



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Xochimilco

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO

Maestría en Ciencias y Artes para el Diseño

Área de concentración:
Sustentabilidad Ambiental

Título:

Integración de energía termo solar para reducir el impacto ambiental en el proceso de
recuperación del plástico PEAD y PP

Presenta

Edson Jesús Alan Hernández Domínguez

Tutor

Dr. José Luis Gutiérrez Senties

Lector

Dr. Jorge Gil Tejeda

Responsable de área

Dr. Laura Isabel Romero Castillo

Ciudad de México, México

18 de octubre de 2024



Dedicatoria

Al planeta tierra...

Esperando que la sincronización entre los que la habitamos llegue a la armonía

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mi madre Lorena, a mis abuelos Rosa María y Enrique, a mi hermano Alfredo y a toda mi familia por su incondicional apoyo a lo largo de mi formación.

A la Universidad Autónoma Metropolitana y a la Maestría en Ciencias y Artes para el Diseño, agradezco por admitir mi proyecto. Asimismo, a la coordinación del posgrado y al CONAHCYT por todo el apoyo otorgado durante este proceso.

Gracias al Dr. José Luis Gutiérrez Sentíes por su apoyo, apertura y críticas constructivas que fortalecieron esta investigación.

Y al Dr. Jorge Gil Tejeda por sus valiosas opiniones y aportaciones que enriquecieron este documento.

A mi compañera del posgrado, Marcela, extendiendo mis reconocimientos por la muestra de profesionalismo y ayuda brindada durante la maestría.

Resumen


Este proyecto busca contribuir con el desarrollo de propuestas para el procesamiento de plásticos a partir del uso de energía termo solar. A través de este enfoque, se busca promover una estructura que, en el futuro, permita identificar y definir las herramientas necesarias para comprender los parámetros clave en la implementación de tecnologías de concentración solar aplicadas a la transformación de plásticos. Más allá de propuestas puntuales, el propósito es establecer una base sólida para investigaciones futuras que orienten al desarrollo de sistemas de recuperación de plásticos más eficientes, reduciendo el uso de energía no renovable e integrando fuentes de energía más limpias, con un enfoque particular en la energía termo solar.

El aprovechamiento de la energía solar va más allá de la generación de electricidad. Existen aplicaciones diversas como calentadores de agua, estufas solares y plantas de concentración solar que permiten satisfacer sus requerimientos a partir del calor del sol, optimizando los recursos energéticos según las necesidades específicas de cada sector. Un ejemplo es la industria alimentaria, que ha adoptado sistemas de concentración solar para generar calor a temperatura media (100-400 °C), aplicable en procesos como la pasteurización. Esto muestra el potencial de estas ecotecnologías, particularmente en países con altos niveles de radiación solar, como México.

No obstante, a pesar de este potencial, es necesario repensar los modelos industriales convencionales para maximizar el uso de la energía solar y otras fuentes alternativas. En la industria del plástico, actualmente se utiliza electricidad para alimentar resistencias térmicas, un método que consume cantidades elevadas de energía de fuentes no renovables. En este sentido, la energía termo solar, aunque presenta limitaciones, se propone como un recurso para su aplicación en diversas industrias. Por sus características se considera una opción para cubrir una parte de las necesidades energéticas en el procesamiento de plásticos.

La investigación se propone como un desarrollo teórico y práctico, que hace una crítica a la forma predominante de producción, la cual ignora los ciclos naturales y genera efectos nocivos de manera sistemática.

Palabras clave: Energía termo solar, reciclaje de plásticos, sustentabilidad



Tutor: Dr. José Luis Gutiérrez Senties

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1. Los problemas de residuos plásticos y el uso de recursos energéticos, perspectivas desde el Antropoceno	16
1.1 Los residuos plásticos, nuestra huella en el planeta.....	16
1.2 El uso de recursos energéticos, reciclaje y energía.....	19
1.3 El uso de energía en la industria del reciclaje de plástico.....	20
Capítulo 2. Contaminación ambiental: Críticas y reflexiones en la búsqueda de la sustentabilidad.....	24
2.1 Contaminación ambiental/Deterioro Ambiental	26
2.2 La Economía circular	28
2.3 El reciclaje y sus críticas	31
2.4 Relación entre energía y reciclaje.....	33
2.5 Ecodiseño	34
Capítulo 3. Energías Renovables y Tecnologías Solares en México	38
3.1 Beneficios para la generación de energía termo solar en México.....	39
3.2 Condiciones del sol en geografía de México.....	42
3.3 Ecotecnologías de concentración Solar	45
Capítulo 4. Pautas Metodológicas para la Integración de Energía Termo solar en la Recuperación de Plásticos (ITRP)	49
4.1 Aproximación metodológica: Laboratorios en reología del Instituto de Investigación en Materiales de la UNAM (IIM) y Taller de Reciclaje.....	49
4.2 Procedimiento para implementación de pautas metodológicas de integración termo solar en recuperación de plástico (ITRP).....	51
4.3 Parámetros ITRP: Hacia una alternativa frente a los métodos convencionales de reciclaje	59
Capítulo 5. Conclusiones.....	63
5.1 Alcances y líneas de acción.....	64
5.2 Propuesta de Análisis Comparativo entre el Uso de Energía Termo solar y Energía Convencional en la Implementación del ITRP.....	67

5.3 Hacia la transición socio-ecológica: una reflexión final	68
Bibliografía.....	70
Anexos	77
Entrevista semiestructurada Dr. Antonio Sánchez Solís del Instituto de Investigación en Materiales de la UNAM (IIM).....	77

Índice de gráficos

Gráfico 1.	Mapa de pensamiento complejo.....	22
Gráfico 2.	Críticas y reflexiones en la búsqueda de la sustentabilidad	37
Gráfico 3.	Concentradores solares parabólicos.....	46
Gráfico 4.	Concentradores Fresnel	46
Gráfico 5.	Concentrador tipo torre de espejo central.....	47
Gráfico 6.	Concentrado tipo disco parabólico	47
Gráfico 7.	Triángulo de procesamiento de plásticos.....	51
Gráfico 8.	Triángulo de procesamiento de plástico: calor	53
Gráfico 9.	Triángulo de procesamiento de plástico: presión	55
Gráfico 10.	Propuesta de prensa de inyección con adecuación para energía termo solar.....	55
Gráfico 11.	Simulación concentrador tipo parabólico lineal	57
Gráfico 12.	Triángulo de procesamiento de plástico: moldeo	57
Gráfico 13.	Proyección de rayos solares en concentrador parabólico	64
Gráfico 14.	Prensa de Inyección con concentrador parabólico, modo concentración solar.....	65
Gráfico 15.	Prensa de Inyección con concentrador parabólico, modo de inyección de plástico	65

Índice de imágenes:

Imagen 1.	Mapa de radiación Solar.....	42
Imagen 2.	Mapa de radiación solar promedio México en diciembre.....	43
Imagen 3.	Mapa de radiación solar promedio de México en junio	44
Imagen 4.	Operación de prensa de inyección manual	50
Imagen 5.	Revisión de resistencias eléctricas de inyectora de plástico	51
Imagen 6.	El PP o polipropileno y el HDEP en inglés o PEAD polietileno de alta densidad.....	52
Imagen 7.	Derecha-material PEAD triturado /Izquierda: Material PEAD fundido	54
Imagen 8.	Derecha-material PP triturado / Izquierda: Material PP fundido	54
Imagen 9.	Prototipo ubicado al sol en su posición horizontal	56
Imagen 10.	Maquinado de molde para las probetas de las pruebas.....	58
Imagen 11.	Proceso de fundición, presión y moldeado de pieza.....	58
Imagen 12.	Medición de prototipo sin concentración solar.....	60
Imagen 13.	Adecuación para extrusión de plástico en el laboratorio del IIM	78
Imagen 14.	Costales con plástico reciclado en el laboratorio del IIM.....	79
Imagen 15.	Extrusora de pellets e inyectora automática del IIM	80
Imagen 16.	Extrusora de doble husillo, una de las máquinas de mayor consumo energético	81

Índice de tablas

Tabla 1.	Temperaturas de fusión.....	53
Tabla 2.	Aspectos medibles del proceso de reciclaje	61
Tabla 3.	Factores externos que pueden influir en el proceso de reciclaje de plásticos.....	62

Introducción

No es una idea nueva que los residuos plásticos representan un desafío ambiental que ha perdurado a lo largo del tiempo desde su invención hasta su incorporación en prácticamente todas las actividades humanas. Puede resultar impactante la evidencia que nos ayuda a entender el problema en la que se han ubicado y dimensionado islas formadas por plásticos en los océanos (Cantera y Franco-Herrera, 2022) además de los numerosos vertederos gigantes en tierra firme. Esto deja claro que simplemente su reciclaje no proporciona una solución para contrarrestar los diversos efectos que estos materiales tienen en nuestro entorno (Greenpeace, 2019).

Durante el desarrollo de esta investigación se encontraron fuentes que plantean, que a menos que se modifiquen las prácticas de producción, distribución y consumo de los plásticos, la tarea de mitigar el daño ambiental que generan será en exceso complicada.

Resulta interesante que pesar del reconocimiento generalizado de los problemas relacionados con la producción, el consumo y el manejo inadecuado de plásticos, los datos revelan una tendencia llamativa, organismos como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)¹ informan que la producción de plástico se ha cuadruplicado en tres décadas anteriores para el 2019 y desde los años noventa el aumento de producción y desecho de plásticos no ha frenado su incremento, lo que es principalmente impulsado por el crecimiento de los mercados (OCDE, 2022) de esta forma las perspectivas futuras no son alentadoras, ya que, solamente entre el año 2000 y 2019, la producción de plásticos se duplicó, alcanzando la cifra de 460 millones de toneladas (Mt) y en consecuencia los residuos plásticos llegaron a las 353 (Mt) en el mismo periodo de acuerdo con la misma fuente.

Adicionalmente, en la actualidad se presenta un momento complejo en cuanto a los recursos materiales y energéticos disponibles debido a su origen no renovable, lo que ha llevado a una creciente demanda de aprovechar de manera más eficiente las condiciones actuales del planeta para satisfacer las necesidades de las poblaciones.

¹ La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) es una organización internacional que atiende temas en cuanto a problemáticas sociales, económicas y medioambientales.

Sin embargo, se reconoce que se requieren esfuerzos e innovaciones para mejorar el desempeño en términos de demanda de recursos y prácticas humanas hacia la sustentabilidad, ya que como lo menciona el reporte de Naciones Unidas en México (2023) solamente se ha alcanzado un avance menor al 67% para el cumplimiento de la agenda 2030², teniendo a los problemas de sustentabilidad en estado naranja (cómo retos significativos) siendo los siguientes: el objetivo 7: Energía asequible y no contaminante, objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles, objetivo 12: Producción y consumo responsables y el objetivo 13: Acción por el clima.

A partir de lo anterior surge el tema central de esta investigación que es evaluar la viabilidad de reducir el consumo de energía eléctrica en una parte del proceso de reciclaje de plástico mediante el aprovechamiento de la energía termo solar en un sistema básico de procesamiento de plástico triturado recuperado por moldeo de inyección manual a baja escala.

La necesidad de enfrentar el impacto ambiental derivado del modelo actual de producción, distribución y consumo de plásticos puede enmarcarse en la narrativa del Antropoceno, que subraya que el problema es de origen humano. Ante esta realidad, surge la siguiente pregunta de investigación central:

¿Cómo se puede implementar una propuesta metodológica teórico-práctica para integrar energía termo solar en el proceso de recuperación de plásticos (PP y PEAD), con el fin de reducir la dependencia de fuentes energéticas no renovables?

Por lo tanto, para constituir el proyecto se implementan las siguientes preguntas específicas:

- ¿Cómo influye el modelo de producción, distribución y consumo de plásticos y energía en la crisis ambiental del Antropoceno, y qué narrativas emergen desde esta perspectiva?
- ¿Cuáles son los principios teóricos en la recuperación de plásticos que permiten una crítica al impacto ambiental de su gestión actual?
- ¿Cómo se interrelacionan los factores técnicos y climáticos en el uso de la energía termo solar en México a partir de un marco contextual?

² La Agenda 2030 es un plan de acción adoptado por los Estados Miembros de las Naciones Unidas en 2015. Está compuesto por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas, con el propósito de erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible para el año 2030 (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, s/f).

- ¿Cómo se puede desarrollar un método que integre la energía termo solar en el proceso de transformación de plásticos, a través de variables clave, como punto de partida para futuras investigaciones?

Partiendo de las preguntas de investigación, se plantean los siguientes objetivos.

Objetivo general: Conceptualizar una propuesta metodológica desde una aproximación teórica práctica para la implementación de un suministro energético secundario basado en energía termo solar en el proceso de recuperación de plásticos (PP y PEAD).

Objetivos específicos:

- Examinar el modelo de producción, distribución y consumo de plásticos y energía desde la perspectiva teórica del Antropoceno como una narrativa alternativa que promueve una transición hacia procesos sustentables.
- Evaluar los principios teóricos involucrados en la recuperación de plásticos y el uso de recursos energéticos desde la crítica del impacto ambiental de su gestión actual.
- Analizar los factores técnicos y climáticos que influyen en el uso de la energía termo solar en México, a partir de un marco contextual.
- Desarrollar una metodología que integre la energía termo solar en el proceso de transformación de plásticos, a través de variables clave, como punto de partida para futuras investigaciones.

Esta investigación contempla que desde el diseño y mediante la experimentación es posible no solamente proporcionar una solución técnica para reducir el uso de electricidad en la recuperación de materiales plásticos, sino que, además, puede plantear una reflexión sobre el hecho de que, a medida que nuestro impacto en las condiciones naturales produce efectos negativos, debemos considerar cada vez más alternativas y aprovechar recursos que hasta ahora han quedado en segundo plano como lo son algunas fuentes de energía que no logran aportar las cantidades que demanda la industria. De esta forma la investigación presente busca el desarrollo de reflexiones sobre cómo se puede navegar por los desafíos del Antropoceno, al mismo tiempo que se impulsa la innovación y la sustentabilidad en relación con el planeta.

