, 276 numeral 4, 395 numeral 4
Plan nacional de desarrollo 2017-2021 "Toda una Vida"	Objetivo 3, Incrementar del 70.3% al 80 % los residuos sólidos no peligrosos con disp final adecuada a 2021
COOTAD	Artículo 55, literal d.
Código Orgánico Del Ambiente	Capítulo II.- Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos no peligrosos. (art. 228 – 234). <b>Artículo 232.- Del reciclaje inclusivo</b>
Reglamento al Código Orgánico del Ambiente	Gestión integral de Residuos y/o Desechos Sólidos no peligrosos y reciclaje inclusivo
TULSMA	Capítulo VI, sección I.- Gestión integral de Residuos y/o Desechos Sólidos no peligrosos. (art. 55 - 78)

Fuente: Constitución, COOTAD, CODA, RCODA, TULSMA.

Elaboración. Autor.

El Ecuador, bajo la Constitución de la República y el Código Orgánico de Organizacional Territorial (COOTAD) en su artículo 264 para las competencias exclusivas de los Gobiernos Municipales dispone *“Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, **manejo de desechos sólidos**, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley”* la negrilla me pertenece.

Los lineamientos para la ejecución de la GIRS se encuentran enmarcados en el Código Orgánico del Ambiente (CODA), que es de aplicación para todo el territorio nacional.

Para el CODA, residuo son *“ (...) las sustancias sólidas, semisólidas, líquidas o gaseosas, o materiales compuestos resultantes de un proceso de producción, extracción, transformación, reciclaje, utilización o consumo, a cuya eliminación o disposición final se procede conforme a lo dispuesto en la legislación ambiental nacional o internacional aplicable y es susceptible de aprovechamiento o valorización (CODA).*

**Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).**

En el mismo código, su articulado 236 expresa que, las fases de la gestión para los residuos sólidos, serán definidas por la Autoridad Ambiental Nacional, lo cual se encuentra expresado en su (A.M. 061).

El Acuerdo Ministerial No 061 tiene como título la reforma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria y en su Art 49 indica la política general y las fases de gestión de obligatorio cumplimiento para los GADS municipales y las fases de gestión de residuos no peligroso que son: prevención, minimización de la generación en la fuente, clasificación, aprovechamiento y/o valorización, incluye el reusó y reciclaje, tratamiento y disposición final. (A.M. 061).

Para dar fiel cumplimiento a lo estipulado, el Ministerio del Ambiente a partir del año 2009, realiza inspecciones a nivel nacional de la disposición final de los residuos a todos los Gobiernos Autónomos Descentralizados, iniciando procesos administrativos a los municipios que incumplen con la política ambiental implementada.

Posterior a las inspecciones y validando las deficiencias técnicas de los GADs, el MAE en el año 2010, crea el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS), bajo la estructura orgánica del Ministerio de Ambiente (MAE), con el objetivo de impulsar la gestión de los residuos sólidos en los municipios del Ecuador. El 43% de municipios del Ecuador dispone sus residuos sólidos en relleno sanitario; un 36% en botaderos; y, el 21% en celdas emergentes (un terreno destinado a este almacenamiento por un periodo específico) (PNGIDS-MAAE).

Hasta el 2019, el PNGIDS-MAE ha beneficiado a 15 Gobiernos Autónomos Descentralizados - GAD's, con la entrega de geomembrana y ha financiado el estudio de Gestión Integral de Residuos Sólidos de 47 GAD's, de los cuales, 24 han finalizado y los restantes 23 están en proceso. Así consta en la información oficial del MAE-Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos - PNGIDS ECUADOR. Ministerio del Ambiente. (PNGIDS-MAAE).

El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) informa que, cada habitante del Ecuador

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

produce en promedio de alrededor de 0,58 kilogramos de residuos sólidos por día en el área urbana, según la Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, correspondiente al año 2016 (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS Y CENSOS 2018).

### Gestión de Residuos Sólidos en la ciudad de Quito

Según el documento (Centro de Investigaciones CIUDAD 1997) En su título BREVE HISTORIA DE LOS SERVICIOS EN LA CIUDAD DE QUITO, los autores realizan un resumen exhaustivo de los servicios básicos de la ciudad, en relación a la limpieza de la ciudad y gestión de desechos, la información hasta 1994 se recopila en la siguiente tabla.

Tabla 1 Línea de tiempo de residuos sólidos en la ciudad de Quito

FECHA	MODALIDAD / TECNOLOGIA	POB. SERVIDA/ COBERTURA	ACTORES	POLITICAS / CONFLICTOS / VARIOS
1535	Malas condiciones higiénicas de las calles.	Vecinos de la ciudad	Cabildo	6 pesos de multa a los dueños de casa que no mantuvieran limpias las calles.
1593			Cabildo. Vecinos de la ciudad	Nombramiento de Almotacén que pene y saque prendas a las casas donde se echare basura a las calles.
1605	Aseo de calles y acarreo de basura por mitayos que utilizaban carretones.		Cabildo. Mitayos. Juan del Orriño Urquizu.	Cabildo prohíbe que animales deambulen por las calles y que se lave ropa en las pilas.
1644	Mezcla de agua de drenajes y canales con aguas residuales de huertas y casas. Falta de prevención sanitaria.		Cristóbal de Troya Procurador General	Dependencia de aguas lluvia para limpieza de calles. Enfermedades debido a acequias sangradas y sucias. Propone nombrar un Juez de Aguas.
1665	Aseo de calles y acarreo de basura con 2 carretones y 4 indios.		Sobrestante y Alcalde de Aguas. Cabildo. Indios de la ciudad	Era un trabajo exclusivo y obligatorio. 9 p.m. hora del aseo.
1863	Recolección de basura y acarreo hasta las quebradas.		Consejo cantonal y Juez de Aguas.	Ordenanza para emplear 3 carros con sendas bestias para botar basura de calles y particulares en quebradas. Multas contra los que no tenían limpio el frente de las casas y que la
1877	Desalojo de basura hacia las quebradas. Primeros servicios higiénicos.		Cabildo, García Moreno	Ordenanza para construir muros en las calles al borde de las quebradas con aberturas para arrojar basuras. Establece sistema de vigilancia policial. Limpieza diaria. Construcción
1906	Erradicación de pestes y de enfermedades contagiosas debido al mejoramiento de las condiciones sanitarias.		Manuel Jijón Bello	Canalización, dotación de agua potable, urinarios, relleno de quebradas, erradicación presencia de animales.
1908				Transporte de materiales a través del ferrocarril facilita obras y dotación de servicios.
	Recolección y acarreo de basura hacia depósitos o quebradas. Se usaba 16 carretas tiradas por muías.		Comisario de calles, Cuerpo de vigilancia y trabajo de la ciudad	Depósitos en la Plaza Marín y en los 2 Puentes. Horario de trabajo: 4 a.m. a 10 p.m.
1920	Creación de la Dirección de Higiene Municipal que prestaba los servicios de barrido, recolección y evacuación de basura.	Pablo Enrique Albornoz Jijón y Caamaño.	Queja del servicio de recolección de basuras por imposibilidad de conseguir nuevos carros recolectores.	
1930				
1946				

**Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia**

**NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).**

1954	Tendencia a la mecanización. Limpieza de sifones	Barrido 225 km. (calles y plazas) 116 t de basura, 250 peones 18 Municipal Rafael León	Dirección de Higiene	Pedido de canos de presión con 21 m3 de capacidad. Modernización del servicio
1969	Vertederos controlados y relleno de quebradas	Cobertura a 1'000.000 hab. 130 km2 de barrido técnico y manual. 640t de basura/día.	Dirección de Higiene	Antes los residuos eran arrojados al Machángara en diseño de rutas y sectorizaciones. Jornadas nocturnas.
1980	Control de los residuos sólidos urbanos			
1982	Barrido técnico y manual. Sistema de baldeo.			
1994	creación de la Empresa Municipal de Aseo, (EMASEO) sustituyendo a la Dirección de Higiene Municipal.	1'200.000 hab. Con 925 t de basura/ día y 400 t de material de cobertura (construcción). Cobertura del 75% Ampliación al 90% de cobertura	Jamil Mahuad	Política de descentralización del Municipio. Creación del relleno sanitario en "El Cabuyal", botadero controlado de Zábiza y estación de transferencia I. Inician proyectos piloto de reclasificación y reciclaje de basura. Implantación de nuevos horarios de operación y rediseño de rutas.

Fuente:( Vásconez, Mario)

Desde el inicio de la Colonia hasta la década de los años 80, la disposición final de los desechos sólidos de Quito fue el relleno de quebradas, así lo asevera (Peyroinne, 2002), donde cita textual una orden municipal del año 1908 que dice. *“Respecto a la basura doméstica, el 22 de abril de 1908 se publicó una “Reglamentación del modo de recoger y destruir las basuras de la ciudad” firmada por Francisco Andrade Marín, Inspector General de Salud e Higiene.*

*“Este servicio se hará por medio de carretas y carretillas, y en todos los días del año. Las carretas que salen de la ciudad con basura la arrojarán en la última quebrada del Ejido, en el punto intermedio entre el camino del Batán y la carretera del Norte, para que esa basura sea arrastrada por la corriente, en invierno, y sea quemada, en verano. Dicho servicio se hará estrictamente, como va a expresarse:(...)”La negrilla me pertenece (Peyronnie y Maximy 2015).*

Desde 1972 hasta 2002, la disposición final de los residuos de Quito se lo realizó en el Botadero de Zábiza, ubicado al nororiente de la ciudad, en el cauce de la quebrada Porotohuayco, al costado sur de la vía que conduce a la parroquia de Zábiza que hasta esta fecha, la recolección y transporte a la disposición final era realizado por la misma institución. Se calcula que fueron depositados más de 2`500.000 m3 de basura. En el año 2003 se cerró este botadero para disponer desde ese año en el relleno sanitario el Inga. Actualmente este lugar funciona como estación de transferencia número 2 que recibe aproximadamente 1.000 toneladas diarias de residuos sólidos domésticos provenientes de los sectores centro y norte del Distrito

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

Metropolitano. (Victoria Guadalupe Moyano 2012).

Desde 1992, en la Alcaldía del Sr Rodrigo Paz Delgado, se venía planificando la creación de un complejo ambiental, con una visión de 50 años. Después de varios intentos fallidos de lugares idóneos para la creación de dicho complejo, en el año 2002, mediante un boletín informativo, EMASEO EP comunica a la ciudadanía que a partir del año 2003 entraría en operación el relleno Sanitario el Inga, sobre la base de la Ordenanza N. 005 con fecha 21 de diciembre del 2001 (Gilda Gallardo 2006).

Actualmente el Relleno Sanitario del Inga tiene una vida útil de 3 años y medio, acotando las adecuaciones técnicas implementadas en un estudio realizado en el año 2012. (Marco Mena junio,2020b).

### **Ámbito legal de la Gestión Integral de Residuos Sólidos en la ciudad de Quito.**

En el año 2010, según la ordenanza 309 del Concejo Metropolitano de Quito, año 2010, se creó la Empresa Pública Metropolitana de Aseo, misma que se encarga del barrido y recolección de los residuos sólidos residenciales, comerciales, industriales y asimilables a residenciales. Además, apoya las iniciativas de manejo de residuos sólidos y la recuperación de material reciclable. Esta empresa se encuentra financiada principalmente por la tasa de recolección y tratamiento de residuos sólidos, gestión propia de los recursos provenientes de los servicios que ofrece.) (Concejo Metropolitano de Quito 16 de abril 2010).

Por su parte, la Ordenanza 323 del Concejo Metropolitano de Quito, año 2010, establece la creación de la Empresa Pública de Gestión Integral de Residuos Sólidos, cuyo objeto es diseñar, construir, mantener, operar y, en general, explotar la infraestructura del sistema municipal de gestión de residuos sólidos del DMQ, garantizando la calidad y eficiencia en la prestación de los servicios alineados a estándares de calidad internacionales, promueve la implementación de buenas prácticas ambientales, así como el aprovechamiento de los residuos reciclables y reutilizables. Su fuente de financiamiento es a través de la Ordenanza 402 del año 2013 y gestión propia de los recursos provenientes de los servicios que ofrece. (Concejo del Distrito Metropolitano de Quito 18 octubre del 2010).

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

De igual manera la Ordenanza 332 del Concejo Metropolitano de Quito, año 2010, Gestión Integral de Residuos Sólidos del Distrito Metropolitano, cuyo objeto es establecer y regular el funcionamiento del Sistema de Gestión Integral de los Residuos Sólidos del Distrito Metropolitano, fija las normas, principios y procedimientos por los que se rige el sistema. Establece los derechos, deberes, obligaciones y responsabilidades que deben cumplir los ciudadanos, personas jurídicas y empresas públicas y privadas. (Concejo del Distrito Metropolitano de Quito 3 de marzo del 2011).

Código Municipal 001 con su Registro Oficial Edición Especial 902 de fecha 07 de mayo del 2019, con su última modificación el 21 de mayo del 2019, expresamente en su capítulo XI, DE LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.

Alineados al objeto del presente proyecto de investigación, se pondrá en conocimiento los conceptos básicos de la GIRS, de acuerdo a la ordenanza 332 emitida por el Concejo Metropolitano de Quito el 12 de agosto de 2010, misma que servirá posteriormente para definir las atribuciones y obligaciones de las empresas metropolitanas que fueron creadas para la gestión de residuos sólidos.

**Residuos sólidos orgánicos compostables.** “Son aquellos que pueden ser metabolizados en medios biológicos, entre los que se encuentran hojas, madera, restos de comida, carnes, frutas, etc. (Concejo del Distrito Metropolitano de Quito, 2011) **Residuos inorgánicos.** Son los residuos que no tienen origen biológico, entre los que se encuentran: vidrio de botella en colores verde, ámbar y transparente, papel y cartón, plásticos como PET, polietileno de alta y de baja densidad, polipropileno y otros similares, aluminio, latas de acero y metales ferrosos, todos los cuales deben almacenarse limpios. Sin incluir los focos fluorescentes, los residuos inorgánicos no aprovechables son aquellos que no tienen un uso potencial posterior, entre los que se encuentran: residuos sanitarios, pañales desechables, papel higiénico, gasas y algodones usados, tetraempaques y los demás que no estén incluidos en las otras clasificaciones, y que, por su naturaleza, no sean aprovechables.

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

De acuerdo con la citada ordenanza, los residuos sólidos en cuanto a su origen se clasifican de la siguiente manera:

- a) Residuos domésticos no peligrosos;
- b) Residuos domésticos peligrosos (pilas y baterías, navajas, aerosoles);
- c) Residuos viales, (son los que se producen en las vías públicas, calles, plazas, parques, etc.);
- d) Residuos industriales no peligrosos;
- e) Residuos comerciales;
- f) Residuos hospitalarios, son los generados en los establecimientos hospitalarios, centros de salud, investigación biomédica;
- g) Residuos institucionales;
- h) Escombros y otros, son los que se generan por producto de construcciones, demoliciones y obras civiles; tierra de excavación arenas y similares, madera, materiales ferrosos y vidrio; chatarra de todo tipo que no provenga de las industrias, llantas de automóviles, ceniza producto de erupciones volcánicas, material generado por deslaves u otros fenómenos naturales.
- i) Residuos peligrosos, comprenden los objetos, elementos o sustancias que se abandonan, botan, desechan, descartan o rechazan y que sean patógenos, tóxicos, venenosos, corto punzantes, explosivos, radioactivos, inflamables, así como los empaques o envases que los hayan contenido;

### **Actores para la Gestión Integral de residuos sólidos en la ciudad de Quito (GIRS)**

**Secretaría de Ambiente.** Mediante la Ordenanza No. 213 de septiembre 2007, se delega a lo que hoy es la Secretaría de Ambiente la facultad de “Regular, coordinar, normar, controlar y fiscalizar la gestión ambiental de los residuos sólidos, por los que las Concesionarias estarán sujetas a las sanciones que establece la ley.” (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2015), por lo tanto, se encuentra a cargo de la Empresa Municipal de Aseo y le Empresa Metropolitana de Gestión de Residuos Sólidos. (Mauricio Pozo 2016)

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

**Empresa Pública Metropolitana de Aseo (EMASEO-EP)** La Empresa Municipal de Aseo EMASEO inicia sus operaciones en 1994, y desde 1996 está encargada del cobro de la tasa de recolección de basura correspondiente al 10% del valor por consumo de energía eléctrica. Posteriormente, en mayo del 2005 se otorga la facultad del municipio de concesionar, delegar o contratar las actividades de barrido, recolección, transporte, transferencia y disposición final de los residuos sólidos urbanos domésticos, industriales y biológicos no tóxicos y se define que EMASEO y/o sus concesionarias son ejecutoras de la gestión integral de los residuos sólidos, que corresponde a “Reducción, reutilización y reciclaje en domicilios, comercios e industrias, su recolección, transporte, transferencia, industrialización y disposición final.” (Mauricio Pozo 2016)

**Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de los Residuos Sólidos, EMGIRS - EP.** Creada con Ordenanza Metropolitana 323 de 14 de octubre de 2010, encargada de operar las estaciones de transferencia y el manejo técnico del relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos urbanos, de manera que no cause peligro para la salud o la seguridad pública, cuida el ambiente durante la operación y después de su clausura. (Gerencia de Planificación e Innovación Tecnológica, 2015) Con la Ordenanza 332 de marzo 2011 se crea y se regula el Sistema de Gestión Integral de los Residuos Sólidos del DMQ, en la que se establecen normas, principios y procedimientos, así también con derechos, deberes, obligaciones y responsabilidades, de cumplimiento y observancia de ciudadanos, empresas, organizaciones, personas jurídicas, públicas, privadas 25 y comunitarias”, con lo que la gestión integral es delegada a la EMGIRS EP. (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2015) Con lo antes mencionado las competencias de recolección, barrido y transporte es manejado por EMASEO y la transferencia y disposición final por medio de la EMGIRS, (Mauricio Pozo 2016)

Actualmente, para el transporte de los residuos sólidos almacenados en las dos estaciones de transferencia (norte y sur), La EMGIRS EP dispone de 14 Tractocamiones marca FREIGHTLINER adquiridos en el año 2015. Para el año 2017 adquieren 2 tractocamiones marca DAF para fortalecer la flota y llegar a los rendimientos deseados (Marco Mena junio, 2020)

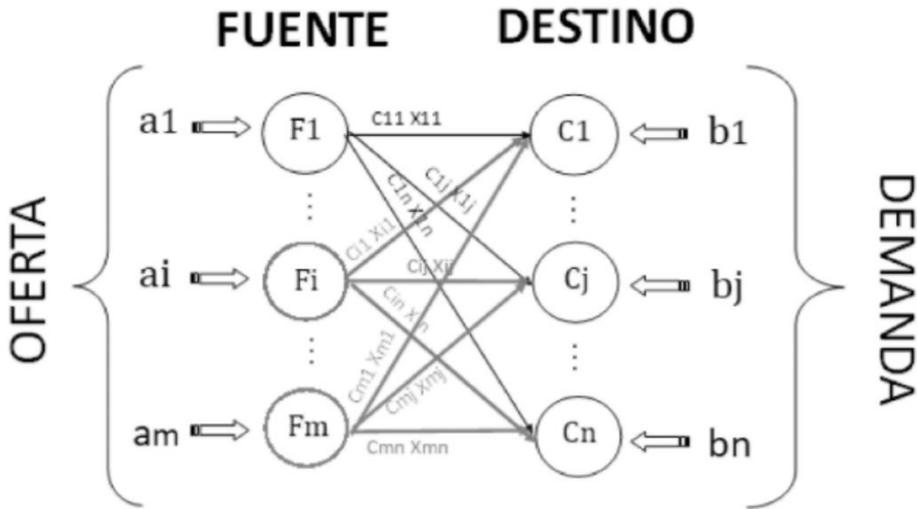
Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

**Investigación de operaciones en el transporte.**

La investigación de operaciones es una disciplina en donde se encuentran la economía, las matemáticas y la informática. Por ello, su estudio puede realizarse de diferentes formas según el aspecto que quiera ponerse en relieve: el económico, los métodos matemáticos o las particularidades de programación de los diferentes algoritmos. Bajo un punto de vista práctico, la investigación de operaciones representa simultáneamente, el camino a seguir para elaborar racionalmente una buena decisión, relativa a actividades económicas y un cierto número de métodos de optimización aplicables, en contextos varios, que son propios de estas actividades. (Alonso Gomollón 1996).

