



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERIA DE SISTEMAS – TRANSPORTE

ANÁLISIS DE COSTOS LOGÍSTICOS Y DE TRANSPORTE EN LA VALORIZACIÓN DE
ARENA SÍLICA

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA PRESENTA:

ING. RAFAEL PADILLA ALVAREZ

TUTOR PRINCIPAL:
DR. BENITO SÁNCHEZ LARA
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

MÉXICO, CD. MX. NOVIEMBRE 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Ricardo Aceves García

Secretario: Dr. Luis Chias Becerril

1 er. Vocal: Dr. Benito Sánchez Lara

2 do. Vocal: M.I. Héctor Daniel Resendiz López

3 er. Vocal: Dr. Ricardo Torres Mendoza

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: CIUDAD DE MÉXICO

TUTOR DE TESIS: Dr. Benito Sánchez Lara

NOMBRE

FIRMA

Índice

SIGLAS Y ABREVIATURAS	5
RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO 1. GENERACIÓN Y VALORIZACIÓN DEL RESIDUO DE ARENA SÍLICA	8
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	9
RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL (RME)	9
RME EN EL ESTADO DE GUANAJUATO	9
GENERADORES DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL POR REGIONES EN EL ESTADO DE GUANAJUATO	11
CARACTERÍSTICAS DE LA ARENA SÍLICA (SiO ₂)	17
UNA EMPRESA VALORIZADORA DE LA ARENA SÍLICA.....	18
DIAGRAMA DEL FLUJO DEL RME ARENA SÍLICA	19
PROBLEMÁTICA DEL RME EN ESTUDIO.....	21
JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE DE LA TESIS.....	21
CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS Y COSTOS DE LAS OPERACIONES LOGÍSTICAS DE TRANSPORTE	23
CARACTERIZACIÓN DE CSI	25
CANALES DE LA CSI	28
OPERACIONES LOGÍSTICAS DE TRANSPORTE	28
GESTIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE.....	29
DISEÑO DE LA RED DE TRANSPORTE.....	30
DEFINICIÓN DEL PERFIL DEL TRANSPORTISTA	31
ACTUACIÓN DE AGENTES LOGÍSTICOS.....	32
GESTIÓN DE RIESGOS EN EL TRANSPORTE	33
BALANCE DE COSTOS DE TRANSPORTE.....	34
ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN	35
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE COSTOS LOGÍSTICOS Y DE TRANSPORTE	38
ANÁLISIS DE COSTOS DE TRANSPORTE.	40
COSTOS DE LA LOGÍSTICA INVERSA	40
COSTOS DE RECOLECCIÓN	40
COSTOS DE ALMACENAMIENTO.....	42
COSTOS DE TRANSPORTE.....	44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ANÁLISIS	53
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES.....	56
REFERENCIAS	59
ANEXO 1	60

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Porcentaje de las toneladas totales de RME generadas por región en el estado de Guanajuato	12
Gráfico 2. Porcentaje de RME generado por municipio, Región I	12
Gráfico 3. Porcentaje de RME generado por municipio, Región II	13
Gráfico 4. Porcentaje de RME generado por municipio, Región III.....	14
Gráfico 5. Porcentaje de RME generado por municipio, Región IV	14
Gráfico 6. Costos de transporte contra ingresos obtenidos enero 2021 – febrero 2022.....	54

Índice de Tablas

Tabla 1. Porcentaje de generación de RME por municipio.....	15
Tabla 2. Toneladas generadas de RME en Guanajuato en 2015	16
Tabla 3. Porcentaje de RME generados por giro en Guanajuato 2015	16
Tabla 4. Generación por tipo de residuo a nivel estatal, primeros 20 tipos de RME.....	17
Tabla 5. <i>Resumen las características de la CSI</i>	37
Tabla 6. Matriz caracterización de canales	37
Tabla 7. Historial de viajes de arena sílica (2022)	39
Tabla 8. Historial de viajes de RME (2022).....	Error! Bookmark not defined.
Tabla 9. Recopilación de costos de recolección.....	41
Tabla 10. Recopilación de costos de almacenamiento	43
Tabla 11. Recopilación de costos fijos.....	45
Tabla 12. Recopilación de costos fijos por unidad de transporte.....	46
Tabla 13. Recopilación de costos fijos y gubernamentales relacionados con la nómina....	49
Tabla 14. Recopilación de costos variables por unidad de transporte.....	50
Tabla 15. Recopilación de ingreso aproximado menos los costos de transporte	54

Índice de Fotografías

Fotografía 1. Arena sílica.....	18
Fotografía 2. Torton recolector de arena sílica	20

Índice de Figuras

Figura 1. Proceso de la logística inversa de la arena sílica	20
Figura 2. Red de transporte en la CSI de arena sílica	21
Figura 3. Diagrama de actividades en la recuperación del residuo.....	24
Figura 4. Pirámide en las opciones de retorno de productos.....	25
Figura 5. Diagrama de caracterización de CSI.....	25
Figura 6. Diagrama de procesos de la CSI.....	26
Figura 7. Representación de una red simple de transporte (Sarder, 2020)	31
Figura 8. <i>Representación de una red combinada de transporte (Sarder, 2020)</i>	31
Figura 9. Estructura propuesta para el cálculo de costos	36

SIGLAS Y ABREVIATURAS

CEDIS: Centro de Distribución

CSI: Cadena de suministro inversa

DEGCRME: Diagnóstico Estatal de Generación y Composición de Residuos de Manejo Especial

FLT: Full Truck Load

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

IRMEEG: Inventario de Residuos de Manejo Especial en el Estado de Guanajuato

LPGGIR: Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los residuos

LTL: Less Than Truckload

NOM: Norma Oficial Mexicana

OLT: operaciones logísticas de transporte

ONU: Organización de Naciones Unidas

RCRA: The Resource Conservation and Recycling Act

RP: Residuos peligrosos

RSU: Residuos sólidos urbanos

RSI: Residuos sólidos industriales

RME: Residuos de manejo especial

SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

SEMARNAT: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales

SMAOT: Secretaría del Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial de Guanajuato

UE: Unidades económicas

RESUMEN

La arena sílica se desempeña como materia prima para la fabricación de diferentes productos y es aprovechada en diferentes industrias por sus propiedades físicas y químicas que la hacen atractiva para la fabricación de productos como ladrillos, vidrio, ferroaleaciones, piezas de fundición, compostas, lejías, entre otros. Además, ayuda en los procesos dentro de las plantas de tratamiento o purificación de agua. Sin embargo, a pesar de su utilidad, también es desechada por estas mismas industrias, convirtiendo la arena sílica en un residuo de manejo especial, por lo cual requiere de cadenas de suministro inversas (CSI) para poder tener una reintegración adecuada en otras cadenas de valor.

La arena sílica es desechada en el estado de Guanajuato, este estado clasifica los residuos de manejo especial (RME) como “aquellos que se generan en los procesos productivos de diferentes industrias”, la arena sílica de acuerdo con el Diagnóstico Estatal de Generación y Composición de Residuos de Manejo Especial, DEGCRME (2018), se encuentra en lugar 18 dentro de los residuos que mas toneladas generan por mes en este estado, por lo cual es de suma importancia que se sepa mas de este residuo, para que pueda ser reincorporado a otras cadenas de valor y que el impacto ambiental se reduzca y a su vez no se pierda el valor total de esta materia prima.

La empresa caso de estudio que valoriza este RME se encuentra en el estado de Queretaro cerca de los limites con el estado de Guanajuato, se cataloga como una empresa mediana que brinda el servicio de recolección de residuos, principalmente a empresas catalogadas como grandes generadoras de RME, la empresa caso de estudio es parte de un eslabon de la CSI de la arena sílica.

Esta tesis trata de a aportar información sobre la CSI de la arena sílica mediante el análisis de los costos logísticos y de transporte para la valorización que realiza la empresa caso de estudio. Dicho análisis se realiza tratando de ampliar las oportunidades de valorización y el aprovechamiento del residuo. Los costos logísticos se desglosan en costos de adquisición y almacenamiento, mientras que los de transporte se detallan en costos fijos, costos variables y costos gubernamentales. Este análisis tiene como objetivo proporcionar una perspectiva de cómo se está operando actualmente, identificar oportunidades de mejora y servir de base para aplicar esta estructura de costos a otros residuos que valoriza y transporta la empresa caso de estudio.

Esta tesis no solo busca analizar los costos logísticos y de transporte asociados a la valorización de la arena sílica, sino también proporcionar una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones en el manejo de otros residuos. La implementación de prácticas de economía circular y la mejora de la gestión de residuos pueden llevar a un desarrollo más sostenible y a un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles, beneficiando tanto a la economía como al medio ambiente.

INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos es un negocio con un inmenso potencial en México, donde las prácticas de consumo generan que la población adquiera grandes cantidades de productos que pasan a ser inútiles, inservibles y obsoletos con gran rapidez, sin que muchos de ellos se reciclen o reutilicen en otras industrias.

La generación de residuos no sólo provoca serios daños al ecosistema, ya que su acumulación no sólo contribuye a la contaminación de suelo, agua, aire y paisaje, a la vez que amenaza nuestra salud, entorno social y calidad de vida, sino que también tiene un fuerte impacto en nuestra economía, pues los residuos son una fuente de materias primas que nuestra sociedad no puede permitirse el lujo de desaprovechar.

Para revertir esta situación, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) publicó en 2019 la *Visión Nacional hacia una Gestión Sustentable: Cero Residuos*, cuyo objetivo es: “[...] Transformar el esquema tradicional del manejo de los residuos en un modelo de economía circular, para el aprovechamiento racional de los recursos naturales y favorecer el desarrollo sustentable en el país”.

Asimismo, en noviembre de 2021, el senado de México aprobó la Ley General de Economía Circular, la cual busca reducir el impacto ambiental derivado de las actividades económicas, buscando que el valor de productos, materiales y recursos se mantengan dentro del ciclo económico durante el mayor tiempo posible para así reducir al mínimo la generación de residuos; en este sentido, se debe desarrollar y promover la integración del sector informal del reciclaje de residuos, así como facilitar la incorporación de productos de bajo impacto ambiental a la economía nacional. Esta ley también plantea que los gobiernos municipales sean los responsables de regularizar e integrar en un padrón oficial a las personas que realicen alguna actividad de acopio, reciclaje o compraventa, entre otros.

No obstante, una limitación importante del sistema de manejo de residuos en nuestro país es la disponibilidad de información confiable para la toma de decisiones acertadas o la formulación de políticas públicas que atiendan las áreas más urgentes e importantes relacionadas con el manejo de residuos a nivel nacional, pues tan sólo dos entidades federativas tienen un inventario de residuos de manejo especial (RME) que pueden ser consultados: el de Guanajuato, de 2015, y el de la Ciudad de México, que con varias actualizaciones en su inventario data de 2006, como se cita en esa misma fuente.

En este sentido, esta tesis tiene como objetivo contribuir, en la medida de lo posible, a enriquecer la información sobre RME en nuestro país en la actualidad y ampliar las oportunidades de valorización y aprovechamiento en particular de la arena sílica, una materia prima que por sus características es utilizada en varias industrias. El análisis implica el análisis de las operaciones logísticas de transporte que una empresa eslabón de la cadena de suministros inversa realiza para valorizar este residuo. La empresa valorizadora está ubicada en el estado de Querétaro, en el centronorte de México.

CAPÍTULO 1. GENERACIÓN Y VALORIZACIÓN DEL RESIDUO DE ARENA SÍLICA

En la actualidad, la mayoría de las actividades humanas produce residuos que sobrepasan los procesos de reciclaje natural, dado que el desarrollo industrial, el aumento de la población y una urbanización acelerada y sin precedentes se relacionan de manera directa con el incremento de la cantidad de desechos que cada habitante genera. En los últimos 40 años se han producido más residuos en el mundo que desde el origen del hombre hasta 1970 (Escolofi, 2020). Las 40 curiosidades sobre el reciclaje, según la Organización de Naciones Unidas (ONU, 2022), la cantidad de residuos sólidos urbanos generados a nivel mundial podría pasar de 2,240 mil millones de toneladas a 3,880 mil millones de toneladas en 2050; por ende, la gestión de residuos, es decir, el conjunto de actividades necesarias para el tratamiento de los desechos, desde su generación, hasta su eliminación o aprovechamiento, ha cobrado una gran importancia por motivos ecológicos y económicos.

Quizá la primera iniciativa para gestionar los residuos se realizó en Estados Unidos, en 1906, al incinerarlos, descargarlos en ríos, verterlos o enterrarlos, si bien no fue hasta mediados del siglo XX cuando la generación de residuos se consideró como un problema que puede afectar al medioambiente (Cipolatto & Ribas, 2021).

Es importante conocer, identificar y entender qué son los residuos y sus diferentes clasificaciones para una gestión efectiva (Moreno, et al., 2021). Los residuos sólidos se definen como materiales con un valor económico negativo, es decir, su eliminación es más barata que su reciclaje (Pichtel, 2005). De manera coloquial, el término se emplea como sinónimo de basura, por hacer referencia a los desechos que producimos, mientras que la Oficina Panamericana de la Salud (OPS) considera los desechos como cualquier material que se encuentra incluido dentro de un rango de materiales sólidos (también líquidos) que son rechazados precisamente por encontrarse gastados, ser inútiles, excesivos y ya no poseer valor (Organización Panamericana de la Salud, 2011). Por otro lado, la United Nations Industrial Development Organization (2007), define los residuos como todo aquello que se genera como producto de una actividad, ya sea como consecuencia de la acción directa del hombre o por la acción de otros organismos vivos, dando lugar a una masa heterogénea, que la mayor parte de las veces es difícil que se vuelva a reincorporar a los ciclos que mantiene la naturaleza.

La EPA, por sus siglas en inglés, es la agencia del gobierno de los Estados Unidos de América encargada de proteger la salud humana y el ambiente, identifica la generación de residuos cuando una persona, organización o actividad humana produce muchos tipos diferentes de desechos, incluidos los sólidos municipales, desechos peligrosos, desechos industriales no peligrosos, desechos agrícolas y animales, desechos médicos, desechos radioactivos, etc. La gestión de residuos se hace mediante la reutilización, el reciclaje, el almacenamiento, el tratamiento, la recuperación de energía, y/o la eliminación en la liberación al medio ambiente (EPA, 2022).

En México se define Residuo como el material o producto que se desecha y que se puede encontrar en estado sólido, semisólido, líquido y gas, y que es susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final (Congreso General de Los Estados Unidos Mexicanos, 2003. 08 de octubre. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR).

En lo general, en la LGPGIR los residuos se clasifican en residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos de manejo especial (RME).

Residuos sólidos urbanos (RSU)

Son los que se generan en las casas habitación y resultan de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas, los productos que se consumen y sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos.

Residuos de manejo especial (RME)

Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos (aquellos que posean características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad etc.), o como residuos sólidos urbanos que son producidos por grandes generadores.

RME en el estado de Guanajuato

Los residuos de manejo especial (RME) a los que nos referiremos a lo largo de este estudio, son “aquellos que se generan en los procesos productivos de diferentes industrias”, en su mayoría son producidos por grandes generadores de RSU, además, estos residuos no reúnen las características para ser considerados como peligrosos, es decir, no tienen cualitativa y cuantitativamente agentes químicos y/o biológicos que afecten a un ser vivo. Los RME son los que se generan a partir de la realización de bienes o productos que satisfacen necesidades de la sociedad mediante cadenas de valor, procesos de fabricación, distribución y consumo de materias primas.

El Diagnóstico Estatal de Generación y Composición de Residuos de Manejo Especial (DEGCRME, 2018) los clasifica en los siguientes grupos:

1. Residuos de rocas o productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales de construcción o que se destinen para este fin, así como los productos derivados de la descomposición de las rocas. Esto porque Guanajuato es uno de los estados con mayor número de minas en el país; los principales minerales que se extraen son oro y plata.
2. Residuos de servicios de salud generados por establecimientos que realicen actividades médico-asistenciales a las poblaciones humanas o animales, ya sea hospitales públicos o privados o centros de investigación, con excepción de los biológico-infecciosos.
3. Residuos generados por las actividades piscícolas, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas o ganaderas, incluyendo los residuos de los insumos utilizados en esas actividades, — agro plásticos, en su mayoría—.
4. Residuos industriales no peligrosos generados en instalaciones o por procesos industriales que no presentan características de peligrosidad —aquí vale la pena acotar que la industria manufacturera es el principal agente económico del estado de Guanajuato.
5. Residuos de servicios de transporte, así como los generados como consecuencia de las actividades que se realizan en aeropuertos y terminales ferroviarias.

6. Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales.
7. Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales, centrales de abastos, mercados municipales, generados en grandes volúmenes.
8. Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general.
9. Residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores y otros que, al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico.
10. Pilas que contengan litio, níquel, mercurio, cadmio, manganeso, plomo, zinc, o cualquier otro elemento que permita la generación de energía en las mismas, en los niveles que no sean considerados como residuos peligrosos en la norma oficial mexicana correspondiente.
11. Neumáticos usados.
12. Otros que determine la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT, de común acuerdo con las entidades federativas y municipios que así lo convengan para facilitar su gestión integral.

Debido a las diferentes tecnologías de producción y a la amplia gama de productos que existen en el mercado, las industrias generan una amplia variedad de RME. Dependiendo de sus componentes o materias primas, los RME pierden su valor original al caducar su vida útil o al ser desechados por políticas de calidad u otros factores, pero siguen conservando cierto valor. De hecho, algunos no son precisamente residuos, sino bienes o materiales viejos que con el paso del tiempo van perdiendo algunas de sus propiedades o funciones.

Los fabricantes pueden hacer una destrucción de sus componentes o venderlos para reincorporarlos a otras industrias, ya que es posible que tengan usos o aplicaciones distintas para los que fueron fabricados; por ejemplo, un inventario viejo de neumáticos puede ser vendido, cortado y reutilizado como combustible en la industria cementera, ya que los neumáticos se incineran a altas temperaturas y generan energía calorífica para los hornos.

