

Mejora en la Gestión de Residuos Plásticos a través de una Planta Automatizada de Reciclaje en México

Karla Castro-Puga¹, Ana D. Estrada-Miranda¹, Javier Gómez-Gómez¹, Sofía Molina-Durán¹, Zizilia Zamudio-Beltrán²

¹Universidad La Salle México, Facultad de Ingeniería. Ciudad de México, México.

²Universidad De La Salle México, Vicerrectoría de Investigación. Ciudad de México, México.

karla.castro@lasallistas.org.mx, ana.estrada@lasallistas.org.mx, j-gg@lasallistas.org.mx, s.md@lasallistas.org.mx, zizilia.zamudio@lasalle.mx

Resumen. El aumento en la generación de residuos plásticos, especialmente de PET debido al consumo de bebidas embotelladas, ha generado preocupación por su impacto ambiental y en la salud pública en México. Para abordar esta problemática, se propone el diseño de una planta de reciclaje automatizada que busca aumentar la eficiencia en la gestión de estos residuos analizando el impacto que ha tenido este tipo de tecnologías en el campo del reciclaje. La automatización de procesos como la separación y triturado del plástico promete reducir costos operativos y mitigar la contaminación al fomentar el reciclaje y la reutilización. Además, esta iniciativa podría generar empleo y concientizar sobre la importancia de una gestión responsable de residuos y prácticas sostenibles.

Palabras Clave: Plásticos, reciclaje, planta de reciclaje, automatización, economía circular.

1 Descripción de la problemática prioritaria abordada

Este proyecto busca abordar la problemática actual sobre el impacto destructivo de los plásticos en los ecosistemas con una solución sostenible. Esta amenaza no solo altera los hábitats y procesos naturales, sino también a la vida silvestre, especialmente a la fauna marina que sufre asfixia y otro tipo de afectaciones. Además, debido a dicho problema, se va reduciendo la capacidad de los ecosistemas para adaptarse al cambio climático, aunado al deterioro de los subsuelos que causa problemas de salud, ya sea, por los ingredientes tóxicos del plástico que se evaporan y contaminan el aire, o al ser absorbidos por la piel o filtrarse en comidas y bebidas (UNEP, 2023; Metlife, 2019).

La gravedad de la situación se hace evidente por la larga duración de descomposición de los plásticos, por ejemplo, una bolsa de plástico común puede tardar hasta 150 años en degradarse, mientras que una botella de PET tarda hasta 1000 años en desaparecer (Fundación Aquae, 2021). Este problema se agrava aún más por la baja tasa de reciclaje, según la UNEP, aproximadamente el 46% de los residuos plásticos se deposita en vertederos, y el 22% se administra erróneamente, así acumulándose más basura.

Esta propuesta impacta a cinco ODS. La número 9, Industria, Innovación e Infraestructura, teniendo como meta implementar nuevas tecnologías que faciliten el reciclaje de los plásticos, esto provocando una mejor gestión de los residuos industriales producidos. La ODS 11, Ciudades y Comunidades Sostenibles y la ODS 12, Producción y Consumo Responsables, con tecnologías que permitan automatizar el proceso de reciclaje de plásticos con ayuda de la comunidad; de esta

forma evitando la acumulación de plásticos en lugares públicos o en las zonas urbanas y conseguir una educación de reciclaje. La ODS 14, vida submarina y la ODS 15, Vida de Ecosistemas Terrestres, debido a que una gran parte de los residuos plásticos que se producen terminan en el océano o en zonas como son selvas o bosques, con este proyecto se busca eliminar gran parte o en su totalidad de este plástico que termina en estas zonas, tratando de preservar estos hábitats.

2 Objetivo

Mejorar la gestión de residuos, reducir su acumulación y mitigar el impacto ambiental negativo mediante el análisis de la implementación de tecnologías de automatización en el reciclaje de plásticos, desde la recolección hasta la obtención de nuevos productos.

3 Propuesta teórico-metodológica

Este proyecto propone la implementación de una planta de reciclaje automatizada en México para mitigar los residuos plásticos, dado que México es uno de los principales productores de PET (polietileno tereftalato) debido al alto consumo de bebidas embotelladas. Se estima que cada mexicano produce alrededor de 200 botellas de PET y entre 43 y 59 kg de residuos plásticos anualmente, con un manejo ineficiente de residuos que alcanza entre el 38% y el 58% (CONANP, 2018; Semarnat, 2023).