Uno de los modelos de redes clásico y con amplia aplicación corresponde al problema de transporte, el cual tiene como objetivo minimizar los costos asociados al transporte desde una fuente  $i$  hasta un destino  $j$ . El transporte considera características de oferta y demanda, facilitando el desarrollo de técnicas para identificar soluciones factibles y finalmente una solución óptima del problema. (Alzate Montoya 2018).

Ilustración 2 Problema del transporte Ilustración



Fuente: Montoya 2018.

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

## **Programación Lineal. Modelo de programación lineal**

Los modelos matemáticos para problemas de programación lineal están compuestos por cuatro secciones que involucran sus características propias y que buscan satisfacer sus condiciones de tal forma que se cumpla con el objetivo de encontrar valores no negativos que satisfagan las restricciones lineales y optimicen una función lineal conocida como función objetivo.

**Variables de decisión:** son variables respuesta útiles para la toma de decisiones; generalmente, se definen en términos de cantidad o unidad y se identifican como  $X, Y, Z$  o  $x_i$ , siendo  $i = 1, 2, \dots, n$ .

**Función objetivo:** es una función lineal que determina el objetivo global

del problema, siendo el mismo la optimización de la función  $f(X, Y, Z \dots)$  o  $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ .

**Restricciones limitantes:** garantizan el uso de los recursos, llevándolos al límite.

**Condiciones de no negatividad:** aseguran que las variables de decisión sean positivas o iguales a cero  $x_i \geq 0$ . (Alzate Montoya 2018).

## **Programación lineal Software LINDO.**

LINDO es un software específico para resolver problemas de programación lineal, cuadrática y entera, desarrollado por Lindo Systems Inc. de Chicago, Illinois, EUA. Este es un recurso que reduce el tiempo en la obtención de resultados y auxilia en la toma de decisiones.

Este software es un aplicativo que también facilita la reconstrucción de modelos matemáticos posibilitando al usuario verificar hipótesis, explorar descubrimientos, construir conocimientos y, en caso de errores, este cuenta con recursos que permiten identificar cual es la causa de los mismos.

Cuando se ejecuta un modelo matemático de forma inadecuada, existe una gama amplia de posibilidades para corregirlo con base en la lista de errores que el programa LINDO identifica.

**Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).**

Es importante resaltar que este software es utilizado como herramienta de educación en diferentes carreras, lo cual brinda el privilegio de usar los modelos matemáticos como metodología de enseñanza y la posibilidad de buscar amplias soluciones, pues los modelos pueden ser ejecutados las veces que sean necesarias hasta que el usuario este convencido y satisfecho con el resultado. (Márcia Jussara Hepp Rehfeld 2009).

### **Huella de carbono en el transporte**

La huella de carbono es la evaluación de desechos producidos a partir de algún proceso, ya sea industrial o de consumos, donde se mide la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI). El principal aporte a la huella de carbono se produce por la combustión en los vehículos, donde los GEI están compuestos por dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y otros compuestos como óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), dióxido de sulfuro (SO<sub>2</sub>) y materiales particulados, entre otros. En la actualidad, este vertido de gases a la atmósfera está medido y estandarizado según parámetros trazables de la eficiencia de los motores y el tipo de combustible que usan. Esta regla aplica tanto para transporte en camión, tren, barco y avión. En general se utilizan las normativas ISO 14067 y la UE 16258, las cuales proponen un traslado y conversión de todos los compuestos químicos a Dióxido de Carbono, logrando una homologación y horizontalización que es fácilmente comparable y cuantificable.

El transporte aporta entre el 10 y el 20% de los gases de efecto invernadero. La cuarta parte de este impacto es generada por el transporte automotor de cargas. (Carlos Gutiérrez 2018).

En caso Ecuador, según (Gabriela Quinde 2017) en el periodo (2012-2014) las emisiones de CO<sub>2</sub> provocados por el consumo de diésel aumentó en 40.23% billones de toneladas métricas, este debido al consumo excesivo diésel Premium pues es el resultado de una mejor calidad de carburante utilizado especialmente por el transporte público ya sean estos camiones o autobuses.

### **Transporte de carga Sustentable**

A partir del 2019, La Intergremial de Transporte Profesional de Carga Terrestre de Uruguay (ITPC), construyeron un proyecto denominado “Transporte de Carga Sustentable”, con el objeto

**Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).**

de que las empresas del transporte de carga logren cuantificar la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos, dependiendo su giro de negocio; teniendo así, herramientas online útiles para alcanzar este análisis y validar su gestión ambiental. (Centro de Innovación en Organización Industrial).

### **Nivel de Servicio (SLA)**

Algo importante y que no se ha manejado en un procedimiento de transporte es valorizar el nivel de servicio que se define como el porcentaje de la demanda que la empresa es capaz de atender dentro de un plazo determinado. Por lo tanto, representa el grado de satisfacción de los clientes y la probabilidad esperada de no llegar a una situación de falta de existencias.

Optimizar el nivel de servicio es fundamental tal que se cumpla con el nivel definido, siendo que, es algo en constante cambio, donde las compañías (idealmente) van evolucionando hacia un mejoramiento continuo.

El propósito de la gestión de los niveles de servicio es asegurar que estos, tanto los actuales como los planificados, sean entregados de acuerdo con los objetivos planteados en un tiempo ideal. (Cristina Gil Santander 2007).

## CAPITULO II

Como se describió en el anterior capítulo, para la gestión de los residuos sólidos en la ciudad de Quito existen dos empresas municipales plenamente constituidas. Para llegar al objeto de la presente tesis, nos enfocaremos en la Empresa Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS EP).

En el mes de octubre del 2010, el Concejo del Distrito Metropolitano de Quito, mediante la Ordenanza Metropolitana No. 323, creó la empresa pública denominada “Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos, EMGIRS EP, cuyo objeto principal es: “a) Diseñar, planificar, construir, mantener, operar y, en general, explotar la infraestructura del sistema municipal de gestión de residuos sólidos del DMQ.

b) Prestar servicios atinentes al objeto previsto en el literal anterior, a través de la infraestructura a su cargo, directamente o por medio de sus empresas filiales unidades negocios; y,

c) Las demás actividades operativas y de prestación de servicios relativas a las competencias que le corresponden al Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, de conformidad con el ordenamiento jurídico nacional y metropolitano en el ámbito del manejo integral de los residuos sólidos del DMQ.” (Concejo del Distrito Metropolitano de Quito, 2010, págs. 2-6).

Para cumplir con el objetivo de la gestión integral deberán:

a) “Garantizar calidad y eficiencia para la prestación de los servicios, observando las normas y estándares de calidad internacional;

b) Prevenir los riesgos para el agua, el aire, el suelo y ambiente en general;

c) Fomentar la prevención y reducción de la producción de los desechos y residuos sólidos, a través de su reutilización y reciclaje;

d) Coordinar la prestación de los servicios con observancia de los estándares de calidad y eficiencia en cuanto a buenas prácticas ambientales, salud ocupacional y seguridad industrial;

e) Promover la implementación de buenas prácticas ambientales, así como el aprovechamiento e industrialización de los residuos reciclables y reutilizables; y,

f) Promover y organizar campañas de concientización y educación, congresos, seminarios”.

(Concejo del Distrito Metropolitano de Quito, 2010, págs. 2-6) Misión: “Gestionar el sistema de manejo, tratamiento, y aprovechamiento de RSU del DMQ con responsabilidad social y

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

ambiental, de manera eficiente, técnica, integral y transparente para contribuir al logro de una ciudad solidaria y de oportunidades.” (EMGIRS-EP 2018).

Visión: “Ser una empresa innovadora sustentable, referente a nivel nacional en la gestión integral de residuos sólidos.” (EMGIRS-EP 2018).

Los trabajadores de la EMGIRS EP, acogidos al art 220, 221 y 223 del Código de Trabajo crean el Comité Central Único del Comité de Empresas de Trabajadores CETRAEMGIRS-EP, donde más del 50% de trabajadores operativos de la empresa pertenecen al comité, actualmente se encuentran en negociación con la gerencia actual para tener mejores beneficios tanto en; sus indemnizaciones, jubilaciones y horarios de trabajo.

Ilustración 3 . Estructura Orgánica de la EMGIRS EP



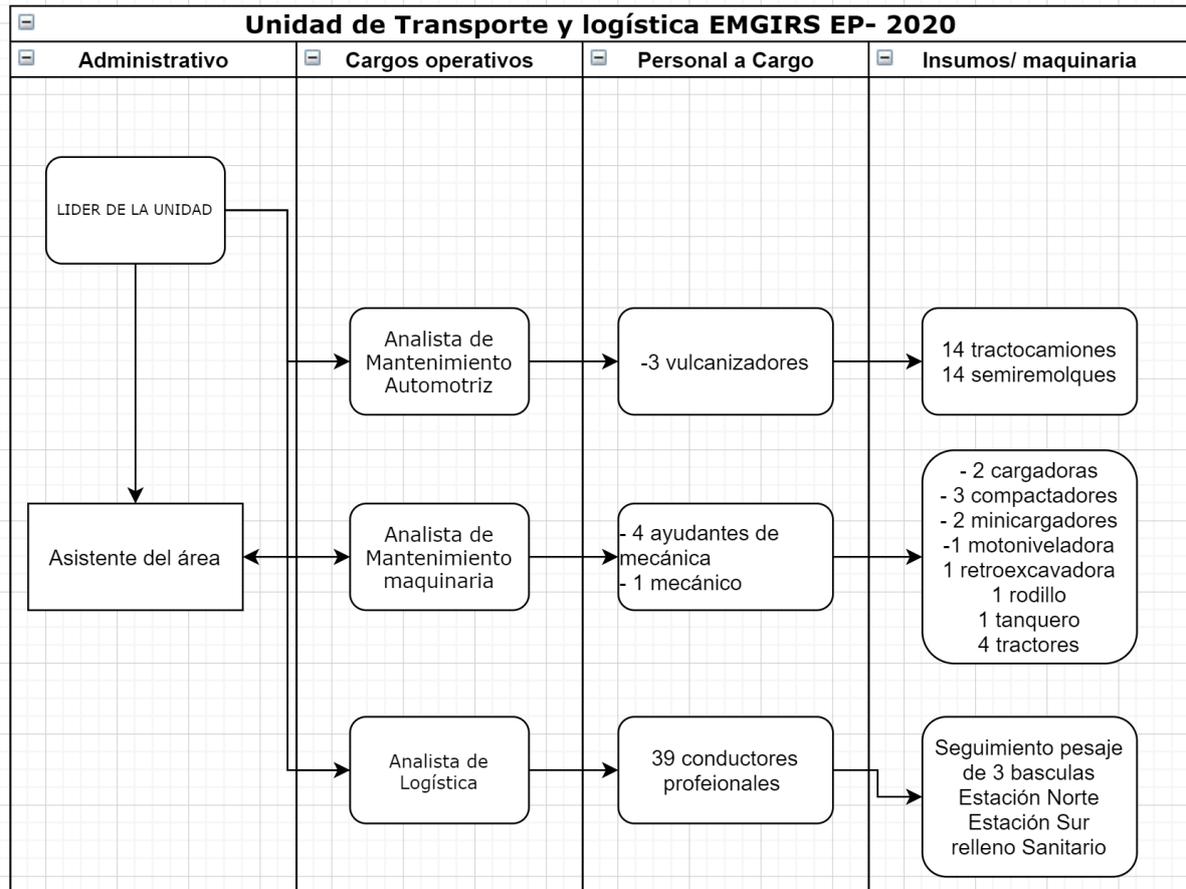
Fuente. EMGIRS 2018- RENDICIÓN DE CUENTAS.

Dentro de la Gerencia de Operaciones se encuentra la Unidad de Transporte y Logística, misma que es la responsable del mantenimiento de la flota vehicular y la maquinaria necesaria para la operación. Para el año 2019, la EMGIRS EP, recorrió un total de 2’258,085 Km en sus 16 tractocamiones para transportar 795,744 toneladas al relleno sanitario del DMQ (Julio

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).  
 Morales 2019).

La Unidad de logística y Transporte de la EMGIRS EP, se encuentra conformada por el siguiente flujograma

Tabla 2 Estructura de la Unidad de Transporte y Logística



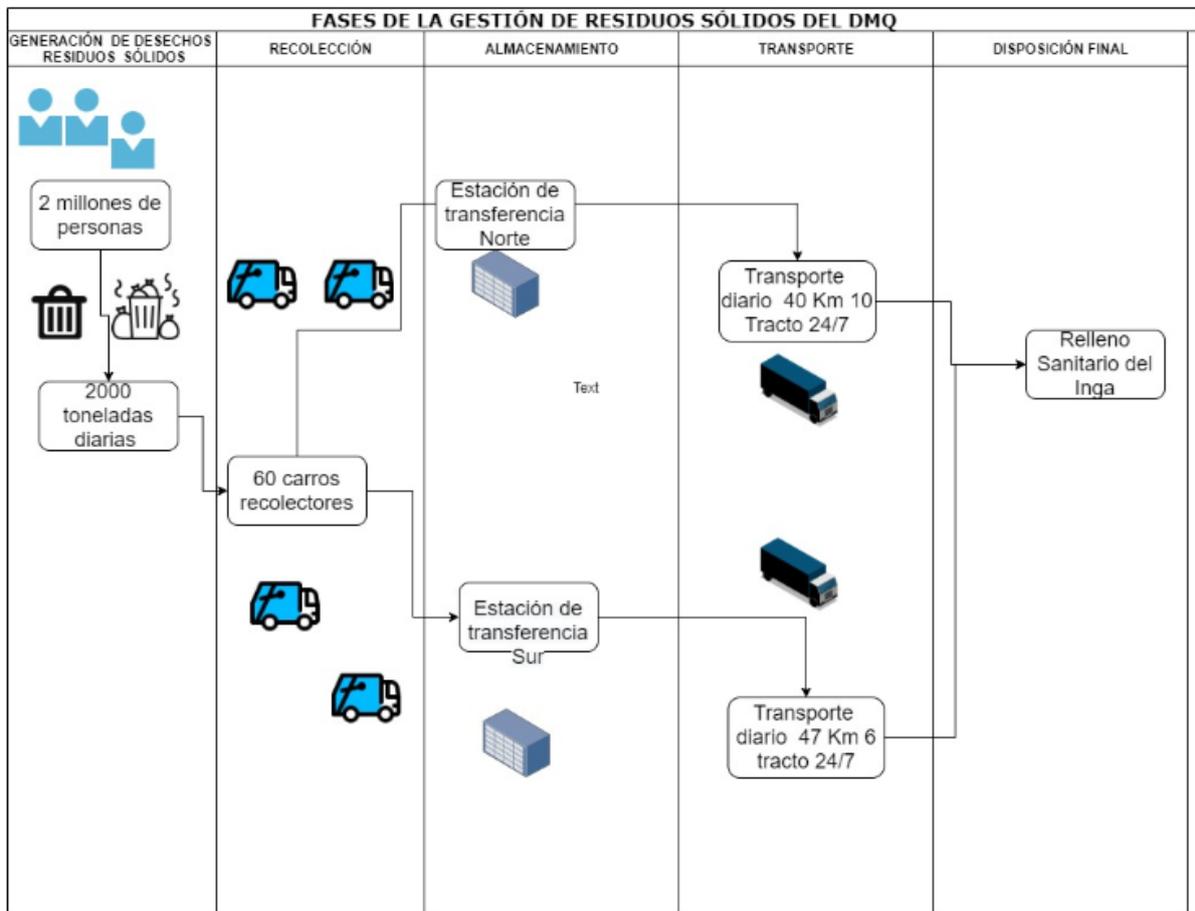
Fuente: Datos UTL-EMGIRS EP 2020,  
 Realizado: Autor

### Gestión de transporte de los desechos y residuos solidos del DMQ.

Para entender de mejor manera el transporte de los desechos y residuos generados en el DMQ, se presenta un esquema de su estado actual de la GIRS.