También pueden derivar sus materias primas a otros productos que los necesiten como base de fabricación, como señala Fenglan Han & Lan'r Wu (2019). Tal es el caso de la arena sílica, materia prima en la fabricación de pasta dental y, después, cuando es considerada un RME, materia prima en la fabricación de bloques de hormigón para la construcción, detergentes, pinturas y otras industrias. Se considera RME después de ser rechazada en la primera industria por políticas de calidad que no afectan o interesan a la segunda.

El reincorporar materiales o materias primas reduce la generación de residuos al pasar de una industria a otra como si fueran mercancías, y también aminora el consumo de recursos, como lo afirma Fenglan Han & Lan'r Wu (2019).

El estado de Guanajuato se ubica en el centro de la República Mexicana; tiene una extensión territorial de 30,339.8 km, cuenta con 46 municipios, su capital es la ciudad de Guanajuato y

se destaca por ser uno de los 10 estados que más producto interno bruto (PIB) aportó a México durante 2019: 4.2% con respecto al PIB nacional, de acuerdo con estadísticas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020).

Su crecimiento económico de las últimas décadas lo sitúa como uno de los estados más boyantes de México, pero también como una de las entidades más contaminantes del país, pues los residuos de manejo especial (RME) provenientes de su sector industrial ascienden a 28,972.55 toneladas diarias, según el Diagnóstico Estatal de Generación y Composición de Residuos de Manejo Especial (DEGCRME, 2018) publicado por la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial de Guanajuato (SMAOT, 2019).

En este sentido, la mayoría de las industrias de Guanajuato son grandes generadoras de residuos, pues de acuerdo con LGPGIR (2003), los grandes generadores son considerados cualquier tipo de persona física o moral que genere 10 o más toneladas en peso bruto total de residuos al año.

Dado que el Artículo 9 de la LGPGIR establece que es facultad de las entidades federativas autorizar el manejo integral de residuos de manejo especial e identificar los que dentro de su territorio puedan estar sujetos a planes de manejo, en 2015, el gobierno del estado de Guanajuato realizó un informe en el cual documentó la situación en la que se encontraba el estado respecto a la generación de RME, su clasificación y ubicación de los grandes generadores, al que tituló: Inventario de Residuos de Manejo Especial en el Estado de Guanajuato (IRMEEG, 2015).

Generadores de residuos de manejo especial por regiones en el estado de Guanajuato

El estado de Guanajuato dentro de su inventario distingue cuatro regiones, cada una agrupa cierto número de municipios colindantes entre sí que representan un porcentaje considerable en la generación de RME al año (los municipios con muy bajo porcentaje de generación de RME no están considerados en ninguna región), según se muestra en la siguiente Gráfico 1, que presenta el porcentaje de cada región con base al total de toneladas generadas por mes en el estado.

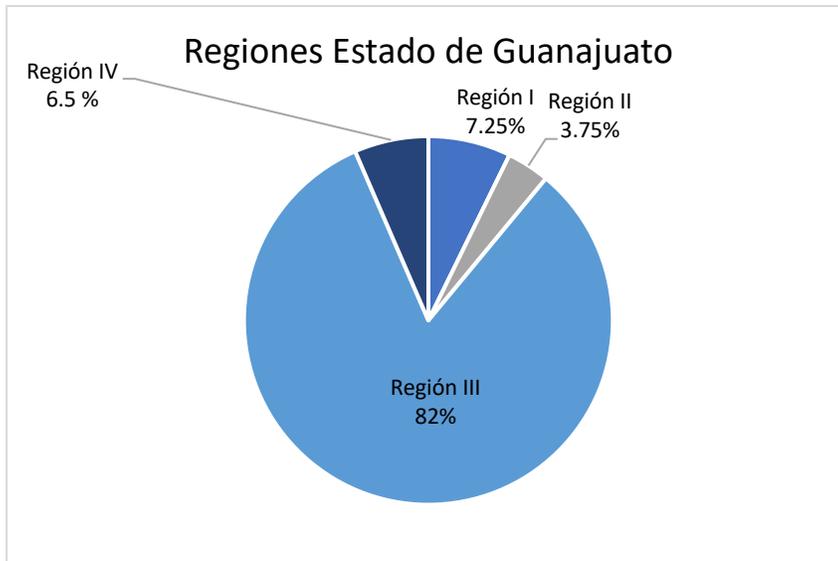


Gráfico 1. Porcentaje de las toneladas totales de RME generadas por región en el estado de Guanajuato

Fuente: IRMEEG 2015

Los siguientes gráficos presentan las toneladas de RME generadas por mes en los municipios del estado de Guanajuato durante 2015. La región I considera con dos municipios, San Luis de la Paz y San José Iturbide, por los que cruza la autopista federal 57 Querétaro-San Luis Potosí que representa una arteria importante para la atracción y generación de industria en la zona, además de ser un lugar de tránsito entre los estados de Querétaro, Guanajuato y San Luis Potosí.

Dado que el municipio de San José Iturbide cuenta con varias industrias manufactureras, es el quinto municipio con más generación de RME en el estado de Guanajuato; por su parte, San Luis de la Paz tiene industria minera, agrícola y ganadera, generando pocos residuos a nivel estatal; esta región es la segunda donde se genera mayor cantidad de RME del estado.

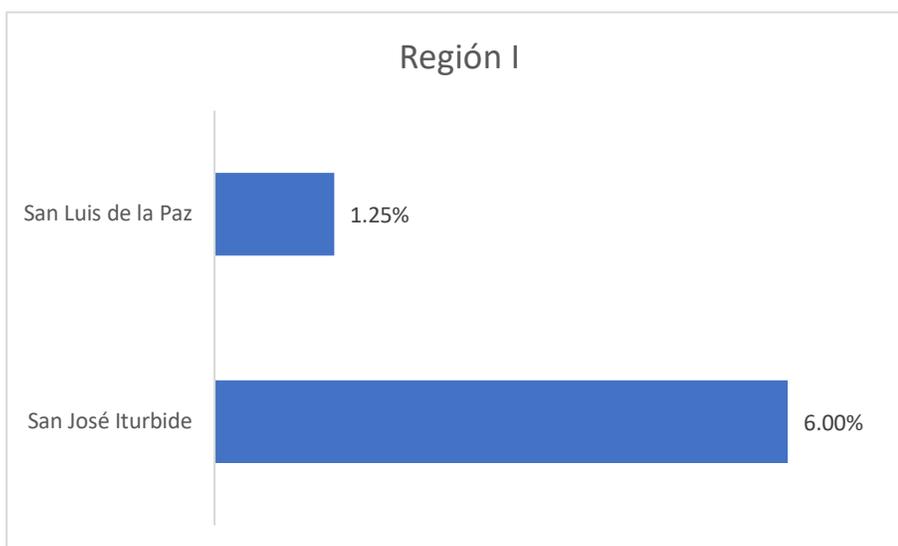


Gráfico 2. Porcentaje de RME generado por municipio, Región I

Fuente: IRMEEG 2015

En la región II se encuentran municipios con baja generación de RME, como San Felipe, San Miguel de Allende, Ocampo, etc., ya que carecen de ciudades grandes, en su mayoría tienen una población menor a 200,000 habitantes y sus giros más representativos son principalmente turísticos, por lo que sus actividades económicas del tipo industrial y agrícola representan menos de 7.5 % de la generación de RME del estado.

Los municipios de la región II tienen poca actividad industrial, aunque generan residuos sólidos urbanos aquellos que tienen poblaciones con carácter turístico, como Dolores Hidalgo, Guanajuato, San Miguel de Allende; o pueden generar RME de carácter agropecuario, como en los municipios de Ocampo y San Felipe.

En la región III se encuentran los cuatro municipios con mayor desarrollo industrial: Guanajuato, Celaya, León y Silao y, por tanto, son los más grandes generadores de RME a nivel estatal, pues su unidad económica (UE) principal es la manufactura, industria que más toneladas de RME genera.

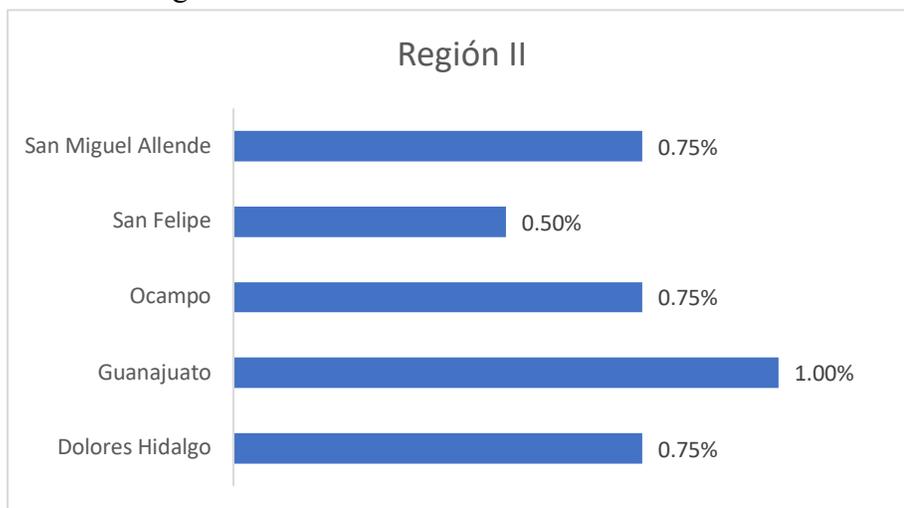


Gráfico 3. Porcentaje de RME generado por municipio, Región II

Fuente: IRMEEG 2015

Esta región, además de albergar los municipios más industrializados, también tiene los municipios más poblados del estado de Guanajuato, como el de León en primer lugar, con más de un millón de habitantes; en segundo lugar, el municipio de Irapuato con casi 600 mil habitantes y el municipio de Celaya en tercer lugar, con poco más de medio millón de habitantes INEGI (2020).

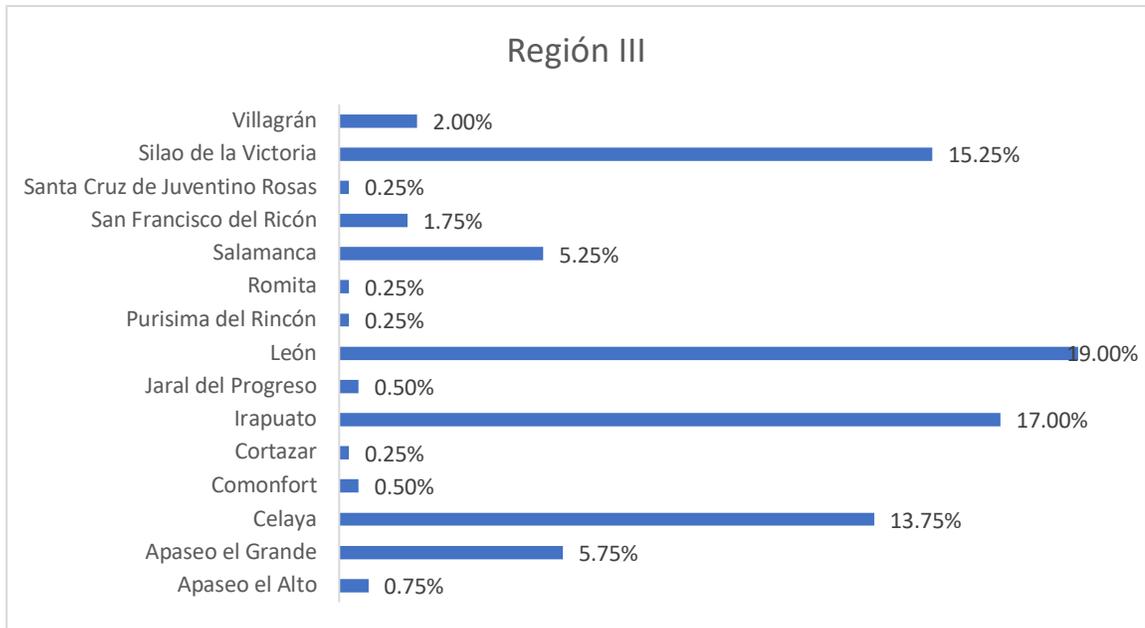


Gráfico 4. Porcentaje de RME generado por municipio, Región III

Fuente: IRMEEG 2015

En la región IV se encuentran varios municipios con menor desarrollo industrial, por tanto, son de los menores generadores de RME a nivel estatal, pues su UE principal es la agricultura y la ganadería.

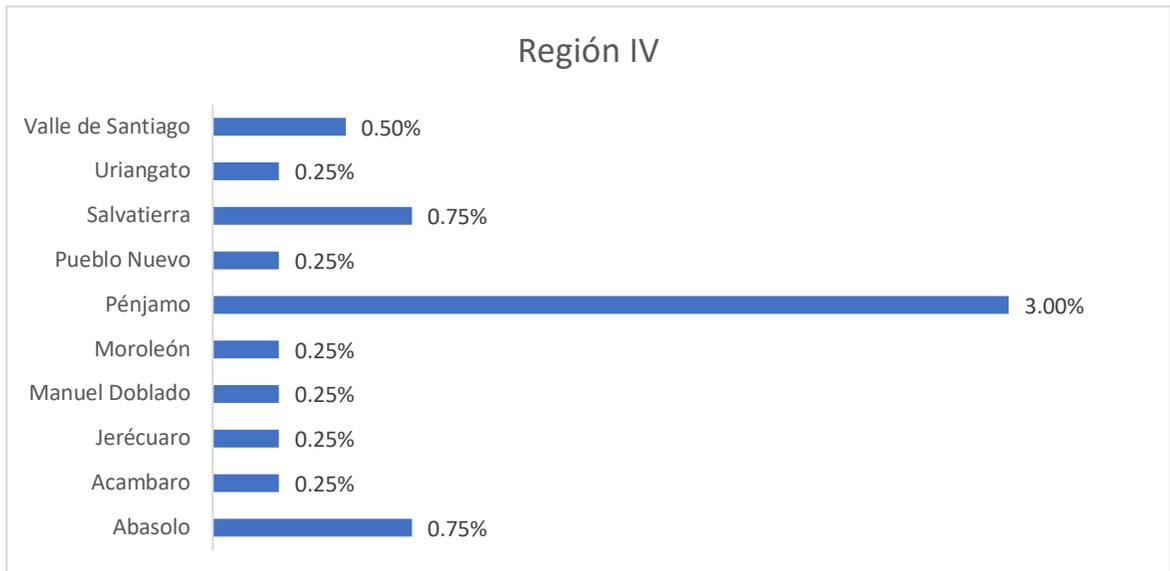


Gráfico 5. Porcentaje de RME generado por municipio, Región IV

Fuente: IRMEEG 2015

Esta región es la que menos RME genera, debido a que las poblaciones de sus municipios son menores a 160 mil habitantes y las categorías de sus RME son menos de 1% del total generado en el estado; sus principales actividades son agricultura, ganadería y comercio.

De acuerdo con el Diagnóstico Estatal de Generación y Composición de Residuos de Manejo Especial, DEGCRME (2018), los municipios que forman parte del corredor industrial generan 68.8% del total de los RME, en otras palabras, la generación de RME está directamente relacionado con el grado de industrialización y dinámica económica del municipio.

A continuación, la **Tabla 1** muestra el porcentaje de generación de RME por municipio del estado. Cabe resaltar que los municipios con muy baja generación no fueron en las regiones descritas.

Esta tabla es de especial interés, debido a que la empresa considerada en este trabajo de investigación se encuentra en el municipio de San José de Iturbide, mismo que se encuentra en la Región 1 y representa 6% del total de los RME generados dentro del estado de Guanajuato. Es importante señalar que en este municipio hay un yacimiento cuya mineralización es de feldespatos y arena sílica.

Municipio	Generación (%)	Municipio	Generación (%)
Villagrán	2%	León	19%
Valle de Santiago	1%	Jerécuaro	<1%
Uriangato	<1%	Jaral del Progreso	1%
Silao de la Victoria	15%	Irapuato	2%
Santa Cruz de Juventino Rosas	<1%	Guanajuato	1%
San Luis de la Paz	1%	Dolores Hidalgo	1%
San José de Iturbide	6%	Cortazar	<1%
San Francisco del Rincón	2%	Comonfort	1%
San Felipe	1%	Manuel Doblado	<1%
Salvatierra	1%	Celaya	14%
Salamanca	5%	Apaseo el Grande	6%
Romita	<1%	Apaseo el Alto	1%
Purísima del Rincón	<1%	San Miguel de Allende	1%
Pueblo Nuevo	<1%	Acámbaro	<1%
Pénjamo	3%	Abasolo	1%
Ocampo	1%	Moroleón	<1%

Tabla 1. Porcentaje de generación de RME por municipio

Fuente: IRMEEG 2015

Otro aspecto relevante para este estudio son los tipos de RME por toneladas generadas por mes. Esto se presenta en la **Tabla 2**.

RME	Toneladas / mes	RME	Toneladas / mes
Metales, no metales y metaloides	461,242.36	Estiércol (Granjas)	1,176.80
Madera	22,319.03	Construcción	1,004.18
Plástico	20,929.87	Textil	1,004.18
Otros	7,028.82	Cartón y papel	249.53
Lodos	7,025.12	Vidrio	167.32
Cartón	5,983.62	Residuos electrónicos	38.27
Residuos sólidos urbanos RSU	4,808.93	Aceite	21.27
Residuos orgánicos	4,442.96	Rastro	5.57
Residuos de curtiduría	3,819.53	Filtros	3.41
Arena	3,330.50	Cerámica	2.83
Papel	1,489.09	Resina	2.80
Neumáticos	1,184.90		
TOTAL: 546,853.6			

Tabla 2. Toneladas generadas de RME en Guanajuato en 2015

Fuente: IRMEEG 2015

Por otra parte, la Tabla 3 muestra el porcentaje de RME por giro o actividad económica reportadas en el IRMEEG (2015) y las toneladas generadas de RME por unidad económica.