Para tener un estudio más específico, nos concentramos en la Ciudad de México, que es una de las ciudades con mayor generación de residuos plásticos en el país, con un estimado de más de 13,000 toneladas de residuos sólidos urbanos generados diariamente, de los cuales una parte significativa son plásticos. (Mexico Business News, 2023). Además, la ciudad enfrenta retos en la gestión y reciclaje, la eficiencia y la cobertura siguen siendo insuficientes para manejar el volumen de residuos plásticos generados. La ciudad requiere una solución eficiente y sostenible para manejar este volumen de residuos plásticos.

Una planta de reciclaje es una instalación industrial donde los residuos se transforman en nuevas materias primas. Sin embargo, las plantas actuales enfrentan desafíos como la ineficiencia en la clasificación y altos costos operativos debido a métodos manuales o semi-automatizados. Por ello, se propone automatizar la planta para optimizar los procesos y aumentar la eficiencia en la gestión de residuos (Amor, 2023).

La Automatización de Procesos en el sentido de una planta de reciclaje se compone diferentes etapas, la separación del material, reducción del tamaño de este (triturado), para después someterlo a un proceso de reutilización. Para comenzar, en el proceso de separación se busca implementar distintos métodos, uno de ellos es el uso de brazos robóticos, los cuales haciendo uso de distintos sensores van a poder identificar y separar los materiales dependiendo características como color, tamaño o forma. También hacer uso de la separación de material dependiendo de la densidad de este, ya que los plásticos se sumergen o flotan dependiendo del líquido a donde sean colocados. En la parte del proceso de triturado se busca implementar distintos equipos de trituración de plásticos (aspas o cuchillas) así como el uso de molinos, para la reducción en tamaño del plástico, una vez reducido el tamaño sea pasado por un tamiz donde solo pasaran los materiales que cumplan con una medida deseada para ser almacenados. Y para el último proceso que es el reutilizado, buscamos que el plástico previamente triturado pueda ser usado en la creación de distintos productos. Todos estos procesos van a realizarse haciendo uso de bandas transportadoras, evitando los distintos accidentes que puedan sufrir las personas al momento de hacer

estas tareas. Es fundamental realizar un estudio de viabilidad que evalúe detalladamente la factibilidad técnica, financiera y ambiental de establecer una planta de reciclaje automatizada. Este estudio debe considerar la ubicación geográfica más adecuada en la Ciudad de México, los costos de inversión inicial, el impacto en las comunidades locales y los beneficios a largo plazo en términos de reducción de desechos y generación de empleo. En términos de demanda del producto, se puede observar un crecimiento constante a raíz de la conciencia ambiental y las políticas gubernamentales que promueven el uso de materiales reciclados. En cuanto a la competencia, existen plantas de reciclaje tradicionales, y algunas empresas que están comenzando a integrar tecnología avanzadas en el reciclaje de plásticos, como lo pueden llegar a ser empresas como Bimbo, Herdez y Danone, que son empresas líderes del reciclaje en México. Los clientes potenciales de esta planta incluyen fabricantes de productos plásticos, que pueden llegar a ser empresas como Ford, que recicla botellas para crear alfombra de autos, hasta marcas de moda como lo son Prada y Longchamp, que usan los materiales reciclados para hacer telas para bolsos, por otro lado, las entidades gubernamentales interesadas en soluciones sostenibles para la gestión de residuos (Content & Garduño, 2021; AreyouR, 2022). En la parte de ubicación e infraestructura, se considera la construcción de la planta industrial en áreas con alta densidad de residuos plásticos dentro de la Ciudad de México, preferentemente cerca de centros urbanos con un alto consumo de PET. Existen áreas en la periferia de la ciudad, como en áreas de Iztapalapa o Azcapotzalco, donde el costo del terreno puede ser más bajo y adecuado para la instalación de una planta industrial. Esta planta deberá contar con espacio suficiente para albergar las máquinas automatizadas, un sistema de control avanzado y áreas de almacenamiento de materiales reciclados. Además, se necesitará implementar rutas de transporte eficientes para la recolección de residuos desde puntos de acopio hasta la planta. La maquinaria necesaria para comenzar el proyecto es una banda transportadora plana con una banda plana hecha con PVC ya que son muy flexibles y versátiles para realizar diferentes recorrido en donde se los diferentes tipos de plásticos que se manejar su separación y juntar diferentes carriles, el costo inicial ronda entre los 30 mil a 50 mil pesos mientras, agregando que el costo por mantenimiento es de 3 mil a 9 mil pesos que se realiza cada 6 o 9 meses dependiendo del proveedor. Además, se van a implementar dos robots tipo delta para la clasificación de residuos implementados con un sensor óptico, este tipo de robots tienen una alta precisión en movimientos horizontales lo que nos resulta muy útil para clasificar los residuos que pasen en la banda transportadora. El costo aproximado de estos robots es de 500 mil pesos por cada uno que incluyen el Software de programación, sistemas de visión y herramientas de manipulación.