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

Tabla 3 Estado Actual de la GIRS-Quito



Fuente: EMASEO EP 2020, EMGIRS EP 2020,  
Elaborado: Autor

### Descripción de las fases de Gestión.

*Generación y recolección.* - Alrededor de 3 millones de habitantes de la ciudad de Quito, generan diariamente 2,200 toneladas de desechos y residuos sólidos. La recolección en la zona urbana y rural lo realiza la Empresa Metropolitana de Aseo (EMASEO EP) con el apoyo de 60 carros recolectores distribuidos en 187 rutas de pie de vereda, 49 rutas de contenerización y 14 rutas de carga frontal (EMPRESA MUNICIPAL DE ASEO 2018).

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

*Almacenamiento y Transporte.* Desde esta fase hasta la disposición final, la institución encargada es la Empresa Metropolitana de Gestión de Desechos Sólidos (EMGIRS EP). Posterior al depósito de residuos sólidos por parte de EMASEO EP en la estaciones de transferencia Norte y Sur con un promedio de 1200 y 1100 toneladas diarias respectivamente.

*Estación de Transferencia Norte .-* Ubicada en la Avda. de las Palmeras E11-73 y Avda. Eloy Alfaro, con una área aproximada de 3000 m<sup>2</sup>, que en la actualidad recibe aproximadamente un promedio de 1200 toneladas diarias de residuos y desechos sólidos provenientes de los sectores centro Norte y valles de Cumbayá de la ciudad de Quito.



Fotografía 1. Estación de transferencia Norte. EMGIRS 2020

*Estación de Transferencia Sur.* Ubicada en la Avda. Simón Bolívar, Barrio Tambo del Inca, junto al parque Metropolitano del Sur, con un área operativa de 1800 m<sup>2</sup>, recibe diariamente un promedio de 1000 toneladas de desechos y residuos sólidos provenientes del sur y parroquias aledañas del DMQ.

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).



Fotografía 2. Estación de transferencia Sur.

La EMGIRS EP, desde el año 2015 adquirió 16 camiones con las características técnicas para el transporte de los residuos y desechos por un valor de \$ 2,995,048.60 según el siguiente detalle.

Tabla 4 Inversión para el transporte de RSU

Año	Detalle	Valor unitario	Número adquirido	Valor total	Observaciones
2015	Adquisición de (14) catorce tractocamiones Freightliner	\$117,546.17	14.00	\$1,645,646.38	No. 003-CP-EMGIRS-EP-2015
2015	Adquisición de (14) catorce semiremolques de 2 ejes	\$71,012.43	14.00	\$994,174.02	No. 011-CP-EMGIRS-EP-2015
2017	Adquisición de dos tractocamiones DAF	\$107,800.00	2.00	\$215,600.00	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2017-003
2017	Adquisición de (2) dos semiremolques de 3 ejes	\$69,814.10	2.00	\$139,628.20	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2017-003
<b>TOTAL</b>				<b>\$2,995,048.60</b>	

Fuente: EMGIRS (2020).

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

Elaboración: Autor

Como costos variables, para el transporte de los residuos sólidos desde el año 2015, la EMGIRS EP ha invertido un valor de \$ 11,404,850.98, conforme el siguiente detalle.

Tabla 5 Gastos fijos y variables periodo (2015-2019)

AÑO	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	Numero	Total	OBSERVACIONES
2015	Mantenimiento Tracto camiones Freightliner	\$135,953.58	1.00	\$135,953.58	No. 003-CP-EMGIRS-EP-2015
2016	Mantenimiento Tracto camiones Freightliner	\$60,000.00	1.00	\$60,000.00	Convenio de pago
2017	Mantenimiento Tracto camiones Freightliner	\$363,600.00	1.00	\$363,600.00	No. 037-EMGIRS-EP-GGE-CJU-2016
2018	Mantenimiento Tracto camiones	\$721,257.74	1.00	\$721,257.74	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2017-022
2018	Mantenimiento Tracto camiones DAF	\$114,671.00	1.00	\$114,671.00	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2017-003
2019	Mantenimiento Tracto camiones DAF	\$49,958.83	1.00	\$49,958.83	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2018-021
2019	Mantenimiento Tracto camiones Freightliner	\$771,019.52	1.00	\$771,019.52	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2018-009
2017	Mantenimiento semiremolques	\$168,110.00	1.00	\$168,110.00	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2017-021
2018	Mantenimiento semiremolques	\$141,985.38	1.00	\$141,985.38	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2018-010
2017	bodega taller	\$211,500.90	1.00	\$211,500.90	COTO-EMGIRS-01-2017
2017	ADQUISICIÓN DE AROS DE HIERRO	\$4,264.40	1.00	\$4,264.40	Ofi. Adjudicación No. 055-IC-2017
2017	ADQUISICIÓN DE GRASAS Y ACEITES	\$3,331.48	1.00	\$3,331.48	Ofi. Adjudicación No. 076-IC-2017
2017	SERVICIO DE SUELDAS EMERGENTES	\$5,820.00	1.00	\$5,820.00	Ofi. Adjudicación No. 044-IC-2017
2017	SERVICIO DE LAVADAS DE TRACTOCAMIONES	\$5,736.00	1.00	\$5,736.00	Ofi. Adjudicación No. 052-IC-2017
2017	ADQUISICIÓN REPUESTOS SEMIRREMOLQUES	\$5,963.50	1.00	\$5,963.50	Ofi. Adjudicación No. 012-IC-2017
2018	ADQUISICIÓN DE AROS DE HIERRO	\$6,931.60	1.00	\$6,931.60	Ofi. Adjudicación No. 033-IC-2018
2018	ADQUISICIÓN DE GRASAS Y ACEITES	\$3,212.82	1.00	\$3,212.82	Ofi. Adjudicación No. 044-IC-2018
2018	ADQUISICIÓN DE AROS DE HIERRO	\$6,931.60	1.00	\$6,931.60	Ofi. Adjudicación No. 033-IC-2018
2018	ADQUISICIÓN REPUESTOS SEMIRREMOLQUES	\$6,967.20	1.00	\$6,967.20	Ofi. Adjudicación No. 052-IC-2018

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia

NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

2018	ADQUISICIÓN DE CARPAS PARA SEMIRREMOLQUES	\$5,170.00	1.00	\$5,170.00	Ofi. Adjudicación No. 014-IC-2018
2017	ADQUISICIÓN DE EQUIPOS E INSUMOS	\$45,000.00	1.00	\$45,000.00	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2017-015
2018	INFIMA ADQUISICIÓN DE INSUMOS DE VULCANIZADO	\$5,964.30	1.00	\$5,964.30	Ofi. Adjudicación No. 028-IC-2018
2016	llantas 295R22,5 TRACCION Y DIRECCIÓN	\$181,895.66	1.00	\$181,895.66	CATE-EMGIRS-006-2016
2017	llantas 295R22,5 TRACCION Y DIRECCIÓN	\$371,966.01	1.00	\$371,966.01	CATE-EMGIRS-001-2017
2018	llantas 295R22,5 TRACCION Y DIRECCIÓN	\$416,601.93	1.00	\$416,601.93	CATE-EMGIRS-014-2017
2018	REENCAUCHE DE NEUMÁTICOS (320)	\$55,305.60	1.00	\$55,305.60	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2017-027
2016	Servicio de Combustible	\$209,366.41	1.00	\$209,366.41	ATEXAM
2016	Adquisición de combustible	\$260,656.45	1.00	\$260,656.45	Petroecuador
2017	Servicio de abastecimiento de combustible 1	\$408,734.38	1.00	\$408,734.38	N° 038-EMGIRS-EP-GGE-CJU-2016
2018	Servicio de abastecimiento de combustible 2	\$412,578.66	1.00	\$412,578.66	N° EMGIRS-EP-GGE-CJU-2018-002
2018	Mantenimiento Tracto camiones DAF	\$185,987.39	1.00	\$185,987.39	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2018-021
2018	Mantenimiento Tracto camiones Freightliner	\$771,019.52	1.00	\$771,019.52	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2018-009
2019	Mantenimiento Tracto camiones Freightliner	\$469,858.77	1.00	\$469,858.77	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2019-016
2019	Mantenimiento semiremolques	\$182,682.16	1.00	\$182,682.16	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2018-010
2019	ADQUISICIÓN DE SISTEMA ENCARPADO DE CARPAS	\$71,750.00	1.00	\$71,750.00	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2018-027
2019	ADQUISICIÓN DE GRASAS Y ACEITES	\$5,640.00	1.00	\$5,640.00	Ofi. Adjudicación No. 032-IC-2019
2019	GPS	\$3,440.00	1.00	\$3,440.00	Ofi. Adjudicación No. 045-IC-2019
2019	ADQUISICIÓN DE AROS DE HIERRO	\$6,851.00	1.00	\$6,851.00	Ofi. Adjudicación No. 018-IC-2019
2019	INFIMA ADQUISICIÓN DE INSUMOS DE VULCANIZADO	\$6,299.18	1.00	\$6,299.18	Ofi. Adjudicación No. 028-IC-2019
2019	llantas 295R22,5 TRACCION Y DIRECCIÓN	\$412,478.62	1.00	\$412,478.62	CATE-EMGIRS-013-2018
2019	REENCAUCHE DE NEUMÁTICOS (320)	\$61,136.00	1.00	\$61,136.00	No. EMGIRS-EP-GGE-CJU-2018-018

**Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia**

**NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).**

2019	Servicio abastecimiento de combustible 3	\$424,459.27	1.00	\$424,459.27	N° EMGIRS-EP-GGE-CJU-2019-001
2019	LIDER 1	\$2,308.00	12.00	\$27,696.00	talento humano
2019	CONDUCTORES 39	\$49,920.00	12.00	\$599,040.00	talento humano
2019	ANALISTAS 3	\$5,028.00	12.00	\$60,336.00	talento humano
2019	VULCANIZADORES 3	\$2,400.00	12.00	\$28,800.00	talento humano
2019	ASISTENTES 1	\$780.00	4.00	\$3,120.00	talento humano
2019	Camisa industrial	94	24.91	\$2,341.54	Uniformes
2019	Pantalón industrial	94	19.99	\$1,879.06	Uniformes
2019	Zapatos punta de acero	47	60.05	\$2,822.35	uniformes
2019	Chompas	47	44.43	\$2,088.21	uniformes

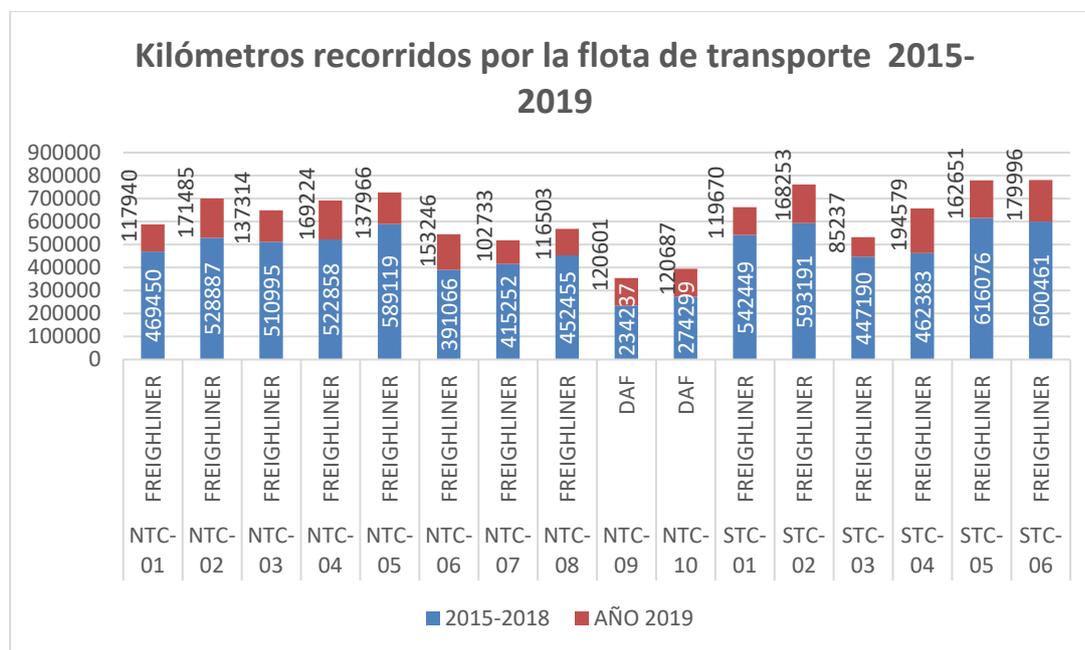
**TOTAL \$11,404,850.98**

Fuente: EMGIRS 2020.

Elaboración: Autor

En relación con la distancia recorrida, cada tractocamión recorrió 150,000 km promedio por año, como lo describe la siguiente gráfica.

Tabla 6 Promedio de kilómetros recorrido por la flota de transporte EMGIRS EP



Fuente: EMGIRS 2020

Elaborado: Autor

**Horario de transporte.**

Para transportar los residuos y desechos sólidos, la distribución de horarios de conductores se distribuye de la siguiente manera.

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia

NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

Tabla 7 Distribución de horarios de conductores

SEPTIEMBRE – 2020																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Día	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M
JOSE LEON	V	V	V	V	V	V	D	D	D	D	D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T			D	D
EDGAR AGUILERA	T	T	T	T	T		D	D	D	D	D		D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D		D
DANIEL IMBAQUINGO	T	T	T	T	T		D	D	D	D		D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	
MARIO FELIX	T	T	T	T	T		D	D	D		D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D
MARCO ANDRANGO	T	T	T	T	T		D	D		D	D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D
FAUSTO CRUZATI	T	T	T	T	T		D		D	D	D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D
JAVIER FLORES		D	D	D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T			D	D	D	D	D	D	N	N	N
BLADIMIR VACA	D		D	D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D		D	D	D	D	D	N	N	N
PABLO TOPON	D	D		D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D		D	D	D	D	N	N	N
SEGUNDO SOLANO	D	D	D		D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D		D	D	D	N	N	N
JORGE ESCANDON	D	D	D	D		D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D	D		D	D	N	N	N
GUIDO PEREZ	D	D	D	D	D		N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D	D	D		D	N	N	N
VINICIO DIAZ	D	D	D	D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D	D	D	D		N	N	N
ROLANDO GUERRA	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D		D	D	D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T
DARLIN TERAN	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D		D	D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T
JUAN SANCHEZ	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D		D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T
FREDDY VASQUEZ	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D	D		D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T
MIGUEL NARVAEZ	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D	D	D		D	N	N	N	N	N	N		T	T	T
BRYAN SIMBAÑA	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D	D	D	D		N	N	N	N	N	N		T	T	T

SEPTIEMBRE – 2020																															
Fecha	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Día	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	
IVAN PULLAS	T	T	T	T	T		D		D	D	D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D	
TEOFILO FLORES	T	T	T	T	T		D	D		D	D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D	
CARLOS PADRON	T	T	T	3	T		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V		T	T	T	T	3	T		D	D	D
LUIS ESCOBAR	T	T	T	T	T		D	D	D	D		D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D		
HERNAN CHIRIBOGA	T	T	T	T	T		D	D	D	D	D		D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D		D	
BLADIMIRO CHANCUSIG	T	T	T	T	T		D	D	D	D	D	D		N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T			D	D	
IVAN GOMEZ		D	D	D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D	D	D	D		N	N	N	
CRISTIAN ZUMBA	D		D	D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D	D	D		D	N	N	N	
LUIS BASCO	D	D		D	D	D	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D	D		D	D	N	N	N	

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia

NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

EDISON MALES	D	D	D		D	D	N	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D	D		D	D	D	N	N	N		
ALFREDO SANCHEZ	D	D	D	D		D	N	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D	D		D	D	D	D	N	N	N		
JAIME TORRES	D	D	D	D	D		N	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T		D		D	D	D	D	D	N	N	N		
JORGE PADRON	D	D	D	D	D	D	N	N	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T			D	D	D	D	D	D	N	N	N		
MARCO GUASUMBA	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T	T		D		D	D	D	D	D		N	N	N	N	N	N		T	T	T	
GONZALO POZO	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T	T		D	D		D	D	D	D		N	N	N	N	N	N		T	T	T	
SANTIAGO VELASQUEZ	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T	T		D	D	D		D	D	D		N	N	N	N	N	N		T	T	T	
BOLIVAR TOAPANTA	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T	T		D	D	D	D		D	D		N	N	N	N	N	N		T	T	T	
PATRICIO SIMBA	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T	T		D	D	D	D	D		D		D	N	N	N	N	N	N		T	T	T
SOCRATES OÑA	N	N	N	N	N		T	T	T	T	T	T	T		D	D	D	D	D	D		N	N	N	N	N	N		T	T	T		

### Simbología

DIAS		HORARIO
TURNO DIA	D	06H00 - 14H00
TURNO TARDE	T	14H00 - 22H00
TURNO NOCHE	N	22H00 - 06H00
VACACIONES	V	
PERMISO MEDICO	P	
CERCO EPIDEMIOLÓGICO	C.E	
DESCANSO DE TURNO		----

Fuente: EMGIRS EP 2020

Elaboración: Autor.

Como se interpreta en el diagrama 4, el cronograma se encuentra diseñado para que cada conductor tenga descanso de 1 día, entre semana y uno en fin de semana, cada dos meses. De igual manera, cada dos semanas se intercambian de turno, sea este diurno (06h00-14h00), vespertino (14h00-22h00) y nocturno (22h00-06h00).