Debido a que el problema de los residuos plásticos es global y ya han pasado décadas desde que es identificado como un problema ambiental, organismos internacionales plantean que de no

modificar con las prácticas en la producción, uso y desecho de los plásticos, se lucharía una guerra muy difícil de superar (Greenpeace, 2019), puesto que, creer que solo el reciclaje del plástico podrá contra el problema no es suficiente para aminorar el crecimiento de los impactos generados.

En el Atlas del Plástico (Fundación Heinrich Böll, 2020) se menciona que México es el 11° productor de plásticos a nivel mundial, este informe indica que solamente en el año 2017, se produjeron en el país 6.72 millones de toneladas de productos plásticos, mientras que se consumieron 8.4 millones de toneladas, lo que revela que el mercado interno depende de las importaciones de productos de plástico para satisfacer su demanda, es decir que, al sobrepasar la capacidad de producción nacional se están importando plásticos, lo que a su vez genera dificultades tanto técnicas como sociales para conjugar medidas apropiadas para el tratamiento de estos materiales una vez finalizada su vida útil.

Debido a la falta de un plan integral que contemple el problema de los plásticos cómo una prioridad sobre el crecimiento económico, es complejo alcanzar un nivel razonable de reciclaje de plásticos, ya que por un lado no se detiene la producción y por otro no se logran recuperar materiales de forma consistente y esto se ve reflejado en la cifras de reciclaje dónde a pesar de haberse incrementado el volumen de la producción y consumo, para el 2016 el porcentaje de reciclaje considerando la separación de todos los residuos valorizables apenas llega al 15% en el caso de México (Lugo Chávez et al., 2019).

Es así como se requiere el emprendimiento de medidas mayores para crear un flujo de consumo en el que el plástico reciclado se desempeñe cómo sustituto del plástico virgen, dicho con otras palabras, reutilizar el material que se encuentra en estado de desecho para aprovecharlo en aplicaciones que por sus propiedades cómo material puedan darle una utilidad que permita evitar la manufactura de nuevo material plástico.

De esta forma se contempla que, a pesar de no ser la única solución para el problema de los plásticos, el reciclaje se considera beneficioso al tener en cuenta a los residuos que permanecen en el entorno natural cómo materia prima útil, sin embargo, si el material se recicla para generar productos que compartan la misma condición de ser desechables, volverán a depositarse eventualmente al entorno. Debido a esto se deben tomar medidas con el objetivo de recuperarlos para darles un uso que permita la reducción del impacto que generan al estar contaminando el ambiente, no obstante, la complejidad para recuperar el material no siempre se visualiza, ya que

se presenta una paradoja, por un lado, el reciclaje puede resultar favorable en términos energéticos, económicos y ecológicos, pero por otro, debido a las prácticas de uso y disposición de los residuos hacen que estos se consideren basura y de esta, una gran parte de los materiales plásticos se modifican, mezclan o contaminan, lo que resulta en dificultades técnicas para el reciclaje y por lo tanto encarecen el proceso en todos los aspectos (ONU Medio Ambiente, 2019).

Lo anterior describe uno de los factores por los cuales las empresas siguen empleando el uso de plástico virgen, de acuerdo al informe “El estado de los plásticos: Perspectiva del día mundial del medio ambiente 2018”(ONU Medio Ambiente, 2018), ya que la complejidad técnica que requiere el tratamiento de los residuos plásticos depende del estado físico en el que se encuentren y a pesar de que se emplea una cantidad menor de energía para realizar el proceso de reconformación del plástico³, el reciclaje requiere una serie de pasos añadidos que contemplan la clasificación, descontaminación, triturado y preparación, lo que resulta en que las ventajas energéticas, de emisiones y económicas del proceso completo de reciclaje se difuminen o se trasladen a otros ámbitos.

A raíz de lo anterior se puede percibir otro de los grandes retos del desarrollo sustentable, que es, el consumo energético empleado en las diferentes actividades humanas, ya que, debido a las condiciones actuales en cuanto a los recursos energéticos se contemplan una serie de conflictos económicos, políticos y sociales derivados de las necesidades de energía para satisfacer la demanda de las poblaciones, lo que es un problema vigente (International Energy Agency, 2022), por lo que actualmente se han definido agendas que buscan fomentar el impulso a la transición energética que es un esfuerzo por cambiar hacia fuentes de energía más sustentables y limpias, pero también es un proceso que implica desafíos políticos, sociales y éticos que deben manejarse con cuidado para evitar aumentar las desigualdades (Rosas-Sánchez, 2021). De esta forma cobran importancia las consideradas tecnologías de generación de energía limpia y renovable que son aquellas fuentes que se producen de manera continua y son inagotables a escala humana. A diferencia de los combustibles fósiles, cuyas reservas son limitadas y agotables en un plazo predecible, las energías limpias se renuevan de forma constante. Entre las principales formas de energía limpia se incluyen

³ Una propiedad de los termo plásticos es que se puede volver a moldear al aplicar calor controlado y presión, el material reciclado emplea una menor cantidad de la energía que el material virgen para su procesamiento (Brandt y Pilz,2011).

la biomasa, la energía hidráulica, eólica, solar, geotérmica y marina (Yohana De la Peña et al., 2018).

El uso de estas energías no se valora solamente por los beneficios monetarios que implican, sino por los impactos ambientales derivados de la industria energética, ya que esta industria se ubica dentro de las más contaminantes teniendo que, por ejemplo en el caso de México es el país de América Latina con mayores emisiones contaminantes por electricidad, pues supera en 2.2 veces a las de Brasil, en tres a las de Argentina y en casi seis a las generadas por Chile, según datos de Cepalstat⁴, plataforma de datos y estadísticas de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL (Forbes, 2023). Sin embargo, México aún está lejos de alcanzar las cantidades de los principales países emisores. China, por ejemplo, es responsable de aproximadamente el 27% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), siendo el principal emisor del mundo y el mayor consumidor de carbón del planeta. De hecho, China emite cerca de 22 veces más que México (Plataforma Mexicana de Carbono, 2019) lo que refleja la relación la actividad industrial de cada país con las emisiones que emite.

Por lo tanto, es posible vislumbrar que en las condiciones descritas anteriormente el reciclaje de plásticos, al requerir el uso de energía, podría desprenderse de los beneficios que aporta y volverse una solución de baja relevancia en cuanto al impacto ambiental que pretende contrarrestar, pues dado el volumen de plásticos que se tienen que reciclar, en un escenario óptimo dónde se pudiera incrementar significativamente el porcentaje de recuperación del material que ya se encuentra en los ecosistemas, la cantidad de energía necesaria para realizar dicha tarea sería elevada, lo que no se anticipa a los paradigmas energéticos que se presentan globalmente.

Bajo este contexto se reconoce que el abastecimiento energético actual parece distante de los planteamientos medioambientales, ya que Según datos del “*World Energy Balances*” citados por la Secretaría de Energía (2021), la producción global de energía primaria en 2019 registró un incremento del 2.82% en comparación con el año anterior, alcanzando un total de 14,744.865 millones de toneladas equivalentes de petróleo (TEP).⁵

⁴ Cepalstat es la base de datos que conjunta toda la información estadística de los países de América Latina y el Caribe recolectada, sistematizada y publicada por la CEPAL.

⁵ Una TEP es una unidad de medición energética y equivale a la energía liberada en la combustión de una tonelada de crudo de petróleo. (Sociedad Nuclear Española (SNE), s/f.)

Si se piensa que el consumo energético está relacionado con el nivel de población y, en consecuencia, la contaminación, no es una sorpresa que los países con mayor participación en la producción de energía hayan sido en orden de magnitud: China, Estados Unidos, Rusia, Arabia Saudita e India respectivamente, mientras que México se colocó en el decimoquinto puesto de la energía que se produce en el mundo (Secretaría de Energía, 2023).

Aquí se presenta una sincronía entre los problemas de contaminación por plásticos y la demanda de energía, ya que ambos parecen aproximarse a los límites, por lo que se presenta una condición similar en el sentido que, de no cambiar el modelo de consumo actual, en este caso en el uso de fuentes de energía proveniente de fuentes no renovables, las condiciones de generación y suministro se verán afectadas en el futuro, al grado de perder la capacidad de proveer energía para los diversos sectores de las actividades humanas (International Energy Agency, 2022).

En la actualidad se experimenta a nivel global una crisis energética acentuada por una serie de factores, entre estos, la reactivación de las producciones después de la pandemia de Covid-19; y el conflicto entre Rusia y Ucrania que remarcó un componente geopolítico, que recae en la autosuficiencia energética. Lo anterior solo sirve como catalizador de una problemática que se ha intensificado, ya que en el plano ambiental el tema energético es el mayor generador de efectos adversos, esto se debe que la mayor parte de la energía empleada para abastecer a las poblaciones proviene de hidrocarburos que son el petróleo, gas natural, condensados, líquidos del gas natural e hidratos de metano (Secretaría de Energía, 2015), los cuales desprenden una gran cantidad de emisiones contaminantes al ser utilizados.

En ese sentido se puede entender la razón por la cual se demandan nuevas soluciones que atiendan los problemas mencionados, si bien se ha enfatizado en las afectaciones de las poblaciones, también se deben reconocer los impactos ambientales que conllevan no cambiar las prácticas de producción, uso y consumo.

No es nuevo hablar sobre el calentamiento global, un fenómeno que comenzó a popularizarse en las décadas de 1980 y 1990, impulsado por importantes investigaciones científicas y conferencias internacionales, como la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992. Durante este periodo, el tema ganó atención global gracias a informes del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y a la creciente cobertura mediática sobre los efectos del cambio climático en los ecosistemas y en la vida de los seres humanos. A pesar de que ya se han manifestado numerosos

efectos, el problema no solo persiste, sino que, por el contrario, continúa su crecimiento con el tiempo.

El llamado cambio climático ha demostrado, además del incremento de temperaturas (IPCC, 2019), que se están presentando una serie de consecuencias negativas en el planeta, las cuales, al considerarse sumamente atípicas son vinculadas con las actividades humanas, es por ello que este problema se ha reconocido casi de forma unánime a nivel global, propiciando el desarrollo de análisis y alternativas que se enfoquen en aminorar las causas antrópicas presentes en el problema.

En este punto, es posible obtener una mejor comprensión de las implicaciones ambientales derivadas de diversas actividades humanas. Para ello, se pueden considerar antecedentes que anticiparon los desafíos actuales. Un ejemplo es el Informe Brundtland, publicado en 1987, documento elaborado por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, el cual proporcionó una de las definiciones más reconocidas de desarrollo sostenible. En este informe se establece que dicho modelo de desarrollo debe garantizar la satisfacción de las necesidades presentes sin comprometer los recursos de las futuras generaciones, evitando el agotamiento y desperdicio de los recursos naturales, así como impactos negativos tanto en el medio ambiente como en la humanidad (Rodríguez Ponce et al., 2022).

En contraste al desarrollo sostenible, el desarrollo sustentable no se considera cómo una simple herramienta a implementar, sino que es un proceso que busca cambiar la dirección del modelo predominante el cual se enfoca solo en el desarrollo económico centrado en el crecimiento del producto interno bruto (PIB) y en la generación de riqueza sin considerar las consecuencias ambientales de este crecimiento. Esto es lo que muestra incompatibilidad entre las formas de producción y consumo actuales con la utilización racional de los recursos naturales, lo que se traduce a la intensificación de los problemas ambientales para el futuro, de modo que se reconoce un avance deficiente en este sentido, lo que evita que se pueda tomar acción en torno a las responsabilidades que se desprenden de la actividad humana.

En términos de cambio climático se considera que la industria energética es la principal responsable de emisiones, debido a que las fuentes principales para la generación de energía siguen siendo los combustibles fósiles, es decir petróleo, lo que causa más del 75 % del total de emisiones de gases globales de efecto invernadero y cerca del 90 % de todas las emisiones en dióxido de

carbono (United Nations, 2021). Lo que desemboca en presiones para tomar medidas que fomenten la implementación de tecnologías limpias en los procesos de producción energética, es decir que, el abastecimiento de energía opte por vías amigables con el ambiente, con el fin de reducir los niveles de contaminación ambiental sin despojar a las poblaciones del abastecimiento de sus requerimientos de energía, de esta forma entre las tecnologías limpias se consideran la energía solar fotovoltaica, la eólica, la hidroeléctrica, la biomasa y la energía geotérmica, las cuales contribuyen a una matriz energética más sustentable (Wiatros-Motyka, 2023).

Por lo tanto, se puede concebir que la dificultad para lograr un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos limpios es tecnológica y por la gran demanda que tienen, aunque se reconoce la posible viabilidad para alcanzar mayores niveles de aprovechamiento, un ejemplo de esto es como se menciona en *Energías renovables: energías para un futuro más seguro*, en todos los países hay fuentes de energías renovables, cuyo potencial todavía no se ha aprovechado completamente. La Agencia Internacional de Energías Renovables o IRENA, por sus siglas en inglés calcula que el 90 % de la electricidad mundial puede, y debe, tener su origen en las energías renovables para el año 2050 (United Nations, 2021).

Paralelamente a los conflictos ambientales derivados de los residuos plásticos podemos ver que un informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) califica la actual contaminación del planeta causada por el plástico como una “crisis mundial” y propone que se actúe rápidamente y de forma coordinada para atajar este problema, porque “es urgente reducir la producción mundial de plástico y de residuos plásticos en el medio ambiente” (Noticias ONU, 2021).