Giro en Guanajuato	Contribución	Tonelada s / UE - año	Giro en Guanajuato	Contribución	Toneladas / UE - año
Manufacturera	27.3%	1,028.07	Metalúrgica	0.8%	27.74
Servicios	20.4%	758.11	Agroindustrial	0.8%	27.74
Alimenticia	14.4%	536.22	Maquiladora	0.5%	16.64
Metalmecánica	8.5%	314.34	Industria Zapato	0.5%	16.64
Curtiduría	8.0%	295.85	Plástica	0.3%	9.25
Automotriz	5.0%	184.9	Petroquímica	0.3%	9.25
Química	4.8%	177.51	Minera	0.3%	9.25
Textil	2.0%	73.96	Farmacéutica	0.3%	9.25
Ganadera	1.8%	66.57	Construcción	0.3%	9.25
Manufacturera / Química	1.0%	36.98	Cerámica	0.3%	9.25
Fundición	1.0%	35.13	Celulosa	0.3%	9.25
Tenería	0.8%	27.74	Agroquímica	0.3%	9.25
TOTAL				100%	3,698.14

Tabla 3. Porcentaje de RME generados por giro en Guanajuato 2015

Fuente: IRMEEG 2015

Según el DEGCRME (2018), se identificaron 71 tipos de residuos de manejo especial generados por las empresas. La Tabla 4 muestra los 20 tipos más se generaron durante 2018 a nivel estatal y el porcentaje que representa del total del estado. Por su extensión, la tabla con los 71 tipos de RME se encuentra en el Anexo 1.

No	RME	Generación estimada (ton/año)	Porcentaje (%)
1	Cartón	917,822.03	16.75
2	Metal ferroso	867,332.66	15.83
3	Madera	521,792.82	9.52
4	Mezcla de residuo	419,956.41	7.67
5	HDPE	341,414.69	6.23
6	Polipropileno	236,761.67	4.32
7	LDPE	189,220.84	3.45
8	Tetra Pack	154,265.17	2.82
9	Hule	152,770.86	2.79
10	Lodo de PTAR	146,173.02	2.67
11	Aluminio	144,989.64	2.65
12	Mezcla de plásticos	116,906.51	2.13
13	Papel	96,897.70	1.77
14	Poliestireno	95,465.69	1.74
15	Vidrio	85,104.40	1.55
16	Destrucción fiscal	73,806.54	1.35
17	PVC	67,292.53	1.23
18	Arena sílica	62,111.52	1.13
19	Cobre	61,324.51	1.12
20	Caucho	59,216.04	1.08

Tabla 4. Generación por tipo de residuo a nivel estatal, primeros 20 tipos de RME

Fuente: DEGCRME 2018

Como se puede apreciar, la arena sílica (SiO₂) se encuentra en el lugar 18, con 62,111.52 toneladas anuales, lo cual representa 1.13 % respecto al total anual estatal. Después de los RME de mayor reciclaje (cartón, plástico, metales) sigue la arena sílica que por sus características y versatilidad es utilizada en diferentes procesos industriales y de construcción, donde puede ser reutilizada sin perder su valor.

Características de la arena sílica (SiO₂)

La arena sílica o arena de sílice es un compuesto que resulta de la combinación de la sílice con el oxígeno. Su composición química está formada por un átomo de sílice y dos átomos de oxígeno, formando una molécula muy estable: SiO₂. A diferencia de la arena de playa, que se deriva de la piedra caliza, la arena sílica está formada de cristales de cuarzo, mismos

que se encuentran en abundancia en la corteza terrestre y se extraen mediante la minería y posteriormente se procesan.

Los usos industriales de la arena sílica derivan de sus propiedades físicas y químicas, de las cuales destacan su dureza, resistencia química, alto punto de fusión, piezoelectricidad, piroelectricidad y transparencia; se utiliza en las industrias de la construcción y la manufactura como materia prima en la fabricación de ladrillos, vidrio, o ferroaleaciones, piezas de fundición, compostas, plantas de tratamiento o purificación de agua, lejías, abrasivos industriales y arenados, detergentes, pinturas, hormigones y morteros especiales, entre otros muchos productos. La Fotografía 1 muestra la arena sílica en su forma no procesada.



Fotografía 1. Arena sílica

Una empresa valorizadora de la arena sílica

La empresa que analizamos como caso de estudio de esta tesis tiene más de 20 años en el mercado, y colecta, transporta, clasifica, valoriza y hace una disposición final de residuos industriales provenientes de las zonas del Valle de México, Querétaro y Celaya.

El nombre de la empresa es anónimo por razones de confidencialidad. Se cataloga como una empresa mediana que brinda el servicio de recolección de residuos, principalmente a empresas catalogadas como grandes generadoras de RME, y no se caracteriza por tener enfoque hacia un solo tipo de RME, los datos proporcionados por la empresa son datos integrados.

Una de las políticas en las que basa sus procesos es cuidar del medio ambiente, para lo cual realizó sinergias empresariales al crear y desarrollar su programa Zero Waste, mismo que inició sus operaciones en 2013 con la finalidad de minimizar el impacto ambiental a partir del manejo sustentable de los residuos de sus clientes.

Dentro de su programa de crecimiento invirtió en un centro para la selección, aprovechamiento y formulación de residuos con fuente calorífica como combustible alternativo para hornos de diferentes industrias y creó una unidad de negocio en el manejo de RME.

Diagrama del flujo del RME arena sílica

Para entender de una mejor forma el proceso de valorización de la arena sílica, debemos iniciar por explicar la producción y el rol de la arena sílica dentro de ella, esto se puede ver de forma visual en el **Figura 1**.

Todo comienza con una empresa que utiliza la arena sílica como materia prima en la fabricación de pasta dental la cual llamaremos planta de producción, esta va solicitando sus materias primas de acuerdo con su producción planeada. La arena sílica llega a la planta de producción en embarques de gran volumen mediante tolvas de ferrocarril que se revisan una a una cuando ingresan a las instalaciones de la planta de producción. Si algún sello de las tolvas está roto o violado, la arena se desecha por no ser apta para sus procesos de producción ni cumplir con sus estándares de calidad, pasando de materia prima a ser un residuo de la planta de producción. Es allí donde interviene la empresa coas de estudio la cadena de suministro inversa.

La empresa caso de estudio recoge el residuo y para ello programa el uso de una o varios de sus vehículos destinadas a la colecta. Es aquí cuando ocurre el primer servicio de transporte. Una vez acopiada la arena sílica se transporta a un centro de transferencia, donde se realizan procesos para evaluar qué tan contaminada. Con base en la evaluación se define el siguiente destino, allí ocurre un segundo servicio de transporte.

La empresa sólo entrega a un cliente la arena sílica sin mezclarla con otros residuos, otros clientes acuden por ella con unidades propias al centro de transferencia. Cuando, debido a su estado de contaminación no se puede reutilizar, se lleva a depósito final. También allí ocurre un servicio de transporte.

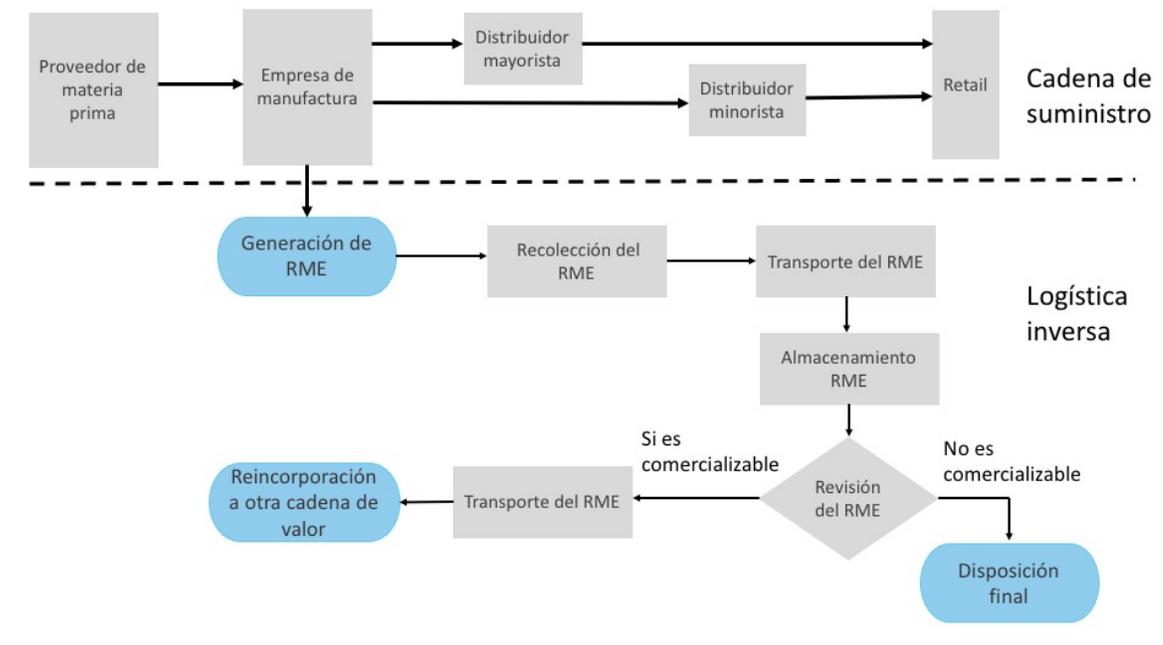


Figura 1. Proceso de la logística inversa de la arena sílica

Para transportar la arena sílica se utilizan camiones unitarios de dos o tres ejes con tecnología roll on–roll off ya que los contenedores de estos vehículos son utilizados como depósitos temporales en las instalaciones de los clientes. Véase la Fotografía 2.



Fotografía 2. Torton recolector de arena sílica

A continuación, la Figura 2 muestra la red de transporte que toma en cuenta los dos servicios de transporte realizados en este eslabón de la CSI en estudio. Como se comentó, el primer servicio ocurre cuando se recolecta la arena sílica y ésta es transportada de la planta de producción al centro de transferencia; el segundo servicio ocurre cuando la arena sílica es transportada del centro de transferencia al mercado alternativo o disposición final, estos son los dos servicios que ocurren en este eslabón de la cadena de suministro inversa. En ocasiones, cuando la arena sílica viene mezclada con otros residuos de los que genera la planta de producción, se hace un servicio directo de la planta de producción al centro de disposición final.

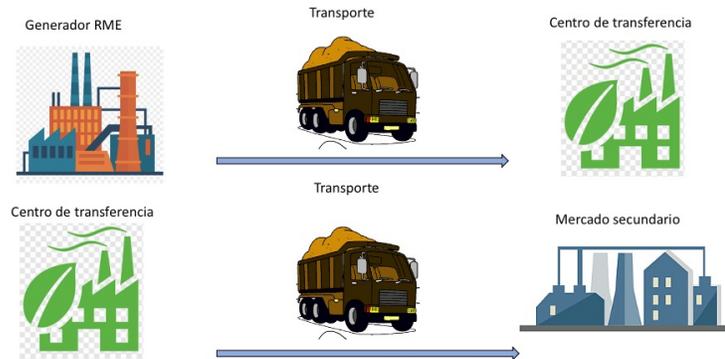


Figura 2. Diagrama de la CSI de arena sílica

Problemática del RME en estudio

La arena sílica es un RME no muy atractivo en el mercado del reciclaje, pues no hay muchos mercados secundarios donde este residuo se pueda reutilizar o revender, a diferencia de otros RME como cartón, plástico, metal, vidrio, etcétera. Para el caso, se colecta para satisfacer las necesidades del cliente.

Considerando lo anterior, esta tesis está orientada al análisis de costos de transporte asociados a la valorización de la arena sílica. Además, se enfoca en revisar si la recolección cubre los costos operativos, si hay costos no considerados. En especial el análisis se centra en la posibilidad de establecer el uso exclusivo de vehículos para el transporte de arena sílica. Esto dado que actualmente los vehículos se utilizan para transportar más de un residuo, entre ellos: cartón, plástico y tarimas de madera. La empresa caso de estudio considera a la especialización del transporte un riesgo para los ingresos. Si los costos operativos fueran cubiertos por la valorización de la arena sílica la empresa podría cambiar de opinión, además de no menospreciar el beneficio ambiental ocasionado por ampliar su vida.

Objetivo general de la tesis

Para fines de la investigación, esta tesis considera que la empresa caso de estudio es un eslabón de la cadena de suministros inversa que valoriza la arena sílica. Se tiene la seguridad de que el análisis de las operaciones logísticas de transporte de la arena sílica, y en general de los residuos, abona a la valorización y aprovechamiento.

Así, la tesis tiene como objetivo: Analizar los costos logísticos y de transporte por la valorización que realiza la empresa caso de estudio de la arena sílica. El análisis se realiza tratando de ampliar las oportunidades de valorización y el aprovechamiento del residuo. Se analizan los costos de adquisición, de almacenamiento y de transporte.

Justificación y alcance de la tesis

El manejo integral de los residuos es parte fundamental para reducir el impacto ambiental, las empresas dedicadas a la recolección de residuos son eslabones de una cadena de suministros inversa que aportan en este sentido. Esta tesis trata de impulsar la

profesionalización de un eslabón de la cadena aportando un método de cálculo de costos aplicable a otros residuos. El alcance de la tesis es calcular los costos por transportar y procesar la arena sílica considerando la adquisición, almacenamiento y transporte y con ello ofrecer información para la ampliación operaciones a otros tipos de residuos.

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS Y COSTOS DE LAS OPERACIONES LOGÍSTICAS DE TRANSPORTE

En este capítulo se describe la caracterización de las cadenas de suministro inversa (CSI), sus diferentes definiciones y enfoques. De la misma manera, se detallan las operaciones logísticas de transporte (OLT), que son elementos fundamentales de este tema de investigación.

Cadenas de suministro inversas (CSI)

Los compradores devuelven un promedio de \$6,426 mil millones de dólares en mercancías a nivel mundial cada año, lo cual reduce de manera significativa los márgenes de ganancias y aumenta los costos logísticos en las empresas (Zebra Technologies, 2018).

En este sentido, el proceso de logística inversa y sus costos de transporte y otros asociados por la devolución de pedidos es todo un desafío, y las industrias deben estar preparadas para asumir una logística inversa en su cadena de suministro que logre ser rentable para la empresa y de calidad para el cliente.

La logística inversa data de algunas décadas atrás, en la década de los 70 se comenzó a hablar en la literatura científica de canales o flujos inversos, pero estaba relacionado con el reciclaje (Fleischmann et al., 2013). Es hasta principios de los noventa que se tuvo una definición más o menos formal de la logística inversa (LI), aunque el término se siguió utilizando para referirse al papel de la logística en el reciclaje, la eliminación de residuos y la gestión de materiales peligrosos con una perspectiva más amplia, incluyendo las actividades logísticas llevadas a cabo en la reducción de fuentes, el reciclaje, la sustitución, la reutilización de materiales y su eliminación Stock (1992).

En los noventa, el Grupo de Trabajo Europeo sobre Logística Inversa (REVLOG, por sus siglas en inglés) en 1998 definió a las Cadenas de Suministros Inversa como: *“el proceso de planificar, implementar y controlar los flujos inversos de materias primas, inventarios en proceso, empaques y productos terminados, desde un punto de distribución o uso de fabricación hasta un punto de recuperación o punto de eliminación adecuada”*

Se trata del mismo proceso que en la logística convencional, que lleva la mercancía de A hasta B, pero con sentido inverso. Es decir, los productos pasan de los usuarios finales a un fabricante de equipos originales (OEM, por sus siglas en inglés) o a empresas de reciclaje o remanufactura (Nikolaidis, 2013). Es el caso de la empresa caso de estudio que forma parte de un eslabón de una cadena de suministro inversa que recupera el valor del residuo.

El siguiente grupo de actividades son comunes:

1. Colección de productos usados. Incluye actividades de compra, transportación y almacenamiento.
2. Selección. Inspección y operaciones que determinan si los residuos se pueden recuperar y de qué manera.
3. Reprocesamiento. Reacondicionamiento de residuos, que significa la transformación real de productos usados en productos nuevos o recuperación de la materia prima para algún otro producto distinto al de su origen.

4. Disposición final. Esto se refiere a los residuos que fueron encontrados como no reutilizables ya sea por razones técnicas o económicas.
5. Redistribución. Incluye ventas (arrendamiento, contratos de servicio, etc.), actividades de transporte y almacenamiento hacia nuevos usuarios.

El tipo de recuperación del producto y la secuencia de los pasos requeridos a menudo dependen de las condiciones de calidad.

A continuación, se muestra el grupo de actividades en el sistema de recuperación de productos:

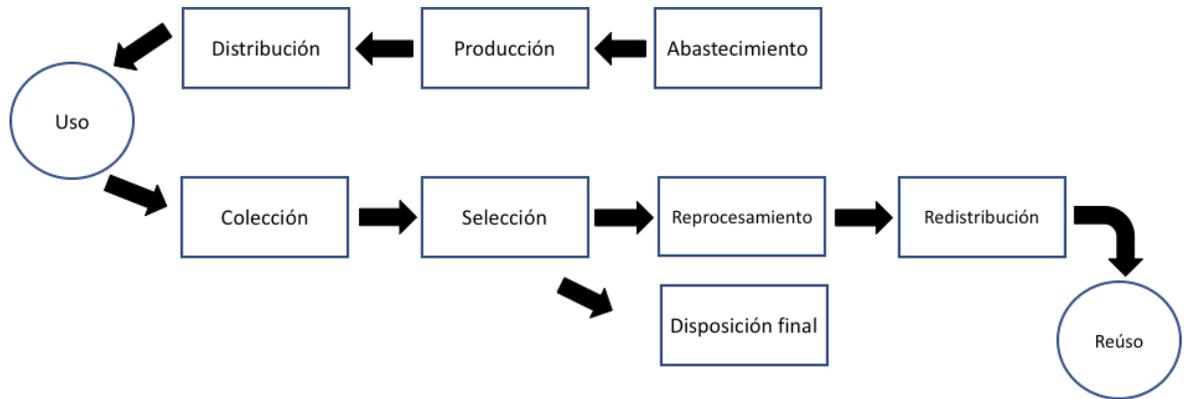


Figura 3. Diagrama de actividades en la recuperación del residuo

Fuente: Fleischmann et al (2000)

El tipo de recuperación del producto y la secuencia de los pasos de procesamiento son desde el reuso directo o reventa, hasta la disposición final. La Figura 3 muestra el proceso de la mayoría de los productos de consumo, que tienen un uso y después son desechados con el propósito de poder tener un reuso y así alargar su vida útil.