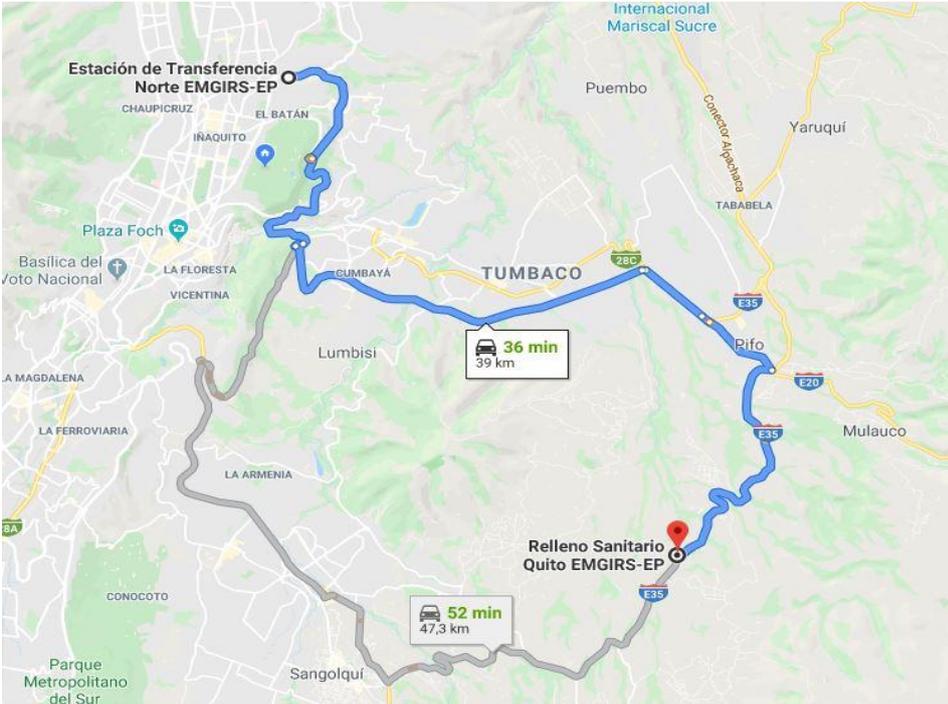
### Capacidad de Carga.

La capacidad de carga de cada tractocamión es de 28 toneladas, sin embargo, según protocolos internos, la capacidad de cada viaje es de 26 toneladas. (IPIALES, 2019).

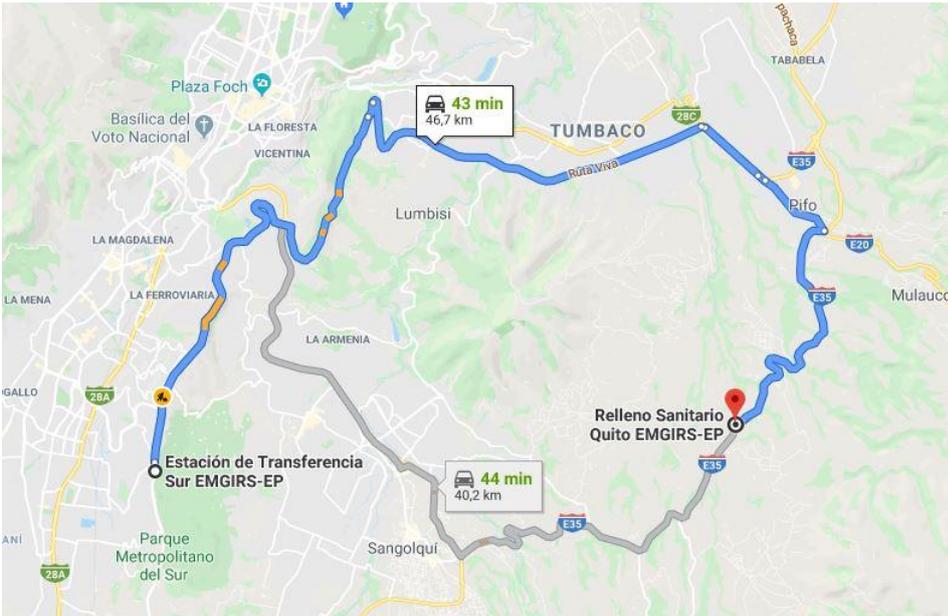
Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

**Distancia de recorrido.**

La distancia de la estación norte hacia el relleno sanitario es de 40 Km



La distancia de la estación sur hacia el relleno sanitario es de 47 km.



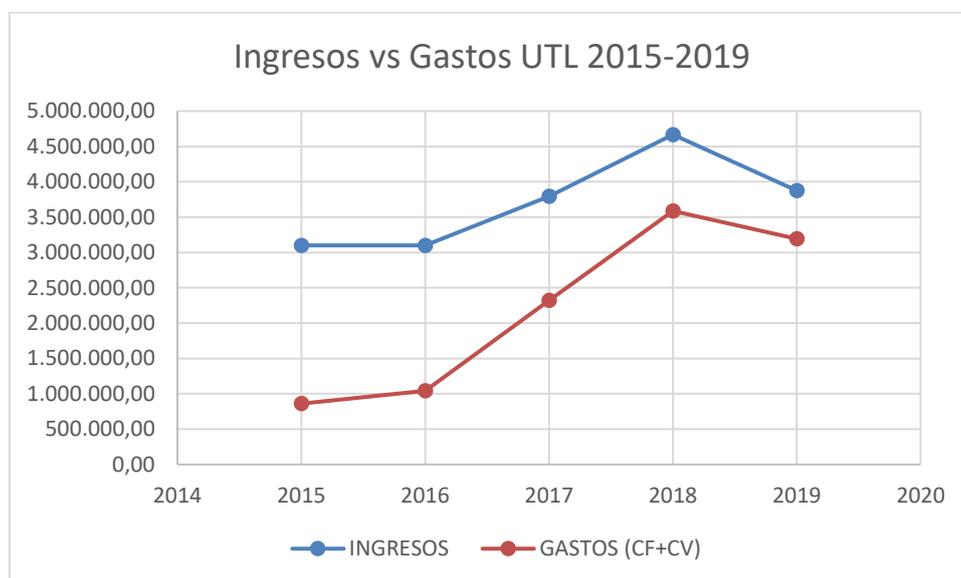
Los ingresos de la EMGIRS EP, para el transporte y gestión final de los desechos sólidos

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

equivale al 19% de la tasa de recolección, que para el 2019 fue un aproximado de 11 millones de dólares, de lo cual para la unidad de transporte y logística equivale el 30%. (EMGIRS EP, 2020).

Para tener una relación en el tiempo de los costos del transporte, se realizó un análisis de la data de gastos fijos y variables desde el año 2015, en relación con los ingresos a la unidad de transporte y logística que se encuentran a continuación.

Tabla 8 Análisis de ingresos y costos de la Unidad de Transporte y Logística



Fuente: EMGIRS EP, 2020.  
Elaborado: Autor

Como se describe en la tabla 6 la EMGIRS EP, desde el 2015 hasta el año 2019, tuvo un incremento del 50 % de gastos cada año para el transporte de residuos y desechos para el relleno.

### Costos de Transporte.

La Unidad de Transporte y Logística para obtener el costo de transporte de desechos realiza la siguiente ecuación:

*Ecuación 1 Valor tonelada por km recorrido*

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

$$Km * Tonelada = \frac{\frac{Valor\ total\ de\ gastos}{Total\ Km\ recorrido}}{2} \div \frac{Peso\ promedio\ carga\ semirremolque}{}$$

Para obtener el valor por Km transportado de desechos para el año 2020, la Unidad de Transporte y Logística obtuvo los gastos variables incurrido en el año 2019 y el km total de los tracto camiones de ese año, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 9 Gastos fijos y variables, Unidad de Transporte y Logística año 2019

<b>GASTOS INCURRIDOS AÑO 2019</b>	
<b>DETALLE GASTOS VEHICULOS PESADOS</b>	<b>TOTAL</b>
MANTENIMIENTO TRACTOCAMIONES	\$1,426,865.68
MANTENIMIENTO SEMIRREMOLQUES	\$182,682.16
ADQUISICIÓN INSUMOS PARA LA OPERACIÓN	\$87,681.00
VULCANIZADORA	\$6,299.18
ADQUISICIÓN DE LLANTAS Y REENCAUCHE	\$473,614.62
ADQUISICIÓN DE COMBUSTIBLE	\$424,459.27
TALENTO HUMANO	\$658,556.00
DOTACIÓN ROPA DE TRABAJO	\$9,131.16
<b>TOTAL</b>	<b>\$3,269,289.07</b>

Fuente: EMGIRS 2020.  
Elaboración: Autor

## **Kilómetros recorridos año 2019**

Tabla 10 kilómetros recorridos de la flota correspondientes al año 2019

<b>KM RECORRIDOS AÑO 2019</b>		
<b>TRACTO CAMION</b>	<b>MARCA</b>	<b>AÑO 2019</b>
NTC-01	FREIGHLINER	117940
NTC-02	FREIGHLINER	171485
NTC-03	FREIGHLINER	137314
NTC-04	FREIGHLINER	169224
NTC-05	FREIGHLINER	137966
NTC-06	FREIGHLINER	153246
NTC-07	FREIGHLINER	102733

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

NTC-08	FREIGHLINER	116503
NTC-09	DAF	120601
NTC-10	DAF	120687
STC-01	FREIGHLINER	119670
STC-02	FREIGHLINER	168253
STC-03	FREIGHLINER	85237
STC-04	FREIGHLINER	194579
STC-05	FREIGHLINER	162651
STC-06	FREIGHLINER	179996
<b>TOTAL KM 2019</b>		<b>2258085.0</b>

Fuente: EMGIRS 2020  
Elaborado: Autor

$$\text{Valor } x \text{ km} = \frac{\frac{\$ 3,269,289.07}{2258085}}{26} = \$ 0,111 \text{ centavos}$$

Fuente EMGIRS EP 2020,

### Toneladas transportadas (enero-julio 2020) desde las Estaciones de Transferencia hacia el relleno sanitario.

Desde enero 2020 hasta julio del 2020, los 15 tractocamiones han transportado 336,993.99 toneladas desde las dos estaciones de transferencia hacia el relleno, distribuidos en sus tres horarios operativos, según el siguiente detalle:

Tabla 11 Toneladas transportadas desde las estaciones de transferencia hacia el relleno sanitario, en el periodo enero-julio 2020

<b>Transporte de Toneladas desde Estación Norte hacia Relleno Sanitario (enero 2020-julio2020)</b>					
<b>Disco Camión</b>	<b>Meses (2020)</b>	<b>Horario I</b>	<b>Horario II</b>	<b>Horario III</b>	<b>Total</b>
		<b>(6H00-14h00)</b>	<b>(14h00-22h00)</b>	<b>(22h00-06H00)</b>	
NTC-01	enero-julio	9482.87	9200.91	9669.87	28353.65
NTC-02	enero-julio	6055.96	5303.69	5913.24	17272.89
NTC-03	enero-julio	1470.37	1208.48	1488.81	4167.66
NTC-04	enero-julio	9842.04	9336.35	10792.75	29971.14
NTC-05	enero-julio	10484.59	9869.81	11561.15	31915.55
NTC-06	enero-julio	8328.74	8071.84	9688.42	26089
NTC-07	enero-julio	9189.32	8764.1	10230.72	28184.14

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

NTC-08	enero-julio	649.5	438.25	516.81	1604.56
NTC-09	enero-julio	8783.27	8551.66	9288.54	26623.47
NTC-10	enero-julio	9628.39	8988.66	10396.26	29013.31
<b>TOTAL</b>		<b>73915.05</b>	<b>69733.75</b>	<b>79546.57</b>	<b>223195.37</b>

<b>Transporte de Toneladas desde Estación Sur hacia Relleno Sanitario (enero 2020-julio2020)</b>					
<b>Disco Camión</b>	<b>Meses (2020)</b>	<b>Horario I (6H00-14h00)</b>	<b>Horario II (14h00- 22h00)</b>	<b>Horario III (22h00- 06H00)</b>	<b>Total</b>
STC-01	enero-julio	9195.2	8914.81	10022.26	28132.27
STC-02	enero-julio	4077.61	4526.36	5107.25	13711.22
STC-03	enero-julio	8733.5	8173.31	9458.43	26365.24
STC-04	enero-julio	9392.14	9172.94	10701.13	29266.21
STC-05	enero-julio	4720.99	4583.32	5162.91	14467.22
STC-06	enero-julio	633.61	526.48	696.06	1856.15
<b>TOTAL</b>		<b>35897.22</b>	<b>35897.22</b>	<b>41148.04</b>	<b>113798.31</b>

Fuente: EMGIRS EP.

Elaborado: Autor.

### Valor promedio por Horario de trabajo.

Conociendo el valor por km transportado de desechos sólidos obtenido por la Unidad de Transporte y Logística, como también los datos diarios del peso del transporte por cada tracto camión, podemos deducir el costo promedio de transporte de desechos y residuos por viaje que invierte la EMGIRS EP, obteniendo la siguiente ecuación.

*Ecuación 2 Valor transportado por horario de operación enero 2020-julio2020*

$$CVTH = tht * costo Km * d(etn) \text{ o } d(ets)$$

Donde:

CVTH = Costo valor transportado por horario

tht = Tonelada promedio por horario de trabajo

Costo Km = \$ 0,11 centavos

d (etn) = 40 km

d(ets) = 47 km

Por lo tanto, se obtiene lo siguiente:

*Tabla 12 Costo promedio mensual de transporte de RSU en horarios de operación ETN a RS*

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia

NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

Estación	Constantes	Horario I	Horario II	Horario III
		(06h00 - 14h00)	(14h00- 22h00)	(22h00- 06H00)
Norte	Promedio toneladas transportadas (t)	7391.505	6973.375	7954.657
	Valor Km (\$0,11) Distancia (40 km)	\$32,523	\$30,683	\$35,000

**Tabla 13.** Costo promedio mensual de transporte de RSU en horarios de operación ETS a RS

Estación	Constantes	Horario I	Horario II	Horario III
		(06h00 - 14h00)	(14h00- 22h00)	(22h00- 06H00)
Sur	Promedio toneladas transportadas (t)	6125.508	5982.870	6858.006
	Valor Km (\$0,11) Distancia (47 km)	\$31,669	\$30,931	\$35,456

Fuente: EMGIRS EP, 2020

Elaborado: Autor.

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

### CAPITULO III

Conociendo los datos de transporte de desechos y residuos, en el capítulo III se realizará la comprobación de los datos, mediante el análisis de la data de ingreso y peso de cada tracto camión que ingresa al relleno sanitario correspondiente de los meses de enero 2020 hasta julio 2020; como de igual manera un análisis de (SLA) en cada estación de transferencia con el fin de conseguir tiempos internos reales vs tiempos óptimos de operación teniendo en cuenta factores dependientes de la empresa como son: toneladas de transporte por camión, tiempo en cada estación para carga de desechos y datos independientes como es el tiempo externo del promedio en cada horario de transporte (3 turnos), ocasionado por el tráfico, característica de cada horario de trabajo.

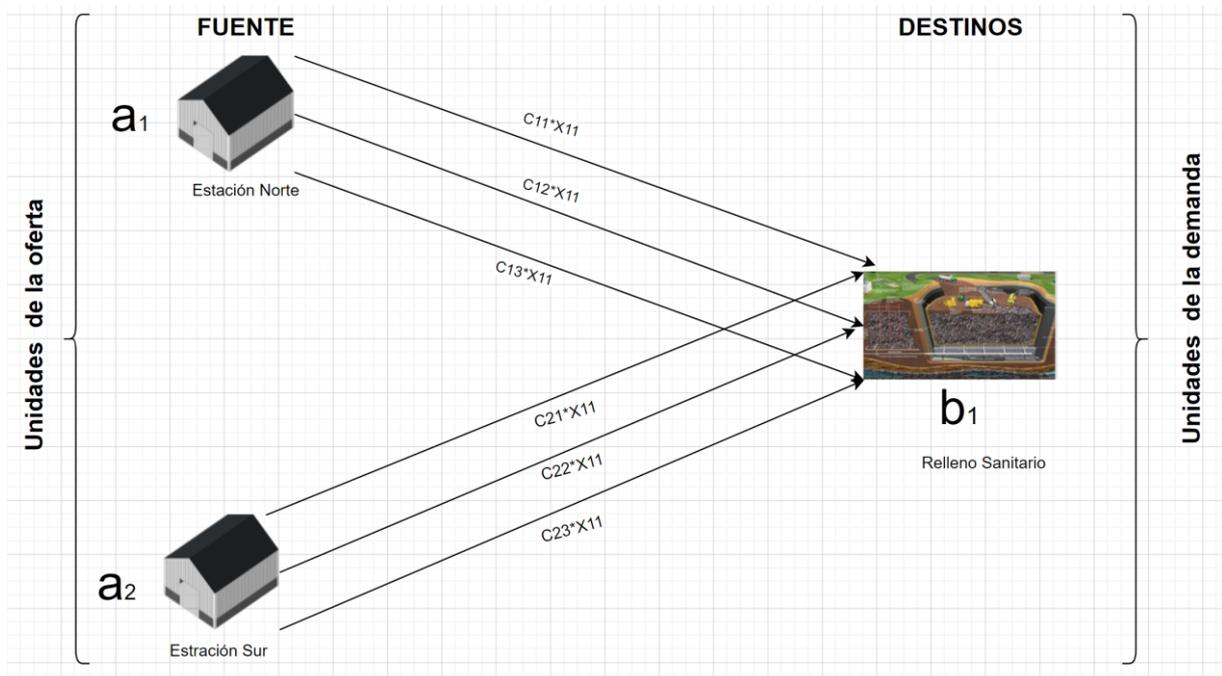
Este análisis tiene el fin de encontrar nuestras variables de decisión, variables útiles, restricción, limitantes, condiciones de no negatividad y la función objeto para obtener todos los datos y llevarlos al software LINDO para identificar la mejor eficiencia en el transporte y buscar un ahorro económico y ambiental.