Haciendo un análisis en distintas fuentes de información pudimos obtener distintos rangos de precios con los cuales nos basamos para poder realizar nuestro presupuesto propio sobre los gastos iniciales para poder realizar nuestra planta de reciclaje. Escogimos la Ciudad de México como el lugar para realizar la planta debido a que es una zona urbana de la ciudad donde se pueden producir grandes cantidades de desperdicios plásticos, debido a que esta zona es muy amplia los costos para la compra de un terreno y construcción de una planta varían mucho dependiendo la zona, obteniendo varios datos obtuvimos que el precio de un terreno en la zona de Iztapalapa tiene un costo alrededor de \$10,200 por metro cúbico.

Para la parte de la maquinaria existen varias opciones de robots y bandas transportadoras, el precio de un robot ronda entre los \$500,000 esto ya que incluye el software con el cual funciona además de un mantenimiento, este costo puede variar dependiendo del tiempo que esté en funcionamiento el mismo.

Para el caso de los ingresos podrán obtenerse a través de la venta del material en bruto después de la trituración del mismo, en este caso la venta de los pellets (nombre que recibe el plástico reciclado), se espera obtener una ganancia de entre \$21000 a \$25000 pesos mexicanos por tonelada de material obtenido, con lo que la planta de reciclaje puede representar un ahorro significativo para el presupuesto de las alcaldías como es la planta localizada en la Ciudad de México en Vallejo, Azcapotzalco que representa este beneficio para las alcaldías de Azcapotzalco, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero y Miguel Hidalgo (Distribuidora Don Ramis, 2022; Gobierno CDMX 2021). Además de esto, un estudio de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) revela que en esta planta de reciclaje de residuos sólidos en Vallejo, en la Ciudad de México, tiene una capacidad para tratar hasta 1,000 toneladas diarias de residuos, lo que genera un ahorro significativo para la administración local, evitando el costo de disposición final y promoviendo la reutilización de materiales (Mexico Business News, 2023).