Para hacerse una idea del problema basta con una cifra que podría representar la magnitud del problema: aproximadamente 7000 millones de los 9200 millones de toneladas de producción acumulada de plástico entre 1950 y 2017 se convirtieron en residuos plásticos (ONU Medio Ambiente, 2022). Para concebir una imagen representativa de esta información se puede imaginar a cada tonelada de plástico como un bloque de construcción para reproducir el peso de la Torre Eiffel, considerando que esta tiene aproximadamente 18,038 toneladas las 7000 millones de toneladas de residuos plásticos podrían construir alrededor de 388,000 torres de plástico del tamaño de la Torre Eiffel, resulta complicado visualizar tal cantidad, sin embargo, a su vez, tres cuartas partes de los plásticos que fueron desechados y depositados en vertederos han formado

parte de flujos de residuos incontrolados y mal gestionados que fueron vertidos o abandonados en el medio ambiente llegando incluso al mar con poca disposición para su tratamiento (Lugo Chávez et al., 2019).

Derivado de lo anterior llama la atención que a pesar de que ya hay evidencia suficiente de que se están modificando a los ecosistemas del planeta, terrestres y marinos, se puede observar que, no solo no se ha reducido ninguno de los problemas planteados, puesto que se mantienen la misma tendencia de crecimiento y a medida que transcurre el tiempo se ven reflejados un incremento exponencial tanto del consumo de energía para las actividades humanas cómo el desecho de residuos plásticos en el ambiente, lo que reclama por un conglomerado de acciones que deben transitar desde las legislaciones, el desarrollo tecnológico e idealmente en las prácticas de producción y consumo actualmente, esto ya no solamente con la idea de resolver el problema, sino de contraponerse a la aceleración actual de contaminación que aleja más y más poder solventar las medidas para evitar experimentar problemas graves como la pérdida de biodiversidad, el cambio climático o la contaminación del agua (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2024), lo que se traduce a afectaciones para las poblaciones humanas.

Justificación

El plástico dispone de una gran variedad de cualidades que lo han posicionado como el material predilecto por el ser humano, por eso es prácticamente imposible no encontrar la presencia de plásticos en cualquier lugar donde se precise actividad humana llegando a manifestarse incluso en zonas remotas.

Gracias a su resistencia es un material ideal para diversas aplicaciones, sin embargo, esas mismas propiedades son las que lo han convertido en un problema ambiental, su degradación es lenta, resiste a las condiciones exteriores y su descomposición genera micro plásticos que se diseminan en la gran mayoría de ecosistemas. Es por ello por lo que surge la necesidad de darle un mejor tratamiento a la inmensa cantidad de plásticos que se generan, lo que hace que la idea de reciclaje y su implementación cada vez tenga una mayor demanda.

Existen diversos tipos de plásticos clasificados según su composición química y propiedades. Entre los más comunes se encuentran el polietileno (PE), que se divide en baja densidad (PEBD), utilizado en bolsas de plástico y envolturas, y alta densidad (PEAD), empleado, por ejemplo, en botellas de leche y productos de limpieza. También está el polipropileno (PP), utilizado en envases, tapones y textiles. El poliestireno (PS) incluye el expansible (EPS), que se usa en envases desechables y aislamiento, así como el poliestireno cristal, presente en utensilios de cocina y juguetes. El policarbonato (PC) se utiliza en lentes, botellas reutilizables y componentes electrónicos, mientras que el policloruro de vinilo (PVC) se emplea en tuberías, revestimientos de cables y juguetes. Por último, el tereftalato de polietileno (PET) es común en botellas de agua y envases de alimentos (Janssens, 2022). La mayoría comparten la capacidad para volverse a procesar mediante temperatura y presión, estos se encuentran en la categoría de los termoplásticos, debido a esto el reciclaje de plásticos permite usarlos para fabricar otros productos manteniendo la mayoría de sus propiedades, con la ventaja de que se emplean cantidades menores de la energía que se utiliza en el caso de que sea material nuevo, es por ello que se considera que los porcentajes de la reducción energética pueden brindar una ventaja en términos ecológicos tal y como se describe a continuación:

Cuando se comparan las resinas virgen y reciclada en función de la energía consumida en el proceso y el transporte, los resultados de corte para el PET reciclado son el 45 por ciento de la energía del PET virgen, y los resultados de corte para el PEAD y el PP reciclados son

el 35 por ciento de la energía virgen. Los resultados de ciclo abierto para las resinas recicladas como porcentaje de los resultados correspondientes de resina virgen son del 72 por ciento para el PET, del 67 por ciento para el PEAD y del 68 por ciento para el PP. (Traducido de: The association of plastic recyclers, 2018, p. 32).

Por lo tanto, el reciclaje no sólo actúa en torno a la remoción del material que se encuentra en el entorno, sino además puede contemplarse en la reducción de emisiones para la generación de nuevos productos. No obstante, el porcentaje de material reciclado aún no se puede considerar relevante en comparación a la cantidad que se desecha constantemente, ya que hay estudios que señalan que a nivel mundial el porcentaje de reciclaje no excede el 10% de los residuos generados mientras que en México tan solo se separa el 15% de residuos para lograr un escaso 6.1% de reciclaje y es por esta razón que se enfatiza en el desarrollo de opciones que mejoren esas cifras (Greenpeace, 2019), de esta forma es como encontramos diversas iniciativas que buscan atender el problema de los plásticos dejando claro que es un problema sistémico que no depende solo de la variable del reciclaje.

La investigación y desarrollo de nuevas tecnologías para el reciclaje de plásticos son fundamentales para abordar los desafíos actuales y futuros en la gestión de residuos plásticos, las innovaciones pueden ayudar a superar las limitaciones existentes en términos de eficiencia, viabilidad económica y capacidad de reciclaje de plásticos difíciles (European Commission, 2018).

A medida que surgen más alternativas, es fundamental considerar que la industria en general atraviesa un momento crucial en términos de sostenibilidad ambiental. Los nuevos enfoques han impulsado a diversos sectores productivos a adoptar modelos que priorizan la sustentabilidad. (Tetreault, 2004) muestra siete "nodos de discusión" que, en cierta medida, representan distintas aproximaciones al desarrollo sustentable y que pueden gestionarse de la siguiente manera:

1. Un modelo predominante, alineado con las estrategias propuestas en el Informe Brundtland y la Agenda 21.
2. La ecología política, un enfoque desarrollado por el economista francés Alain Lipietz.
3. Un modelo comunitario de desarrollo sustentable, cuyo origen se remonta a una corriente de pensamiento de los años setenta conocida como "otro desarrollo", y que ha sido impulsada en tiempos recientes por autores como Víctor Toledo, Enrique Leff, David Barkin y Eduardo Sevilla.

4. La propuesta de comercio justo, inspirada en experiencias de comunidades indígenas en Oaxaca.
5. La producción forestal industrial comunitaria, implementada en diversas comunidades forestales del centro y sur del país.
6. El activismo ambiental, particularmente en torno a conflictos locales relacionados con el control de los recursos naturales.
7. La conservación con participación comunitaria, representada principalmente por la creación de reservas de la biosfera.

Estos modelos buscan orientarse a brindar estrategias sólidas para atender los diversos problemas ambientales al contemplar factores más amplios y a pesar de que difieren entre sí, al ser unos predominantemente teóricos mientras que otros han sido producto de la experiencia práctica, se pueden complementar para abordar los retos ecológicos que están estrechamente vinculados a la actividad humana.

Este enfoque integrador se traduce concretamente en la implementación de medidas concretas, como la mejora de la eficiencia energética, la reducción del desperdicio y la transición de fuentes convencionales a energías limpias, por lo que uno de los objetivos ambientales más relevantes para la industria es proyectarse hacia la descarbonización o, en otras palabras, la búsqueda de la neutralidad de emisiones de carbono.

Hoy en día se cuenta con una diversidad de opciones tecnológicas para la generación de energías limpias que buscan cimentar una transición efectiva hacia energías renovables, esto se debe a que en la actualidad cerca de dos tercios de la electricidad del mundo siguen generándose a partir de la quema de combustibles fósiles, de acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (AIE) se propone que, para el año 2050, al menos el 80% de la electricidad provenga de fuentes de energía con bajas emisiones de carbono. Esto implica una reducción significativa en la huella de carbono del suministro energético con el propósito de alcanzar los objetivos climáticos establecidos (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2020).

Las fuentes de energía renovable pueden variar de acuerdo con la forma de captarla, existen plantas de energía eólica, hidroeléctrica, fotovoltaica, termo solar, entre otras, esto nos presenta un panorama de mayor amplitud al momento de desarrollar opciones encaminadas a la

llamada eficiencia energética cuya definición más elemental se refiere a utilizar menos energía para la misma producción o generar más con la misma entrada de energía, y minimizar el desperdicio de energía (European Environment Agency (EEA), 2023).

La búsqueda para aumentar la eficiencia energética se está extendiendo debido a que en muchos casos los recursos renovables pese a estar presentes en prácticamente todos los lugares del planeta muchas veces pasan inadvertidos para su aprovechamiento, no obstante, cada vez se mejoran los enfoques que permiten aplicar nuevas perspectivas que promueven la generación, almacenamiento, reducción de desperdicio y uso de las fuentes de energía limpia.

Un ejemplo de lo anterior puede ser el entendimiento de la energía solar, para muchos se concibe como la captación de los rayos solares para la generación de la energía eléctrica, sin embargo las posibilidades que brindan el aprovechamiento del sol pueden ir más allá, un ejemplo de ello son los calentadores de agua o estufas solares que permiten prescindir del consumo de gas o incluso las plantas de generación que funcionan a partir de la concentración de temperatura proveniente de los rayos del sol para evaporar grandes cantidades de agua que a su vez impulsan turbinas que producen electricidad, es por ello que según la aplicación o necesidad energética se pueden plantear diferentes formas que permitan el aprovechamiento óptimo de los recursos.

En ese sentido es posible determinar que no todos los sistemas productivos requieren el mismo suministro energético, en el caso de la industria del plástico es constante el uso de electricidad para abastecer resistencias térmicas que son en sí una tecnología que “desperdicia energía” debido a que su funcionamiento es a partir del bloqueo de la corriente por lo que requieren grandes cantidades de electricidad para su operación con lo que, en muchos casos, no se considera eficiente el uso de este tipo de elementos. De esta forma encontramos que un estudio auspiciado en 2008 por la Agencia Internacional de la Energía (AIE) determinaba que en algunos sectores industriales, como la alimentación, vino, bebidas, equipo de transporte, maquinaria, textil o industria de papel, requieren alrededor de un 27% de calor a temperatura media (100-400 °C) (Valladares, 2017) lo que ha llevado a que se contemplen alternativas que han optado por la implementación de sistemas de concentración solar, sobre todo para el calentamiento de agua en los procesos de pasteurización o esterilización como es el caso de la industria alimentaria, teniendo la ventaja de que la implementación de tecnologías termo solares pueden hacer un uso más directo al incorporar la

energía solar y compartir las condiciones de operabilidad que tienen los paneles fotovoltaicos, ya que, por ejemplo, en México se cuenta con el potencial de radiación solar en su territorio que permite el uso de ambas tecnologías. Sin embargo, aún no ha habido estímulo suficiente para que el sector industrial invierta en proyectos para satisfacer las necesidades de energía.

Este proyecto se acopla a la creciente necesidad de alternativas energéticas más eficientes y sustentables, especialmente en el panorama de la gestión de residuos plásticos. La implementación de tecnologías termo solares puede aprovechar el alto potencial de radiación solar en el caso de México, lo que permite analizar alternativas encaminadas a reducir el impacto ambiental en tecnologías de reciclaje. La aproximación teórico-práctica permite contemplar la energía termo solar en el reciclaje de plásticos, que busca el objetivo de reducir el uso de fuentes no renovables en los procesos de recuperación de materiales plásticos y avanzar hacia modelos mejor orientados a la sustentabilidad.

El desarrollo de pautas metodológicas permite identificar las variables técnicas (como el tipo de plástico), climáticas (disponibilidad solar) y energéticas (formas de aprovechamiento de energía termo solar) necesarias para integrar con la energía termo solar en el reciclaje de plásticos. Con lo que se busca sentar bases para investigaciones futuras que expandan y mejoren esta integración.

Capítulo 1. Los problemas de residuos plásticos y el uso de recursos energéticos, perspectivas desde el Antropoceno

El término Antropoceno se ha empleado para considerar a la era geológica actual, en la que la actividad humana se ha convertido en una fuerza dominante y de gran magnitud capaz de moldear la Tierra y sus sistemas naturales. Para Santamarina et al (2018), este término y su significado permiten reflexionar sobre la crisis ambiental, sus causas, la asignación de responsabilidades y las posibles acciones a implementar. Todo ello se aborda desde diversas perspectivas y enfoques, con distintas suposiciones y finalidades. La influencia de la humanidad ha generado múltiples desafíos a nivel global, entre los que destacan la problemática de los residuos plásticos y los impactos ambientales asociados directamente con la industria energética.

Este capítulo de la investigación explora la relación de dos efectos que están directamente vinculados a efectos antropogénicos como los residuos plásticos, los cuales sobrecargan el ambiente y el recurso energético. En ese orden, el capítulo responde al objetivo: Examinar el modelo de producción, distribución y consumo de plásticos y energía desde la perspectiva teórica del Antropoceno como una narrativa alternativa que promueve una transición hacia procesos sustentables.

1.1 Los residuos plásticos, nuestra huella en el planeta

El uso generalizado de plásticos en el mundo moderno ha dado lugar a un problema de contaminación ambiental sin precedentes, ya que estos materiales se dispersaron en el ambiente debido a la actividad humana. A diferencia de los materiales extraídos de la naturaleza, los plásticos son altamente duraderos y resistentes a la degradación, lo que significa que pueden persistir en el medio ambiente por espacios prolongados de tiempo. Esto ha llevado a la acumulación masiva de residuos plásticos en todo el mundo, tanto en tierra como en cuerpos de agua.