#### **Variables de decisión**

Para el transporte de los desechos sólidos desde las estaciones de transferencia hacia el relleno sanitario, se expresa en el siguiente diagrama.

*Ilustración 4 Transporte de RSU desde las estaciones de transferencia hacia el relleno sanitario*

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).



Elaboración: Autor

Donde.

a1 = Capacidad de almacenamiento de Estación Norte 1200 toneladas diarias.

a2 = Capacidad de almacenamiento de Estación Sur 1000 toneladas diarias.

C11 = Costo transporte en horario diurno (06h00 hasta 14h00) de Estación Norte hacia relleno.

C12 = Costo transporte en horario vespertino (14h00 hasta 22h00) de Estación Norte hacia relleno.

C13 = Costo de horario nocturno (22h00 hasta 06h00) de Estación Norte hacia relleno.

C21 = Costo transporte en horario diurno (06h00 hasta 14h00) de Estación Sur hacia relleno.

C22 = Costo transporte en horario vespertino (14h00 hasta 22h00) de Estación Sur hacia relleno.

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

C23 = Costo de horario nocturno (22h00 hasta 06h00) de Estación Sur hacia relleno.

X11 = 26 toneladas de desechos sólidos por viaje

El modelo del transporte de la EMGIRS EP debe ser balanceado, lo que significa que todo lo que se encuentra en las fuentes (estación norte y estación sur) debe llegar al destino (relleno sanitario) en los tres horarios de operación de transporte.

### Análisis de condiciones ideales.

### Tiempos de embarque, transporte y desembarque de los RSU.

Para obtener las condiciones ideales del transporte, se necesita el promedio de tiempo optimo y actual en el procedimiento del transporte de desechos y residuos desde las estaciones de transferencia hacia el relleno sanitario. Para llegar a la obtención de esta información se basó en el levantamiento de tiempos de cada proceso que conlleva el transporte de residuos, mediante un modelo de nivel de servicio (SLA), teniendo los siguientes resultados.

Tabla 14 Análisis de SLA por horarios de operación de la estación de transferencia norte

PUNTO	ACTORES	FACTORES	Horario 1 (06h00-14h00)			Horario 2 (14h00-22h00)			Horario 3 (22h00-06h00)			
			tiempo idóneo	tiempo real	Promedio	tiempo idóneo	tiempo real	Promedio	tiempo idóneo	tiempo real	Promedio	
Estación Norte	TRACTO CAMIÓN	Entrada báscula	0:00:32	0:00:36	0:00:34	0:00:32	0:00:36	0:00:34	0:00:32	0:00:36	0:00:34	
		Desinfección tracto	0:00:15	0:00:17	0:00:16	0:00:15	0:00:17	0:00:16	0:00:15	0:00:17	0:00:16	
		Pesaje	0:00:47	0:00:54	0:00:50	0:00:47	0:00:54	0:00:50	0:00:47	0:00:54	0:00:50	
		Ubicación para embarque	0:02:15	0:02:34	0:02:24	0:02:15	0:02:34	0:02:24	0:02:15	0:02:34	0:02:24	
		Volumen de carga	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
		Tiempo de embarque	0:05:10	0:05:53	0:05:32	0:05:10	0:06:00	0:05:35	0:05:10	0:05:53	0:05:32	
		Salida de estación de transferencia	0:02:00	0:02:17	0:02:08	0:02:00	0:02:17	0:02:08	0:02:00	0:02:17	0:02:08	
		Tiempo de transporte (única ruta)	0:54:35	1:02:14	0:58:24	1:01:41	1:09:05	1:05:23	0:53:03	0:59:25	0:56:14	
		Entrada a RS	0:00:10	0:00:11	0:00:11	0:00:10	0:00:11	0:00:11	0:00:10	0:00:11	0:00:11	
		Pesaje de báscula	0:00:38	0:00:43	0:00:41	0:00:38	0:00:43	0:00:41	0:00:38	0:00:43	0:00:41	

**Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia**

**NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).**

	Tiempo a cubeto en operación	0:02:00	0:02:17	0:02:08	0:02:00	0:02:17	0:02:08	0:02:00	0:02:17	0:02:08
	Ubicación para desembarque	0:01:15	0:01:25	0:01:20	0:01:15	0:01:25	0:01:20	0:01:15	0:01:25	0:01:20
	Desembarque	0:04:00	0:04:34	0:04:17	0:04:00	0:04:34	0:04:17	0:04:00	0:04:34	0:04:17
	Tiempo de cubeto de operación a bascula	0:02:00	0:02:17	0:02:08	0:02:00	0:02:17	0:02:08	0:02:00	0:02:17	0:02:08
	Peso de camión	0:00:38	0:00:43	0:00:41	0:00:38	0:00:43	0:00:41	0:00:38	0:00:43	0:00:41
	Salida de Rs	0:00:05	0:00:06	0:00:05	0:00:05	0:00:06	0:00:05	0:00:05	0:00:06	0:00:05
	Tiempo a estación de transferencia	0:47:00	0:53:35	0:50:17	0:53:07	1:00:01	0:56:34	0:44:35	0:50:23	0:47:29
<b>TIEMPO</b>		<b>2:03:20</b>	<b>2:20:36</b>	<b>2:11:58</b>	<b>2:16:32</b>	<b>2:34:00</b>	<b>2:25:16</b>	<b>1:59:23</b>	<b>2:14:35</b>	<b>2:06:59</b>

Elaboración: Autor

Optimización del sistema de transporte de desechos sólidos que genera la ciudad de Quito, desde las estaciones de transferencia

NORTE, SUR hacia el relleno Sanitario del Inga, mediante un análisis multisectorial (ambiental, energético y económico).

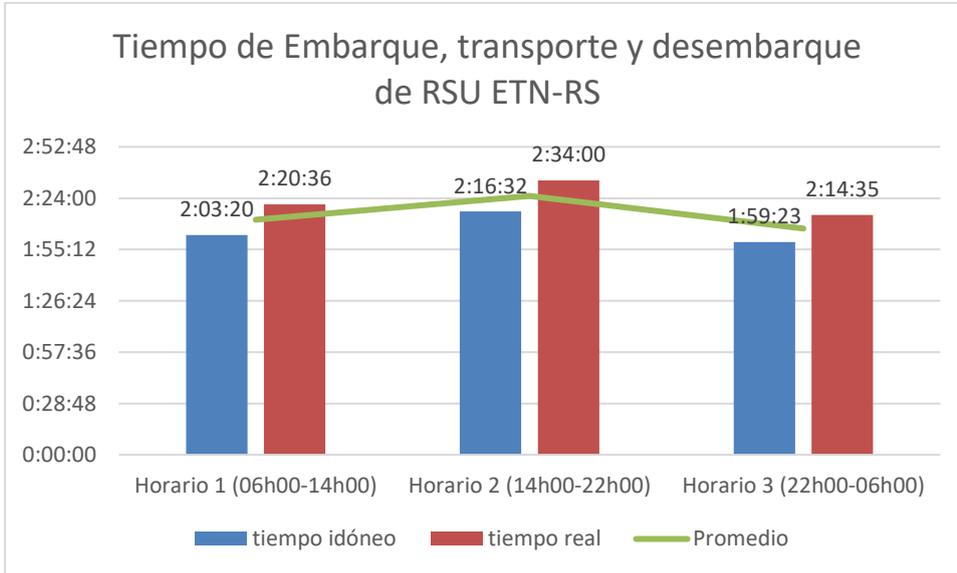
Tabla 15 Análisis de SLA por horarios de operación de transferencia sur

PUNTO	ACTORES	FACTORES	Horario 1 (06h00-14h00)			Horario 2 (14h00-22h00)			Horario 3 (22h00-06h00)		
			tiempo idóneo	tiempo real	Promedio	tiempo idóneo	tiempo real	Promedio	tiempo idóneo	tiempo real	Promedio
Estación Sur	TRACTO CAMIÓN	Entrada báscula	0:00:32	0:00:36	0:00:34	0:00:32	0:00:36	0:00:34	0:00:32	0:00:36	0:00:34
		Desinfección tracto	0:00:15	0:00:17	0:00:16	0:00:15	0:00:17	0:00:16	0:00:15	0:00:17	0:00:16
		Pesaje	0:00:47	0:00:53	0:00:50	0:00:47	0:00:54	0:00:50	0:00:47	0:00:54	0:00:50
		Ubicación para embarque	0:02:45	0:03:06	0:02:56	0:02:15	0:02:34	0:02:24	0:02:15	0:02:34	0:02:24
		Volumen de carga	26.00	26.00	0:00:00	26.00	26.00	0:00:00	26.00	26.00	26.00
		Tiempo de embarque	0:04:10	0:04:43	0:04:26	0:05:10	0:05:53	0:05:32	0:05:10	0:05:53	0:05:32
		Salida de estación de transferencia	0:02:00	0:02:16	0:02:08	0:02:00	0:02:17	0:02:08	0:02:00	0:02:17	0:02:08
		Tiempo de transporte (única ruta)	0:57:40	1:05:10	1:01:25	1:05:10	1:12:59	1:09:04	0:56:42	1:03:30	1:00:06
		Entrada a RS	0:00:10	0:00:11	0:00:11	0:00:10	0:00:11	0:00:11	0:00:10	0:00:11	0:00:11
		Pesaje de báscula	0:00:38	0:00:43	0:00:40	0:00:38	0:00:43	0:00:41	0:00:38	0:00:43	0:00:41
		Tiempo a cubeto en operación	0:02:00	0:02:16	0:02:08	0:02:00	0:02:17	0:02:08	0:02:00	0:02:17	0:02:08
		Ubicación para desembarque	0:01:15	0:01:25	0:01:20	0:01:15	0:01:25	0:01:20	0:01:15	0:01:25	0:01:20
		Desembarque	0:04:00	0:04:31	0:04:16	0:04:00	0:04:34	0:04:17	0:04:00	0:04:34	0:04:17
		Tiempo de cubeto de operación a báscula	0:02:00	0:02:16	0:02:08	0:02:00	0:02:17	0:02:08	0:02:00	0:02:17	0:02:08
		Peso de camión	0:00:38	0:00:43	0:00:40	0:00:38	0:00:43	0:00:41	0:00:38	0:00:43	0:00:41
		Salida de Rs	0:00:05	0:00:06	0:00:05	0:00:05	0:00:06	0:00:05	0:00:05	0:00:06	0:00:05
		Tiempo a estación de transferencia	0:49:00	0:55:22	0:52:11	0:55:22	1:02:34	0:58:58	0:44:35	0:50:23	0:47:29
<b>TIEMPO</b>			<b>2:07:55</b>	<b>2:24:33</b>	<b>2:16:14</b>	<b>2:22:17</b>	<b>2:40:21</b>	<b>2:31:19</b>	<b>2:03:02</b>	<b>2:18:40</b>	<b>2:10:51</b>

Elaboración: Autor

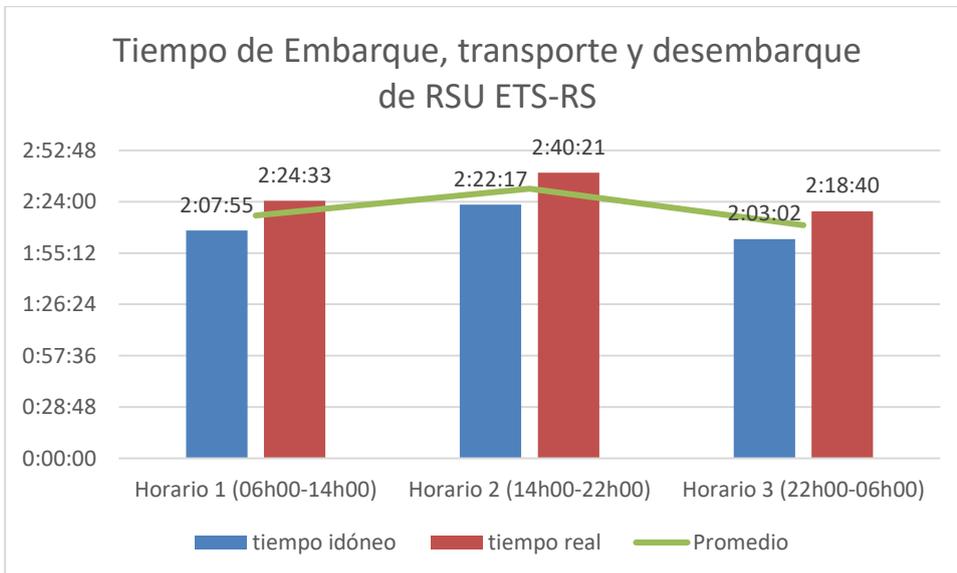
Posterior al análisis de SLA, podemos interpretar los siguientes tiempos óptimos para el transporte de los RSU

Ilustración 5 Diagrama de tiempos idóneo y real ETN-RS



Elaborado: Autor

Ilustración 6 Diagrama de tiempo idóneo y real ETS-RS



Elaborado: Autor

Para la variable tiempo de transporte se tomará en cuenta el tiempo idóneo de cada estación de transferencia por horario de operación, obteniendo el siguiente cuadro:

Tabla 16 Resumen de tiempos de transporte de RSU desde las estaciones de transferencia hacia el relleno sanitario

Estación	Tiempo	Horario 1 (06h00-14h00)	Horario 2 (14h00-22h00)	Horario 3 (22h00-06h00)
Norte	<b>tiempo idóneo</b>	<b>2:03:20</b>	<b>2:16:32</b>	<b>1:59:23</b>
	<b>tiempo real</b>	2:20:36	2:34:00	2:14:35
	<b>Promedio</b>	2:11:58	2:25:16	2:06:59
Sur	<b>tiempo idóneo</b>	<b>2:07:55</b>	<b>2:22:17</b>	<b>2:03:02</b>
	<b>tiempo real</b>	2:24:33	2:40:21	2:18:40
	<b>Promedio</b>	2:16:14	2:31:19	2:10:51

Elaboración: Autor

Teniendo en cuenta, que el tiempo más prolongado es de 2h31 minutos y conociendo que cada horario de operación es de 8 horas laborables por cada turno, la EMGIRS EP, podría realizar 3 viajes por tracto camión por turno, lo cual significa que cada tractocamión debería realizar 9 viajes diarios, sin embargo por causalidades externas y por rango de seguridad, la EMGIRS EP tiene como mínimo realizar 216 viajes por mes por camión, que da un promedio de 72 viajes/mes por horario de trabajo por camión.

No obstante, luego del análisis de la data de información de ingresos de los tracto camiones, se pudo obtener la eficiencia del transporte de los RSU de las estaciones de transferencia hacia el relleno sanitario, la cual se encuentra como promedio bajo del 60%, como indica el siguiente diagrama.

Tabla 17 Eficiencia de viajes de transporte de RSU por horario de operación

Disco	Horario	enero	Número de viajes	febrero	Número de viajes	marzo	Número de viajes	abril	Número de viajes	mayo	Número de viajes	junio	Número de viajes	julio	Número de viajes
NTC-01	Horario 1	31%	22	78%	56	83%	60	51%	37	82%	59	69%	50	99%	71
	Horario 2	29%	21	83%	60	76%	55	61%	44	74%	53	72%	52	93%	67
	Horario 3	28%	20	90%	65	88%	63	63%	45	67%	48	75%	54	96%	69
NTC-02	Horario 1	103%	74	57%	41	0%	0	0%	0	0%	0	68%	49	82%	59
	Horario 2	57%	41	51%	37	0%	0	0%	0	0%	0	64%	46	71%	51
	Horario 3	97%	70	54%	39	0%	0	0%	0	0%	0	67%	48	85%	61
NTC-03	Horario 1	71%	51	0%	0	0%	0	1%	1	0%	0	0%	0	0%	0
	Horario 2	58%	42	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
	Horario 3	74%	53	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
NTC-04	Horario 1	17%	12	76%	55	96%	69	63%	45	89%	64	79%	57	99%	71

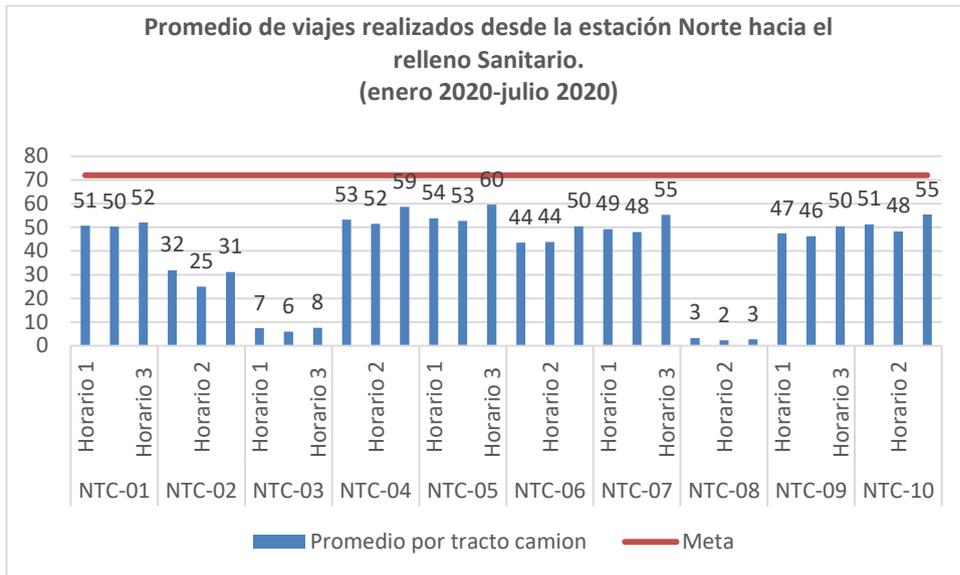
	Horario 2	25%	18	69%	50	85%	61	74%	53	85%	61	65%	47	99%	71
	Horario 3	21%	15	86%	62	94%	68	82%	59	97%	70	82%	59	108%	78
NTC-05	Horario 1	92%	66	82%	59	81%	58	39%	28	90%	65	83%	60	57%	41
	Horario 2	83%	60	75%	54	74%	53	57%	41	83%	60	76%	55	64%	46
	Horario 3	93%	67	81%	58	89%	64	58%	42	96%	69	85%	61	78%	56
NTC-06	Horario 1	94%	68	72%	52	46%	33	54%	39	74%	53	61%	44	22%	16
	Horario 2	94%	68	68%	49	44%	32	71%	51	61%	44	61%	44	26%	19
	Horario 3	106%	76	78%	56	47%	34	78%	56	90%	65	65%	47	26%	19
NTC-07	Horario 1	78%	56	0%	0	83%	60	65%	47	79%	57	79%	57	94%	68
	Horario 2	74%	53	0%	0	72%	52	75%	54	71%	51	83%	60	92%	66
	Horario 3	86%	62	0%	0	86%	62	85%	61	89%	64	93%	67	99%	71
NTC-08	Horario 1	0%	0	0%	0	32%	23	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
	Horario 2	0%	0	0%	0	22%	16	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
	Horario 3	0%	0	0%	0	26%	19	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
NTC-09	Horario 1	90%	65	8%	6	40%	29	65%	47	82%	59	81%	58	94%	68
	Horario 2	97%	70	6%	4	42%	30	79%	57	64%	46	81%	58	82%	59
	Horario 3	101%	73	6%	4	42%	30	82%	59	78%	56	94%	68	88%	63
NTC-10	Horario 1	89%	64	71%	51	19%	14	65%	47	83%	60	93%	67	78%	56
	Horario 2	94%	68	63%	45	10%	7	67%	48	90%	65	69%	50	76%	55
	Horario 3	103%	74	75%	54	21%	15	68%	49	92%	66	92%	66	89%	64

Fuente: EMGIRS EP 2020.