4 Discusión de resultados

La implementación de una planta de reciclaje puede generar múltiples beneficios positivos. Además de la evidente reducción de contaminación plástica en ecosistemas terrestres y marinos, estos procesos mejoran la gestión y optimización de la recolección y producción de nuevos productos, evitando la acumulación de residuos en vertederos y áreas urbanas. De esta manera, la disminución de la cantidad de plásticos contribuye a la protección y conservación de especies en peligro de extinción y a la preservación de hábitats marinos. Un ejemplo notable es el proyecto "Planta recicladora de residuos sólidos urbanos automatizados con sistemas de control y monitoreo" en el estado de Aguascalientes, liderado por el Centro de Tecnología Avanzada (Ciateq) en conjunto con la empresa 4ti. Esta iniciativa desarrolló una máquina recicladora equipada con robots tipo delta que trabajan junto con una máquina que detecta cuatro tipos de materiales: aluminio, papel o cartón, vidrio y tereftalato de polietileno (PET). Los desechos ingresan a granel en una banda transportadora que pasa por un área de inspección, donde una cámara diseñada por 4ti detecta el tipo de reciclable y su ubicación, permitiendo su desplazamiento hasta el área de separación. Cuatro robots manejan materiales como papel, vidrio, PET y aluminio, utilizando herramientas como garras y ventosas para agarrar y separar los materiales, y luego los lanzan hacia contenedores específicos. Posteriormente, los materiales pasan por una zona de inspección para confirmar su ubicación y el proceso se repite para otros materiales (Redacción-Iresiduo, 2017). El cliente desarrolló el sistema de visión utilizando redes neuronales para clasificar los reciclables, mientras que Ciateq se encargó de la comunicación entre el sistema de visión, un controlador y los robots. Se utilizó el protocolo Allen-Bradley para la comunicación, permitiendo que el dispositivo óptico Ingenia 4ti enviara las coordenadas de los reciclables a un PLC y luego a un sistema de almacenamiento buffer. Los robots utilizan encoders para determinar la posición de los reciclables en la banda transportadora. Una vez que un reciclable es detectado y agarrado por el robot, se envía una señal al PLC indicando que el material ha sido sujetado. El PLC busca la ubicación del siguiente reciclable en el buffer y la envía al robot para que pueda recogerlo (Redacción-Iresiduo, 2017). Además de los beneficios ambientales, desde una perspectiva socioeconómica, la planta de reciclaje crea empleos en el sector de la gestión de residuos y promueve una economía circular y sostenible. La reutilización de plástico ahorra energía, evita la extracción de materias primas y conserva recursos naturales necesarios para la producción de plástico virgen. Estos resultados son observables en la planta de reciclaje en la Ciudad de México, donde por cada capacidad de mil toneladas al día se obtienen fracciones significativas de residuos reutilizables. Como se puede

observar en la Gráfica 1, los residuos que llegan al día en esta planta de reciclaje aproximadamente se recuperan el 30% para su reutilización en la obtención de un gas combustible con un origen renovable o el 6% para otorgarles una segunda vida útil. Para el proyecto representa financiera mente una fracción de los ahorros anuales de la planta a consecuencia de la venta de reciclables que son aproximadamente \$48,254,008. Para el aspecto del fomento de innovación y tecnología en la industria del reciclaje, se reducen costos asociados con la limpieza y mitigación de la contaminación. Por otro lado, desde una perspectiva social, una planta sensibiliza a la población sobre la importancia del reciclaje y el consumo responsable, disminuyendo el consumo de productos plásticos desechables, y con esto disminuyendo la cantidad de desecho plástico producido por la población.

5 Conclusiones y perspectivas futuras

De acuerdo con el análisis realizado, la implementación de una planta de reciclaje ofrece soluciones efectivas a diversas problemáticas planteadas anteriormente. Desde el punto de vista ecológico, se observa una reducción significativa de la contaminación plástica en ecosistemas terrestres y marinos, lo que contribuye a la preservación de la flora y fauna en estos hábitats.

En el ámbito social, la planta proporciona una solución innovadora para la reducción de residuos plásticos, especialmente PET, que es abundante debido al alto consumo de bebidas embotelladas en México. Además, la planta promueve la creación de empleos y sensibiliza a la población sobre la importancia del reciclaje y la gestión responsable de los residuos.

La implementación de tecnologías avanzadas para la separación, recolección y trituración de residuos fomenta la innovación tecnológica y reduce los costos asociados con métodos manuales. Estos procesos automatizados aumentan la eficiencia y la precisión en la gestión de los residuos plásticos.

Los resultados obtenidos respaldan la viabilidad técnica, financiera y ambiental de establecer plantas de reciclaje automatizadas como una solución sostenible para la gestión de residuos plásticos en México. Esta iniciativa no solo puede ser aplicada localmente, sino que también tiene el potencial de ser implementada en otros países donde la contaminación plástica es un problema significativo.

6 Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas y organizaciones que han hecho posible la realización de este proyecto. Un agradecimiento especial para la maestra Zizilia Zamudio Beltrán por el apoyo y su orientación, ya que no solo compartió su conocimiento y experiencia, además nos tuvo paciencia y dedicación, que fueron esenciales para el éxito del trabajo. Su constante apoyo y consejos ayudaron mucho en la creación de este proyecto. De la misma manera, extendemos nuestro agradecimiento a las instituciones y empresas que proporcionaron datos para el estudio.