La acumulación de plásticos es un claro indicador del impacto de los comportamientos de las poblaciones, ya que el uso de estos materiales se contrapone con sus características y propiedades, pues la mayoría de las personas los conciben como transitorios, desechables o de un solo uso. Esto lleva a que el diseño de productos u objetos fabricados con plásticos no prevea, en muchos casos, su disposición final, lo que incrementa la cantidad de residuos que no se degradan en el ambiente,

lo que deja una huella distintiva del Antropoceno. Con el tiempo, estos desechos plásticos se degradan en fragmentos y partículas diminutas a través de procesos físicos, químicos y biológicos, como la abrasión mecánica, la radiación ultravioleta y la biodegradación, lo que resulta en una excesiva presencia de microplásticos que representan una seria amenaza para la salud humana, la biodiversidad y los ecosistemas terrestres (Álvarez Lopezello y Chávez García, 2022).

Si bien, los materiales plásticos pueden descomponerse en partes más pequeñas y aparentar su disminución en los ecosistemas, hay información disponible que indica que las áreas en las que se encuentran agrupados estos materiales, son vertederos urbanos o el mar. Entre los residuos que se encuentran se destacan principalmente botellas y bolsas plásticas, así como la ropa y el calzado. Además, el desgaste de neumáticos, los revestimientos de plástico como césped artificial, alfombras y adornos para el hogar, junto con productos de aseo y cuidado personal como maquillajes, kits de belleza, pastas dentales y cepillos para el cabello, también constituyen fuentes relevantes ya que contienen microplásticos. A su vez, los acolchados e invernaderos utilizados en la producción agrícola a grandes escalas también son elementos que contribuyen a la presencia de microplásticos en el suelo (Zhang et al., 2020. Citado en Álvarez Lopezello y Chávez García, 2022) lo que nos lleva a atestiguar una serie de impactos negativos producidos por los desechos plásticos en el medio ambiente y en la vida silvestre.

Los océanos, en particular, se han convertido en sumideros de plásticos, lo que resulta en la contaminación de los ecosistemas marinos y la ingestión de estos materiales por parte de animales marinos (Noticias ONU, 2021). Además, la producción de plástico a partir de petróleo crudo contribuye al cambio climático al liberar gases de efecto invernadero durante su proceso de fabricación.

Crutzen y Stoermer (2000) propusieron la idea del Antropoceno hace veinte años, una nueva etapa geológica que marcaba el fin del Holoceno. Aunque inicialmente tuvo poco impacto en la Geología, con el tiempo el concepto ha ganado terreno en diversas disciplinas, especialmente en las Ciencias Sociales y Humanidades, por lo que se ha vuelto interdisciplinar y polisémico. Aunque su uso ha sido a veces impreciso y criticado, su difusión ha resaltado la importancia de reconocer que el Antropoceno refleja el impacto irreversible de la actividad humana en la Tierra y la atmósfera, hasta convertirse en una fuerza geológica significativa (Ruiz Gil, 2022). Las disciplinas de las Ciencias Sociales han rescatado el concepto del Antropoceno porque les permite abordar de

manera crítica los sistemas humanos y sus efectos sobre el planeta. Al examinar el impacto ambiental desde una perspectiva sociocultural, estas disciplinas revelan cómo las dinámicas de consumo, producción y desigualdad están ligadas a la crisis ecológica. Por lo tanto, el diseño puede sumarse al debate, no solo como un reflejo de estos sistemas, sino como un actor clave en la búsqueda de soluciones.

El diseño tiene el potencial de concentrar su enfoque en problemas intrínsecos, como el uso insostenible de recursos y la creación de productos desechables, estas transformaciones superan en muchos sentidos a los procesos naturales. A pesar de que hay autores que piensan que no se puede aislar a la especie humana como responsable de los cambios ambientales (Ruiz Gil, 2022). Se presentan otras posturas menos condescendientes con las responsabilidades derivadas de las prácticas humanas, en particular aquellas vinculadas al progreso industrial y al aumento en los niveles de producción y consumo impulsados por la economía basada en combustibles fósiles y sobreproducción industrial, lo que ejerce impacto en el ecosistema y se manifiesta al interferir en los ciclos biogeoquímicos que, en última instancia, orienta la evolución de la Tierra en una dirección diferente a la que podría ocurrir sin la intervención humana (Santamarina et al., 2018).

Se puede considerar que la relación entre los problemas de residuos plásticos y el cambio climático en el contexto actual es compleja y multifacética. Por ejemplo, la producción y la gestión inadecuada de los plásticos produce, aparte de la contaminación del espacio natural, la liberación de gases de efecto invernadero cuando se exponen a la luz solar. Esto contribuye al cambio climático con el aumento de emisiones de CO₂ (United Nations Environment Programme, 2018).

La producción de plásticos está vinculada a la extracción de petróleo, que es una fuente importante de emisiones. Desde la extracción, el transporte y la refinación del petróleo crudo, se puede entender que son actividades intensivas en carbono que contribuyen directamente a la contaminación ambiental. Por lo tanto, los problemas de residuos plásticos y la contaminación por emisiones están interconectados. Ambos se pueden considerar manifestaciones de la influencia humana en el planeta y ejemplos claros de acciones que están dando forma al curso de la historia geológica de la Tierra, sobre todo con relación a las prácticas masificadas que se han desarrollado para suministrar las necesidades de las sociedades.

Para poner en perspectiva lo anterior basta con dimensionar el volumen de actividad en el comercio mundial, el cual supera con creces el tonelaje transportado por todos los ríos del mundo en su totalidad. Lo preocupante es que este fenómeno ha experimentado un aumento desde la década de 1950 y, tras una breve pausa en los años setenta, se ha acelerado aún más de manera pronunciada desde la década de 1980 hasta el inicio de la actual crisis global (Fernández Durán, 2011).

Las acciones de la humanidad a grandes rasgos indican una desconexión con las problemáticas ambientales. La gestión sustentable de los plásticos y la mitigación del cambio climático son desafíos urgentes que requieren esfuerzos globales concentrados para evitar consecuencias catastróficas en el futuro. En este sentido se reconoce al problema de plásticos como un posible estandarte de que el Antropoceno es tangible una vez que se aprecien los daños causados por nuestra actividad.

1.2 El uso de recursos energéticos, reciclaje y energía

La quema de combustibles fósiles, la deforestación y otras actividades humanas han liberado grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera. Estos gases atrapan el calor del sol, lo que provoca un aumento en las temperaturas globales, cambios en los patrones y eventos climáticos extremos. Se calcula que el sistema energético del planeta depende en un 81% de las fuentes no renovables como los combustibles fósiles. Cabe destacar que el enorme consumo de combustibles fósiles puede estar amenazado por el agotamiento de las existencias de petróleo en los mantos geológicos (Zamora et al., 2016).

Existe un amplio acuerdo en torno a la noción de que el inicio del Antropoceno se sitúa aproximadamente en la segunda mitad del siglo XVIII, coincidiendo con aumentos y constantes de CO₂ y metano (CH₄) en la atmósfera. Este fenómeno indudablemente se atribuye a las actividades humanas vinculadas a la expansión de la maquinaria industrial y la satisfacción de su demanda energética mediante el uso de combustibles fósiles (Zamora et al., 2016), lo que ha generado un aumento de las temperaturas globales que producen un impacto profundo en los ecosistemas, la biodiversidad y la sociedad en general. El derretimiento de los glaciares, la acidificación de los océanos y el aumento del nivel del mar son solo algunos de los efectos directos del cambio climático.

1.3 El uso de energía en la industria del reciclaje de plástico

En la industria de los plásticos se encuentran diversos procesos para la realización de productos terminados, se puede observar que hay un aumento de la demanda material y energética que crece en relación geométrica al aumento del consumo. Con lo que se acentúan los problemas que surgen de la producción incesante que mantiene los modelos anticuados que dejan de lado los aspectos ecológicos, preponderando el potencial comercial sobre cualquier otro factor.

Más de la mitad del efecto invernadero es causado por el CO₂ y tres cuartas partes de este provienen del uso de combustibles fósiles. Si se sigue en esta trayectoria, para mediados del siglo XXI la concentración de CO₂ en la atmósfera será el doble de la registrada antes de la revolución industrial, lo que resultará en un aumento de las temperaturas globales entre 1.5° y 4.5° Celsius para el año 2100. Este incremento, sin precedentes en la historia de la civilización, desencadenará graves impactos ecológicos que, aunque no los experimentemos completamente, las siguientes generaciones sí los enfrentarán en toda su magnitud. Se estima que para 2050 las necesidades energéticas se duplicarán, con la mayor parte de la energía proveniente de la quema de combustibles fósiles, lo que seguirá contribuyendo al incremento de CO₂ y agravará la crisis climática (Cubillos y Estenssoro Saavedra, 2011).

La disponibilidad de fuentes de energía suficientes y de mejor calidad sigue siendo una meta lejana. Por ello, es imperativo intensificar el uso responsable de los recursos disponibles que integren conceptos que abarquen desde el ahorro energético y la reducción de la huella ecológica mediante cambios en las prácticas de consumo y estilo de vida, hasta la adopción de nuevas modalidades de productos y servicios que aborden este desafío de manera holística.

Uno de los efectos de los cambios en los estilos de vida es el aumento constante de la demanda de electrodomésticos, viviendas, automóviles, entre otros bienes. Esta demanda no solo crece en términos cuantitativos, sino también cualitativos, reflejándose en productos más grandes y potentes: refrigeradores con mayor capacidad, televisores de pantalla ancha, computadoras más rápidas, casas más amplias y cómodas, automóviles más robustos, entre otros. Esto lleva a una premisa: dado que los equipos transforman energía en servicios, lo que los usuarios realmente valoran son esos servicios, no la energía en sí misma (Altomonte et al., 2003).

Por lo tanto, comprender "cómo" y "por qué" aumenta la demanda de servicios es crucial para analizar los cambios socio tecnológicos y la evolución de infraestructuras, equipos, rutinas y

hábitos. Esto permitirá una planificación sólida de las herramientas que promuevan la eficiencia energética. Así como identificar un abanico de posibles intervenciones, ya sea en términos de diseño, instrumentos o acciones políticas. Si adoptamos esta "perspectiva social" en torno a la demanda, obtendremos una visión conceptual precisa sobre el uso de la energía, lo que facilitará un análisis profundo de las políticas públicas.

El reciclaje de plásticos no solo está relacionado con la gestión de los recursos materiales, sino también con el consumo energético. En el sector de transformación de termoplásticos, el uso de electricidad representa un componente significativo de los costos operativos. Según estimaciones, el gasto en energía equivale aproximadamente entre el 4% y el 10% de los costos totales en una planta de transformación. La reducción en el consumo energético representa un incentivo adicional para que las empresas implementen medidas internas, lo que genera un impacto positivo inmediato en sus costos y, en consecuencia, en su productividad. Este aspecto cobra mayor relevancia conforme aumentan las tarifas energéticas a nivel global (SEMARNAT, 2020).

Para estandarizar y cuantificar los ahorros energéticos dentro del marco de la ecoeficiencia, se puede calcular la reducción de emisiones de CO₂ derivada de la disminución en el consumo eléctrico. Se ha determinado que por cada kWh de energía ahorrado, se evita la emisión de aproximadamente 0.71 kg de CO₂.

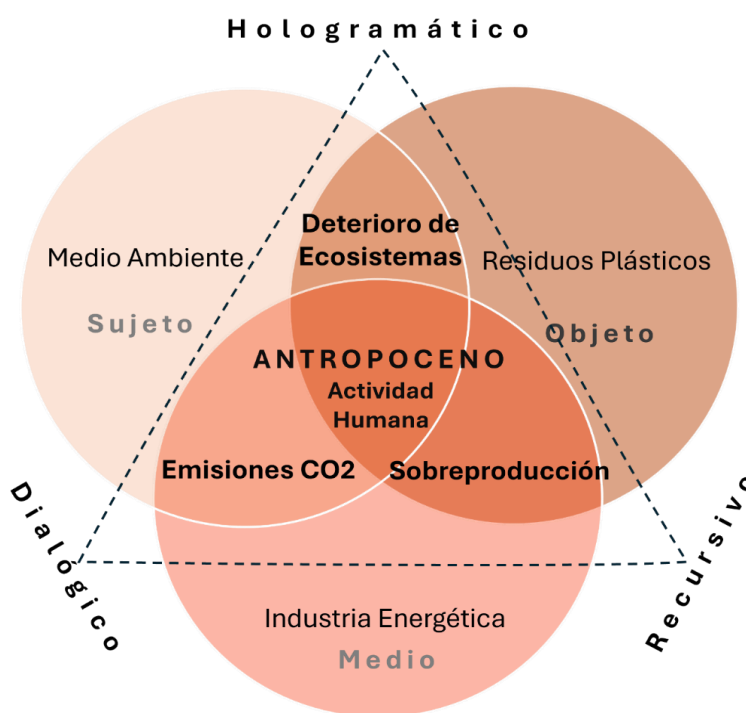
La diferencia que se presenta se obtiene solamente de la comparación en cuanto al procesamiento del material para reciclar, es decir, por el hecho de ya estar procesado y fabricado, un producto de plástico recuperado ha transitado por la mayor parte del proceso para su fabricación. Es por ello que, en el caso de que se reciclaran grandes cantidades de este material, se presentarían beneficios, sin contar las posibilidades al involucrar energías limpias en el proceso.

Lo anterior muestra que dentro de los beneficios del reciclaje no solamente se contempla el retiro de los materiales desperdiciados en los entornos naturales o humanos, sino que también se reducen gastos derivados del procesamiento, lo que implica usar menores cantidades de energía, por lo tanto, un objeto fabricado con material reciclado ha reducido su impacto ambiental en diferentes niveles.

Para articular cómo se han concebido los problemas planteados y la narrativa a la cual se corresponden (Antropoceno) el mapa de pensamiento complejo (ver Gráfico 1) se presenta como

una forma de reflexión y análisis que integra diferentes ámbitos. En este marco de la complejidad⁶, se establece como sujeto al medio ambiente, como objeto a los residuos plásticos y como medio a la industria energética. Donde las intersecciones de cada uno de estos elementos (sujeto, objeto, medio) encuentran puntos (dialógico, recursivo y hologramático) que de acuerdo con la narrativa del Antropoceno (actividad humana), se han generado más problemáticas (causa-efecto) en el ambiente que prácticas coherentes.