Elaboración: Autor.

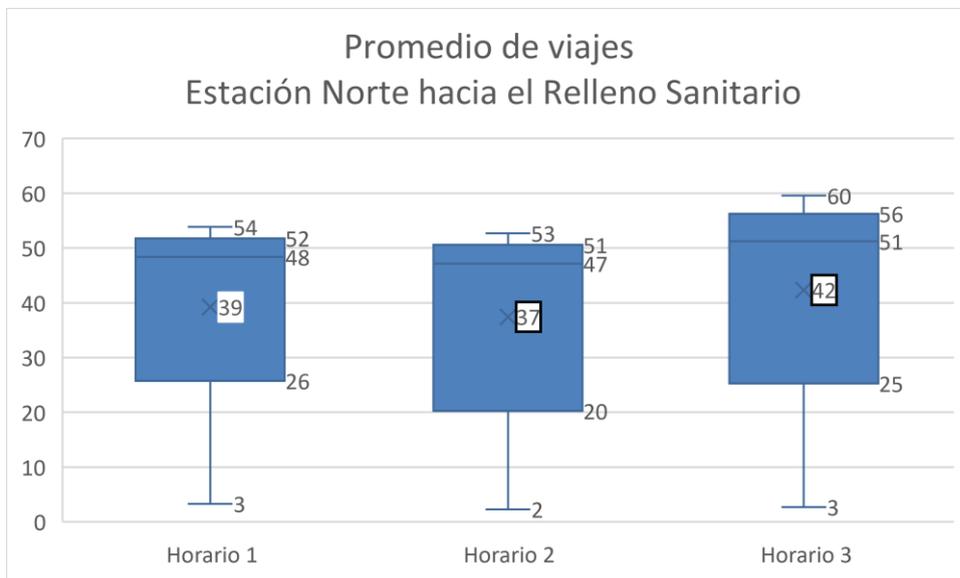
Eficiencia del transporte de RSU, de la estación Norte hacia el relleno sanitario, enero 2020-julio2020.

Ilustración 7 Promedio de viajes realizados por turno de operación desde la ET norte hacia el RS (enero 2020-julio2020)



FUENTE: EMGIRS 2020  
ELABORACION: Autor

Ilustración 8 Análisis estadístico de viajes por horario de operación desde la ETN hacia el RS



Fuente: EMGIRS 2020  
Elaborado: Autor.

Como se valida en el diagrama, el transporte de la estación norte hacia el relleno sanitario en el periodo comprendido de enero 2020 hasta julio 2020, es sumamente irregular, iniciando que el promedio por horarios no supera los 51 viajes , teniendo como meta 72 viajes, de igual manera meses totalmente no operativos del 20 % de la flota, resultado de la elaboración de mantenimientos correctivos de las unidades que llegan a estar hasta 90 días sin funcionamiento.

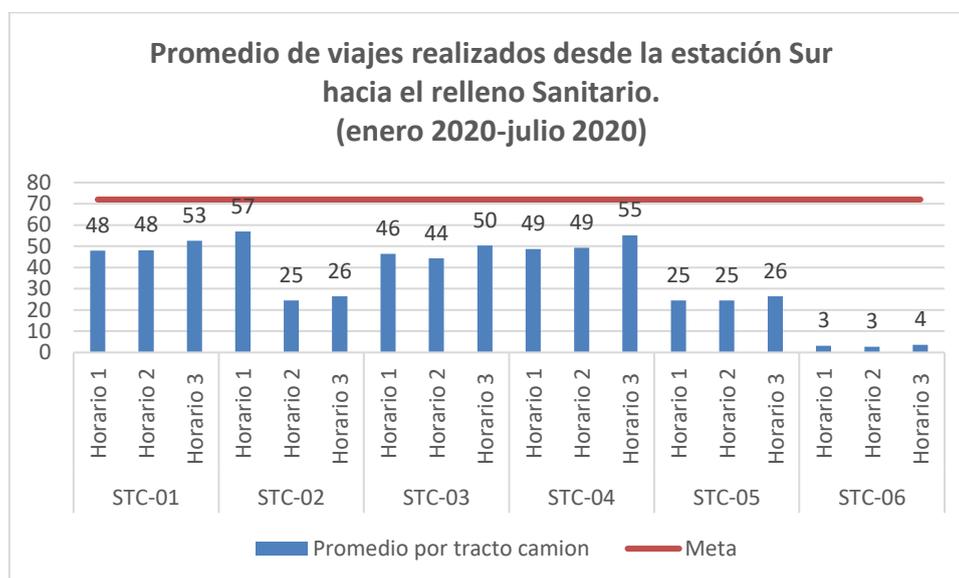
En relación con el transporte de los RSU, desde la estación Sur hacia el relleno sanitario se obtiene los siguientes datos.

Tabla 18 Eficiencia de viajes de transporte de los RSU desde la estación sur hacia el RS, por horario de operación

Disco	Horario	enero	Número de viajes	febrero	Número de viajes	marzo	Número de viajes	abril	Número de viajes	mayo	Número de viajes	junio	Número de viajes	julio	Número de viajes
STC-01	Horario 1	99%	71	74%	53	79%	57	40%	29	88%	63	31%	22	57%	41
	Horario 2	93%	67	76%	55	76%	55	60%	43	83%	60	22%	16	57%	41
	Horario 3	104%	75	82%	59	90%	65	67%	48	79%	57	33%	24	56%	40
STC-02	Horario 1	0%	0	0%	0	0%	0	25%	18	17%	12	92%	66	74%	53
	Horario 2	0%	0	0%	0	0%	0	38%	27	42%	30	81%	58	79%	57
	Horario 3	0%	0	0%	0	0%	0	39%	28	44%	32	97%	70	76%	55
STC-03	Horario 1	51%	37	82%	59	32%	23	49%	35	83%	60	78%	56	76%	55
	Horario 2	56%	40	86%	62	24%	17	64%	46	68%	49	64%	46	69%	50
	Horario 3	65%	47	86%	62	36%	26	50%	36	93%	67	79%	57	79%	57
STC-04	Horario 1	68%	49	21%	15	74%	53	50%	36	94%	68	93%	67	74%	53
	Horario 2	65%	47	22%	16	67%	48	67%	48	85%	61	92%	66	82%	59
	Horario 3	76%	55	26%	19	76%	55	72%	52	94%	68	103%	74	88%	63
STC-05	Horario 1	0%	0	0%	0	0%	0	1%	1	75%	54	89%	64	74%	53
	Horario 2	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	76%	55	90%	65	72%	52
	Horario 3	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	78%	56	99%	71	81%	58
STC-06	Horario 1	31%	22	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
	Horario 2	25%	18	0%	0	0%	0	0%	0	1%	1	0%	0	0%	0
	Horario 3	32%	23	1%	1	0%	0	0%	0	0%	0	1%	1	0%	0

Fuente: EMGIRS EP 2020  
Elaboración: Autor.

Ilustración 9 Promedio de viajes realizados por turno de operación desde la estación norte hacia el RS, en el periodo enero 2020-julio 2020



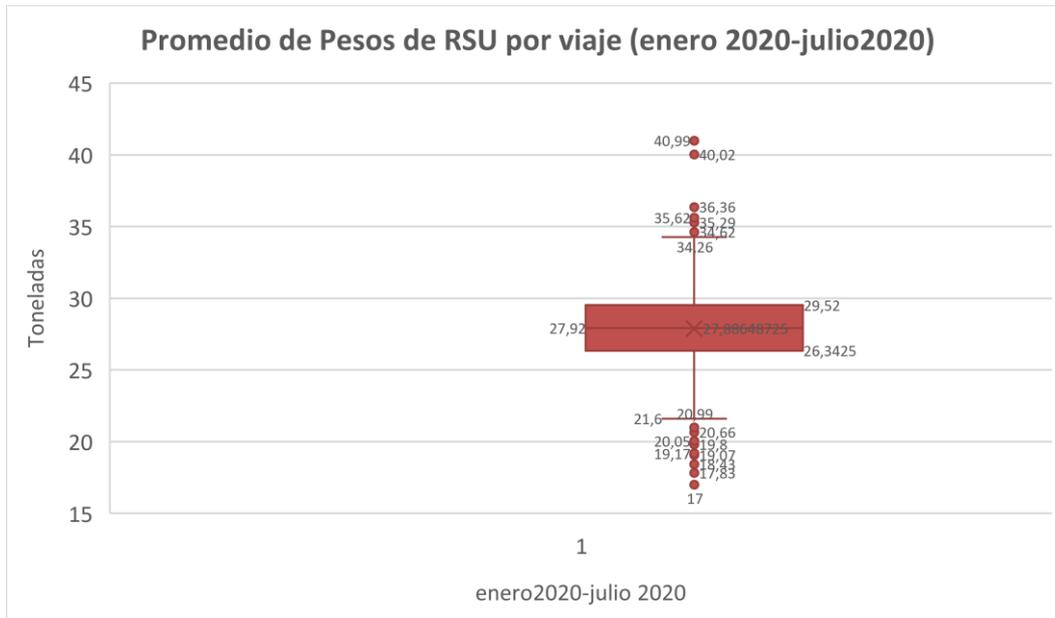
Fuente: EMGIRS 2020  
Elaborado: Autor

En la estación sur se aprecia una eficiencia menor al 50% para el transporte de los RSU hacia el relleno sanitario, también se refleja una baja operatividad de la flota del 25 % por estar en mantenimientos correctivos, llevando su paralización hasta por 90 días.

### **Análisis de capacidad de carga por viaje.**

En relación con el tonelaje de carga de RSU de cada tractocamión, se verifica que en cada viaje de transporte existe una media de 28 toneladas, teniendo picos de 17 hasta 41 toneladas, incumpliendo así con la constante de 26 toneladas de viaje por la Unidad de Transporte y Logística de la EMGIRS EP, ocasionando así, exceso de peso y por ende deterioro y daños graves a la suspensión y motor de cada tractocamión.

Ilustración 10 Análisis de carga de RSU, de cada viaje realizados por los tractocamiones de la EMGIRS EP.



Fuente: EMGIRS EP  
 Elaborado: Autor.

Si comprobamos la demanda diaria de los RSU que se encuentran en las estaciones de transferencia norte y sur para ser transportadas al relleno sanitario comprendido desde enero 2020- julio 2020, refleja una eficiencia del 73% promedio, teniendo como consecuencia un almacenamiento permanente de RSU en las ET's, ocasionando mayores viajes y encarecimiento en el transporte de los mismos, como también olores permanentes de los desechos sólidos, afectando a los moradores de los alrededores.

Tabla 19 Análisis de transporte de RSU, en el periodo enero 2020-julio 2020

Estaciones	EMASEO Almacenamiento [t]		EP	
	Promedio diario	enero 2020- julio 2020 (t)	EMGIRS Transportado [t]	EP 2020- julio2020
Norte	1200	252,000	223,195	
Sur	1000	210,000	113,798	
<b>Total</b>		462,000	336,994	
<b>Eficiencia de transporte promedio</b>			<b>73%</b>	

Fuente: EMGIRS EP, 2020

Elaborado: Autor

Para transportar las 336,994 toneladas, la EMGIRS EP ha realizado 12,549 viajes en el rango de enero 2020-julio 2020, recorriendo 1'062,734 km como se encuentra en el siguiente cuadro:

Tabla 20 Kilómetros recorridos para el transporte de RSU desde las estaciones de diferencia hacia el RS (periodo enero 2020-julio2020)

Estaciones	meses	Viajes			Total	*Km recorridos (ida y vuelta)
		Horario 06h00-14h00	Horario 14h00-22h00	Horario 23h00-06h00		
Norte	enero	478	462	510	1450	116000
	febrero	320	299	338	957	76560
	marzo	346	306	355	1007	80560
	abril	291	348	371	1010	80800
	mayo	417	380	438	1235	98800
	junio	442	412	470	1324	105920
	julio	450	434	481	1365	109200
	<b>Sub total</b>	<b>2744</b>	<b>2641</b>	<b>2963</b>	<b>8348</b>	<b>667840</b>
<i>Observaciones</i>	<i>*Distancia comprendida entre estación norte y relleno sanitario ida y vuelta (80km)</i>					
Sur	enero	179	172	200	551	51794
	febrero	127	133	141	401	37694
	marzo	133	120	146	399	37506
	abril	119	164	164	447	42018
	mayo	257	256	280	793	74542
	junio	275	251	297	823	77362
	julio	255	259	273	787	73978
	<b>Sub total</b>	<b>1345</b>	<b>1355</b>	<b>1501</b>	<b>4201</b>	<b>394894</b>
<i>Observaciones</i>	<i>*Distancia comprendida entre estación sur ida y relleno sanitario ida y vuelta (94km)</i>					

Fuente: EMGIRS EP 2020

Elaborado: Autor.

## Cálculo de emisiones huella de carbono

Como se conocen los datos históricos de transporte de RSU y con la ayuda del programa realizado por la CINOI, Centro de Innovación en Organización Industrial de Uruguay, se calculó la emisión de CO<sub>2</sub> en el año 2019 por la EMGIRS EP, obteniendo como resultado la generación de 2006 toneladas año de Co<sub>2</sub>, conforme el detalle en los siguientes cuadros:

Tabla 21 Resultados de emisiones de carbono para el transporte de RSU, año 2019

Número del vehículo	Identificación del vehículo	Datos a ingresar	Diésel consumido anual (litros)	Rendimiento del camión	Kilómetros recorridos anuales	Peso bruto camión cargado (en toneladas, promedio por viaje)	Clase EURO del vehículo	Tipo de vehículo
1	NTC-01	Rendimiento (km/l)		3.57	117940	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton
2	NTC-02	Rendimiento (km/l)		3.57	171485	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton
3	NTC-03	Rendimiento (km/l)		3.57	137314	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton
4	NTC-04	Rendimiento (km/l)		3.57	169224	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton
5	NTC-05	Rendimiento (km/l)		3.57	137946	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton
6	NTC-06	Rendimiento (km/l)		3.57	153246	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton
7	NTC-07	Rendimiento (km/l)		3.57	102733	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton
8	NTC-08	Rendimiento (km/l)		3.57	116503	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton
9	NTC-09	Rendimiento (km/l)		3.57	120601	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton
10	NTC-10	Rendimiento (km/l)		3.57	120687	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton
11	STC-01	Rendimiento (km/l)		3.57	119670	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton
12	STC-02	Rendimiento (km/l)		3.57	168253	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton
13	STC-03	Rendimiento (km/l)		3.57	85237	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton
14	STC-04	Rendimiento (km/l)		3.57	194579	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton
15	STC-05	Rendimiento (km/l)		3.57	162651	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton
16	STC-06	Rendimiento (km/l)		3.57	179996	26000	Euro IV	Diesel entre 16 y 32 ton

Ingreso de datos a la hoja de cálculo de la TCS, Transporte de Carga sustentable.

<b>Total de emisiones</b>	<b>2006.74</b>	<b>Ton CO<sub>2</sub>e</b>
<b>Promedio de emisiones</b>	<b>125.42</b>	<b>Ton CO<sub>2</sub>e por vehículo</b>
<b>Promedio de emisiones por kilómetro</b>	<b>0.89</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>e por vehículo y km</b>

Elaboración: Autor

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Posterior al análisis de la data relevante para el transporte de los residuos sólidos urbanos, comprendidos en el periodo enero 2020- julio 2020, podemos obtener los datos para la construcción del modelo de programación lineal, definiendo las variables de decisión, nuestra función objetivo así como las restricciones limitantes con el fin de conseguir la mejor distribución horaria para el transporte de RSU.