Además, en algunos casos, el residuo puede ser retornado puede ser revendido o desechado directamente. En general, el procesamiento o manejo de los residuos depende de su estado físico y que tanto valor de retorno pueda tener; en el mejor de los casos debería hacerse un reuso directo o reventa, sin necesidad de repararlo o restaurarlo, como se muestra en la Figura 4, ya que al tener este proceso directo es mayor la eficiencia ambiental y el valor de producto.

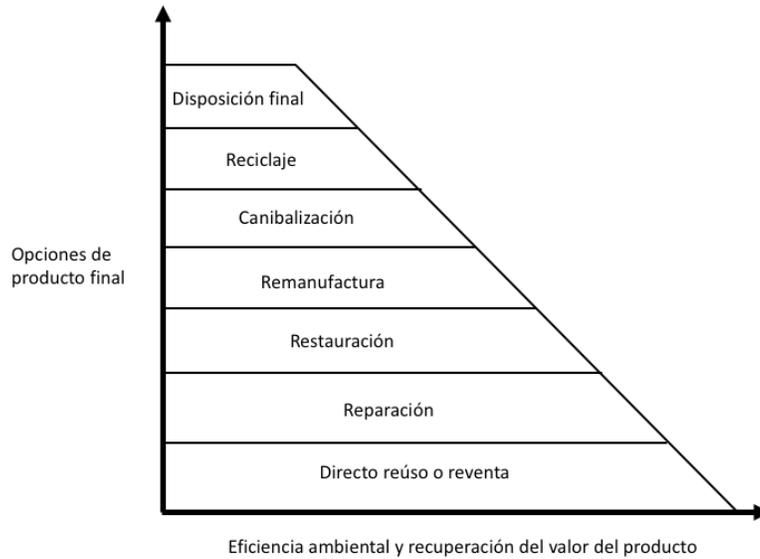


Figura 4. Pirámide en las opciones de retorno de productos

Fuente: Van Wassenhove LN, Zikopoulos C (2011)

Por otra parte, el retorno del residuo no es tan fácil, ya que en ocasiones se va directo a la disposición final perdiendo la mayoría de su valor original, y la eficiencia ambiental es baja, dado que no se pudo alargar la vida útil del producto en otro mercado o región, la arena sílica tiene la facilidad de tener un reúso directo, teniendo una eficiencia ambiental muy grande de acuerdo con la Figura 4.

Caracterización de CSI

En la caracterización de la cadena de suministro inversa se utilizó un proceso estructurado de análisis de CSI para el manejo de RME (CSI-RME) Reyes et al., (2018), con la finalidad de identificar cuales son los costos operativos asociados.

<p>Naturaleza Características del residuo Par Origen – Destino Alcance</p>	<p>Procesos Generación Adquisición Valorización Reintegración</p>
<p>Agentes Función / Actividad Consumo de mano de obra</p>	<p>Canales Conexión funcional Esquema de operación</p>

Figura 5. Diagrama de caracterización de CSI

Fuente: Reyes, A. Medina, E. y Sánchez, B. (2018)

Para tener una visión mas general de como esta conformada la CSI se utilizó un proceso estructurado de análisis aplicado al RME de la arena sílica, identificando donde inicia y termina nuestra CSI, sus alcances, los servicios de transporte y los procesos involucrados.

Características de la arena sílica

La arena sílica es un tipo de cuarzo que es utilizado en diferentes industrias, es un mineral que se extrae actualmente en el centro del país, por sus diferentes características como dureza, transparencia y alto punto de infusión, lo hacen un material útil para la fabricación de diferentes productos.

Par Origen Destino

El recorrido de la planta al centro de transferencia tiene una distancia de 40 km aproximadamente, el recorrido del centro de transferencia al mercado alternativo o disposición final tiene un recorrido de 10 km aproximadamente, todos los viajes son realizados por vehículos tipo torton en sus diferentes capacidades.

Alcance de la CSI

El alcance de la cadena de suministro se refiere al espacio geográfico que abarca el área de influencia de la CSI, para ello se considera la localización de los puntos de comercialización del RME, el centro de transferencia y la fuente de generación o adquisición, los cuales están cerca uno del otro.

Modelo de movimiento

El modelo de movimiento de la carga entre origen–destino se divide en dos categorías según el momento de su ejecución: push en el origen, pull en el destino (push y pull), (Chopra y Meindl, 2015), pull se origina en el pedido de un cliente, push en el cálculo de pedidos basados en un pronóstico de ventas.

Procesos

La cadena de suministro inversa de un RME está compuesta por cuatro procesos, los cuales están colocados en la Figura 6, dichos procesos pueden tener actividades que generen un valor extra al RME.

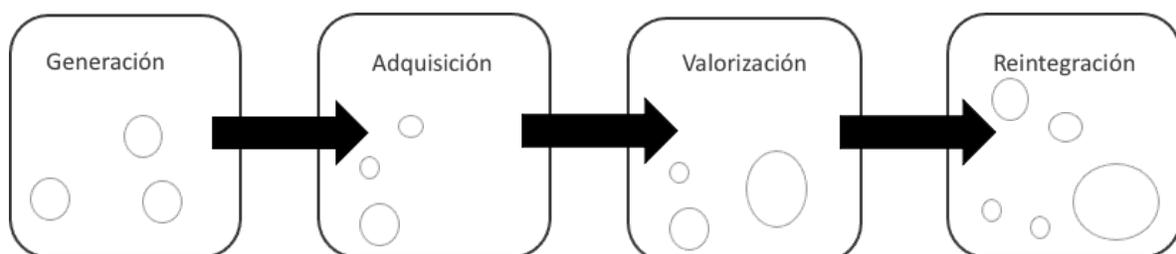


Figura 6. Diagrama de procesos de la CSI

Estos procesos abarcan desde que un material es desechado por una planta de producción (generación), hasta que es reincorporado en alguna cadena logística (reintegración). En estos procesos están involucrados diferentes agentes únicos para cada fuente de proceso.

Generación. En este proceso podemos encontrar una empresa que puede generar en una semana toneladas de un mismo residuo como el caso de estudio que estamos analizando; cualquier generador, sea una envoltura de plástico o un residuo de alto volumen, pueden ser reutilizados para otro fin o reincorporados en otra cadena logística.

Adquisición. En su trayecto a la disposición final, son actividades donde los residuos son recolectados y separados por un agente o una empresa dedicada a su recolección, inspección, selección, almacenamiento, consolidación y transporte, actividades similares a las que realiza la empresa caso de estudio.

Valorización. Recuperar el valor remanente de un producto es un proceso específico para cada tipo de residuo. Estos procesos pueden ser logísticos, al transportar el residuo de un origen donde ya no es utilizado, a un destino donde puede ser aprovechado por otro tipo de industria o cadena de valor. Este tipo de práctica de la valorización también la realiza la empresa caso de estudio.

Reintegración. El proceso de reintegración se realiza cuando los residuos fueron valorizados mediante procesos de reacondicionamiento y el material se distribuye en la misma cadena o en otras cadenas productivas. Se puede considerar como el inicio en el proceso de una nueva cadena, ya que este proceso de distribución se puede tomar como el aprovisionamiento de materia prima para un nuevo producto.

Los agentes de las CSI son diferentes y pueden agruparse considerando las funciones y/o actividades que realizan. En lo general se pueden considerar cuatro agentes: generadores, recolectores / adquirentes, valorizadores y distribuidores. Para cada agente, la gran variedad de actividades y procesos, pueden definir a otros sub-agentes.

Agente generador Es el que detona la primera etapa de la CSI; puede ser de cualquier tipo de industria y tener temporalidades estacionales con alto volumen de generación.

Agente recolector Esta función la puede realizar alguna institución de gobierno o la industria privada. Básicamente nos referimos a la acción de recolectar el residuo. La empresa caso de estudio se encarga de esta función, la cual es solicitada por el agente generador.

Agente valorizador Es el agente que realiza los trabajos de reacondicionamiento para recuperar parte del valor del producto original, como la empresa caso de estudio, que reacondiciona residuos para poderlos reintegrar a otra cadena de valor.

Consumo de mano de obra

En el consumo de mano de obra nos referimos a la especificación técnica, grado académico o cualidades que debe tener el personal para poder laborar en cada parte de la CSI, hay procesos o actividades que deben realizarse por personal calificado que tenga certificados o

grados académicos. El personal que labora en el centro de transferencia la mayoría cuenta con educación básica y tienen pláticas de higiene y seguridad industrial, los de nuevo ingreso reciben capacitación sobre los manejos de los RME o actividades específicas para el proceso de acoplación de los residuos.

Canales de la CSI

Los canales son aquellos que debe de recorrer el RME, estos pueden ser formales o informales o incluso mixtos dependiendo como operen, tienen una conexión funcional de acuerdo con sus actividades, por otra parte, pueden clasificarse con base en la longitud o número de intermediarios que lo integran.

Generación – Recolección

En esta conexión la empresa caso de estudio no tiene participación en la generación, pero si en la recolección y no tiene intermediarios ya que lo realiza con personal y transporte propio.

Recolección – Valorización

En esta conexión ambas partes las realiza la empresa caso de estudio, la valorización ocurre al realizar el transporte de la arena sílica de un lugar donde no se necesita a otra cadena de valor donde es atractiva para diferentes usos.

Valorización - Reintegración

La reintegración se realiza cuando la arena sílica es entregada en otra cadena de valor, un ejemplo de cadena de valor es cuando la arena sílica se ocupa como materia prima para la fabricación de material de construcción.

Operaciones Logísticas de Transporte

El servicio de transporte es una parte esencial en la cadena de suministro de cualquier producto, debido a que es un servicio que conecta los distintos materiales de una fuente generadora a una fuente receptora, debido a que es poco común que el lugar donde se generan los residuos sea el mismo lugar donde se procesan; lo mismo ocurre con materias primas, productos de manufactura o productos terminados: el transporte los lleva de su punto de origen a su punto de destino.

De acuerdo con Lara (2019) todos los servicios de transporte conllevan operaciones. Las operaciones logísticas de transporte (OLT) se clasifican de la siguiente forma

- Modos de transporte
- Gestión para el aprovechamiento de la capacidad de transporte
- Diseño de la red de transporte
- Definición del perfil del transportista
- Actuación de agentes logísticos
- Gestión del riesgo en el transporte
- Gestión de la fricción logística
- Balance de costos de transporte

Definición y operación de los modos de transporte

En la selección del modo de transporte se deben considerar las necesidades del cliente, la existencia de infraestructura y la capacidad del modo de transporte. La combinación de estos factores influye en los costos de transporte y, usualmente, lo que se busca es obtener el mínimo costo posible. Para Sarder (2020) seleccionar el modo de transporte más efectivo y económico de acuerdo con el tipo de carga se deben considerar algunos puntos clave, como: accesibilidad, capacidad, tiempo de tránsito, confiabilidad, seguridad y costos.

Sarder también comenta que los modos de transporte se pueden definir en dos tipos: transporte multimodal (se utilizan modos de transporte diferente) y el transporte intermodal (implica el uso de una sola unidad de carga); el más común utilizado es el contenedor marítimo. La selección del modo de transporte depende principalmente del par origen–destino debido a las situaciones geográficas y políticas y del volumen que se desea transportar, a menor volumen se utiliza transporte multimodal, a mayor volumen transporte intermodal. También la toma de decisión depende de factores como:

- Urgencia del envío
- Perfil del transportista
- Relación precio – volumen
- Optimización en la capacidad del transporte
- Situación geográfica del par origen – destino
- Costo total del envío

Gestión para el aprovechamiento de la capacidad de transporte

Es la forma en la que está constituida la carga en una unidad de transporte, misma que se puede dar en dos opciones: y FLT (Full Truck Load).

El esquema LTL (Less Than Truckload) se refiere a la carga consolidada, esto es cargas de diferentes características, tamaños y clientes en una sola unidad, de acuerdo con la SCT (2017) la NOM-012-SCT-2-2017, publicada en el diario oficial de la federación 2017, 26 diciembre, esta Norma Oficial Mexicana (NOM) define a los transportistas de carga consolidada como: “permisionario de autotransporte federal que provee servicios de transporte combinando dos o más embarques en un solo viaje de origen-destino, con la finalidad de reducir costos y/o mejorar la utilización del equipo de transporte”. El modelo LTL es muy utilizado por empresas que no manejan volúmenes grandes de carga, o cuyos productos son de baja densidad volumétrica. Este tipo de servicios es brindado en su mayoría por empresas de mensajería y paquetería, donde utilizan el sistema de distribución cross docking para optimizar sus rutas y poder aprovechar la capacidad del transporte, obteniendo una gran gama de orígenes y destinos (Bush, 2021).

El esquema FLT (Full Truck Load) se refiere a un solo tipo de carga o un solo cliente en una misma unidad. Este modelo es utilizado por empresas con volúmenes grandes de carga, o cuyo tipo de carga a transportar no permite que se mezcle con otras mercancías debido a sus

características físico químicas. Otra constante que determina la decisión de qué modelo elegir es la urgencia del embarque, ya que el modelo FTL es más rápido que el LTL al ser un servicio directo, por lo tanto, el modelo FTL es predominante en las mercancías con carácter de urgente. El servicio de transporte más predominante y con mayor volumen de carga se transporta con FTL, además de que la seguridad de la mercancía es mayor, ya que de origen a destino se usa una sola unidad de transporte que recolecta y entrega la carga, por lo cual se manipula en menor proporción, disminuyendo los daños potenciales en los productos o materias y a su vez disminuye la probabilidad de rapiña (Bush, 2021).

En el esquema FTL es común tener homologadas las dimensiones de los productos transportados; debido a que se maneja un solo producto, estos son empacados en cajas con las mismas dimensiones. El cubicaje para un FTL es más sencillo que para un LTL, no importa que el material esté en tarimas o a granel (sin tarima de piso a techo) es más fácil calcular cuántas piezas entrarán en un camión o remolque.

Diseño de la red de transporte

El diseño de la red depende del tipo de producto que se desea transportar; las redes de transporte pueden ser únicas, ya que el diseño se va determinando por las partes interesadas que están dentro de la organización (almacenes, centros de distribución, clientes, plantas de fabricación, etc.). La infraestructura del sistema de transporte donde se va desarrollar y los costos asociados al transporte son algunas de las partes a considerar al momento de diseñar una red de transporte.

De acuerdo con el Congreso por el Nuevo Urbanismo (*CNU, 2008*), una red se distingue en un modelo o cuadrícula, un entrelazado o una serie de superposiciones que conectan cosas para lograr algo. En los sistemas de transporte, los enlaces son las rutas, los nodos son lugares y el objetivo es mover personas, bienes y servicios de la manera más eficiente y rentable posible para aumentar prosperidad y oportunidad.

Otra definición que podemos abordar para las redes de transporte es la de Bell et al., (1997), una red de transporte es una red de flujo que representa el movimiento de personas, vehículos o mercancías. Cualquier red de transporte se puede representar como un gráfico en el sentido matemático que consta de un conjunto de enlaces y nodos. Los enlaces representan el movimiento entre los nodos, que a su vez representan puntos en el espacio y tiempo. Los enlaces también pueden referirse a un medio de transporte, como: carro, bicicleta, autobús, tren, dron o a pie, en cuyo caso se puede referir a una ruta específica en la red de transporte a la que se puede incluir los gastos del volumen transportado.

En lo general, las redes de transporte de mercancías se pueden representar de la siguiente manera:

- Embarques directos desde la planta al cliente
- Embarques directos desde la planta con rutas con repartos a diferentes clientes



Figura 7. Representación de una red simple de transporte (Sarder, 2020)

- Embarques directos desde la planta a un centro de distribución
- Embarques directos desde un centro de distribución al cliente
- Embarques directos desde un centro de distribución con rutas con repartos a diferentes clientes.

Las redes de transportes, en su mayoría, ayudan con los traslados de material a centros de distribución, para que este material sea consolidado y transferido a otras redes de transporte, con esto se hace llegar el material a los puntos de consumo o clientes finales.



Figura 8. Representación de una red combinada de transporte (Sarder, 2020)

La entrega de productos a los diferentes puntos de consumo, ya sea materia prima o productos especiales, generan redes de transporte. De acuerdo con MD Sarder (2020), las redes de transporte se pueden dividir en tres capas: red física, red operacional y red estratégica.

Definición del perfil del transportista

La definición del perfil del transportista se hace evidente según el tipo de mercancía que se desea transportar. Conforme al reglamento de Autotransporte federal y Servicios auxiliares el servicio de autotransporte de carga se clasifica en:

- Carga general: Se refiere al traslado de cualquier tipo de mercancías que no requiera un manejo especial y que la unidad de transporte no necesite de condiciones específicas como temperatura controlada, capacidad a materiales corrosivos, entre otros.
- Carga especializada: Incluye el transporte de materiales que requieren condiciones especiales o vehículos diseñados específicamente para cierto tipos de carga como

residuos, remanentes y desechos peligrosos, objetos voluminosos o de gran peso, fondos y valores, grúas industriales y automóviles sin rodar en vehículo tipo góndola.

Una vez determinado el tipo de mercancía a transportar, se selecciona el perfil del transporte, ya que existe una amplia gama de transportistas especializados en diferentes tipos de mercancía. Es crucial elegir un servicio de transporte que cumpla con las necesidades específicas, que incluya programas de mantenimiento y que priorice la capacitación de su personal.