Gráfico 1. Mapa de pensamiento complejo



Fuente. Elaboración propia a partir de Edgar Morin (1994)

La dinámica de los sistemas remite a dos tipos ciclos o bucles que pueden ser de carácter negativo o positivo. Los primeros tienden a colapsar los sistemas. En los segundos, los efectos refuerzan sus causas y permiten un desarrollo del sistema. Por ejemplo, el medio ambiente se encuentra en

⁶ El paradigma de la complejidad fue propuesto por Edgar Morin. Busca entender la realidad a partir de un enfoque más amplio y no simplemente desde la particularidad. Este paradigma se compone de tres principios: dialógico, recursivo y hologramático. El principio dialógico se refiere a la relación contradictoria y complementaria que existe entre factores. El principio recursivo rompe con la idea lineal causa-efecto porque todo lo que es producido reentra sobre aquello que lo produce en un ciclo auto constitutivo. El principio hologramático permite conocer el todo por el conocimiento de sus partes, así como de la parte y viceversa, El pensamiento complejo debe articular e integrar orgánicamente estos tres principios para que funcionen de manera coherente y no se disgreguen. (Morin, 1994)

una constante dialógica con la industria eléctrica porque su manera de producción choca con los ciclos naturales. En ese orden la industria energética a través de sus modelos de producción y consumo develan efectos que influyen en la causa que los ha producido. Es decir, el incremento de residuos plásticos y las emisiones de CO₂ provenientes de esta industria, más que soluciones ejercen presiones al deterioro del sistema y sus ecosistemas. En el caso de los plásticos, su relación con el medio ambiente está basada en que su composición o elementos no están suscritos a los tiempos biogeoquímicos, por ende, su permanencia excede el ritmo de asimilación del ecosistema. En ese sentido, bajo el principio hologramático no existe una complementariedad entre el diseño y el medio ambiente.

Capítulo 2. Contaminación ambiental: Críticas y reflexiones en la búsqueda de la sustentabilidad

La ecología política surge como una crítica fundamental al modelo actual de producción y consumo, caracterizado por un crecimiento ilimitado y un modelo de consumo que ignora los límites planetarios y los daños ambientales. Este enfoque destaca cómo los problemas ecológicos y sociales están profundamente interconectados y son el resultado de procesos históricos y económicos que privilegian el capital sobre la sustentabilidad. En este sentido, la actual crisis ambiental no es un fenómeno aislado, sino la consecuencia directa de un sistema que explota recursos naturales de manera insostenible y genera una cantidad desmesurada de residuos. Como señala Delgado Ramos (2013), la ecología política, entendida como un campo interdisciplinario en continuo desarrollo, constituye una herramienta teórico-analítica de gran importancia. Su relevancia se hace evidente frente a la creciente desigualdad en el consumo de energía y materiales, los efectos no previstos de determinadas tecnologías y la generación de desechos, cuyos impactos se manifiestan en conflictos socioambientales de distintas escalas y naturalezas.

Las acciones que se pueden llevar a cabo para resolver o desglosar una problemática se vinculan con los entendimientos del devenir histórico que se ha desarrollado durante el tiempo. Es decir, que los problemas actuales no emergen en una burbuja aislada o de manera espontánea, sino que se relacionan con todo un proceso humano, el cual ha permitido identificar problemáticas y plantear perspectivas para mitigar sus efectos. Aunque no es posible resolver todas estas cuestiones, la comprensión de los efectos antropocéntricos y la asunción de nuestra responsabilidad ante ellos nos conecta con nuestro propósito creador y, a su vez, con más elementos para abordarlos.

La acumulación incesante capitalista, como menciona Ramírez (2019), la acumulación constante dentro del sistema capitalista se basa en dos pilares esenciales. El primero radica en la necesidad de expandirse territorialmente, lo que conlleva la apertura de nuevos mercados, el acceso a opciones de producción a bajo costo y la extracción intensiva de materiales provenientes del entorno natural. El segundo pilar es la necesidad continua de reducir los costos de producción. Para ello, los capitalistas han logrado incorporar nueva tecnología, reducir salarios, hacer más eficientes los procesos y, sobre todo, evitar pagar la totalidad de muchas de sus cuentas públicas, inicialmente aquellas derivadas de los derechos laborales y, actualmente, aquellas relacionadas

con su extracción ambiental, generadas por sus impactos destructivos sobre los ecosistemas, lo que comúnmente se denomina “externalidades”.

Es importante entender que las externalidades son efectos secundarios o consecuencias de las actividades de producción o consumo que afectan a terceros sin que estos estén directamente involucrados en dichas actividades. En el contexto ambiental, las externalidades negativas se refieren a los impactos adversos que estas actividades tienen sobre el ecosistema, como la contaminación del agua, el smog en las ciudades, la destrucción de la capa de ozono y el calentamiento global. Estas externalidades suelen no estar contempladas en los costos económicos directos de las actividades humanas, pero generan daños a la Tierra y sus recursos naturales (Denmon et al., 2014).

De manera similar, esta investigación se centra en dos problemáticas. La primera aborda la cuestión de los plásticos desechados, los cuales, aunque podrían reutilizarse como materia prima útil, continúan presentes como desechos en vertederos de todo el mundo e ingresan involuntariamente en ecosistemas ajenos al ser humano. Estos plásticos no solo generan conflictos que trascienden las áreas urbanas, sino que también provocan alteraciones ambientales que llegan incluso a generar afectaciones a la salud humana.

La segunda problemática deviene de la crisis de los recursos energéticos que ha escalado en los últimos años, alcanzando un punto crítico en el que los hidrocarburos, principales fuentes de energía, comienzan a mostrar claros signos de decadencia. En 2021, las tensiones en los mercados energéticos se intensificaron debido al rápido repunte económico tras la pandemia, agravándose aún más con la invasión de Ucrania por parte de Rusia en 2022, lo que provocó el aumento desmesurado del precio del gas natural y la electricidad. Este escenario ha llevado a una crisis energética mundial, con paralelismos a la crisis del petróleo de los años setenta, aunque en esta ocasión afecta a todos los combustibles fósiles (International Energy Agency, 2024). Los recursos energéticos no renovables, como los hidrocarburos, además de ser altamente contaminantes, se están encareciendo y agotando, lo que genera graves consecuencias económicas, sociales y ambientales, como el cierre de fábricas, la pobreza energética en los hogares vulnerables y el riesgo de recesión en diversas economías. Ante esta realidad, resulta imprescindible repensar el futuro energético y avanzar hacia el uso de tecnologías alternativas y energías limpias, que no solo

reducirían la dependencia de los combustibles fósiles, sino que habrían mitigado parte de la presión sobre los precios de la energía y protegido a los consumidores en esta crisis.

El impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente depende de tres factores principales: el número de habitantes, el nivel de consumo per cápita y las tecnologías empleadas para satisfacer dicho consumo. Modificar alguno de estos factores es crucial para reducir el daño ambiental. No obstante, el nivel de bienestar y desarrollo alcanzado por varios países de ingresos altos se ha logrado mediante patrones de producción y consumo que requieren una cantidad significativa de recursos, lo que resulta insostenible a nivel global. Con las tecnologías disponibles, el planeta no podría sostener la población actual si el consumo promedio se alineara con los niveles de los países de ingresos altos (Naciones Unidas, 2023).

Para comprender esta situación, este capítulo busca: evaluar los principios teóricos involucrados en la recuperación de plásticos y el uso de recursos energéticos desde la crítica del impacto ambiental de su gestión actual. Para ello se ofrece una perspectiva crítica que permite entender las raíces sistémicas de la crisis ambiental, tanto en lo referente a los residuos plásticos como en la cuestión de los recursos energéticos. Este análisis busca abrir caminos hacia alternativas más justas y sustentables, donde la responsabilidad ambiental y social se establezcan como pilares del desarrollo. En los siguientes subapartados, se abre ruta a una exploración de cómo el diseño puede incidir en la solución de estos problemas a través del análisis de la economía circular, el reciclaje, el uso eficiente de la energía, y el ecodiseño.

2.1 Contaminación ambiental/Deterioro Ambiental

El deterioro ambiental está relacionado con procesos económicos orientados a mejorar los niveles de vida sin incorporar los costos sociales y ambientales, como la contaminación. Este problema se agrava con el crecimiento poblacional, que incrementa la demanda económica total y amplifica la presión sobre los sistemas naturales. Por tanto, es necesario replantear los modelos de producción y consumo, e integrar tecnologías que permitan reducir los impactos ambientales acumulados. Ahora bien, en la realización de un producto se integran diversos elementos. En un sentido lineal se podría decir que se diseña, se fabrica y al final se distribuye. Esta es una forma muy simplificada de entender cómo se lleva a cabo el diseño de cualquier producto y la forma que se ha reproducido a lo largo del tiempo. Por tanto, se contempla que la mayor influencia para la producción de

objetos, y los problemas adyacentes al mismo, proviene del mercado. Lo cual no da lugar al entendimiento basado en la sustentabilidad y sentido social.

La contaminación ambiental se define como la introducción de sustancias o elementos, ya sean físicos, químicos o biológicos, de manera individual o combinada, en un entorno específico. Su presencia en ciertas concentraciones puede representar un riesgo para la salud, la seguridad y el bienestar de las personas. Además, puede generar impactos negativos en los ecosistemas, alterando la vida de especies vegetales y animales, así como limitando el aprovechamiento de espacios destinados al esparcimiento y recreación. Este fenómeno implica la introducción en los cuerpos receptores de sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso, o sus mezclas, que alteran de forma adversa las condiciones naturales del entorno, o que representan un riesgo para la salud, la higiene o el bienestar de la población en general.

A medida que crece el control humano sobre la naturaleza y surgen nuevas necesidades derivadas de la vida en sociedad, el entorno que nos rodea experimenta un deterioro creciente.

Hoy día, ante situaciones como la disminución de la capa de ozono, derivada del calentamiento global, es evidente que la naturaleza está notablemente afectada por una multiplicidad de factores que han desequilibrado el sistema planetario integralmente. El comportamiento social de los seres humanos, que permitió el desarrollo del lenguaje y, más tarde, la formación de la cultura humana fue clave para diferenciarlos de otras especies. Mientras otras especies se ajustan al entorno para sobrevivir, el ser humano tiene la capacidad de modificar y adaptar ese mismo entorno de acuerdo con sus necesidades. No obstante, el uso irracional de los recursos naturales durante aproximadamente cuatro siglos y medio ha afectado profundamente los sistemas ecológicos, que se construyeron a lo largo de millones de años.

De hecho, los síntomas del deterioro ambiental son evidentes a escala mundial. Según Santiago (2009), "hay un hoyo en la capa de ozono protectora de la Tierra", permitiendo que una mayor cantidad de radiación ultravioleta llegue a la superficie, lo que tiene consecuencias impredecibles. Además, el efecto invernadero inducido por el CO₂ ha provocado ya un calentamiento perceptible en el globo, lo que ha generado un aumento de las temperaturas, la fusión de los glaciares y el ascenso de los niveles oceánicos. Asimismo, la biodiversidad está declinando, ya que las tasas de extinción de las especies aumentan debido a la transformación de sus hábitats. En suma, el equilibrio natural se ha roto, de forma que se pone en peligro no solo la vida biológica en el planeta,

sino también el bienestar de la humanidad.

El crecimiento de la población también ha generado una serie de problemas ambientales que impactan directamente el bienestar humano. Este aumento demográfico está entrelazado con casi todos los desafíos que enfrenta la humanidad, como la contaminación, la pobreza, el cambio climático, la salud, y la escasez de alimentos y agua. La dependencia de combustibles fósiles para sostener estilos de vida cada vez más mecanizados convierte al crecimiento poblacional en un factor del calentamiento global. Cada nuevo habitante incrementa la demanda de petróleo, gas y carbón, recursos que, al ser consumidos, liberan grandes cantidades de CO₂ y óxidos de nitrógeno en la atmósfera, que contribuyen al efecto invernadero. Además, la agricultura y la ganadería, pilares de nuestra alimentación, generan metano, otro potente gas de efecto invernadero, que agrava aún más esta situación (Lorca y de Alcalá, 2018).

De igual forma, el deterioro ambiental, tanto en términos de consumo energético como en la generación de residuos plásticos, se encuentra intrínsecamente ligado a los modelos de desarrollo que guían las actividades humanas. Estos modelos, frecuentemente orientados hacia un crecimiento económico insostenible, fomentan un uso excesivo de recursos y la producción de desechos. La obsolescencia programada y la carencia de políticas de reciclaje efectivas perpetúan un ciclo de producción y descarte que no solo agota los recursos naturales, sino que también contamina los ecosistemas. Esta realidad destaca la necesidad de repensar y transformar las estructuras de producción y consumo hacia prácticas más sustentables, para priorizar la salud del planeta y de las comunidades humanas.

Los problemas enfrentados son tan vastos y complejos que su solución teórica se vuelve un desafío difícil de implementar en la práctica. La interconexión entre el consumo excesivo de recursos, la producción de desechos y los modelos de desarrollo insostenibles requieren una transformación estructural profunda que a menudo parece fuera de alcance. Sin políticas efectivas, un compromiso real de los actores involucrados y una visión integral, las teorías sobre sustentabilidad pueden resultar inadecuadas para abordar la magnitud de los problemas ambientales actuales.

2.2 La Economía circular

La Economía Circular (EC) es un paradigma económico y ambiental que busca transformar la forma de producir y consumir. Antes de desarrollar el concepto de EC se reconoce el modelo de Economía Lineal (EL) que refiere a un modelo económico que se fundamenta en la eliminación

de productos una vez que han sido utilizados. Este enfoque establece un ciclo lineal que comienza con la extracción de materias primas, sigue con el procesamiento y transformación en productos, su distribución y venta, y concluye con su uso y eventual desecho como residuos. Este proceso puede visualizarse como una línea que tiene un inicio y un final en un sentido secuencial.