*Tabla 22 Datos resumen para el transporte de RSU desde las estaciones de transferencia hacia el RS*

<b>Constantes</b>	<b>Detalle</b>
Distancia ETN-RS [km]	40
Distancia ETS-RS [km]	47
Carga por viaje [t]	26
valor por km.t [\$]	0.11
Valor transportado por viaje ETN-RS [\$]	4.4
Valor transportado por viaje ETS-RS [\$]	5.17
Tiempo idóneo h1 Etn [H:00:00]	2:04:00
Tiempo idóneo h2 Etn [H:00:00]	2:17:00
Tiempo idóneo h3 Etn [H:00:00]	2:00:00
Tiempo idóneo h1 Ets [H:00:00]	2:08:00
Tiempo idóneo h2 Ets [H:00:00]	2:23:00
Tiempo idóneo h3 Ets [H:00:00]	2:04:00

Fuente: EMGIRS EP 2020  
Elaborado: Autor

Conociendo que la EMGIRS EP cuenta con 15 tractocamiones y teniendo como prioridad de la Unidad de Transporte y Logística mantener el lineamiento de que cada vehículo pesado realice como base 3 viajes por turno, se obtiene:

*Ecuación 3 Meta de viajes diarios para toda la flota de transporte*

$$3 \text{ viajes por turno} = (3 \times 15) \times 3 \text{ turnos} = 135 \text{ viajes día.}$$

Fuente: EMGIRS EP  
Elaborado: Autor

### Cálculo de costo por viaje.

Teniendo el análisis de tiempos idóneos para cada horario de operación y estaciones de transferencias, se puede obtener el costo de transporte óptimo sin considerar las externalidades de cada horario de trabajo (tráfico). Esta información será la base para conocer los tiempos reales y su valor real óptimo para cada horario de operación, obteniendo los siguientes resultados:

*Tabla 23 Costos de viaje idóneo por cada horario de trabajo*

Horarios	Tiempo idóneo	Valor idóneo
Horario 1 (06h00 a 14h00)	2:04:00	\$114.40
Horario 2 (14h00 a 22h00)	2:17:00	\$114.40
Horario 3 (22h00 a 06h00)	2:00:00	\$114.40

Elaborado: Autor

*Tabla 24 Costos óptimos de viaje por horario de operación*

Horarios	ETN		ETS	
	Tiempo real	Costo	Tiempo	Costo
Horario 1 (06h00 a 14h00)	2:21:00	\$130.08	2:25:00	\$152.27

Horario (14h00 22h00)	2 a	2:34:00	\$128.60	2:25:00	\$151.34
Horario (22h00 06h00)	3 a	2:15:00	\$128.70	2:19:00	\$150.68

Elaborado: Autor

Con lo cual tenemos nuestra función objetivo que es minimizar el costo de transporte de residuos urbanos (RSU), por lo tanto se obtiene:

*Ecuación 4 Función objetivo minimización de costos de transporte de RSU*

$$\text{MIN } 130.08C_{11}+128.60C_{12}+128.70C_{13}+152.27C_{21}+151.34C_{22}+150.68C_{23}$$

Elaborado: Autor

## Restricciones

Conociendo que el lineamiento de la Unidad de Transporte es de 26 toneladas por viaje y teniendo el valor de residuos sólidos que se encuentran en cada una de las estaciones de transferencia tenemos la siguiente restricción:

*Ecuación 5 Restricciones para estacion norte*

$$26C_{11}+26C_{12}+26C_{13}= 1200$$

Elaborado: Autor

*Ecuación 6 Restricción para estacion de transferencia sur*

$$26C_{21}+26C_{22}+26C_{23}= 1000$$

Elaborado: Autor

Como se indicó anteriormente, para el análisis debe interpretarse como balanceado, todo lo que ingresa diariamente a las estaciones de transferencia debe transportarse al relleno sanitario, por lo tanto, se obtiene:

*Ecuación 7 Oferta igual a demanda*

$$26C_{11}+26C_{12}+26C_{13}+26C_{21}+26C_{22}+26C_{23}=2200$$

Elaborado: Autor

El lineamiento de la Unidad de Transporte conlleva a que no debe superar los 15 tractocamiones 3 viajes por turno, obteniendo:

*Ecuación 8 Restricciones de viajes por cada día de trabajo*

$$C11+C12+C13+C21+C22+C23 \leq 135 \text{ viajes}$$

Elaborado: Autor

Conociendo los tiempos del camión: llegada, posicionamiento y embarque de los residuos sólidos en cada estación de transferencia (promedio 15 min por camión), como también el rango de trabajo de 8 horas para cada horario de operación, se obtuvo las siguientes restricciones para no tener tiempos muertos de espera de tractocamión a tractocamión.

*Ecuación 9 Restricciones de viajes por cada horario de operación*

$$C11 \leq 24$$

$$C21 \leq 24$$

$$C12 \leq 24$$

$$C22 \leq 21$$

$$C13 \leq 21$$

$$C23 \leq 21$$

Elaborado: Autor

Teniendo la función objeto, nuestras variables de decisión y restricciones, llevamos las funciones al programa LINDO, donde realizaremos alternativas para validar el proceso que conlleve el menor gasto y menor generación de Co2.

## Alternativa 1.

La alternativa 1, está comprendida por las ecuaciones elaboradas anteriormente, utilizando los 15 tractocamiones de la EMGIRS EP, obteniendo los siguientes datos.

Ilustración 11 Resultado, Corrida Alternativa 1 programación lineal LINDO

```

OBJECTIVE FUNCTION VALUE
1)      11746.66

VARIABLE      VALUE      REDUCED COST
C11      1.153846      0.000000
C12      25.000000      0.000000
C13      20.000000      0.000000
C21      0.000000      0.930004
C22      18.461538      0.000000
C23      20.000000      0.000000

ROW      SLACK OR SURPLUS      DUAL PRICES
2)      0.000000      0.817692
3)      0.000000      0.000000
4)      0.000000      -5.820769
5)      50.384617      0.000000
6)      23.846153      0.000000
7)      25.000000      0.000000
8)      0.000000      1.480000
9)      1.538462      0.000000
10)     0.000000      1.380000
11)     0.000000      0.660000

NO. ITERATIONS=      4

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE      CURRENT      OBJ COEFFICIENT RANGES
COEF      ALLOWABLE      ALLOWABLE
INCREASE      DECREASE
C11      130.080002      INFINITY      1.380000
C12      128.600006      1.480000      INFINITY
C13      128.699997      1.380000      INFINITY
C21      152.270004      INFINITY      0.930002
C22      151.339996      0.930008      0.660000
C23      150.679993      0.660000      INFINITY

ROW      CURRENT      RIGHTHAND SIDE RANGES
RHS      ALLOWABLE      ALLOWABLE
INCREASE      DECREASE
2      1200.000000      0.000000      0.000000
3      1000.000000      0.000000      0.000000
4      2200.000000      0.000000      0.000000
5      135.000000      INFINITY      50.384617
6      25.000000      INFINITY      23.846153
7      25.000000      INFINITY      25.000000
8      25.000000      1.153846      23.846153
9      20.000000      INFINITY      1.538462
10     20.000000      1.153846      20.000000

```

Elaborado: Autor

Tabla 25 Costos diarios, mensuales de la alternativa 1

Propuesta LINDO 15 0 BACK (alternativa 1)										
Horarios	Viajes	Costo viaje/Día	Transporte día toneladas	Km recorridos /día	Viajes mes	Transporte toneladas mes	Costo viaje mes	Km recorrido/mes	Emisiones de CO2	
C11	1	\$130.08	26	80.00	30	780	\$3,902.52	2,400.00	Kg mes	T/mes
C12	25	\$3,214.89	650	2,000.00	750	19500	\$96,446.72	60,000.00		
C13	20	\$2,574.00	520	1,600.00	600	15600	\$77,220.00	48,000.00		
C21	0	\$0.00	0	0.00	0	0	\$0.00	0.00		

C22	18	\$2,724.12	468	1,692.00	540	14040	\$81,723.60	50,760.00		
C23	20	\$3,013.61	520	1,880.00	600	15600	\$90,408.29	56,400.00		
	<b>Total</b>	<b>\$11,656.70</b>	<b>2184</b>	<b>7,252.00</b>	<b>2520</b>	<b>65520</b>	<b>\$349,701.12</b>	<b>217560</b>	<b>193628</b>	<b>193.63</b>

Elaborado: Autor

En esta alternativa, el Software LINDO nos indica una solución en tiempo relacionado a un espacio de 8 horas diarias, para utilizarse en cualquier mantenimiento preventivo y correctivo, eliminando así, el transporte diurno de la estación de transferencia sur. De igual manera cumple al 99% el transporte del almacenamiento de las estaciones de transferencia norte y sur.

Esta alternativa 1, da como emisiones al mes de todos los viajes realizados un promedio de 193,63 toneladas de Co2 mensuales.

### **Alternativa 2.**

La alternativa 2, está comprendida por las ecuaciones elaboradas anteriormente, modificando las restricciones, y considerando 14 vehículos con el fin de asumir un tractocamión de back (respaldo). Este análisis se basa en el historial en la EMGIRS EP de que los mantenimientos correctivos pueden llegar a durar hasta 90 días.

*Ilustración 12 Ingreso de datos de alternativa 2, al Software LINDO*

```
File Edit Solve Reports Window Help
[Icons]
D:\14-01back.
!VARIABLES!
!C11=NUMERO DE VIAJES DE ETN HACIA RELLENO SANITARIO HORARIO 1!
!C12=NUMERO DE VIAJES DE ETN HACIA RELLENO SANITARIO HORARIO 2!
!C13=NUMERO DE VIAJES DE ETN HACIA RELLENO SANITARIO HORARIO 3!
!C21=NUMERO DE VIAJES DE ETS HACIA RELLENO SANITARIO HORARIO 1!
!C22=NUMERO DE VIAJES DE ETS HACIA RELLENO SANITARIO HORARIO 2!
!C23=NUMERO DE VIAJES DE ETS HACIA RELLENO SANITARIO HORARIO 3!
MIN 130.08C11+128.60C12+128.70C13+152.27C21+151.34C22+150.68C23
ST
26C11+26C12+26C13=1200
26C21+26C22+26C23=1000
26C11+26C12+26C13+26C21+26C22+26C23=2200
C11+C12+C13+C21+C22+C23<=126
C11<=24
C21<=24
C12<=24
C22<=21
C13<=21
C23<=21
```

Elaborado: Autor

*Ilustración 13 Resultados de la alternativa 2, Software Lindo*

Reports Window

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 4

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 11746.10

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
C11	1.152846	0.000000
C12	24.000000	0.000000
C13	21.000000	0.000000
C21	0.000000	0.920004
C22	17.461528	0.000000
C23	21.000000	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	0.817692
3)	0.000000	0.000000
4)	0.000000	-5.820769
5)	41.384617	0.000000
6)	22.846152	0.000000
7)	24.000000	0.000000
8)	0.000000	1.480000
9)	3.528461	0.000000
10)	0.000000	1.380000
11)	0.000000	0.660000

NO. ITERATIONS= 4

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
C11	130.080002	INFINITY	1.380000
C12	128.600006	1.480000	INFINITY
C13	128.699997	1.380000	INFINITY
C21	152.270004	INFINITY	0.920002
C22	151.329996	0.920008	0.660000
C23	150.679992	0.660000	INFINITY

ROW	CURRENT RHS	RIGHTHAND SIDE RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	1200.000000	0.000000	0.000000
3	1000.000000	0.000000	0.000000
4	2200.000000	0.000000	0.000000
5	126.000000	INFINITY	41.384617
6	24.000000	INFINITY	22.846152
7	24.000000	INFINITY	24.000000
8	24.000000	1.152846	22.846152
9	21.000000	INFINITY	3.528461
10	21.000000	1.152846	21.000000
11	21.000000	17.461528	3.528461

Elaborado: Autor.

Tabla 26 Costos diarios, mensuales de la alternativa 2

Propuesta LINDO 14- 1 BACK (ALTERNATIVA 2)										
Horarios	Viajes	Costo viaje	Transporte día toneladas	Km recorridos/ día	Viajes mes	Transporte toneladas mes	Costo viaje mes	Km recorrido/ mes	Emisiones de CO2	
									Kg mes	T/mes
C11	1	\$130.08	26	80	30	780.00	\$3,902.52	2,400.00		
C12	24	\$3,086.29	624	1920	720	18,720.00	\$92,588.85	57,600.00		
C13	21	\$2,702.70	546	1680	630	16,380.00	\$81,081.00	50,400.00		
C21	0	\$0.00	0	0	0	0.00	\$0.00	0.00		
C22	17	\$2,572.78	442	1598	510	13,260.00	\$77,183.40	47,940.00		
C23	21	\$3,164.29	546	1974	630	16,380.00	\$94,928.70	59,220.00		
	Total	\$11,656.15	2184	7252	2520	65,520.00	<b>\$349,684.47</b>	217,560.00	<b>193628</b>	<b>193.63</b>

Elaborado: Autor.

La Alternativa 2, no refleja gran diferencia con la alternativa 1, de igual manera disponemos un espacio de 8 horas para cualquier arreglo preventivo o correctivo, lo destacable de esta alternativa es la liberación de un camión para la disponibilidad en caso de emergencia sin perjudicar la eficiencia del transporte ya que como la alternativa 1, este cumple con el 99% de transporte de los RSU, desde las estaciones de transferencia hacia el relleno.

### **Comparación entre estado actual, Alternativa 1 - Alternativa 2.**

Para evaluar de mejor manera nuestras alternativas planteadas, le llevamos a un nivel de comparación con el estado actual del transporte de los residuos sólidos que maneja la EMGIRS EP.

Esta comparación se basa en la data de enero a julio del año en curso, con lo cual se conoce cuantos viajes a realizado la flota de la EMGIRS EP y la cantidad de toneladas transportadas, de igual manera se comparará la eficiencia de transporte, el valor de costos de transporte y la generación de emisiones de CO2.

### **Estado Actual EMGIRS EP**

*Tabla 27 Análisis de viajes y toneladas transportadas por la EMGIRS EP, desde enero 2020-julio 2020*

<b>Transporte EMGIRS 2020 enero-julio</b>				
<b>Horario</b>	<b>Número de viajes 7 meses</b>	<b>Valor por horario 7 meses</b>	<b>Toneladas transportadas 7 meses</b>	<b>Km recorridos</b>
C11	2744	\$356,950.14	64,725.00	219,520.00
C12	2641	\$339,621.03	60,969.55	211,280.00
C13	2963	\$381,338.10	69,315.85	278,522.00
C21	1345	\$204,806.72	36,753.05	126,430.00
C22	1355	\$205,065.70	35,897.22	127,370.00
C23	1501	\$226,171.41	41,148.00	141,094.00
<b>TOTAL</b>	<b>12549</b>	<b>\$1,713,953.10</b>	<b>308,808.67</b>	<b>1,104,216.00</b>

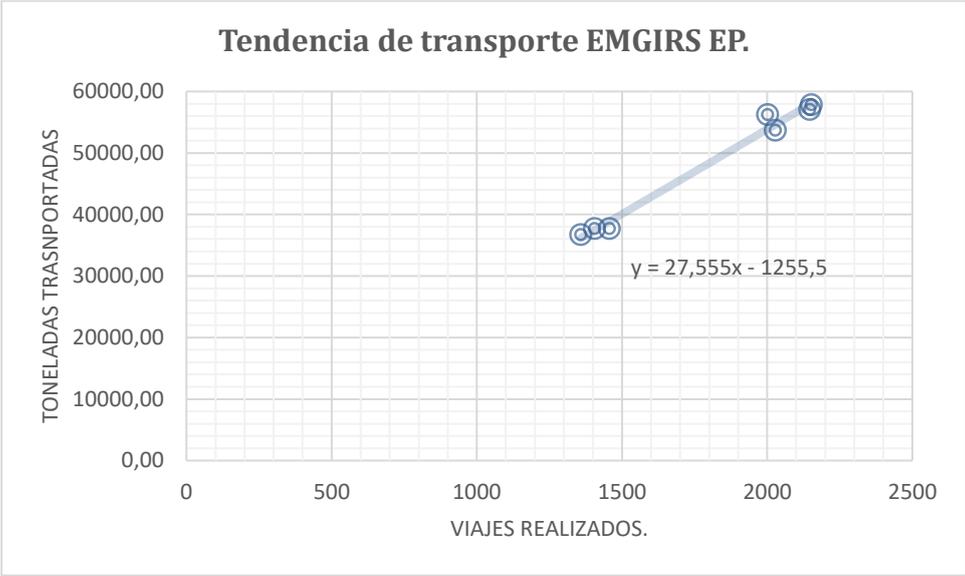
Elaborado: Autor.

El almacenamiento en las estaciones de transferencia norte y sur para los 7 meses es de 462,000 toneladas. Con la data de la EMGIRS EP en el periodo de enero 2020-julio 2020, se han transportado 308,808.67 toneladas en 12,549 viajes teniendo una eficiencia del 62%, reflejando como evidencia que con el método actual no existe la flota necesaria para el transporte en el tiempo establecido, ocasionando una acumulación de 153,192 toneladas en los 7 meses, lo que

equivale a 21,884 toneladas mes, 5471 toneladas semana. Esto causa una acumulación continua de RSU en las estaciones, originando malos olores y proliferación de vectores, llevando así a una infinidad de quejas por parte de la comunidad aledaña a ET's.

Para obtener cuantos viajes se encuentran en déficit, se realizó el cálculo con los datos existentes para obtener su línea de tendencia.

Ilustración 14 Obtención de línea de tendencia



Elaborado: Autor.

Conociendo el costo por tonelada transportada calculado por la EMGIRS EP de \$ 0,11 y la capacidad de carga de 26 toneladas por cada viaje, para transportar las 153,192 toneladas residuales (en los siete meses de estudio) costaría un valor aproximado de \$ 830,772 dólares, que sería transportado en un promedio de 5606 viajes (figura 10). Siendo el promedio actual diario de viajes de la EMGIRS EP de 118 (figura 8), existe un déficit de 48 días en los 7 meses, que equivale 7 días de trabajo extra al mes.

**Alternativa 1. (15 Tractocamiones 0 back)**

Para las alternativas 1, el software LINDO, nos da como resultado que existe una eficiencia del 99% ocasionando el cumplimiento del balance deseado, que todo lo que entre en cada estación de transferencia sea transportado en 24 horas en los horarios establecidos por la EMGIRS EP, teniendo como resultado que el número de la flota satisface las necesidades de la empresa.

Para tener datos semejantes de comparación se realizó el cálculo para los 7 meses de transporte con los parámetros de la alternativa 1, teniendo los siguientes resultados.