El conductor u operador debe estar capacitado conforme a las necesidades operativas y cursos requeridos, además de portar la licencia de conducir correspondiente según las normativas de la Secretaría Comunicaciones y Transportes (SCT). Esto es fundamental, ya que, según el Centro de Experimentación y Seguridad Vial en México (CESVI), 80% de los accidentes de tránsito ocurren por errores humanos. Por lo tanto, una empresa de transporte que invierte en la capacitación de sus operadores asegura un nivel de servicio más alto con sus clientes, y reduce la probabilidad de siniestros en carretera. Existen estándares internacionales como el Sistema de Gestión de la Seguridad Vial ISO 39001, que ayudan a las organizaciones a reducir la incidencia de accidentes de tránsito.

La SCT (2018) publicó la NOM-087-SCT-2-2017, que establece los tiempos de conducción y pausas para conductores de los servicios de autotransporte, publicada en el diario oficial de la federación 2018, 28 junio. Según esta NOM es aplicada tanto para el Servicio de Autotransporte federal y Transporte Privado de Carga que transite por caminos y puentes de jurisdicción federal, a lo que establece que el operador por cada cinco horas de conducción continua debe tener una pausa de treinta minutos donde no realice ninguna otra actividad ni actividades auxiliares como: carga descarga, asistencia a los pasajeros, entre otras, con el fin de reducir la incidencia de accidentes.

El transporte de mercancías y residuos peligrosos requiere vehículos con características de seguridad específicas, una categoría especial de licencia para el operador, documentación adecuada que debe portar la unidad y los horarios de operación son diferentes a la carga general.

Otro aspecto importante en la selección del perfil del transportista es el tiempo de reacción, especialmente cuando se necesita una entrega urgente. Es esencial seleccionar a transportistas que tengan disponibilidad de equipo, que puedan disponer del equipo rápidamente y así poder iniciar la carga lo antes posible.

Actuación de agentes logísticos

Los agentes logísticos varían según a la necesidad de los puntos de tránsito de la mercancía. No todos los agentes se repiten, aunque se transporte el mismo tipo de producto, el par origen-destino hace distinta la ruta. A continuación, se describen algunos agentes logísticos presentes en una CSI:

Agente de Carga: Organizaciones que coordinan el servicio de transporte de mercancías para otras compañías y, en ocasiones, actúan como agentes aduanales (ONU, 2012)

Consolidador: Empresas que agrupan y consolidan la mercancía de varios clientes en una unidad de transporte.

Operador logístico: Organizaciones que diseñan, gestionan y controlan los procesos que conllevan en una cadena de suministro. Según sus servicios y estructura, se clasifican en:

1PL: Realizan servicios simples de logística como transporte o almacenamiento.

2PL: Realizan transporte y almacenamiento (1PL), además de fletes marítimos y servicios de paquetería.

3PL: Amplían las funciones básicas de transporte y almacenamiento a cross-docking, diseño de empaques y manejo de inventarios, operando a nivel internacional.

4PL: Proveen un servicio integral de cadena de suministro, coordinando e integrando todos los miembros de la cadena suministro, pueden tener infraestructura propia para realizar las actividades logísticas necesarias para cumplir los requerimientos de las empresas. (Zijim et al., 2019)

Maniobristas: Encargados de cargar y descargar las unidades de transporte, pudiendo ser empleados del propietario de la carga o subcontratados para esta actividad específica.

Gestión de riesgos en el transporte

El servicio de transporte es crucial en todos los sectores productivos, contribuyendo al desarrollo económico y social. A medida que aumentan el número de negocios en una región, también lo hace el número de servicios de transporte, tanto de carga como de pasajeros. Sin embargo, estos servicios de transporte están expuestos a varios riesgos:

- **Retraso en el embarque o envío:** Puede ocurrir debido a saturación de la red, huelgas, baja calidad en el servicio de transporte contratado o errores operativos.
- **No llegada al destino:** Factores externos como actos de interferencias ilícita, desastres naturales, guerras, huelgas, accidentes que causen a la pérdida total de la mercancía, o robos.
- **Riesgo asociado a la naturaleza del material transportado:** Explosivos, material radiactivo o mercancía altamente contaminante para el medio ambiente, o sobredimensionada.

Todos los sistemas de transporte presentan un tipo de riesgo, unos con más probabilidad de padecer un accidente o robo que generen pérdidas. Las condiciones climáticas también pueden afectar la operación de los vehículos. La probabilidad de un accidente puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$\text{Probabilidad de un accidente } p = \frac{\text{viajes con accidentes}}{\text{total de viajes realizados}}$$

Según el INEGI (2020), en 2020 se registraron 301,678 accidentes de tránsito terrestre en Zonas Urbanas y Suburbanas, de los cuales 80,451 corresponden a vehículos pesados (tomando en cuenta las categorías de camioneta, camión, tractor, autobús y ómnibus), equivalentes a 27% del total. De estos 65,064 correspondieron al transporte de carga equivalente a 21% del total de accidentes de tránsito registrado en 2020, indicando que el transporte de mercancías por carretera tiene un riesgo medio. Además, el Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (SESNSP) registro 9,527 carpetas de investigación por robo al autotransporte de carga en 2020, lo que determina un alto riesgo de robo.

Gestión de la fricción logística

Los cuellos de botella pueden existir en cualquier cadena de suministro, interrumpiendo el flujo constante de mercancías. En las redes de transporte, esto puede ocurrir por fallas mecánicas, carreteras cerradas o en reparación, y problemas en algún nodo de la red como retrasos de carga y descarga. Estas fricciones logísticas impactan negativamente en el nivel de servicio y aumentan los gastos no previstos.

Balance de costos de transporte

Según Sarder (2020), existen cuatro componentes básicos en los costos de transporte:

- **Costo de transporte (flete):** Basado en la distancia y el peso de la mercancía, nos ayuda a determinar el combustible a utilizar, peajes, además, se consideran los costos operativos como el sueldo del operador, la depreciación, y seguro de la unidad.
- **Carga y descarga:** Asociado al tiempo que tarda en cargarse o descargarse la unidad.
- **Manipulación de mercancía:** Cobro por maniobra realizada ya sea por pieza o por peso.
- **Costos administrativos:** Incluyen facturación, documentación del viaje, recolección de evidencias y liquidación del operador.

Estos componentes se pueden clasificar en costos fijos (CF), costos gubernamentales (CG), costos conjuntos (CO) y costos variables (CV).

Los costos fijos son constantes, aunque no haya movimiento de mercancías, no se pueden evitar, a excepción de que la operación termine en su totalidad. Los costos gubernamentales incluyen permisos e impuestos. Los costos variables dependen del movimiento de la unidad y el número de viajes realizados.

Balance de costo	Costos
Costos fijos	-Seguro de las unidades -Amortización -Sueldos administrativos -Pago de renta de inmuebles y/o terrenos -Pago de seguridad social
Costos gubernamentales	-Verificación físico – mecánica semestral -Verificación ambiental semestral

	-Permiso de carga por la SCT -Permisos de tránsito de entidades locales
Costos conjuntos	-Seguro de carga -Pago de impuestos
Costos variables	-Mantenimiento preventivo y correctivo de las unidades -Cobro de peajes -Sueldo del operador -Combustible

Tabla 5. Ejemplificación de los costos de transporte MD Sarder (2020)

Esta clasificación de costos se tomo debido a su relación directa con los costos de transporte. Los costos logísticos, en general, consideran aspectos como costos de recurrencia, costos de devolución, costos de operación y optimización de costos, Fera (1998) pero no profundizan específicamente en el transporte. Otros autores definen la logística inversa como un subsistema de la economía del reciclaje, adaptado a las necesidades de modelos económicos en desarrollo, compuestos por una red con demandantes y proveedores de servicio. Sin embargo, el costo de la logística inversa y el costo de la logística en su flujo normal no se pueden sumar ambos, Xiaoqing (2009).

Además, una cadena de suministro inversa busca recuperar el valor del residuo o gestionar adecuadamente la materia prima de desecho generada en los procesos de producción. Devolver estas materias reduce la contaminación ambiental, trasladando el desecho de un origen a un destino donde se pueda aprovechar Ya-ping (2012). Según Ya-ping existen cinco componentes de costos en la logística inversa, de esta estructura se tomaron los costos aplicables a este eslabón de la CSI de la arena sílica, combinándolos con la estructura de costos de Transporte propuesta por Sarder.

Estrategia de investigación

En el mundo empresarial, la logística juega un papel fundamental en la cadena de suministro, garantizando la movilidad de productos y mercancías. Uno de los aspectos más importantes a considerar es el análisis de los costos de transporte, ya que representan una parte significativa de los gastos operativos de la empresa caso de estudio. En esta sección, se describe la estrategia para el análisis de los costos de transporte y las herramientas utilizadas.

Se realizaron entrevistas con personal operativo y administrativo. Estas entrevistas, llevadas acabo entre enero 2021 y junio 2023, tuvieron como propósito obtener información relevante sobre los costos de transporte. En total, se realizaron n entrevistas con n personas.

Paralelamente, se seleccionaron los costos relevantes para la valorización de la arena sílica, tomando como referencia el trabajo de Ya Ping, específicamente los costos de transporte, almacenamiento y recolección.

Cada costo relevante fue analizado en términos de sus características e importancia en el contexto del proyecto. Para los costos de transporte, se utilizó la estructura propuesta por

Sarder, que permite desagregar los costos en diferentes áreas y tener una idea de su impacto en la operación logística.

Durante las reuniones, se identificaron y clasificaron los costos según sus características y trascendencia para la valorización. La empresa mantiene información sobre los costos en hojas de cálculo y registros de salidas de vehículos, considerando destino y servicios por tipo de RME. En la Figura 9 muestra la estructura de costos de transporte.

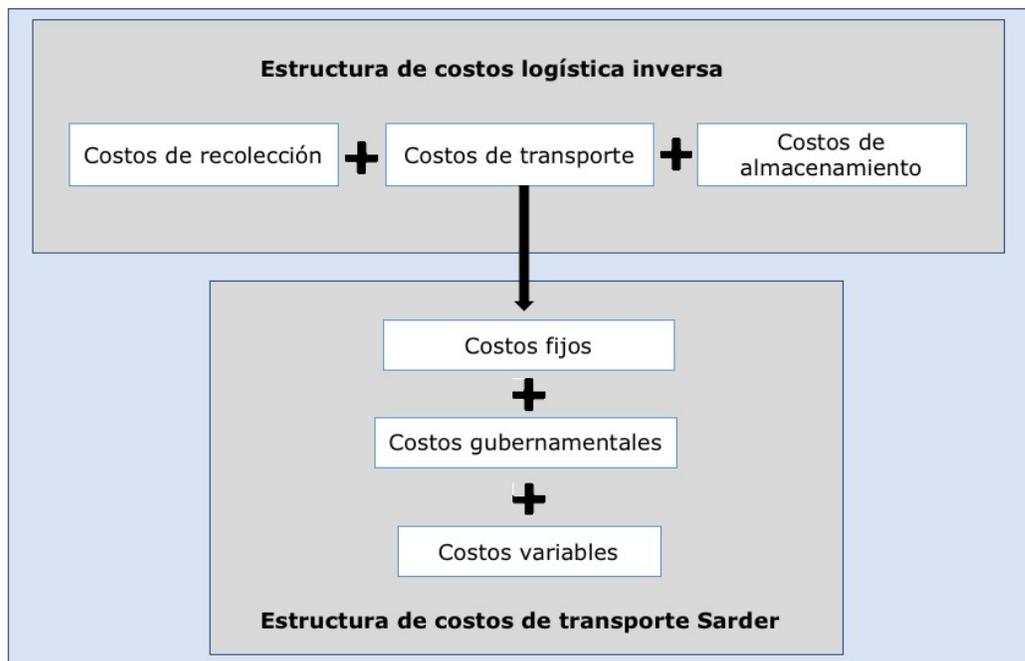


Figura 9. Estructura de costos de transporte. YA ping (2022)

La recopilación de la información se hizo archivos de texto y hojas de cálculo. Conociendo el número de viajes realizados se estimó el volumen de carga. Los costos fijos quincenales y mensuales se obtuvieron del área administrativa, encargada de gestionar la nómina y el pago a proveedores. Los costos gubernamentales fueron proporcionados por el área de operaciones, que controla los gastos operativos, la documentación de las unidades, y los pagos correspondientes. Los costos variables se obtuvieron del área de operaciones y del área de mantenimiento. La primera controla el combustible, los sueldos de los operadores y los peajes. En el área de mantenimiento, fue difícil recabar costos debido a la falta de registros consistentes para el mantenimiento correctivo. Son diversas personas las que autorizan el mantenimiento correctivo, sea en carretera o en talleres externos. Los costos de mantenimiento preventivo se registran completamente, ya que el mantenimiento se realiza internamente. Se tiene registro de insumos y fechas de servicio.

El servicio de recolección de RME no sigue un itinerario fijo, sino que se realiza bajo solicitud conforme a la generación del material rechazado o debido al alto volumen de RME

generado en poco tiempo. Por ende, prevalece el modelo de movimiento push, ya que las recolecciones sólo se realizan únicamente cuando la empresa generadora del RME lo solicita.

En la Tabla 5 se muestran las caracterizaciones ya mencionadas.

RME	Par Origen destino	Alcance	Modelo
Arena sílica	Industria – Industria	Regional	Push

Tabla 6. Resumen las características de la CSI

El canal de la arena sílica tiene un esquema de operacional formal, para tener mas claro como opera los canales de la arena sílica, se describen a continuación en la Tabla 7.

Conexión funcional	Esquema de operación	Longitud
Generación - Recolección	Formal	Directo
Recolección – Valorización	Formal	Directo
Valorización - Reintegración	Formal	Directo

Tabla 7. Matriz caracterización de canales

Como se muestra en la Tabla 7, todos los esquemas de operación son formales y directos, sin intermediarios, ya que la empresa caso de estudio solo interactúa con empresas formales constituidas como personas morales.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE COSTOS LOGÍSTICOS Y DE TRANSPORTE

En este capítulo se presenta el análisis de costos logísticos y de transporte por la valorización de la arena sílica en la empresa caso de estudio. Se calculan y estiman, en general, los costos de adquisición, de almacenamiento y de transporte. Dentro de los costos de adquisición se consideraron los asociados con el manejo manual y asistido del material. Dentro de los costos de almacenamiento se consideran los asociados con la renta de equipamiento, servicios de agua, luz, seguridad, además de costos por la gestión gubernamental.

La arena sílica es una materia prima que debe cumplir normas de calidad para ser utilizada en la fabricación de pasta dental. Cuando no cumple las normas se desecha desde las tolvas de ferrocarril utilizando rotobombas y se coloca en un espacio dentro de la empresa productora dedicada al almacenamiento de residuos. Así, se convierte en un residuo de manejo especial dada la cantidad de toneladas que se desechan. La empresa que genera el residuo está a una distancia aproximada de 40 kilómetros de la empresa que la acopia, la primera está en el estado de Guanajuato y la segunda en el de Querétaro. Si se considera a las empresas que reutilizan la arena sílica como un tercer eslabón de una cadena de suministros inversa, podría decirse que tenemos una cadena regional.

La arena sílica llega a la planta productora de pasta dental en tolvas de ferrocarril, los embarques no son diarios pero cada embarque es de toneladas. Cada tolva se inspecciona para verificar que no hayan sido violados los mecanismos de seguridad. Si se detecta alguno roto la tolva se rechaza completamente. A partir de este momento la arena se vuelve un RME y se hace la solicitud de recolección a la empresa acopiadora. La empresa acopiadora traslada el RME a su centro de transferencia para lo cual utiliza vehículos propios con tecnología roll on-roll off.

La recolección se realiza en un patio de la empresa productora, la recolección no es regular, depende de si se rechaza parte o todo el embarque. Que una tolva se deseche implica para la empresa acopiadora utilizar 11 vehículos tipo torton con capacidad promedio de siete toneladas o hacer 11 viajes con un solo vehículo con las mismas características. Cada kilo de residuo tiene un valor de 3 pesos, así el valor de un vehículo cargado es de 13,500 pesos.

En la recolección los costos considerados son: recolección y transporte. El transporte se realiza al centro de transferencia donde se inspecciona visualmente la arena. El resultado de la inspección y de la mezcla de la arena con otros residuos como metales, residuos orgánicos y plásticos, se decide si se lleva a disposición final o es factible reincorporarla a otra cadena productiva. Dependiendo del grado de contaminación, puede utilizarse en la generación de comporta o en la elaboración de tabicones.

Además de la recolección de arena sílica, se recolectan otros residuos en forma más recurrente e incluso de mayor cantidad. Para esta recolección la empresa acopiadora asigna cuatro tipos de vehículos: vehículos con capacidad de 15 metros cúbicos, camionetas de 3.5 toneladas; vehículos con capacidad de 20 metros cúbicos, camionetas de 4.5 toneladas; vehículos con capacidad de 30 metros cúbicos, rabones y/o torton; y vehículos con capacidad

de 35 metros cúbicos, torton. Estos vehículos fueron acondicionados para cargar contenedores con tecnología roll on - roll off. El servicio que presta la empresa es más costoso si aumenta la capacidad de los vehículos. Se intenta utilizar el 100% de la capacidad para tener ingresos y hacer rentable el circuito de carga.

A continuación, en la **Tabla 8** se muestran los viajes de recolección registrados mensualmente en periodo de poco más de un año por capacidad del vehículo.