En el modelo lineal, no hay consideración de reutilización ni reaprovechamiento; lo que alguna vez fueron productos se convierten en basura. Esto da lugar a una acumulación heterogénea de desechos, que incluye materiales biológicos, tecnológicos y otros, lo que complica su separación y reciclaje. Como resultado, esta basura termina en vertederos, incineradores o, en el peor de los casos, abandonada sin ningún tipo de regulación. Se produce así una pérdida significativa de recursos que podrían haberse recuperado y reintegrado al proceso productivo. Esta ineficiencia hace que la economía lineal sea insostenible, al considerar que tanto los recursos naturales como las fuentes de energía son finitas y pueden agotarse rápidamente, además de causar graves problemas ambientales.

Aunque el modelo lineal permite una producción rápida, su impacto en el planeta es lento y perjudicial. Está basado en un sistema económico capitalista e individualista que fomenta un consumo desenfrenado por parte de la sociedad, impulsado por las empresas cuyo único objetivo es maximizar sus beneficios, a menudo a expensas de las externalidades sociales y ambientales (Belén y Eduardo, 2019). Este enfoque resulta insostenible debido a su falta de previsión para el reaprovechamiento de productos.

Por su parte en el enfoque de la EC, los productos y materiales se mantienen en uso durante el mayor tiempo posible, se recuperan y reciclan al final de su vida útil, y se minimiza la generación de residuos. De acuerdo con la Fundación Ellen MacArthur (2024), la EC se basa en tres principios fundamentales, impulsados por el diseño: 1) Eliminar los residuos y la contaminación. 2) Circular los productos y materiales (manteniendo su valor más alto). 3) Regenerar la naturaleza.

Este enfoque se apoya en una transición hacia energías y materiales renovables. La Economía Circular desvincula la actividad económica del consumo de recursos finitos, lo que busca un sistema resiliente que beneficie tanto a las empresas, como a las personas y al medio ambiente. Aunque en teoría estos principios son muy deseables para materializarse, es necesario concebir el concepto de EC de manera más integral, en el que se aborde no solo su implementación, sino también los desafíos y transformaciones necesarias para que sea realmente efectivo a largo plazo.

Se debe repensar de manera sincrónica la relación entre la economía, los sistemas de producción y el entorno natural. En ese sentido el enfoque circular no se debe limitar a ser un paliativo sino una herramienta de transformación integral.

Dentro de la Economía Circular (EC), se busca modificar los modelos de producción y consumo, al proponer un enfoque que contemple todas las etapas del ciclo de vida de los productos. Este replanteamiento no solo se centra en el uso y disposición de los bienes, sino que también incluye categorías y estrategias que permiten abordar el manejo de recursos desde nuevas perspectivas. Al ampliar el alcance tradicional de los ciclos de vida, la Economía Circular (EC) propone, como ejemplo, una metodología basada en las 6Rs (Jawahir y Bradley citado en Sandoval García et al., 2023).:

1. **Reducir:** Busca disminuir el uso de recursos en la etapa de premanufactura, así como reducir el consumo de energía, materiales y otros recursos durante la manufactura, y minimizar las emisiones y desperdicios en la fase de uso o consumo.
2. **Reusar:** Implica el aprovechamiento total del producto o sus componentes después de su primer ciclo de vida, lo que contribuye a evitar la necesidad de materiales vírgenes para la fabricación de nuevos productos y componentes.
3. **Reciclar:** Consiste en transformar insumos que, de otro modo, serían considerados basura en nuevos materiales y productos.
4. **Recuperar:** Se refiere a la recolección de productos al final de su ciclo de uso, seguida de su desmontaje, clasificación y limpieza para ser reutilizados en nuevos ciclos de vida.
5. **Rediseñar:** Involucra la creación de la próxima generación de productos, favoreciendo un uso más eficiente de los componentes, materiales y recursos que provienen de ciclos previos o de producciones anteriores.
6. **Remanufacturar:** Consiste en procesar productos ya utilizados para restaurarlos a su estado original o convertirlos en nuevos modelos mediante la reutilización de tantas partes como sea posible, manteniendo su funcionalidad

A partir de estos principios, la propuesta de la EC aborda diversas etapas que contribuyen a mitigar los efectos de la generación excesiva de residuos y el manejo ineficiente de la energía. Etapas como la reducción de recursos, el reciclaje de insumos, y la recuperación de productos al final de

su vida útil revelan un enfoque que parece abordar de manera integral los problemas ambientales. Si bien estos principios como **reducir**, **reciclar**, y **recuperar** proponen soluciones que en teoría disminuyen el impacto ambiental, en la práctica actual no se dispone de valores claros que validen la efectividad de estas iniciativas de forma generalizada.

Esto genera una desconexión entre la ambición de los discursos de la EC y la realidad de su implementación y aquí surge un riesgo: pensar que, solo porque el concepto de la EC está siendo promovido, ya se están resolviendo los problemas de fondo. Es importante tener precaución al asumir que la existencia y difusión del concepto de EC por sí sola es suficiente para abordar los problemas estructurales que enfrenta la sustentabilidad. Si bien EC se presenta como una solución innovadora, existe el riesgo de que las ficciones que la rodean se normalicen, como pretender que el crecimiento ilimitado es posible, ya que como plantea Leff (2008) no es posible mantener una economía en crecimiento que se alimenta de una naturaleza finita: sobre todo una economía fundada en el uso del petróleo y el carbón, que son transformados en el metabolismo industrial, del transporte y de la economía familiar en bióxido de carbono, el principal gas causante del efecto invernadero y del calentamiento global que hoy amenaza a la vida humana en el planeta tierra.

Hay que dejar de pensar que las alternativas propuestas por la EC son soluciones totales y, en consecuencia, se reduzca el espacio para la reflexión crítica, lo que podría generar efectos contraproducentes al no atender los problemas de fondo. Como señala Lazarevic y Valve existe un peligro en los mitos que rodean a la economía circular, ya que, si estos se vuelven normalizados, el espacio para la reflexión crítica disminuirá (traducido de Corvellec et al., 2022). Este fenómeno podría llevar a una percepción errónea de que se están resolviendo los problemas ambientales, cuando en realidad se estarían desplazando, exacerbando y limitando el debate sobre soluciones más profundas y transformadoras.

2.3 El reciclaje y sus críticas

Bajo el contexto anterior, el reciclaje se convierte en una de las prácticas más visibles y promovidas dentro del discurso de la EC. Para el entendimiento en general, reciclar es visto como el proceso mediante el cual los productos de desecho se reutilizan. Los conceptos de desechos y residuos se utilizan a menudo de manera intercambiable, aunque representan aspectos diferentes. Por un lado, los desechos se refieren a aquello que no se desea y que resulta inservible, lo que lleva a su descarte. Por otro lado, los residuos son productos secundarios generados a partir de la actividad productiva,

ya sea al elaborar, transformar o consumir un producto primario. Estos pueden ser reutilizados si reciben el tratamiento adecuado a través del reciclaje, antes de su disposición final. En este sentido todos los habitantes del planeta generan residuos como plásticos, botellas de vidrio, materia orgánica, papel y cartón, entre otros; los cuales, si no son gestionados adecuadamente, pueden causar daños tanto al medio ambiente como a la salud humana (Zapata y Zapata, 2012 en Ortiz-Pech et al., 2020).

Los residuos, al ser productos secundarios generados por la actividad humana, tienen el potencial de ser reciclados bajo ciertas condiciones. Esta capacidad de reciclaje varía significativamente dependiendo del material del que están fabricados. Cada tipo de residuo presenta características y propiedades únicas que influyen en su procesamiento y en los recursos energéticos necesarios para su reciclaje. Así, algunos materiales pueden requerir menos recursos y energía para ser transformados en nuevos productos, mientras que otros, debido a su complejidad o naturaleza, pueden demandar un mayor esfuerzo en su tratamiento, lo que impacta en la eficiencia del reciclaje y en la sustentabilidad del proceso.

Cuando se habla de reciclaje y su relación con los plásticos, el rápido crecimiento de la producción de este material ha sido extraordinario. Los plásticos, junto con el cemento y el acero, se encuentran entre los materiales más versátiles creados por el ser humano. La enorme demanda global ha impulsado un aumento continuo en su producción. Desde que el reciclaje comenzó en la década de 1970, la cantidad de plástico reciclado varía considerablemente según la región, el tipo de plástico y su aplicación. En 2022, China y Corea del Sur lideraron el reciclaje de plásticos a nivel mundial, reciclando aproximadamente el 50% de los desechos plásticos. Les siguieron Alemania y Japón con un 47%, mientras que Reino Unido y Canadá alcanzaron el 28% y 26%, respectivamente (Valarezo Ulloa y Ruiz Virgen, 2022).

En cuanto a las categorías de reciclaje de plásticos, existen cuatro tipos principales. El **reciclaje primario** o de ciclo cerrado produce plásticos de la misma calidad que el material reciclado original. El **reciclaje secundario** o degradado produce plásticos de calidad inferior. El **reciclaje terciario** implica procesos químicos de polimerización, y finalmente, el **reciclaje cuaternario** tiene como objetivo la conversión del plástico en energía o biodiésel (Ellis et al., en Valarezo Ulloa y Ruiz Virgen, 2022).

En términos de reciclabilidad, algunos plásticos presentan mejores condiciones para su recuperación, aunque no es un proceso exento de desafíos. Los plásticos clave para reducir la

contaminación y avanzar hacia una economía circular son aquellos fabricados con **polímeros termoplásticos**, como el PET, PE y PP, que tienen un alto potencial de reciclaje mecánico. Por otro lado, polímeros termoestables, como poliésteres y resinas, pueden ser triturados y reutilizados como material de relleno (Costa et al., 2021 en Valarezo Ulloa y Ruiz Virgen, 2022).

Aunque el reciclaje promete la conservación de energía y recursos naturales, la disminución de residuos y la protección del medio ambiente; estos beneficios son difíciles de alcanzar en la práctica. Si bien, el reciclaje permite: 1) ahorrar recursos y energía, 2) disminuir la contaminación, 3) alargar la vida útil de los materiales mediante diferentes usos, 4) evitar la deforestación, 5) reducir el espacio ocupado por los desperdicios, 6) facilitar la recolección de basura y 7) disminuir la cantidad de basura que termina en rellenos sanitarios. Para que estos objetivos se conviertan en realidad, es necesario superar varios obstáculos. La separación incorrecta de residuos, la falta de infraestructura adecuada, la insuficiente educación pública y las barreras económicas son solo algunos de los retos a enfrentar.

2.4 Relación entre energía y reciclaje

Reducir el consumo energético es crucial para mitigar los efectos del calentamiento global. Una forma efectiva de hacerlo es mediante el reciclaje, ya que reutilizar materiales reduce significativamente el gasto energético y el impacto ambiental. Cada material reciclado evita el uso de energía para producir nuevos productos desde cero. Por ejemplo, según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2010), reciclar una lata de aluminio ahorra hasta el 95% de la energía que se necesitaría para fabricar una nueva.

Reciclar materiales que ya fueron producidos disminuye el consumo energético de los procesos de extracción, producción y transporte. En la práctica, si todos los eslabones del reciclaje operan correctamente, se pueden alcanzar cifras impresionantes de ahorro energético que contribuyen a reducir la huella ecológica. Por ejemplo, acciones como reciclar plástico o cartón se suman para mitigar los efectos del cambio climático y proteger los recursos naturales a largo plazo (Red 2030, 2022).

Los beneficios de la recuperación de los materiales plásticos del ambiente no solo se limitan a la reducción de residuos en el entorno natural, ya que uno de los efectos positivos que pasan de manera casi inadvertida es el beneficio energético. El reciclaje mecánico es más ventajoso en términos de emisiones y eficiencia energética porque contribuye a la mitigación del cambio

climático, al evitar la producción de nuevos plásticos a partir de materias primas fósiles. Se estima que requiere menos energía en comparación con el reciclaje químico, lo que resulta en una menor huella de carbono (Zero Waste Europe and Rethink Plastic alliance, 2022). Por lo tanto, el reciclaje mecánico es una opción sustentable para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

En el proceso de reciclaje de plásticos existen pasos que pueden invertir grandes cantidades de recursos y energía, por ejemplo, el lavado de materiales que se encuentren en mal estado ya sea por un mal manejo al desecharlo o la contaminación en los centros de recolección produce que se requiera mayor esfuerzo para la preparación de los plásticos antes de que se puedan volver a transformar, hace que se complique energéticamente el procesamiento.

Aunque el ahorro energético no resolverá todos los problemas ambientales, es fundamental para abordar desafíos como el cambio climático. Esto se refleja claramente en la correlación entre el consumo energético y las emisiones de CO₂. Los aumentos en el uso de energía coinciden con incrementos en las emisiones de gases de efecto invernadero. Por ello, muchas instituciones consideran el ahorro energético como una de las estrategias más rentables y efectivas para reducir significativamente las emisiones de CO₂ (Llamas, 2009).

Al continuar con la idea de la eficiencia energética, las estrategias para mejorar el uso de energía pueden clasificarse en dos enfoques principales. El primero busca reducir el consumo global y eliminar pérdidas y desperdicios, lo que lleva a un uso más eficiente sin grandes inversiones. Por ejemplo, se pueden analizar sistemas de reciclaje para identificar y corregir ineficiencias. El segundo enfoque busca mejorar la eficiencia de la transformación energética, para reducir el consumo específico por unidad de material procesado, lo que optimiza los consumos variables relacionados directamente con la producción.

2.5 Ecodiseño

Una vía de reacción ante las problemáticas ambientales derivadas del modelo de producción consiste en integrar los principios de sustentabilidad en el diseño lo que permite generar enfoques más amplios para desarrollar productos, procesos y servicios, considerando sus impactos ambientales desde el inicio. El diseño industrial, cuando se alinea con la EC, puede ofrecer una oportunidad de replantear cómo se crean los productos, abordando todo su ciclo de vida: desde su

concepción, desde la producción, hasta su uso y eventual disposición. Esto facilita una reducción efectiva de residuos y un aprovechamiento más eficiente de los recursos.