7 Referencias

1. United Nations Environment Programme. (2023, 29 Abril). Todo lo que necesitas saber sobre la contaminación por plásticos. UNEP. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-contaminacion-por-plasticos>

2. Metlife (2019, 23 Abril). ¿Cómo afecta el plástico a nuestra salud? - Blog Seguros Vida Accidentes. Met-Life. <https://www.metlife.es/blog/salud-bienestar/como-afecta-plastico-nuestra-salud/>
3. Fundación Aquae. (2021, 26 Agosto). Tiempo de degradación de residuos inorgánicos - Fundación Aquae. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/cuanto-tiempo-tardan-degradarse-desechos/>
4. Gamez, M. J. (2022, May 24). Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible. Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
5. Comisión Nacional De Áreas Naturales Protegidas (2018, 23 noviembre). Con-su-mismo plástico. gob.mx. <https://www.gob.mx/conanp/es/articulos/con-su-mismo-plastico?idiom=es>
6. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2023). Inventario Nacional de Fuentes de Contaminación Plástica (INFCP): Resumen Ejecutivo. En gob.mx. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/817333/INFCP_RE_2023.pdf
7. Amor, C. (2023, 30 noviembre). Todo lo que debes saber sobre el funcionamiento de una planta de reciclaje. Knauf Industries. <https://knauf-industries.es/todo-lo-que-debes-saber-sobre-el-funcionamiento-planta-de-reciclaje/#:~:text=La%20planta%20de%20reciclaje%20es,vidrio%2C%20metales%2C%20entre%20otros.>
8. Redaccion-Iresiduo. (2017, June 27). Nueva planta automatizada para el reciclaje de residuos sólidos urbanos. iResiduo. <https://iresiduo.com/noticias/mexico/conacyt/17/06/27/nueva-planta-automatizada-reciclaje-residuos-solidos-urbanos>
9. Content, F., & Garduño, M. (2021, May 20). Bimbo, Herdez y La Moderna, empresas líderes del reciclaje en México. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/ad-bimbo-herdez-la-moderna-empresas-lideres-del-reciclaje-en-mexico/>
10. Areyour. (2022, February 17). 8 empresas que invierten en plásticos reciclados. Areyour. <https://www.areyour.org/es/2022/02/17/8-empresas-que-invierten-en-plasticos-reciclados/>
11. Globa Plast México (2021) Venta de Plásticos Reciclados en México: GlobaPlast México Globa Plast. <https://globaplast.com.mx/venta-de-plasticos-reciclados/>
12. Gobierno CDMX. (s. f.). Estación de Transferencia y Planta de Selección Azcapotzalco, la más moderna de América Latina: Sheinbaum Pardo. CDMX. <https://www.jefaturadegobierno.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/estacion-de-transferencia-y-planta-de-seleccion-azcapotzalco-la-mas-moderna-de-america-latina-sheinbaum-pardo>
13. Distribuidora Don Ramis (2022) Lista de Precios de Polietileno y Polipropileno donramis.com.mx. <https://donramis.com.mx/precios/>
14. España, D., & Esp, D. (2022b, noviembre 29). Recuperación de residuos: qué es y cómo es el proceso. Derichebourg España - Gestion Integral de Residuos. <https://www.derichebourgespana.com/recuperacion-de-residuos-que-es-y-como-es-el-proceso/>
15. Ferroblok. (2023, 30 octubre). Combustible derivado de residuos | Ferroblok. [https://ferroblok.com/materiales/combustible-derivado-de-residuos/#:~:text=Combustible%20Derivado%20de%20Residuos%20\(CDR\)&text=El%20proceso%20se%20realiza%20mediante,gas%20combustible%20de%20origen%20renovable3](https://ferroblok.com/materiales/combustible-derivado-de-residuos/#:~:text=Combustible%20Derivado%20de%20Residuos%20(CDR)&text=El%20proceso%20se%20realiza%20mediante,gas%20combustible%20de%20origen%20renovable3)

Referencias utilizadas para la creación del Análisis Financiero:

16. BHP México. (2024, 28 agosto). Inversión vs. costos en la instalación de robots industriales. <https://blog.bhp.com.mx/fundas-de-robot-industrial-costos-vs-inversion>
17. Gobierno de Chalco. (2024, 12 agosto). RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE TIPO COMERCIAL NO PELIGROSOS - Trámites y Servicios - Gobierno de Chalco. <https://gobiernodechalco.gob.mx/tramites-servicios/51-recoleccion-de-residuos-solidos-urbanos-de-tipo-comercial-no-peligrosos>
18. Gobierno de México. (2024, 11 julio). Recolectores de Basura y Material Reciclable: Salarios, diversidad, industrias e informalidad laboral | Data México. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/occupation/recolectores-de-basura-y-material-reciclable>

19. IMCO. (2023, 31 agosto). ¿Cuál es el costo real del agua en México?: Regulación y tarifas. Instituto Mexicano Para la Competitividad. https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2023/08/Investigacion_Costo-real-del-agua-en-Mexico_31082023-1.pdf
20. Lozano, M. (2024, 7 febrero). El mejor internet para empresas 2024. HighSpeedInternet.com. <https://www.highspeedinternet.com/es/recursos/internet-para-empresas>
21. Montezana, M. (2024, 9 febrero). Presupuesto de Capacitación: 6 Tips para la Aprobación de la Dirección. Voxy. <https://voxy.com/es/blog/presupuesto-de-capacitacion/>
22. Obras, R. (2022, 17 junio). ¿Prefieres comprar terreno a casa? Este es su costo en la CDMX. Obras. <https://obras.expansion.mx/inmobiliario/2022/06/17/costo-terrenos-cdmx>

Tabla 1. Análisis financiero.

Inversión inicial	
Concepto	Costo
Compra de terreno de 5000 m2 (Ciudad de México)	\$ 51,000,000.00
Construcción de la planta con un tamaño de 1000 m2	\$ 5,300,000.00
Banda transportadora plana	\$ 45,000.00
2 Robots tipo delta	\$ 99,998.00
Capacitacion del personal	\$ 227,400.00
Total	\$ 56,672,398.00
Gatos operatorios anuales	
Mantenimiento	\$ 200,000.00
Sueldos del personal (contando con alrededor de 100 empelados)	\$ 4,548,000.00
Servicios publicos	\$ 483,091.68
Costos de recolección (por metro cubico)	\$ 419.00
Total	\$ 5,231,510.68
Presupuesto total	\$ 61,903,908.68
Proyección de ingresos	
Venta de plastico reciclado (anual estimado)	\$ 300,000.00

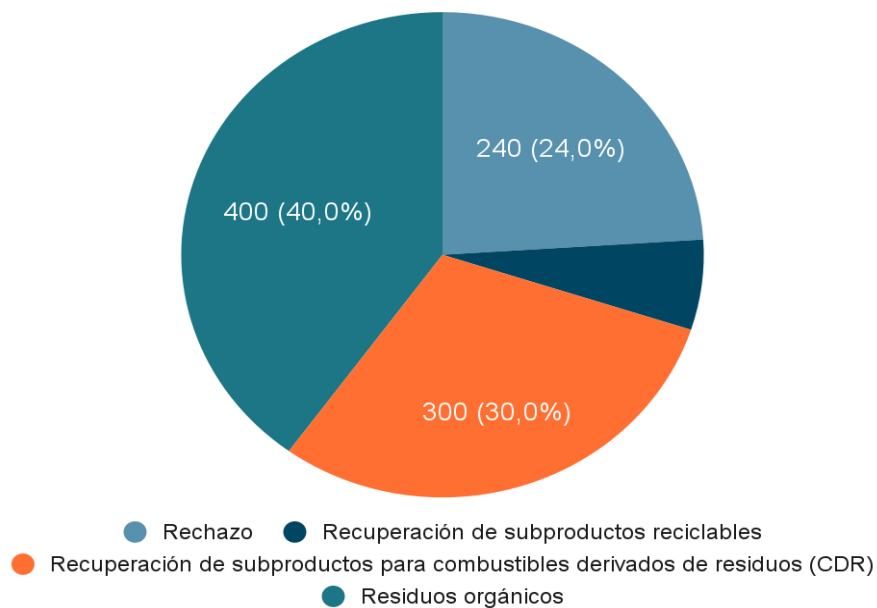


Figura 1. Fracciones de residuos en la planta de reciclaje de Vallejo, CDMX