	VIAJES DE ACOPIO DE ARENA SÍLICA						VIAJES DE ACOPIO DE OTROS RESIDUOS				
	CAPACIDAD (M ³)	15	21	30	35	Viajes mensuales	15	20	30	35	Viajes mensuales
	PESO (ton)	2.5	3.5	6	7.5		3	5	7	9	
2021	ENERO	2	2	4	9	17	0	0	22	77	99
	FEBRERO	11	5	8	9	33	0	0	37	89	126
	MARZO	4	3	6	15	28	0	0	54	118	127
	ABRIL	3	5	5	13	26	0	0	34	134	168
	MAYO	4	7	6	14	31	0	0	27	127	154
	JUNIO	5	3	2	12	22	0	0	33	133	166
	JULIO	5	0	4	16	25	0	0	33	116	149
	AGOSTO	4	5	5	14	28	0	0	30	124	154
	SEPTIEMBRE	4	4	5	13	26	0	0	31	133	164
	OCTUBRE	3	4	5	13	25	0	0	34	137	171
	NOVIEMBRE	3	3	7	12	25	0	0	27	142	169
	DICIEMBRE	4	3	3	13	23	0	0	28	140	168
2022	ENERO	2	3	2	11	18	0	0	21	87	108
	FEBRERO	3	2	2	15	22	0	0	23	94	117

Tabla 8. Historial de viajes mensuales realizados por la empresa acopiadora en 2021 y 2022.

El número de viajes para la recolección de arena sílica es menor en comparación a los viajes de recolección de otros residuos. Los viajes de arena sílica se realizan en poco tiempo, en periodos de dos a tres días, mientras que los de otros residuos se realizan con mayor frecuencia. La recolección se realiza con los mismos vehículos. La flota de la empresa es de 13 vehículos y 7 se utilizan para transportar la arena sílica.

Al no tener unidades dedicadas en exclusivo al servicio de recolección de arena sílica, los costos de transporte se comparten entre ambos circuitos, por ejemplo, el mantenimiento de las unidades se realiza de acuerdo con el kilometraje que recorren, independientemente de lo que trasladen, y sus costos están asociados a los insumos necesarios para el servicio de

mantenimiento preventivo, como aceite, filtros de aceite, filtros de aire, filtros de diésel, mano de obra, etc., y a los insumos necesarios para el mantenimiento correctivo, como refacciones, partes de carrocería, mano de obra, etc. El sueldo de los operadores también se comparte sin importar el tipo de residuo que transporte.

Análisis de costos de transporte.

La mayoría de las unidades que prestan el servicio de recolección de arena sílica no son modelos recientes, además, la empresa a la que se le brinda el servicio no solicita unidades recientes para la recolección de residuos. Asimismo, los torton con los que se realiza el servicio no tienen el espacio de carga de un tanque o tolva el cual sería el adecuado para la manipulación de arena sílica, ya que dichas unidades están diseñadas para transportar residuos de manejo especial (RME) como chatarra, metales, cartón, plásticos, etc., ya que son unidades abiertas destinadas a cargar RME sólidos.

El problema de los costos radica en que la tarifa competitiva se ve mermada en los tiempos de descarga del material en el centro de transferencia, ya que se debe hacer de manera manual al no contar con tecnología como roto bombas o bandas transportadoras que agilicen el tiempo de descarga; por otro lado, las unidades tardan más tiempo en estar disponibles para otro servicio, lo cual genera pérdidas para la empresa al no poder realizar servicios con otros clientes.

Costos de la logística inversa

Los costos de la logística inversa están compuestos por costos de adquisición, almacenamiento, transporte y los no previstos que se puedan generar dentro de la CSI en estudio. Cada tipo de costo se calcula de manera específica, ya que las operaciones en cada punto de la cadena son distintas, y cada una se paga a las partes involucradas de manera específica; por ejemplo, algunos costos se generan y pagan por hora, otros por un periodo semanal o por maniobra, mientras que otros se pueden prorratear de manera anual o semestral, etc.; reiteramos: el costo depende mucho del tipo de actividad y servicio a pagar.

Costos de recolección

Los costos de recolección (C_R) están relacionados con las actividades que conlleva la carga de arena sílica en los vehículos de transportación. La maniobra de carga se realiza por el personal de la empresa que brinda el servicio, pues el de la planta sólo se limita a disponer el material en el área de basura, de donde se recolecta del piso a la tolva de volteo. Cuando es poco el volumen de material se hace de manera manual, generando un tipo de costo recolección 1 (C_{R1}) que se genera por una unidad de transporte (v_U), mientras que cuando se tiene alto volumen se subcontrata maquinaria pesada, ya sea retroexcavadoras o cargadoras frontales, lo cual genera un costo recolección 2 (C_{R2}) que se paga por hora (t_h), ya que es la forma en la que se renta la maquinaria. Ambos tipos de costos se pueden sumar en una misma recolección o ser un sólo tipo de costo por recolección, cuyo cálculo se puede expresar con la siguiente fórmula:

$$C_R = \sum_C C_{R1} \cdot v_u + C_{R2} \cdot t_h$$

Donde:

Costo recolección 1 (C_{R1})

Costo recolección 2 (C_{R2})

Unidad de transporte (v_U)

Unidad de tiempo hora (t_h)

Se identificaron los costos de acuerdo con el sueldo pagado por maniobra al personal que acompaña al operador en la recolección con el cliente.

Costo	Precio	Tipo costo
Costos de maniobra manual (C_{R1})	\$250 por maniobra	Variable
Costo de maniobra asistida (C_{R2})	\$900 / hora	Fijo
Costo de recolección (C_R)	Depende de la operación	Variable

Tabla 5. Recopilación de costos de recolección

Con la información recabada en la Tabla 9, se plantean dos escenarios para los costos de adquisición: el primero es cuando el volumen es bajo y la unidad se carga de manera manual, mientras que el segundo es cuando la unidad se carga con maquinaria pesada dados los altos volúmenes de material.

Tomando en cuenta que en las recolecciones de bajo volumen se consideran de uno a cuatro camiones y que en las recolecciones de mayor volumen se utilizan de cinco camiones en adelante, se procede a sustituir en la ecuación para calcular C_R en los dos escenarios, y de acuerdo con el historial de la Tabla 8 y con los valores revelados en la Tabla 9, obtenemos lo siguiente:

Escenario 1 carga manual

En este escenario, el costo se considera variable, debido a que la maniobra se paga por persona y el número cambia de dos a tres e incluso hasta cuatro personas por recolección, para el cálculo de este caso de estudio se tomó el costo de tres personas en la maniobra de descarga.

$$C_{R1} = \sum_C C_{R1} \cdot v_u$$

$$C_{R1} = \sum_3 (250 \cdot 3) \cdot 4$$

$$C_{R1} = \sum_3 (750) \cdot 4$$

$$C_{R1} = \$3,000$$

Escenario 2. Carga con maquinaria pesada

En el escenario 2, el costo de maniobra se considera fijo, ya que el costo de renta por hora de la maquinaria no cambia; en este estudio se utilizará como ejemplo el mayor número de unidades cargadas, 17 tractores, que equivalieron a una renta de 14 horas.

$$C_{R2} = \sum_C C_{R2} \cdot t_h$$

$$C_{R2} = \sum_C 14 \cdot 900$$

$$C_{R2} = \$12,600$$

Teniendo los dos costos por escenario de recolección, se puede observar que la diferencia entre un costo y otro es alrededor de \$10,000. Sin embargo, si se compara el monto de toneladas promedio movidas, tenemos que en el escenario 1 se trasladan en promedio 24 toneladas, mientras que en el escenario 2 se mueven en promedio 153, por lo tanto, en el escenario 1 obtenemos 125 pesos por tonelada, mientras que en el 2 el costo es de 82 pesos por tonelada.

Considerando que ambos escenarios se repiten regularmente una vez por semana, obtenemos la siguiente forma:

$$C_R = \sum_C C_{R1} + C_{R2}$$

$$C_R = \sum_C \$3,000 + \$12,600$$

$$C_R = \sum_C \$15,600$$

Teniendo que semanalmente se gasta \$15,600 por costos de recolección, si multiplicamos esta cifra por las cuatro semanas del mes, tenemos la siguiente ecuación:

$$C_R = \sum_M \$15,600 \cdot 4$$

$$C_R = \sum_M \$62,400$$

El costo de recolección manual mensual es de \$62,000.00 Que nos dice que mensualmente se gastan aproximadamente \$62,000 pesos en costos de adquisición.

Costos de almacenamiento

Los costos de almacenamiento (C_A) se refieren a los generados por las actividades que realiza el personal del centro de transferencia al interior de las instalaciones y a los costos fijos que tiene el centro para operar. Dentro de las actividades que se realizan están la carga y descarga, que se tomarán como costos de maniobra (C_{A1}) y que se pagan al personal de forma semanal

(t_s) . Cabe mencionar que las tareas que realiza el personal son diversas y no solamente se dedican al proceso de la arena sílica, sino también a tratar otros residuos que llegan al centro.

También hay que señalar que el terreno donde se encuentra el centro de transferencia no es propio, sino que se renta a un particular, donde el costo de la renta (C_{A2}) se paga mensualmente (t_m), con una estimación de \$24 pesos por metro cuadrado; por tanto, la parte utilizada para la arena sílica trata de ser la mínima dado el bajo costo que tiene este residuo por kilogramo. Para los costos fijos se tienen costos de servicio como agua (C_{A3}), que se paga manera anual (t_a), luz (C_{A4}) , que se paga bimestralmente (t_b), y costos de seguridad (C_{A5}) que también se pagan al mes (t_m); por último, tenemos costos gubernamentales como permisos y predial (C_{A6}), los cuales se pagan de manera anual (t_a).

Así, los costos de almacenamiento se expresan de la siguiente forma:

$$C_A = \sum_A (C_{A3} + C_{A6}) \cdot t_a + (C_{A2} + C_{A5}) \cdot t_m + C_{A1} \cdot t_s + C_{A4} \cdot t_b$$

Donde:

- costos de maniobra (C_{A1})
- costo de renta (C_{A2})
- costo de agua (C_{A3})
- costo de luz (C_{A4})
- costo de seguridad (C_{A5})
- costos gubernamentales (C_{A6})
- Sueldos administrativos (C_{A7})
- mensualidad (t_m)
- anualidad (t_a)
- bimestral (t_b)

Costo	Monto	Forma de pago	Tipo de costo
Sueldos operativos	\$14,000	Semanal	Variable
Sueldos administrativos	\$5,500	Semanal	Fijo
Costo de renta	\$200,000	Mensual	Fijo
Costo del agua	\$4,500	Anual	Fijo
Costo de la luz	\$7,000	Bimestral	Fijo
Costo de seguridad	\$18,000	Mensual	Fijo
Costos gubernamentales	\$9,000	Anual	Fijo

Tabla 6. Recopilación de costos de almacenamiento

Algunos costos descritos en la Tabla 10 fueron tomados de pagos proporcionados a proveedores y otros fueron tomados del recibo que se generó durante la muestra de estudio.

Sustituyendo los datos de la Tabla 10 en la fórmula de costos de almacenamiento podemos obtener:

$$C_A = \sum_A (C_{A3} + C_{A6}) \cdot t_a + (C_{A2} + C_{A5} \cdot t_m) + (C_{A1} + C_{A7}) \cdot t_s + C_{A4} \cdot t_b$$

$$C_A = \sum_A (\$4,500 + \$9,000) \cdot 1 + (\$200,000 + \$18,000) \cdot 12 + (\$14,000 + \$5,500) \cdot 52 + \$7,000 \cdot 6$$

$$C_A = \sum_A (\$13,500) + (\$2,616,000) + \$1,014,000 + \$42,000$$

$$C_A = \sum_A \$3,685,500$$

De acuerdo con la fórmula obtenemos que los costos aproximados anuales del centro de transferencia son tres millones y medio de pesos aproximadamente y, si dividimos esta cifra entre 12, su costo mensual aproximado es de \$307,125 pesos.

$$C_A = \sum_m \$307,125$$

Este costo se comparte con los demás residuos que se procesan en las instalaciones del centro de transferencia. Por lo regular, el periodo de tiempo que una recolección de arena sílica puede permanecer almacenada son dos o tres días (es muy poco probable que permanezca más de este periodo de tiempo) y ocupa entre 25 y 28 metros cuadrados; si tomamos la media del espacio utilizado obtenemos que, por día, la arena sílica cuesta por espacio \$636 pesos.

Costos de transporte

Los costos de transporte (C_T) se evalúan de formas directa e indirecta dependiendo de la naturaleza de cada uno y se van identificado de acuerdo con las Tablas 10 y 11, el costo del transporte está compuesto por 3 costos generales que están descritos en la siguiente ecuación, que es:

$$C_T = \sum C_{TF} + C_{TG} + C_{TV}$$

Donde:

Costos fijos (C_{TF})

Costos gubernamentales (C_{TG})

Costos variables (C_{TV})

El primer costo general que revisar para el servicio de transporte son los costos fijos (C_{TF}), los cuales se calculan de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$C_{TF} = \sum C_{TF1} + C_{TF2} + C_{TF3} + C_{TF4}$$

Donde:

-Seguro vehicular de las unidades (C_{TF1})

- Amortización de las unidades (C_{TF2})
- Sueldos administrativos (C_{TF3})
- Sueldos operativos (C_{TF4})

Los costos fijos de transporte se mantienen constantes independientemente de si trabajan o no las unidades de transporte y no tienen una dependencia directa con el volumen de operación, ya que si éste es bajo o alto los costos se mantienen igual. Algunas actividades relacionadas con estos costos son las actividades administrativas, dado que los sueldos de este tipo de trabajadores se mantienen igual mes con mes, y lo mismo pasa con los sueldos operativos que se mantienen fijos semana con semana.

El primer costo fijo que revisar es el del seguro vehicular, dado que todas las unidades de la empresa están aseguradas contra daños a terceros; ninguna póliza es de cobertura amplia y las unidades que tienen un costo más alto de seguro vehicular se deben a que están dadas de alta con otra aseguradora y son modelos más recientes, lo cual incrementa el valor de las primas y del deducible.

$$C_{TF1} = \sum_1^7 rabon\ 1 + rabon\ 2 + torton\ 1 + torton\ 2 + torton\ 3 + torton\ 4 + torton\ 5$$

$$C_{TF1} = \sum_1^7 \$10,800 + \$10,800 + \$12,200 + \$16,600 + \$12,200 + \$16,600 + \$12,200$$

$$C_{TF1} = \sum_1^7 \$91,400$$

El costo anual de las pólizas de seguro por las siete unidades que brindan regularmente el servicio al circuito de arena sílica es de \$91,400.00 pesos, si dividimos esto a un periodo mensual tenemos que la mensualidad por las siete pólizas de seguro es de \$7,616.66 pesos aproximadamente.

En la siguiente tabla se muestra el monto mensual aproximado de los sueldos administrativos y operativos.

	Amortización de las unidades	Sueldos administrativos	Sueldos operativos
Costo mensual	\$17,000	\$58,000	\$164,400

Tabla 7. Recopilación de costos fijos

Los gastos fijos más altos son los sueldos operativos y administrativos; la nómina administrativa se reduce apenas a cuatro personas, mientras que la nómina operativa es mayor a 15 personas y, a pesar de que los sueldos operativos son más bajos, tener más personal de este tipo en la nómina hace que este gasto fijo sea el más alto mensualmente. Si tomamos los datos de la Tabla 11 tenemos:

$$C_{TF3} = \sum_1^4 \$ 58,000$$

$$C_{TF4} = \sum_1^{17} \$ 16,4400$$

Los gastos de nómina se calcularon de acuerdo con información proporcionada por la empresa y están contemplados como sueldos brutos mensuales.

Ya obteniendo todos los gastos fijos en lo individual se procede a sustituir en la fórmula para calcular C_{TF} total, por tanto, obtenemos:

$$C_{TF} = \sum C_{TF1} + C_{TF2} + C_{TF3} + C_{TF4}$$

$$C_{TF} = \sum \$91,400 + \$17,000 + \$58,000 + \$164,400$$

$$C_{TF} = \sum \$ 330,800$$

Los costos fijos de transporte aproximados son de 330,800 pesos mensuales, tomando en cuenta los costos de mayor participación en la CSI en estudio.

A continuación, se presenta la tabla 11, donde se exponen los gastos fijos y gubernamentales que tiene la flota. Estos gastos gubernamentales están compuestos por trámites, tales como póliza de seguro vehicular contra daños a terceros, hologramas de verificación físico-mecánica, verificación ambiental, etc., mismos que son solicitados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) para transitar por puentes y vías de jurisdicción federal.

Tipo unidad	Seguro vehicular (anual)	Verificación físico-mecánica (Semestral)	Verificación ambiental (Semestral)	Amortización de las unidades
Rabón 1	\$10,800	\$1,200	\$ 464	\$2,428.57
Rabón 2	\$10,800	\$1,200	\$ 464	\$2,428.57
Torton 1	\$12,200	\$1,200	\$ 464	\$2,428.57
Torton 2	\$16,600	\$1,600	\$ 464	\$2,428.57
Torton 3	\$12,200	\$1,200	\$ 464	\$2,428.57
Torton 4	\$16,600	\$1,600	\$ 464	\$2,428.57
Torton 5	\$12,200	\$1,200	\$ 464	\$2,428.57

Tabla 8.Recopilación de costos fijos por unidad de transporte

El siguiente costo general son los costos gubernamentales (C_{TG}) asociados a trámites o pagos de cuotas que una empresa debe realizar ante una entidad gubernamental al efectuar un servicio de transporte, y que pueden ser mensuales, semestrales, anuales, etc.; la fórmula para calcular estos costos gubernamentales es la siguiente:

$$C_{TG} = \sum C_{TG1} + C_{TG2} + C_{TG3} + C_{TG4}$$

Donde:

-Verificación físico–mecánica semestral (C_{TG1})

-Verificación ambiental semestral (C_{TG2})

-Permisos de tránsito de entidades locales (C_{TG3})

-Pagos de cuotas de seguridad social e impuestos (C_{TG4})

A continuación, se mostrará y describirá cada componente del costo total gubernamental que, como su nombre lo dice, se tienen que cubrir con diferentes instituciones del gobierno.