El ecodiseño implica la integración de criterios ambientales en la concepción y desarrollo de un producto, con el fin de mejorar su calidad y, al mismo tiempo, reducir los costos de fabricación. Esto se logra a través de metodologías que evalúan todas las etapas del ciclo de vida del producto, desde la obtención de materias primas hasta su eliminación y reciclaje. Un producto diseñado bajo principios ecológicos genera un menor impacto ambiental que cualquier tecnología correctiva implementada posteriormente para mitigar o reparar los daños.

La relevancia de abordar todo el ciclo de vida del producto radica en que permite identificar claramente todas las entradas y salidas del proceso que generan un impacto ambiental, más allá de las que ocurren en una fase específica o dentro de la fábrica. El siguiente paso es reducir al mínimo la cantidad y toxicidad de los insumos (materiales y energía) y de las salidas (emisiones y residuos) en cada fase, se busca un equilibrio para minimizar el impacto global del producto. Esto conlleva beneficios como:

- Reducción del consumo energético, lo que mejora la gestión ambiental y disminuye los costos de producción.
- Minimización del uso de materiales y el empleo de recursos renovables o fácilmente reciclables, lo que reduce tanto el consumo de recursos como los costos de las materias primas.
- Optimización de las técnicas de producción, que no solo acorta los tiempos de entrega, sino que también disminuye el impacto ambiental y potencia la capacidad innovadora de la empresa.
- Ajuste del volumen y peso del producto, junto con un uso racional del embalaje, lo que reduce el consumo de materiales y la energía necesaria para su transporte, para disminuir así los costos.
- Reducción de consumibles y energía durante el uso del producto, lo que disminuye las emisiones y los costos para el usuario.
- Promoción del mantenimiento y la reparación del producto, para extender su vida útil y reducir el consumo de recursos.

- Disminución de componentes tóxicos y peligrosos, lo que reduce el impacto sobre la salud humana.
- Reducción de emisiones al agua, aire y suelo, lo que contribuye a la preservación de los ecosistemas.
- Fomento del uso de productos más ecológicos, lo que beneficia tanto al ecosistema como a la salud humana y contribuye a la conservación de los recursos naturales (Adán, 2014).

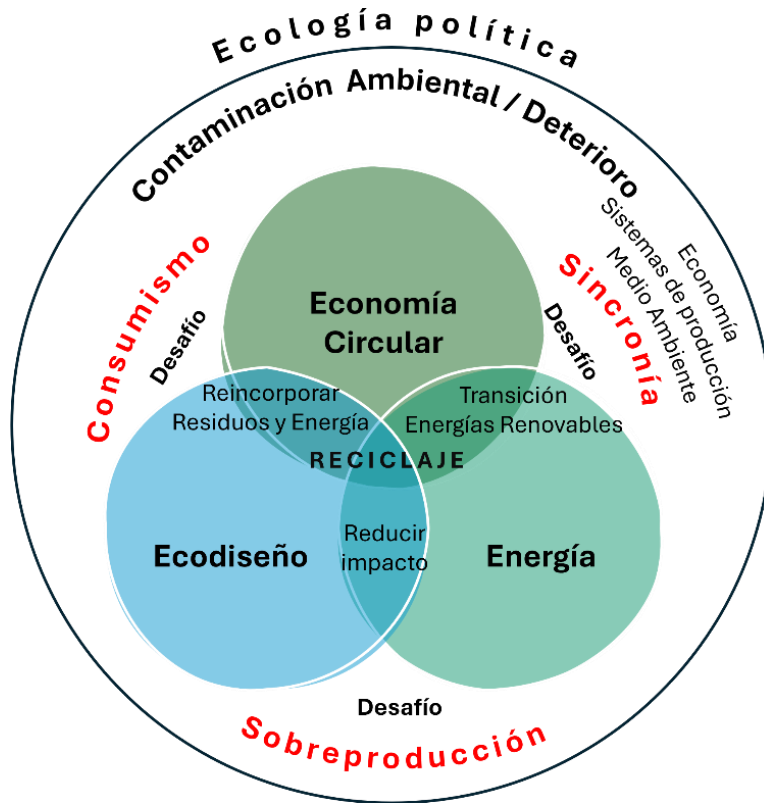
Al igual que la EC no se debe caer en un pensamiento reduccionista. Aunque las metodologías del ecodiseño buscan ampliar el conocimiento sobre las barreras operativas, abordar problemas sistémicos de manera sesgada impide alcanzar soluciones efectivas desde una perspectiva ambiental. Es fundamental que las propuestas mantengan ejes de acción transdisciplinarios, ya que solo así es posible evidenciar múltiples facetas del problema.

En el ámbito ambiental, el ecodiseño tiene un gran potencial, pero debe ser aplicado desde una visión integral que considere diversas dimensiones del impacto ambiental. Mediante ejes transdisciplinarios se pueden identificar soluciones más completas y efectivas que realmente reduzcan los efectos adversos sobre el entorno para abordar los problemas de diseño. En ese sentido, es habitual suponer que la simple inclusión de un material reciclado, biodegradable o "natural" en un producto reducirá sus impactos ambientales. Sin embargo, si no se sistematiza la información y se analiza a través de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV); a menudo se pasan por alto las transferencias de carga ambiental, es decir, cuando se disminuye el impacto en una etapa (como el material) pero se incrementa en otra (como el transporte).

Por ejemplo, podemos optar por reemplazar un material convencional con uno considerado "ecológico". No obstante, si ese material debe ser importado desde China, recorrerá largas distancias antes de ser procesado. ¿Estamos realmente mejorando el desempeño ambiental del producto final? Este tipo de interrogantes solo puede responderse mediante un análisis detallado como el ACV, de lo contrario, existe el riesgo de simplemente trasladar los impactos ambientales de una fase a otra (Acosta Fuentes, Isaac et al., 2017).

El ecodiseño puede ser una herramienta de gran utilidad para reducir los impactos ambientales, pero es necesario estar atentos a los posibles efectos no deseados o transferencias de carga ambiental que pueden surgir al implementar soluciones. Solo a través de un enfoque integral y detallado podemos asegurar que las decisiones que tomemos realmente contribuyan a un menor impacto ambiental general.

Gráfico 2. Críticas y reflexiones en la búsqueda de la sustentabilidad



Fuente. Elaboración propia

Capítulo 3. Energías Renovables y Tecnologías Solares en México

El sector energético en México desempeña un papel fundamental en la economía del país, ya que provee los recursos esenciales para el funcionamiento de las actividades productivas y el suministro de bienes de consumo para los hogares. Sin embargo, la dependencia de fuentes fósiles sigue siendo predominante, lo que plantea retos en términos de sustentabilidad y cambio climático. A nivel mundial, en 2011, la dependencia de las energías fósiles fue del 81.7%, mientras que las energías renovables solo representaron el 13.2%. En México, esta disparidad fue aún más marcada: en 2012, el 92% de la energía provenía de fuentes fósiles, y solo el 6.8% de energías renovables (Vázquez, 2014).

Ante este escenario, la agenda de desarrollo sustentable, que ahora integra enfoques de economía verde y cambio climático, ha señalado la necesidad de promover las energías renovables como una de las estrategias para reducir la dependencia de combustibles fósiles. Estas fuentes no solo son no renovables, sino que también son responsables de la emisión de contaminantes, incluidos los principales gases de efecto invernadero (GEI), que agravan el cambio climático. Por ello, la transición hacia energías más limpias se ha convertido en una prioridad para México, no solo por razones ambientales, sino también por su potencial para generar crecimiento económico y asegurar la soberanía energética a largo plazo.

El panorama energético de México presenta un desafío desde la perspectiva del desarrollo sustentable. Por un lado, el país depende en gran medida de fuentes fósiles, que generan contaminantes y gases de efecto invernadero, además de ser no renovables. Este patrón energético ha posicionado a México entre los principales productores de petróleo y gas natural a nivel mundial. Aunque en los últimos años su producción ha disminuido considerablemente, ha obligado a recurrir a reservas más costosas y difíciles de acceder, como el petróleo en aguas profundas y el gas de lutitas. La reforma energética, en proceso legislativo, busca precisamente explotar estas reservas, a pesar de los riesgos ambientales y económicos asociados (Secretaría de Energía, 2023).

Uno de los mayores problemas de esta dependencia de energías fósiles es que México, con un 92% de energía primaria proveniente de fuentes fósiles, supera ampliamente el promedio mundial, que se sitúa en un 81.7% (Vázquez, 2014). Además, el consumo final de energía en sectores como el transporte y la industria está dominado por productos derivados del petróleo, como gasolina, naftas y diésel, que no solo son altamente contaminantes, sino que requieren cuantiosas importaciones.

Esta situación crea una dependencia energética que no solo pone en riesgo la economía del país, sino que también perpetúa un modelo insostenible de producción y consumo.

En contraste, la transición hacia energías renovables ofrece una oportunidad para resolver los problemas asociados con el agotamiento de los recursos fósiles y la contaminación. Las energías limpias, como la solar y la eólica, se presentan como alternativas para impulsar un crecimiento económico sostenible, mientras se avanza hacia una economía verde. A nivel global, la apuesta por la producción de energías renovables ha crecido exponencialmente, y para que México pueda unirse a esta tendencia, es necesario un cambio en su patrón energético, se debe comenzar por los sectores que más consumen energía fósil.

La transición hacia energías renovables representa una de las soluciones más prometedoras para mitigar los efectos del cambio climático y reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Dentro de este marco, la energía solar ha emergido como una de las fuentes más importantes, dada su abundancia, disponibilidad y bajo impacto ambiental. México, con su vasto potencial solar, tiene una oportunidad única de aprovechar esta fuente de energía para avanzar hacia un modelo energético más sustentable y menos dependiente de combustibles fósiles.

3.1 Beneficios para la generación de energía termo solar en México

La energía solar se puede dividir en dos tipos principales: la fotovoltaica, que convierte directamente la luz solar en electricidad, y la solar térmica, que utiliza la energía del sol para generar calor. La energía termo solar, en particular, ha demostrado ser una alternativa limpia y económicamente rentable, especialmente en la industria, el comercio y las residencias. Su principal ventaja radica en su capacidad para suministrar calor a través de la transferencia de energía del sol a un medio portador, lo que la convierte en una opción eficiente para satisfacer la demanda de calor en diversas aplicaciones (Secretaría de Energía Sustentabilidad Energética y Fondo Sectorial CONACYT, 2018).

Una de las mayores contribuciones de la energía termo solar es su impacto positivo en la reducción de contaminantes atmosféricos. Al sustituir el uso de combustibles fósiles, esta tecnología permite disminuir la emisión de gases contaminantes, particularmente en áreas urbanas donde la quema de combustibles es una de las principales causas de enfermedades respiratorias. Además, al no emitir dióxido de carbono (CO₂) durante su operación, la energía termo solar contribuye directamente a

la lucha global contra el cambio climático, evitando que grandes cantidades de CO₂ sean liberadas a la atmósfera.

Radiación Solar

Los rayos solares son aprovechados como energía térmica que es producto de la radiación que emiten, se puede observar que gracias a estos se han producido los ecosistemas en el planeta, lo que produce en tiempos más recientes una mejor comprensión técnica de cómo se comportan. Gracias a esto es posible tener presentes las variables que actúan en la incidencia, potencia y distribución con lo que se agrupan datos que permiten aumentar el aprovechamiento de la energía proveniente del sol.

La radiación solar se divide en dos tipos, la directa y la difusa, la mezcla de ambas compone a la radiación global. Ambos tipos de radiación son importantes para su aprovechamiento ya que actúan en ondas diferentes, con lo que afectan a los materiales de manera específica, no obstante, la radiación directa es la que se considera de mayor uso puesto que al tener una exposición directa con la ubicación del sol, la cantidad de energía puede concentrarse con un mayor flujo para su transformación.

Ciclo Solar

El comportamiento del sol es una de las principales razones por las cuales no se considera la energía proveniente de este como una fuente que pueda abastecer un flujo constante en la demanda de electricidad o calor. Esto se debe principalmente a la variación que hay en cuanto al tiempo de exposición, ya sea por la transición de día a noche o cambios climáticos, la cual puede verse interrumpida de forma irregular, sin embargo, con las técnicas modernas de medición en el comportamiento de los climas, es más fácil determinar pautas que permitan tener una mejor predicción en el comportamiento del ciclo solar.

Medición de radiación Solar

El sol lleva mucho tiempo siendo estudiado con el fin de encontrar tecnologías que ayuden a aprovecharlo como fuente de energía. Dentro de los conocimientos técnicos para alcanzar cada vez mejores resultados en este aspecto se busca tener datos cada vez más precisos sobre el comportamiento de la radiación solar.

La radiación solar es el resultado de la fusión nuclear que ocurre en el sol, donde se liberan grandes cantidades de energía en forma de ondas electromagnéticas. Estas ondas se propagan a través del espacio y llegan a la Tierra. El espectro solar, que incluye diferentes tipos de radiación según su longitud de onda, está compuesto principalmente de tres tipos: un 7% corresponde a radiación ultravioleta (UV), un 43% a luz visible y un 49% a radiación infrarroja. El restante 1% incluye otras formas de radiación. Esta distribución varía ligeramente, pero es un reflejo de la amplia gama de energías que se generan en el proceso de fusión solar (Agencia Estatal de Meteorología, s/f).