Tabla 28 Análisis de viajes y toneladas según demanda de 7 meses, bajo los parámetros de alternativa 1

Alternativa 1 15 tracto 0 back							
Horarios	Viajes mes	Valor por viaje	viajes 7 meses	Toneladas transportadas 7 meses	costo	Km recorridos	toneladas de co2(7 meses)
C11	30	\$130.08	210.00	5,460.00	\$27,317.61	16,800.00	0,89 kg co2 x km
C12	750	\$128.60	5,250.00	136,500.00	\$675,127.01	420,000.00	
C13	600	\$128.70	4,200.00	109,200.00	\$540,540.00	336,000.00	
C21	0	\$152.27	0.00	0.00	\$0.00	0.00	
C22	540	\$151.34	3,780.00	98,280.00	\$572,065.20	355,320.00	
C23	600	\$150.68	4,200.00	109,200.00	\$632,858.03	394,800.00	
<b>TOTAL</b>	<b>2520</b>		<b>17,640.00</b>	<b>458,640.00</b>	<b>\$2,447,907.85</b>	<b>1,522,920.00</b>	<b>1,355.40</b>

Elaborado: Autor

### Alternativa 2. (14 tractocamiones 01 back)

La alternativa 1 y la alternativa 2, tienen el mismo resultado de eficiencia, llegando al 99% los mismos costos de transporte y emisiones de CO2. Lo destacable de la alternativa 2 es que el horario planteado cumple con las necesidades de la EMGIRS EP de transportar todo lo que llega a las estaciones de transferencia hacia el relleno en 24 horas y sobre todo deja un tractocamión como back, para cualquier reemplazo.

Tabla 29 Análisis de viajes y toneladas según demanda de 7 meses, bajo los parámetros de alternativa 2

Alternativa 2 14 tracto 1 back							
Horarios	Viajes mes	Valor por viaje	viajes 7 meses	Toneladas transportadas 7 meses	costo	Km recorridos	toneladas de co2(7 meses)
C11	30	\$130.08	210.00	5,460.00	\$27,317.61	16,800.00	0,89 kg co2 x km
C12	720	\$128.60	5,040.00	131,040.00	\$648,121.93	403,200.00	
C13	630	\$128.70	4,410.00	114,660.00	\$567,567.00	352,800.00	
C21	0	\$152.27	0.00	0.00	\$0.00	0.00	
C22	510	\$151.34	3,570.00	92,820.00	\$540,283.80	335,580.00	
C23	630	\$150.68	4,410.00	114,660.00	\$664,500.93	414,540.00	
<b>TOTAL</b>	<b>2520</b>		<b>17,640.00</b>	<b>458,640.00</b>	<b>\$2,447,791.27</b>	<b>1,522,920.00</b>	<b>1,355.40</b>

Elaborado: Autor

### Comparación de Emisiones de Co2 para el proceso actual y alternativas

La EMGIRS EP, en su proceso actual de transporte tiene una media de 118 viajes al día. Para el cálculo de las emisiones de Co2 de la flota, no consideraremos la capacidad de carga en cada viaje sino los viajes realizados ya que, como asevera la bibliografía “ *los costos unitarios de transporte no varían de acuerdo con la cantidad transportada*” (Angel León Gonzalez Ariza 2015) Es decir que, si en cada viaje se transporta 17 o 43 toneladas de RSU, como es el caso de irregularidad que existe actualmente, la distancia para el relleno sanitario es la misma.

En la alternativa 1 y alternativa 2, el software LINDO nos permite una eficiencia de distribución horaria, teniendo una constante de carga de 26 toneladas, con lo cual para la alternativa 1 y alternativa 2, los viajes que se realizarán diariamente son de 84 viajes.

Por lo cual se obtiene los siguientes datos de generación de CO2.

Tabla 30 Análisis de generación de Co2, Flota EMGIRS EP.

<b>Análisis de Generación de Co2 para alternativas de transporte de RSU (1 año)</b>					
<b>Alternativas</b>	<b>viajes realizados día [promedio]</b>	<b>Distancia recorrida [promedio] 88 km</b>	<b>Viajes realizados [anual]</b>	<b>Generación de Co2 [t Co2]</b>	<b>Observaciones.</b>
EMGIRS Proceso Actual	118	10,384.00	43070	3373.2424	Transportado el 62 % de la demanda, teniendo un remanente de RSU, en estaciones de transferencia
Alternativa 1 y 2	84	7,392.00	30660	2401.2912	Transportado el 99% de la demanda

Elaboración: Autor

## CONCLUSIONES

- La EMGIRS EP, actualmente transporta un 62% del almacenamiento de RSU que se encuentran en las estaciones de transferencia, ocasionando así un remanente importante en cada estación, generando malos olores y proliferación de vectores.
- Para el transporte de los RSU, realiza un promedio de 118 viajes, con un rango de carga de 17 hasta 41 toneladas, ocasionando fatiga en los materiales (remolque) y esfuerzos de motor, teniendo como consecuencia la avería permanente de suspensión, motor y chasis. La reparación de estos daños puede tardar hasta 90 días.
- Por el proceso actual de transporte, los tractocamiones no disponen de un cronograma de mantenimiento preventivo, a excepción de cambio de pastillas y aceite que se lo realiza cada 15 días.
- El gasto de transporte oscila entre los \$ 140 dólares por viaje, teniendo una media de 118 viajes, la EMGIRS EP, para transportar un promedio de 1600 toneladas gasta diariamente \$ 16,520.
- En relación con la generación de CO<sub>2</sub>, acogiéndose a la tendencia actual de transporte para el año 2020, la flota recorrerá un promedio de 3,790,160 km. Luego de analizar las características de la flota (tipo de motor, eficiencia) y con la ayuda de la hoja de cálculo de transporte de carga sustentable (TCS) de Uruguay, reflejó una generación de 0.89 kg de Co<sub>2</sub> por Km. Por lo tanto, para el año en curso, la flota de la EMGIRS EP generará 3.373 toneladas de CO<sub>2</sub>.
- Acorde a la pregunta planteada en el capítulo 1, ¿Es necesario incrementar la flota actual para el transporte de 2200 toneladas de RSU diarias, que son almacenadas temporalmente en las estaciones de transferencia hacia el relleno sanitario en un lapso de 24 horas?
- Posterior al análisis realizado en esta tesis, podemos concluir que si es factible el transporte de toda la demanda de 2200 toneladas diarias desde las estaciones de transferencia hacia el relleno sanitario, en 84 viajes diarios que lo realizarían 14 tractocamiones distribuidos en los 3 horarios de operación y teniendo un camión para emergencia, para la sustitución o reemplazo. De igual manera, el software LINDO nos indica que el transporte diurno desde la estación sur hacia el relleno sanitario no es conveniente para los intereses económicos de la EMGIRS EP, dando un abanico de tiempo de 8 horas diarias para ser aprovechadas para mantenimientos preventivos de la flota.
- En relación con el costo con la alternativa planteada de 84 viajes diarios con una carga

específica de 26 toneladas, la EMGIRS EP, realizaría un gasto de \$ 11,844 diarios, eliminando así las sobrecargas de cada tracto camión y daños permanentes a la flota, obteniendo un ahorro diario de \$ 4600 dólares aproximados.

- En referencia a la generación de Co2, usando la propuesta se tendrá un recorrido anual de 2,698.080 km, de igual manera aplicando la generación unitaria por Km, tenemos que para un año existiría 2401 toneladas de CO2, teniendo una baja considerable de 972 toneladas de Co2.

### **RECOMENDACIONES.**

Para que se puedan cumplir las metas planteadas en el presente documento es necesario:

- La calibración de las balanzas tanto para estaciones de transferencia norte y sur como la del relleno sanitario.
- Tener en los tres turnos de operación supervisión de logística en cada una de las estaciones de transferencia para dar seguimiento al cumplimiento de carga establecida (26 toneladas por viaje) y horarios idóneos de la operación, acogiéndose a los derechos y obligaciones impartidas en la ley del código del trabajo.
- Realizar proyecto piloto de implementación para ajustes técnicos.
- Conociendo el ahorro de la aplicación planteada, se recomienda contar con un fondo común para la renovación de la flota, con mayor eficiencia en la adquisición de motores con tecnología Euro VI.

## Bibliografía.

- Ackerman, Frank (1997): Why do we recycle. Markets, values, and public policy. Washington D.C.: Island Press.
- Alejandrina Sáez (2014): Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe, pág. 1–16. Disponible en línea en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=737/73737091009>.
- Alonso Gomollón, Félix (1996): Ejercicios de investigación de operaciones. Madrid: Esic.
- Álzate Montoya, Paola M. (2018): Investigación de operaciones: conceptos fundamentales. Primera edición. Bogotá, D.C.: Ediciones de la U (Área. Ingeniería Industrial).
- Ángel León González Ariza (2015): Investigación de operaciones I. En colaboración con Giselle Adriana García Llinás. 4ta edición. Barranquilla: Universidad del Norte.
- A.M. 061 (MAYO, 2015): Acuerdo 061 Reforma Libro VI TULSMA. Disponible en línea en <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Situaci%C3%B3n-de-la-gesti%C3%B3n-de-residuos-s%C3%B3lidos-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>.
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (2010): Situación de la gestión de RESIDUOS SÓLIDOS en América Latina y el Caribe. edit. por BID. Disponible en línea en <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Situaci%C3%B3n-de-la-gesti%C3%B3n-de-residuos-s%C3%B3lidos-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>.
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (2015): Situación de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. En colaboración con OPS, AIDIS, BID. residuos sólidos urbanos. BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. Disponible en línea en <https://publications.iadb.org/es/situacion-de-la-gestion-de-residuos-solidos-en-america-latina-y-el-caribe>.
- Carlos Gutiérrez (2018): Huella de carbono y transporte de mercaderías. edit. por Asociación Intermodal de América del Sur. AIMAS. Buenos Aires. Disponible en línea en <http://www.logisticasud.enfasis.com/notas/81105-huella-carbono-y-transporte->

mercaderías.

- Centro de Innovación en Organización Industrial: Transporte de Carga Sustentable. Uruguay: ITPC. Disponible en línea en <http://www.intergremial.com/site/index.php/noticias/418-n-18052018>.
- Centro de Investigaciones CIUDAD (ed.) (1997): BREVE HISTORIA DE LOS SERVICIOS EN LA CIUDAD DE QUITO. En colaboración con VASCONEZ, Mario, Coord. CARRION, Andrea. primera. Quito: Municipio Metropolitano de Quito dirección de Educación y Cultura.
- COOTAD (19-OCT-2010): CODIGO ORGANICO ORGANIZACION TERRITORIAL AUTONOMIA DESCENTRALIZACION. Fuente: LEXIS, pág. 1–174. Disponible en línea en [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_org.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_org.pdf).
- Chu, T. W.; Heaven, S.; Gredmaier, L. (2015): Modelling fuel consumption in kerbside source segregated food waste collection: separate collection and co-collection. En: *Environmental technology* 36 (23), pág. 3013–3021. DOI: 10.1080/09593330.2014.982716.
- Concejo del Distrito Metropolitano de Quito (18 octubre del 2010): Ordenanza nro. 323. Ord. 323.
- Concejo del Distrito Metropolitano de Quito (3 de marzo del 2011): Ordenanza nro. 332. Ord. 332.
- Concejo Metropolitano de Quito (16 de abril 2010): Ordenanza nro. 309. Ord. 309.
- Cristina Gil Santander (2007): Definición de los Niveles de Servicio de las terminales portuarias, pág. 1–5. Disponible en línea en <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5770/00.pdf>.
- Distrito Metropolitano de Quito (21 MAYO DEL 2019): CODIGO MUNICIPAL PARA EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. DMQ, del 001. Fuente: [http://www.epmrq.gob.ec/images/servicios/Codigo\\_Municipal.pdf](http://www.epmrq.gob.ec/images/servicios/Codigo_Municipal.pdf).
- EMGIRS-EP (ed.) (2018): INFORME DE GESTIÓN 2018 GERENCIA GENERAL. EMGIRS-EP. Quito. Disponible en línea en [www.emgirs.gob.ec](http://www.emgirs.gob.ec).
- EMPRESA MUNICIPAL DE ASEO (ed.) (2018): Informe de Gestión Anual 2018. EMASEO EP. PRIMERA. 1 tomo. Quito.
- Gabriela Quinde (2017): Análisis de las emisiones de CO2 provocadas por el sector transporte en el Ecuador. Un análisis regional. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja. Disponible en línea en:

<http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/21223/1/Quinde%20Espa%c3%b1a%20Gabriela%20Karina.pdf>, Última comprobación el 18/09/2020.

- García Fernández, Roberto; Tuero, Alejandro G.; Pozueco, Laura; Pañeda, Xabiel G.; Corcoba, Victor; Sánchez, José A. et al. (2017 - 2017): Optimización de rutas para mejora de la eficiencia en la conducción. En: Proceedings XIII Jornadas de ingeniería telemática - JITEL2017. XIII Jornadas de ingeniería telemática - JITEL2017, 9/26/2017 - 9/28/2017. Valencia: Universitat Politècnica València, pág. 124–131.
- Gilda Gallardo (2006): Evaluación técnica, Socio Ambiental y Económica del relleno Sanitario Inga Bajo.
- INSTITUO NACIONAL DE ESTADISTICAS Y CENSOS (2018): Estadísticas Ambientales. En colaboración con M. A.E. AME. edit. por INEC. INEC. Quito. Disponible en línea en [file:///C:/MENA2020/UISEK/bibliografia/Seg%C3%BAAn%20la%20C3%BAItima%20estad%C3%ADstica%20de%20informaci%C3%B3n%20ambiental\\_%20Cada%20e%20cuatoriano%20produce%200,58%20kilogramos%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%20al%20d%C3%ADa%20\\_.html](file:///C:/MENA2020/UISEK/bibliografia/Seg%C3%BAAn%20la%20C3%BAItima%20estad%C3%ADstica%20de%20informaci%C3%B3n%20ambiental_%20Cada%20e%20cuatoriano%20produce%200,58%20kilogramos%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%20al%20d%C3%ADa%20_.html).
- Javier Silgado (2006): LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA CIUDAD HISTÓRICA Y SOSTENIBLE: EL EJEMPLO DE ANDALUCÍA. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès. Disponible en línea en <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/2234?locale-attribute=es>.
- Jorge Jaramillo (1999): Gestión Integral de Residuos sólidos Municipales. Disponible en línea en <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Situaci%C3%B3n-de-la-gesti%C3%B3n-de-residuos-s%C3%B3lidos-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>, Última comprobación el 15/09/2020.
- Julio Morales (2019): Análisis de costos flota tractocamiones y semiremolques. 1 Tomo. Quito: EMGIRS EP.
- Lemmes, B. (Abril, 1998): REFLECTIONS OF THE EUROPEAN WASTE MANAGEMENT STRATEGY. Club Español de Residuos y Gobierno de Navarra. Jornadas Internacionales sobre el Aprovechamiento Integral de la Materia Orgánica. Pamplona, España, Abril, 1998.
- Marco Mena (junio,2020): Vida útil Relleno Sanitario. Coordinador de Residuos Ordinarios. Entrevista con Luis Iza. El Inga. notas.

- Manuel Virginie (2011): Los caminos del reciclaje. En colaboración con Natalia Giapopelli. Primera Edición. Barcelona: Nuevos Emprendimientos.
- municipal-waste-management-across-European-countries. Disponible en línea en <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Informe-de-la-evaluaci%C3%B3n-regional-del-manejo-de-residuos-s%C3%B3lidos-urbanos-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-2010.pdf>. Última comprobación el 15/09/2020.
- Márcia Jussara Hepp Rehfeld (2009): A APLICACÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS EM SITUAÇÕES-PROBLEMA EMPRESARIAIS COM USO DO SOFTWARE LINDO. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCACÃO-PPGIE.
- Mauricio Pozo (2016): Análisis de los beneficios de una adecuada gestión de manejo de residuos sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. Facultad de Economía.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (12/04/2017): CODIGO-ORGANICO-DEL-AMBIENTE. MAE, del R.O. 983.
- ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL (2008): Introducción a la producción mas limpia. edit. por ONUDI. Disponible en línea en [https://www.unido.org/sites/default/files/2008-06/1-Textbook\\_0.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/2008-06/1-Textbook_0.pdf).
- Marco Mena (junio, 2020): Manejo de la logística de transporte de los RSU. Analista de Logística. Entrevista con Oscar Ipiales. El Inga. Apuntes.
- Osvaldo Ochoa (2009): Recolección y disposición final de los desechos sólidos, zona metropolitana. Caso: Ciudad Bolívar.
- Pássaro, D. A. (2003): Report: waste management in Portugal between 1996 and 2002. En: *Waste Management* 23 (1), pág. 97–99. DOI: 10.1016/S0956-053X(02)00142-3.
- Peyronnie, Karine; Maximy, René de (2015): Quito inesperado. De la memoria a la historia crítica. Lima: Institut français d'études andines. Disponible en línea en <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Situaci%C3%B3n-de-la-gesti%C3%B3n-de-residuos-s%C3%B3lidos-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>.
- Pilar Tello Espinoza (2011): Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe 2010 1.

- PNGIDS-MAAE: Programa Nacional para la Gestión de Desechos Sólidos. edit. por MINISTERIO DEL AMBIENTE. Quito. Disponible en línea en <https://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>.
- Proceedings XIII Jornadas de Ingeniería Telemática - JITEL2017 (2017 - 2017). XIII Jornadas de Ingeniería Telemática - JITEL2017, 9/26/2017 - 9/28/2017. Valencia: Universitat Politècnica València.
- Viana, Ednilson; Silveira, Ana; Souza, Karina; Gomes, Ana (2014): Collection and recycling of organic waste: reflections for a progressive management model over the technological process.
- Victoria Guadalupe Moyano (2012): Diagnóstico y propuestas de desarrollo Socio Ambiental para la Parroquia de Zámiza. Quito. Disponible en línea en <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Diagn%C3%B3stico-de-la-situaci%C3%B3n-del-manejo-de-residuos-s%C3%B3lidos-municipales-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>.