El costo (C_{TG1}) es un trámite que se realiza a fin de obtener la verificación físico-mecánica de las unidades de transporte cada seis meses y que tiene un carácter obligatorio por la SCT. El centro de transferencia subcontrata a un despacho de gestoría para realizar este tipo de trámites, como gestionar las citas y así poder acudir al centro de verificación más cercano a la empresa. Tomando los datos de la Tabla 12, se sustituyen los datos en la fórmula para calcular C_{TG} , por tanto:

$$\sum_1^7 C_{TG1} = (\text{verificación 1} + \text{verificación 2} + \text{verificación 3} + \text{verificación 4} \\ + \text{verificación 5} + \text{verificación 6} + \text{verificación 7})$$

$$\sum_1^7 C_{TG1} = (\$1,200 + \$1,200 + \$1,200 + \$1,600 + \$1,200 + \$1,600 + \$1,200)$$

$$\sum_1^7 C_{TG1} = \$9,200$$

De acuerdo con la ecuación, el costo semestral de las inspecciones físico-mecánicas es de \$9,200 por las siete unidades que brindan servicio en el circuito de arena sílica; si dividimos este costo entre 12, tenemos que el costo mensual aproximado es de \$1,533.

El costo (C_{TG2}), que también es de carácter obligatorio por parte de la SCT, es un trámite que se realiza cada seis meses para obtener la verificación ambiental. Sustituyendo los datos de la Tabla 12 en la fórmula se calcula de la siguiente forma:

$$\sum_1^7 C_{TG2} = (\text{verificación 1} + \text{verificación 2} + \text{verificación 3} + \text{verificación 4} \\ + \text{verificación 5} + \text{verificación 6} + \text{verificación 7})$$

$$\sum_1^7 C_{TG2} = (\$464 + \$464 + \$464 + \$464 + \$464 + \$464 + \$464)$$

$$\sum_1^7 C_{TG2} = \$3,248$$

El costo semestral es de \$3,248, mismo que si se divide entre seis nos permite obtener el costo de verificación ambiental mensual de \$541 pesos.

El siguiente costo fijo de transporte a revisar es el (C_{TG3}), que corresponde a pagos de permisos de tránsito o circulación para ciertas ciudades. Cabe anotar que para el servicio de transporte que nos ocupa no se paga ningún tipo de permiso, pero sí es importante mencionar este costo ya que es común en servicios de transporte.

$$\sum_1^7 C_{TG3} = \$0$$

El ultimo costo gubernamental a revisar es el (C_{TG4}), que está relacionado con las cuotas de seguridad social y los impuestos que paga la empresa por la nómina del personal administrativo y operativo. Para este costo vamos a manejar por separado la suma de cada concepto, por lo tanto, tenemos la siguiente fórmula:

$$C_{TG4} = \sum C_{TG4A} + \sum C_{TG4B}$$

Donde:

-Pagos de impuestos (ISR) (C_{TG4A})

-Pagos de cuotas de seguridad social (IMSS) (C_{TG4B})

De acuerdo con información facilitada por la empresa caso de estudio, se recopiló la nómina de los empleados administrativos y operativos. Cabe señalar que sólo se proporcionó el sueldo bruto por empleado, que para el caso del personal operativo se consideró únicamente a los individuos que tienen relevancia en la operación de la arena sílica y que se tomó en cuenta a la totalidad del personal administrativo, ya que todos tienen funciones relacionadas con la arena sílica.

Ya recopilados los sueldos brutos, con la ayuda de un ERP en línea proporcionado por Villanet (2023) [software] se calculó en el portal el estimado de cuánto debería pagar la empresa por impuestos y cuotas de seguridad social; esta información se expone en la siguiente tabla:

Nómina	Sueldo bruto mensual	Sueldo bruto semanal	ISR Mensual	IMSS Mensual trabajador	IMSS Mensual Patrón	Sueldo neto
Administrativo	22,000	5,500	3,031.2	605.96	4,254.91	18,362.84
Administrativo	14,000	3,500	1,373.58	373.01	2,887.16	12,253.41
Administrativo	11,000	2,750	879.7	285.66	2,374.27	9,834.64
Administrativo	11,000	2,750	879.7	285.66	2,374.27	9,834.64
Operativo	7,000	1,750	190.96	174.44	1,704.28	6,634.6
Operativo	7,000	1,750	190.96	174.44	1,704.28	6,634.6
Operativo	7,000	1,750	190.96	174.44	1,704.28	6,634.6
Operativo	7,000	1,750	190.96	174.44	1,704.28	6,634.6

Operativo	7,000	1,750	190.96	174.44	1,704.28	6,634.6
Operativo	7,000	1,750	190.96	174.44	1,704.28	6,634.6
Operativo	7,000	1,750	190.96	174.44	1,704.28	6,634.6
Operativo	7,000	1,750	190.96	174.44	1,704.28	6,634.6
Operativo	13,200	3,300	1,230	349.72	2,750.41	11,620.28
Operativo	13,200	3,300	1,230	349.72	2,750.41	11,620.28
Operativo	16,400	4,100	1,835.04	442.89	3,297.51	14,122.07
Operativo	16,400	4,100	1,835.04	442.89	3,297.51	14,122.07
Operativo	16,400	4,100	1,835.04	442.89	3,297.51	14,122.07
Operativo	16,400	4,100	1,835.04	442.89	3,297.51	14,122.07
Operativo	16,400	4,100	1,835.04	442.89	3,297.51	14,122.07

Tabla 9. Recopilación de costos fijos y gubernamentales relacionados con la nómina

Con datos de la Tabla 13 se identificaron los pagos de impuestos y de cuotas de seguridad social que la empresa debe realizar para operar de manera normal y se obtuvo la sumatoria de todos los empleados relacionados con la cadena de arena sílica:

$$C_{TG4A} = \sum C_{TG4A}$$

$$C_{TG4A} = \sum_1^{19} C_{TG4A1} \dots + C_{TG4A19}$$

$$C_{TG4A} = \sum_1^{19} 3,031.2 \dots + 1,835.04$$

$$C_{TG4A} = \sum \$19,327.04$$

$$C_{TG4B} = \sum C_{TG4B}$$

$$C_{TG4B} = \sum_1^{19} C_{TG4B1} \dots + C_{TG4B19}$$

$$C_{TG4B} = \sum_1^{19} 4,254.91 \dots + 3,297.51$$

$$C_{TG4B} = \sum_1^{19} 4,254.91 \dots + 3,297.51$$

$$C_{TG4B} = \sum \$47,513.22$$

$$C_{TG4} = \sum C_{TG4A} + \sum C_{TG4B}$$

$$C_{TG4} = \sum \$19,327.04 + \sum \$47,513.22$$

$$C_{TG4} = \sum \$19,327.04 + \sum \$47,513.22$$

$$C_{TG4} = 66,840.26$$

Así, obtenemos que los gastos gubernamentales C_{TG4} mensuales aproximados referentes a cuotas y pagos de seguridad social son de \$66,840.

Con todos estos costos de transporte se calcula el gasto general de costos gubernamentales en la siguiente fórmula:

$$C_{TG} = \sum C_{TG1} + C_{TG2} + C_{TG3} + C_{TG4}$$

$$C_{TG} = \sum \$1,533 + 541 + 0 + \$66,840$$

$$C_{TG} = \sum \$68,914$$

Ya calculados los costos gubernamentales aproximados tenemos que el gasto mensual es de \$68,914 pesos.

Lo siguiente a revisar son los costos variables (C_{TV}), como su nombre indica, son variables y están directamente influidos por la operación. Entre mayor sea el volumen de operación los costos serán más altos, y en contraparte, si la operación baja los costos también descenden. La fórmula para calcular los costos variables de transporte es la siguiente:

$$C_{TV} = \sum C_{TV1} + C_{TV2} + C_{TV3} + C_{TV4}$$

Donde:

- Mantenimiento preventivo de las unidades (C_{TV1})
- Cobro de peajes (C_{TV2})
- Tiempo extra del operador (C_{TV3})
- Combustible (C_{TV4})

Tipo de unidad	Mantenimiento (trimestral)	Cobro de peajes (Semanal)	Sueldo tiempo extra del operador (Semanal)	Combustible Diésel (Semanal)
Rabón 1	\$15,800	\$0	\$1,200	\$7,950
Rabón 2	\$15,800	\$0	\$1,200	\$7,950
Torton 1	\$17,200	\$0	\$1,500	\$9,100
Torton 2	\$17,200	\$0	\$1,300	\$9,100
Torton 3	\$17,200	\$0	\$1,400	\$9,100
Torton 4	\$17,200	\$0	\$1,100	\$9,100
Torton 5	\$17,200	\$0	\$800	\$9,100

Tabla 10. Recopilación de costos variables por unidad de transporte

Dentro de los costos variables de transporte se encuentran: mantenimiento preventivo de unidades de transporte, cobro de peajes, sueldo de tiempo extra del operador y combustible, que en este caso es el diésel, combustible utilizado para los movimientos que realizan las unidades dentro del circuito.

El mantenimiento de los torton y rabones se realiza en el taller propio que se encuentra dentro del centro de transferencia y se va registrando en un hoja de cálculo en la cual se lleva el detalle de los servicios de mantenimiento preventivo que se hace a cada unidad, pero no se lleva un control tan exacto de las reparaciones menores que se van realizando entre cada servicio preventivo, programados para ejecutarse cada 18,000 kilómetros (el periodo aproximado de tiempo para que se junte el kilometraje para el servicio es de cada tres meses). En el caso del costo de peajes, no se pasa por ninguna caseta de cobro entre la planta y el centro de distribución ya que la única carretera federal que se toma es la ruta 57 en el tramo entre Querétaro a San Luis Potosí donde no hay ninguna caseta de cobro, por tanto, este costo es de cero, pero sí es necesario de mencionar debido a que es un costo común en el servicio de transporte.

Para el cálculo de los costos variables se tomará la información de la Tabla 14. Los primeros costos que revisar son los de mantenimiento, sólo serán tomados en cuenta los costos de mantenimiento preventivo, que sí se llevan a detalle por unidad de transporte, por tal, los costos de mantenimiento (C_{TV1}) se calcularán con la siguiente fórmula,

$$\begin{aligned} \sum_1^7 C_{TV1} &= (\text{rabon 1} + \text{rabon 2} + \text{torton 1} + \text{torton 2} + \text{torton 3} + \text{torton 4} \\ &\quad + \text{torton 5}) \\ \sum_1^7 C_{TV1} &= (\$15,800 + \$15,800 + \$17,200 + \$17,200 + \$17,200 + \$17,200 \\ &\quad + \$17,200) \\ \sum_1^7 C_{TV1} &= \$117,600 \end{aligned}$$

De acuerdo con los datos obtenidos en la fórmula para calcular el (C_{TV1}) tenemos que el costo de mantenimiento bimestral para las unidades que brindan servicio es de 117,600 pesos, referente al mantenimiento preventivo de las unidades que se realiza de acuerdo con los kilómetros recorridos. Convirtiendo (C_{TV1}) a costos mensuales tenemos aproximadamente 58,800 pesos mensuales.

El siguiente costo variable que revisar es el de peajes o casetas de cuota (C_{TV2}), costo muy común en los servicios de transporte, pero ya que en este caso no se tiene ningún costo de peaje dentro del circuito, el costo es cero.

$$\sum_1^7 C_{TV2} = \$0$$

El siguiente costo variable estimado es el sueldo por tiempo extra del operador (C_{TV3}) que, como el sueldo fijo, se paga por semana. Para calcular el costo del sueldo extra del operador se considera la siguiente fórmula:

$$\sum_1^7 C_{TV3} = (\$1,200 + \$1,200 + \$1,500 + \$1,300 + \$1,400 + \$1,100 + \$800)$$

$$\sum_1^7 C_{TV3} = \$8,500$$

Como muestra la fórmula, para calcular el (C_{TV3}) la suma del sueldo de tiempo extra semanal aproximado de los operadores es de \$8,500 pesos, que mensualmente nos da un aproximado de \$34,000 pesos.

El último costo variable calculado es el costo de combustible (C_{TV4}) y el diésel es uno de los costos de transporte que más se incrementan a corto plazo. Se realizan dos o tres cargas por semana para cubrir toda la operación cuando el indicador del nivel de combustible del tanque marca en reserva y se llena el tanque al cien por ciento; los rabones tienen dos tamaños de tanques: 80 y 100 litros, mientras que los torton poseen tres tamaños: 275, 285, 295 litros. Las cargas semanales totales se toman de la Tabla 14 y cabe resaltar que el costo del diésel se calculó de acuerdo con el precio promedio en el estado de Querétaro en diciembre de 2021, según el portal de internet de la Comisión Reguladora de Energía, el cual marca a 21.20 pesos por litro de diésel.

$$\sum_1^7 C_{TV4} = (\$7,950 + \$7,950 + \$9,100 + \$9,100 + \$9,100 + \$9,100 + \$9,100)$$

$$\sum_1^7 C_{TV4} = \$61,400$$

Según la fórmula tenemos que el costo del diésel semanal total de las unidades es de 61,400 pesos, costo que si lo convertimos a un periodo mensual nos da una cifra de 245,600 pesos mensuales.

Obteniendo todos los gastos de transporte variables ajustados a manera mensual obtenemos que la suma de los gastos de transporte variables mensuales aproximados es de \$338,400 pesos:

$$C_{TV} = \sum C_{TV1} + C_{TV2} + C_{TV3} + C_{TV4}$$

$$C_{TV} = \sum 58,800 + 0 + 34,000 + \$245,600$$

$$C_{TV} = \sum 58,800 + 0 + 34,000 + \$245,600$$

$$C_{TV} = \sum \$338,400$$

Ya sumado cada costo general de transporte, se ajustaron los costos a un periodo mensual y tener una misma unidad de tiempo, ya que muchos gastos o pagos no se generan de manera

mensual. Tomamos nuevamente la fórmula para calcular los costos de transporte sumando los tres costos generales, pasamos a sustituir.

$$C_T = \sum C_{TF} + C_{TG} + C_{TV}$$

$$C_T = \sum \$330,800 + 68,914 + \$338,400$$

$$C_T = \sum \$330,800 + \$68,914 + \$338,400$$

$$C_T = \sum \$738,114$$

De acuerdo con la sustitución en la fórmula para los costos de transporte obtenemos que aproximadamente costo por \$738,114 pesos, lo que muestra que **los costos variables** es el costo **más alto** y el costo gubernamental es el costo general más bajo de los tres.

Resultados y discusión del análisis

Ya obtenidos los costos generarles de transporte, se puede observar que para este ejercicio los costos variables y los costos fijos son casi iguales, los costos gubernamentales son los de menor valor, dada la inflación de cada mes posiblemente los costos variables tendrán un mayor valor contra los costos fijos.

Por otro lado, el resultado de los costos de transporte nos da visibilidad de cuanto cuesta operar un circuito de recolección de residuos de corta distancia, por lo tanto, se procederá a hacer la comparativa entre los costos de transporte y los ingresos obtenidos para la empresa por la recolección de la arena sílica. Como se mencionó el servicio se cobra en tres pesos por kilogramo recolectado, con este precio se procede a multiplicar las toneladas recolectadas mostradas en la Tabla 8, por el cobro realizado por kilogramo, derivado de los análisis obtendremos el ingreso aproximado por mes. A continuación, se presenta la Tabla 15 la cual muestra los ingresos calculados obtenidos por la recolección de arena sílica.

AÑO	Mes	Ingreso aproximado	Costos de transporte	Diferencia
2021	ENERO	\$ 310,500.00	\$ 738,114.00	-\$ 427,614.00
2021	FEBRERO	\$ 481,500.00	\$ 738,114.00	-\$ 256,614.00
2021	MARZO	\$ 507,000.00	\$ 738,114.00	-\$ 231,114.00
2021	ABRIL	\$ 457,500.00	\$ 738,114.00	-\$ 280,614.00
2021	MAYO	\$ 526,500.00	\$ 738,114.00	-\$ 211,614.00
2021	JUNIO	\$ 375,000.00	\$ 738,114.00	-\$ 363,114.00
2021	JULIO	\$ 469,500.00	\$ 738,114.00	-\$ 268,614.00
2021	AGOSTO	\$ 487,500.00	\$ 738,114.00	-\$ 250,614.00
2021	SEPTIEMBRE	\$ 454,500.00	\$ 738,114.00	-\$ 283,614.00
2021	OCTUBRE	\$ 447,000.00	\$ 738,114.00	-\$ 291,114.00
2021	NOVIEMBRE	\$ 450,000.00	\$ 738,114.00	-\$ 288,114.00
2021	DICEMBRE	\$ 408,000.00	\$ 738,114.00	-\$ 330,114.00
2022	ENERO	\$ 330,000.00	\$ 738,114.00	-\$ 408,114.00

2022	FEBRERO	\$ 417,000.00	\$ 738,114.00	-\$ 321,114.00
------	---------	---------------	---------------	----------------

Tabla 11. Recopilación de ingreso aproximado menos los costos de transporte

Para representar de una manera más visual, se realizó un gráfico con los datos de la Tabla 14, donde se observa que los ingresos no superan en ningún mes los costos de transporte, en el supuesto que este fuera el único residuo que se recolectara la empresa no tendría ingresos si no pérdidas. También se debe entender que los gastos de la empresa son compartidos con otros residuos ya que se recolectan con las mismas unidades, los ingresos por la recolección de arena sílica no es muy alto para cubrir en su totalidad los costos de transporte, pero sí alcanza a cubrir la mitad de estos, lo cual es significativo, dado que la empresa recolecta otro tipo de residuos que en su mayoría tienen más oportunidad de poder reintegrarse en otro mercado. Además para el transporte de este RME no se necesita hacer algún tipo de inversión en las unidades que prestan el servicio.

El Gráfico 6, muestra el periodo de recolección de la Tabla 6 el cual fue de un año en el periodo de enero de 2021 a febrero de 2022, donde enero se repite como el mes que menos ingresos tiene, también se observa que el primer semestre del año 2021 tiene los meses con más ingresos en comparación al segundo semestre del mismo año.

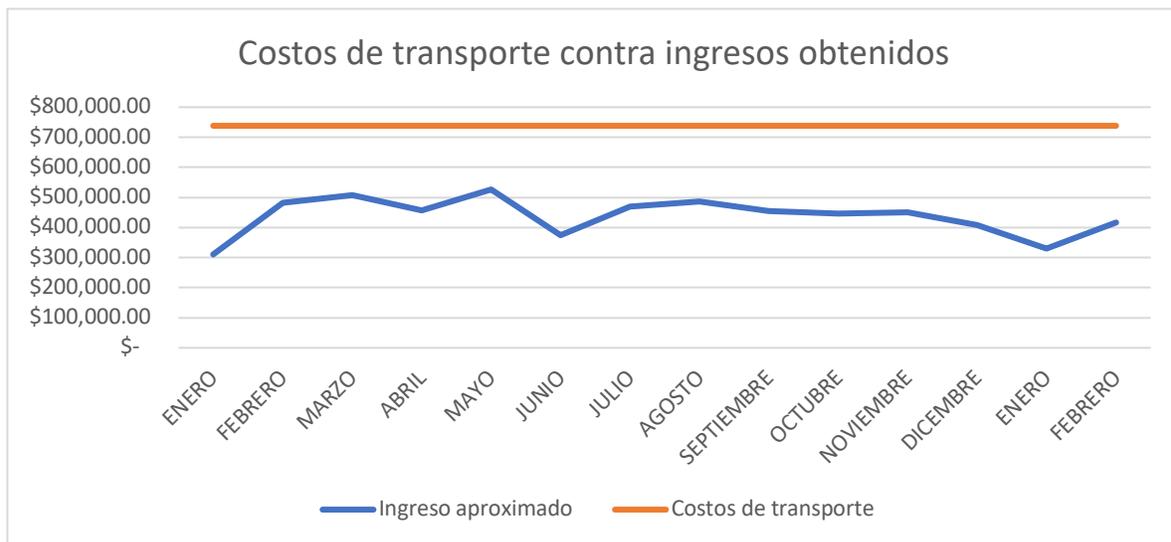


Gráfico 6. Costos de transporte contra ingresos obtenidos enero 2021 – febrero 2022

Mencionar que los costos de transporte fueron calculados en el mismo periodo de enero de 2021 a febrero de 2022, para así obtener una comparativa más acertada, dado que los tres costos generales de transporte tienen un incremento anual y los costos variables tienen incrementos mensuales considerables, por lo cual, hacer la comparativa en otro periodo distinto, se obtendría resultados erróneos debido a que compararíamos periodos distintos donde los costos variables son distintos cada periodo por la naturaleza que tienen, dependen del volumen de operación. Además algunos costos se tomaron en su valor más alto y otros en su valor promedio durante el periodo en estudio, y así sacar los costos más altos que se pudieran a llegar a tener en un mes de operación y no quedar cortos en el estimado obtenido.

Otro aspecto a considerar es que en este ejercicio, es que los costos de transporte son compartidos, como se mencionó las unidades hacen servicios donde se recolectan otros residuos, si sumáramos el ingreso de esos otros residuos superarían por mucho los costos de transporte, además solo tres meses los ingresos de la arena sílica estuvieron por debajo del

50% de los costos de transporte, los demás meses se cubría la mitad de los costos de transporte solo con el ingreso de la arena sílica lo cual ayuda a la rentabilidad de la empresa.

Se puede determinar que no cubren el total de los costos generados, pero si cubren más del 50% de los costos, y con las mismas unidades se hacen más servicios de recolección, lo cual demuestra que es rentable la operación de recolección a la planta de producción. Si en un futuro cercano la empresa caso de estudio encontrara un cliente que adquiriera la arena sílica se podría hacer aun más rentable este RME, poder ayudar más a la empresa a cubrir sus costos con un solo RME que no es tan comercial lo cual vendría como una buena imagen en valorizar residuos que no se tengan tanta competencia. Sin olvidar que este RME se puede hacer aun más rentable si se tiene algún mercado alternativo donde integrarse y poder ser aprovechado. Al momento la operación con entrega en disposición final ayuda también en términos ambientales, ya que ayuda como material de absorción para los líquidos que se generan y se filtran en los centros de disposición final.

Ya entrando a la estructura de costos de la logística inversa al obtener los costos de transporte se puede calcular la estructura de Ya Ping. Los cálculos de los costos de la logística inversa se fueron realizando en el siguiente orden, primero se calculó el costo de adquisición, después el costo de almacenamiento y por último el costo de transporte, para este costo recordar que se tomó como base la estructura de Sarder. Una vez obtenido todos los costos se realizó la suma para obtener el total de los costos de la logística inversa, a continuación, se presenta la ecuación para obtener los costos logísticos totales.

$$C_{LI} = \sum C_R + C_A + C_T$$

$$C_{LI} = \sum \$62,400 + \$307,125 + 738,114$$

$$C_{LI} = \sum \$1,107,639$$

De acuerdo con la sustitución en la ecuación para los costos de la logística inversa obtenemos que aproximadamente el costo mensual es de \$1,108,000.00 pesos, aclarar que los costos de almacenamiento y costos de transporte se comparten con otros residuos y el costo de adquisición es único de la arena sílica, ya que su operación es distinta a la de todos los demás residuos que se recolectan en la planta de producción, el costo de adquisición es el menor de todos y el costo de transporte es el más alto teniendo un 66% del total de los costos de la logística inversa, esto nos dice lo importante que se debe tener una administración correcta del transporte en este eslabón de la CSI de la arena sílica.

La comparación entre los costos de transporte y los ingresos aproximados en la recolección de arena sílica sirve de ejemplo de cuánto es lo mínimo que la empresa debe percibir en un nuevo circuito a incursionar para la recolección de otro residuo, ya que al momento no se realiza de esta manera y es más influenciado por los precios de mercado en que se pueda llegar a adquirir algún residuo.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

El propósito de este proyecto de investigación es ampliar las oportunidades de valorización y el aprovechamiento del residuo de la arena sílica, mediante el desarrollo del análisis de costos logísticos y de transporte (OLT) y en conjunto con la estructura de costos de Ya Ping poder obtener el total de costos de logística inversa que representa operar este pequeño eslabón de la cadena de suministro inversa de la arena sílica.

El análisis de operaciones logísticas de costos de transporte es fundamental para cualquier empresa que se dedique a la recolección de residuos. Esto se debe a que los costos de transporte suelen representar una parte significativa de los gastos operativos de este tipo de servicios. Por lo tanto, es clave para las empresas poder calcular con precisión estos costos, a fin de poder tomar decisiones informadas que les permitan optimizar sus operaciones.

Este proyecto abarca el eslabón de la CSI desde que el material es rechazado en la planta de producción, hasta que este material ya convertido en residuo es reintegrado a un mercado secundario como materia prima en la fabricación de material de construcción y/o es llevado a disposición final donde este tiene un uso importante como material absorbente para el lixiviado generado en estas locaciones.

Parte de los propósitos de esta tesis, es enriquecer la información sobre el manejo de costos de transporte en los residuos procesados en nuestro país. Al analizar en detalle cada uno de los componentes que influyen en los costos de transporte, se podrá identificar áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia operativa y reducir los gastos asociados a la recolección de residuos.

El análisis de costos de transporte ha proporcionado los montos de cuánto puede costar la recolección de residuos, contemplando desde la adquisición del residuo hasta su disposición final o reincorporación a otra cadena de valor. Esta información es significativa para plantear medidas de reducción de costos, con objetivos propuestos por la empresa caso de estudio, para poder tomar decisiones en relación costo-beneficio al buscar nuevos mercados alternativos.

Revisando cada costo, encontramos que los costos de transporte tenían dos aspectos unos se tienen muy bien controlados y otros no. Establecer indicadores sobre los costos de mantenimiento es de gran importancia, ya que son los costos menos controlados. Esto ayudara a promover el orden, por ende, la disminución de costos.

Es importante destacar que esta investigación no solo tiene beneficios para las empresas dedicadas a la recolección de residuos, sino que también puede ser de utilidad para otras industrias que manejan operaciones logísticas de transporte. Al aplicar los conocimientos adquiridos en este estudio, estas empresas podrán optimizar sus operaciones y reducir sus costos, lo que les permitirá ser más competitivas en el mercado.

Esta investigación también puede aplicarse este análisis con otros residuos que recolecta la empresa caso de estudio, dado que se utilizan los mismos tipos de unidad. Algunos costos no se tendrían que recalcularse, solo se sumarían, lo que podría permitir hacer la misma comparativa entre ingresos y los costos de transporte que se obtiene en los diferentes circuitos que tiene la empresa. Esto ayudaría a la valorización de mas residuos mediante el análisis de sus costos de transporte.

Para los costos siempre se tomaron los valores mas representativos que se pudieran obtener. La información fue recolectada en distintas muestras durante el periodo de estudio, determinado por los volúmenes compartidos de operación en el circuito de arena sílica. Algunos costos de transporte, particularmente en el tema de mantenimiento de las unidades, no pudieron obtenerse con tanto detalle, debido a que no se lleva un control por unidad sino por flota. Los proveedores de mantenimiento contemplan unidades que no pertenecen al circuito en estudio, pudiendo incrementar el monto de los costos de mantenimiento que necesariamente no se tendrían que contemplar.

Esta investigación proporciona una herramienta valiosa para calcular los costos de transporte en la recolección de residuos y en otros servicios logísticos. Al tener en cuenta diferentes variables y analizar en detalle cada componente que influye en estos costos, las empresas podrán tomar decisiones informadas que les permitan mejorar su eficiencia operativa y reducir sus gastos. Esto, a su vez, les permitirá ser más competitivas en el mercado y lograr un mayor éxito en sus operaciones logísticas.

El futuro esta en la digitalización de las operaciones logísticas y la gestión de costos de transporte es muy prometedor. Al aprovechar el análisis avanzado de datos, el mantenimiento predictivo y las capacidades de optimización, los modelos pueden revolucionar la forma en que las empresas gestionan su logística y sus costos. Esto no solo mejora la eficiencia operativa y el ahorro de costos, sino que también contribuye a los esfuerzos de sostenibilidad y la ventaja competitiva. A medida que la tecnología evoluciona, la integración de datos en tiempo real y aplicaciones específicas de la industria consolidará aún más su papel como un proveedor de recolección de residuos que va más allá.

De acuerdo con la información recabada se hacen las siguientes recomendaciones:

1. Contar con una herramienta de TMS para mejorar el registro de viajes, cuantificar la cantidad de residuos recolectados, orígenes y destinos, entre otra información, con el fin de tener bases de datos uniformes que permitan el análisis de datos. En la actualidad, existen numerosas herramientas tecnológicas que pueden facilitar la gestión de los costos de transporte. Desde sistemas de planificación de rutas hasta software de gestión de flotas, estas herramientas pueden ayudar a optimizar las operaciones logísticas de transporte (OLT), reducir los tiempos de entrega y, en última instancia, disminuir los costos operativos.
2. Concentrar los costos de mantenimiento en una sola fuente de información, que permita el análisis de datos, para conocer las unidades u operadores que mas gastos generan en mantenimiento, medir el costo en reparaciones externas, refacciones utilizadas entre otros. Es importante tener un software para llevar la gestión del mantenimiento de las unidades, evaluar las diferentes opciones disponibles en el mercado y seleccionar aquellas que mejor se adapten a las necesidades específicas de la empresa.
3. Realizar investigaciones de mercado de manera semestral, para encontrar otro cliente potencial secundario que pueda adquirir la arena sílica, con esto se pueda mejorar el

aprovechamiento y el valor recuperado y así evitar la necesidad de llegar a la disposición final.

4. A futuro al tener un nuevo cliente que adquiera la arena sílica de manera regular, poder hacer la comparativa de costo-beneficio de acuerdo con la estructura de Ya Ping, en busca de comprobar un beneficio económico extra para la empresa caso de estudio, en su caso también poder cuantificar el beneficio ambiental que tiene la arena sílica al ser integrada a un mercado secundario.

REFERENCIAS

1. Yiannis Nikolaidis. (2013). Quality Management in Reverse Logistics 3-11.
2. Ennio Cascetta. (2009). Transportation Systems Analysis 18,19.
3. Ren & Zhang. (2022). Circular Economy and Waste Valorisation 3-9, 37-46.
4. Ya Ping. (2012). Second International Conference on Business Computing and Global Informatization Cost and Benefit Analysis of Reverse Logistics 75-77.
5. Dowlatshahi (2010). International Journal of Production Research A cost-benefit analysis for the design and implementation of reverse logistics systems: case studies approach 1362-1374
6. Xiaoqing Baoqin. (2008). Study on the Optimized Cost-Benefit Model of Recycling Logistics System with Reverse Process. 232-235.
7. Blunberg (2005). Closed Loop Supply Chains and Reverse Logistics Bibliography. Introduction to Management of Reverse Logistics and Closed Loop Supply Chain Processes. 65-72
8. Sánchez & Gómez (2018). Asociación Mexicana de Logística y Cadena de Suministro, A.C. 61-69
9. Universidad Central. (2019, noviembre). Normas APA 7.^a edición
10. Sarder. (2021). Logistics Transportation Systems 37-44, 48-57
11. SCT (2017). NOM-012-SCT-2-2017 Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.
12. SCT (2019). NOM-087-SCT-2-2017 Que establece los tiempos de conducción y pausas para conductores de los servicios de autotransporte federal.
13. Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión. (2003). Ley General Para La Prevención Y Gestión Integral De Los Residuos
14. Gobierno del Estado de Guanajuato. (2015). Dirección de Impacto Ambiental y
15. Manejo Integral de Residuos Inventario de Residuos de Manejo Especial en el Estado de Guanajuato 2015.
16. Han & WU. (2019). Industrial Solid Waste Recycling in Western China 1-37.
17. Gobierno del Estado de Guanajuato. (2019). Secretaria de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMAOT). Diagnóstico Estatal de Generación y Composición de Residuos De Manejo Especial 2018.
18. Chopra & Meindl. (2015). Supply Chain Management Strategy, Planning, and Operation. 71-76, 108-132, 142-147.
19. INEGI. (2021). Censo de Población y Vivienda 2020.
20. SEMARNAT. (2013). NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.
21. Gobierno del Estado de Guanajuato. (2021). Instituto para las Mujeres Guanajuatenses. Monografía Igualdad de Género. Municipios del Estado de Guanajuato.
22. Villanet (2023) [software] <https://villanett.com/>
23. Escoofi (2022). <https://escolofi.com/las-40-curiosidades-sobre-el-reciclaje>

ANEXO 1

Generación por tipo de residuo a nivel estatal.

NO.	RME	CANTIDAD ESTIMADA DE GENERACIÓN (TON/AÑO)	% DE REPRESENTATIVIDAD DEL TOTAL
1	Cartón	917822.03	16.75
2	Metal ferroso	867332.66	15.83
3	Madera	521792.82	9.52
4	Mezcla de residuos	419956.41	7.67
5	HDPE	341414.69	6.23
6	Polipropileno	236761.67	4.32
7	LDPE	189220.84	3.45
8	Tetra pack	154265.17	2.82
9	Hule	152770.86	2.79
10	Lodo de PTAR	146173.02	2.67
11	Aluminio	144989.64	2.65
12	Mezcla de plásticos	116906.51	2.13
13	Papel	96897.70	1.77
14	Poliestireno	95465.69	1.74
15	Vidrio	85104.40	1.55
16	Destrucción fiscal	73806.54	1.35
17	PVC	67292.53	1.23
18	Arena sílica	62111.52	1.13
19	Cobre	61324.51	1.12
20	Caucho	59126.40	1.08
21	RAEE	58381.51	1.07
22	Acero con espuma	56931.90	1.04
23	PET	47346.69	0.86
24	Textil	45814.24	0.84
25	Descarne	45517.25	0.83
26	Zinc	40755.59	0.74
27	Raspa de Wet Blue	33485.23	0.61
28	ABS	30261.90	0.55
29	Níquel	27745.87	0.51
30	Borra	27557.57	0.50
31	Crema residua	26693.50	0.49
32	Recorte de piel	25649.84	0.47
33	Piel sintética	21292.15	0.39
34	Magnesio	30377.80	0.37
35	HIPS	18467.55	0.34

36	Polvo de granalla	18335.35	0.33
37	EVA con textil	15739.29	0.29
38	Recorte de sintético	15388.45	0.28
39	Pelusa	14426.52	0.26
40	Polvo de pulido	11125.35	0.20
41	Latón	9821.78	0.18
42	Poliuretano	9385.13	0.17
43	Aceite vegetal usado	6301.91	0.12
44	Tablaroca	5821.22	0.11
45	TR	5622.06	0.10
46	Polietileno	4513.83	0.08
47	Microesfera de vidrio	4075.56	0.07
48	VFVU	3932.47	0.07
49	Nylon	3915.47	0.07
50	Otro tipo de Lodo de Manejo Especial (Lodos de Curtiduria Tratados)	3000.00	0.05
51	Cartón de embalaje	1709.75	0.03
52	Desorille	1541.48	0.03
53	Sílica	1063.85	0.02
54	Fibra de Vidrio	815.11	0.01
55	Material abrasivo	790.30	0.01
56	Filtros de aire	652.09	0.01
57	Colchones	499.17	0.01
58	Látex	487.94	0.01
59	Jabón en barra	399.34	0.01
60	Bronce	376.76	0.01
61	Tugsteno	368.83	0.01
62	Antimonio	368.74	0.01
63	Grasas de trampa	319.47	0.01
64	Cinta FR	211.04	<0.01
65	Yeso	200.67	<0.01
66	Arena desecante	85.52	<0.01
67	Material refractario	77.50	<0.01
68	Algodón	32.25	<0.01
69	Cerámica	23.96	<0.01
70	Hilo	14.18	<0.01
71	Polvo de soldadura	3.95	<0.01