La medición de la radiación solar es esencial para diversos campos de estudio y aplicación, ya que permite (Agencia Estatal de Meteorología, s/f):

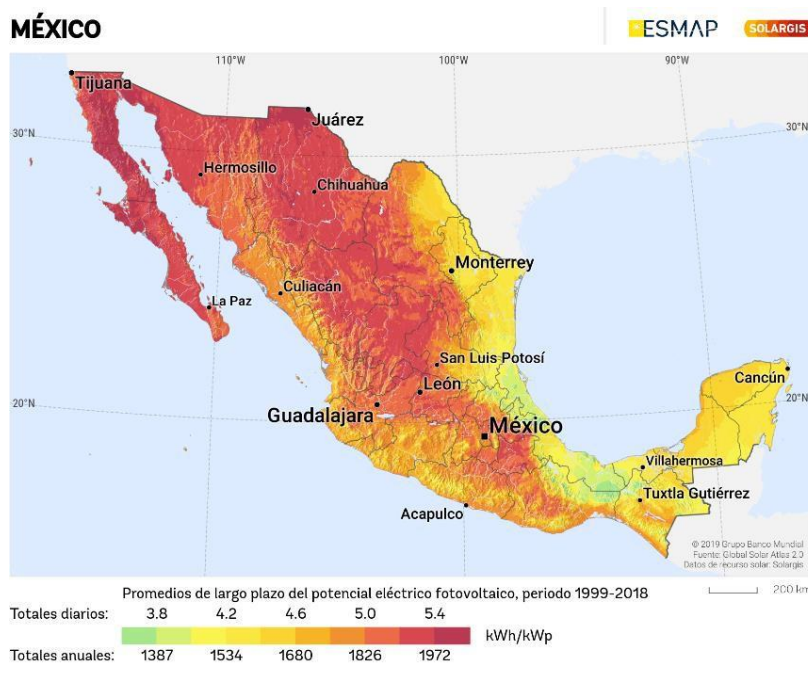
- Estudiar las transformaciones energéticas que ocurren dentro del sistema Tierra-Atmósfera, para contribuir a entender mejor los procesos climáticos y la interacción de la radiación con la superficie terrestre y los cuerpos de agua.
- Analizar las propiedades y la distribución de la atmósfera y sus componentes, como aerosoles, vapor de agua, ozono, y otros gases. Esto es clave para comprender el efecto de estos elementos en la transmisión y absorción de radiación.
- Investigar la distribución y las variaciones de la radiación solar, se incluye la radiación incidente, reflejada y total, lo cual es importante para entender patrones climáticos y diseñar soluciones energéticas eficientes.
- Satisfacer necesidades en biología, medicina, agricultura, arquitectura e ingeniería, sectores donde el conocimiento sobre la radiación solar puede influir en el desarrollo de tecnologías, el manejo de cultivos, la salud humana y el diseño sostenible de edificaciones e infraestructuras.
- Determinar el coeficiente geográfico para la generación de energía solar, un factor crucial para la planificación de sistemas de energía renovable y la optimización de su rendimiento según la ubicación geográfica.

3.2 Condiciones del sol en geografía de México

Al no ser una fuente constante, la energía solar muy difícilmente va a poder cubrir la demanda actual de energía eléctrica que consumen las poblaciones, a pesar de ello se considera como una fuente de energía renovable que tiene muy pocos efectos ambientales nocivos. No obstante, vemos que no en todas las regiones se presentan las mismas circunstancias en cuanto a la radiación solar que reciben.

De acuerdo con la *International Renewable Energy Agency IRENA* (2015) México se considera una región favorecida en recursos solares, donde se recibe diariamente, en promedio, 5.5 Kwh/m² (la unidad de medición de radiación solar), sin embargo, el uso de este recurso no se explota de forma consistente. Por ejemplo, Alemania un país que no dispone del mismo potencial, solo alcanzan tan solo un 1.1 Kwh/m², puede llegar a generar hasta 5 veces más de lo que se genera en México, lo que nos deja en evidencia que, a pesar de disponer de una gran cantidad de energía solar en forma de radiación, aún no hay infraestructura que pueda explotarla de manera eficiente y masiva para que se cubra un mayor porcentaje de la demanda actual (CIEP, 2017). En la siguiente imagen se puede apreciar un mapa que describe la cantidad de radiación solar de México:

Imagen 1. Mapa de radiación Solar

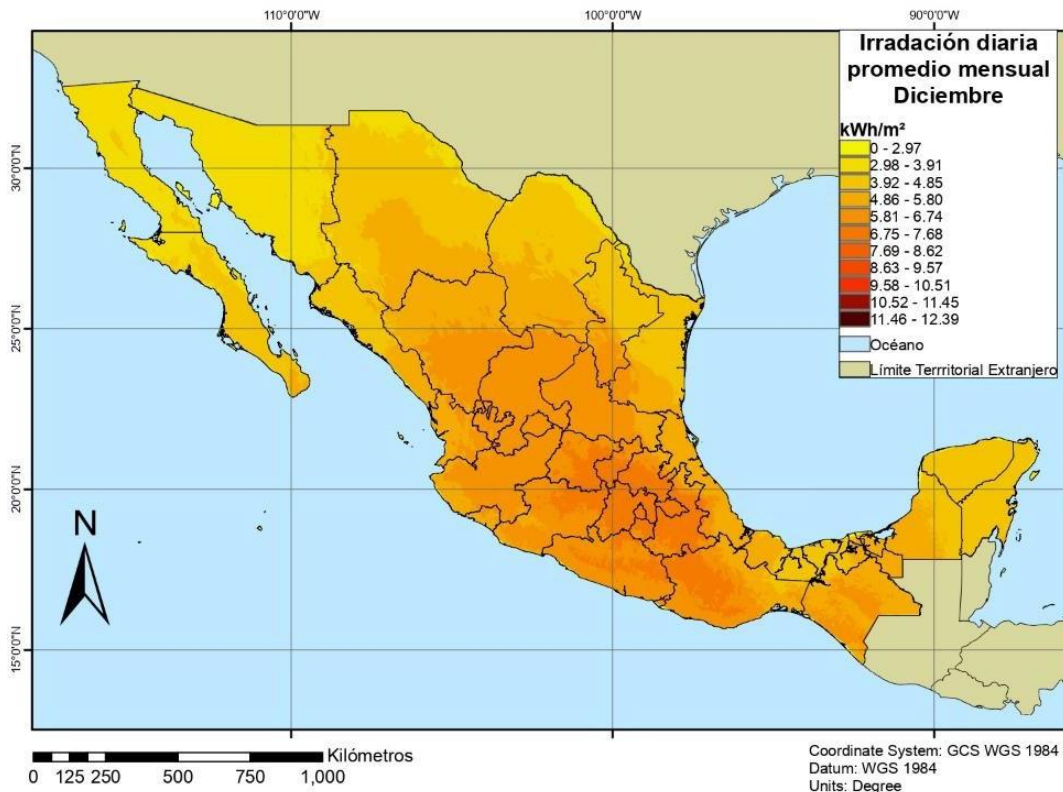


Fuente. Grupo Banco Mundial por Solargis

Gracias a este mapa vemos que en la zona norte se dispone de una gran cantidad de energía aprovechable, es por ello por lo que la viabilidad aumenta en torno a proyectos que busquen emplear este recurso para su funcionamiento.

El uso de la energía solar presenta la desventaja de ser intermitente debido a las condiciones climáticas. No se puede garantizar que los sistemas que emplean este recurso funcionen de manera consistente a lo largo de todo el año, especialmente por la variabilidad climática. Según los mapas proporcionados por el Servicio Solarimétrico Mexicano del Instituto de Geofísica de la UNAM⁷, al comparar los niveles de radiación solar en diciembre (ver imagen 2), una estación fría, con los de junio (ver imagen 3), durante el verano, se observa una mayor incidencia de radiación en este último. Esto debería ser considerado para planificar el aprovechamiento eficiente de la energía solar a lo largo del año.

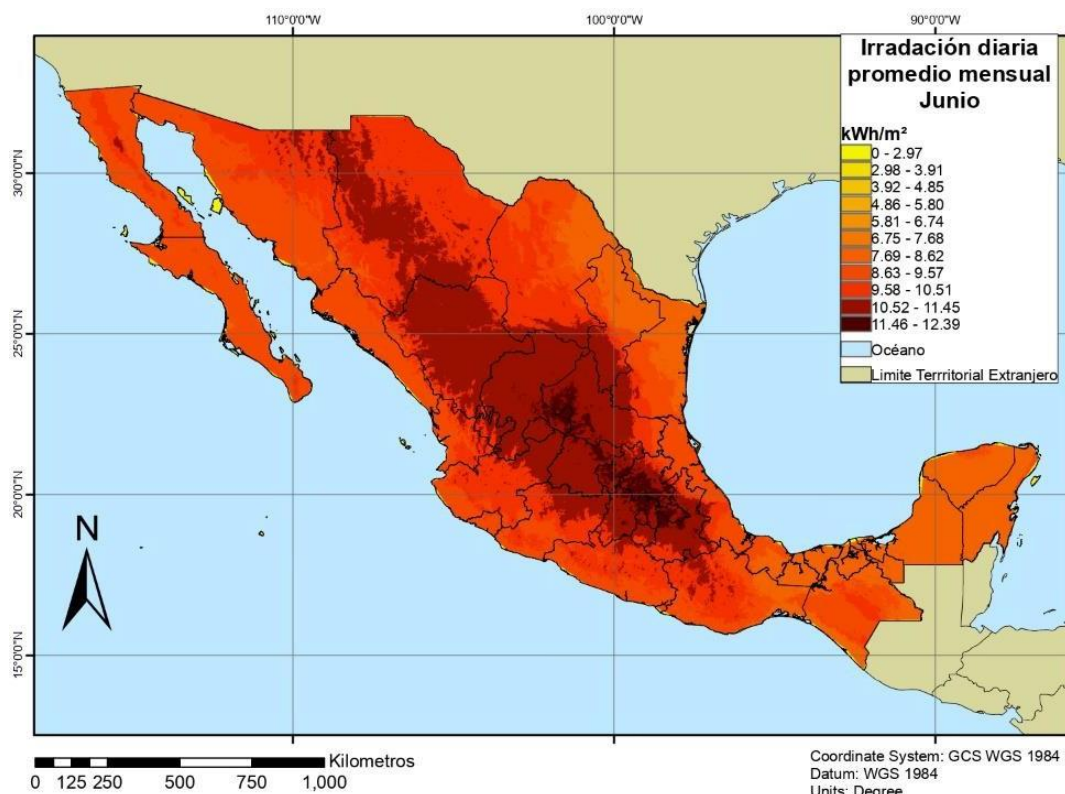
Imagen 2. Mapa de radiación solar promedio México en diciembre



Fuente. CeMIESol (2023)

⁷ El Servicio Solarimétrico Mexicano tiene como objetivo principal proporcionar información sobre diversos sitios en el país y diferentes componentes de la radiación solar a través de su red de estaciones solarimétricas.

Imagen 3. Mapa de radiación solar promedio de México en junio



Fuente. CeMIESol (2023)

El Centro Mexicano para la Innovación en Energía Solar (CeMIESol), ofrece información como Horas Pico, mapas climatológicos de componentes radiacionales y meteorológicos, así como datos útiles para aplicaciones en generación fotovoltaica y concentración de calor. Esta información sirve para comprender cómo los sistemas que aprovechan la energía termo solar operan, ya que se basan en principios físicos que utilizan la transferencia de calor para funcionar.

Modos de transferencia de calor Solar

Los sistemas que aprovechan la energía solar operan basándose en diversos principios físicos que utilizan la transferencia de calor como su mecanismo fundamental. En términos generales, la transferencia de calor se refiere a la manera en que la energía se desplaza de un cuerpo a otro, lo cual puede ocurrir a través de tres procesos principales: conducción, convección y radiación

La conducción térmica es el mecanismo mediante el cual el calor se transfiere directamente entre cuerpos en contacto, sin que exista movimiento de materia. En este proceso, la energía térmica se desplaza de un objeto con mayor temperatura hacia otro de menor temperatura que se encuentra

en contacto directo con el primero. Por otro lado, la convección se lleva a cabo en un fluido, como el aire o el agua, que actúa como medio para transportar calor entre zonas con distintas temperaturas. Este fenómeno solo ocurre en materiales fluidos. A medida que el fluido se calienta, su volumen aumenta y su densidad disminuye, lo que provoca que suba, empujando hacia abajo al fluido más frío que se encuentra en la parte superior. De esta manera, la convección involucra el movimiento del calor a través de las corrientes ascendentes y descendentes generadas en el fluido.

La radiación es un método de transferencia de energía térmica que puede ocurrir en presencia o ausencia de materia, incluyendo el vacío. Este proceso se manifiesta como ondas electromagnéticas térmicas que se propagan a la velocidad de la luz en el vacío. La energía se irradia en todas las direcciones y, al incidir en un cuerpo, este puede reflejar, absorber (para aumentar su energía interna y temperatura) o transmitir la radiación. La radiación térmica es aquella que emana exclusivamente de la temperatura de un cuerpo (Transferencia de Calor, 2022),

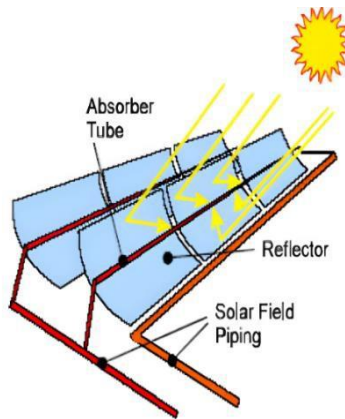
3.3 Ecotecnologías de concentración Solar

El siguiente apartado muestra ejemplos aplicados de manera industrial para cubrir las necesidades de calor de algunos procesos. Resulta interesante la diversidad de opciones que se emplean para el reaprovechamiento de este recurso, sin embargo, las limitaciones se pueden prever intuitivamente. En todos los casos debe emplearse un sistema para localizar el punto óptimo de la incidencia de rayos solares. A pesar de esto se puede apreciar la escalabilidad de los sistemas para abastecer temperaturas elevadas y por consiguiente aprovechar la mayoría de energía que se desprende de estos.

Canales Parabólicos

Los canales parabólicos operan posicionándose de manera perpendicular al Sol, aprovechando su forma semicilíndrica para concentrar una mayor cantidad de luz solar en punto reducido. Se utilizan principalmente para calentar un fluido colocado en el foco, permitiendo que este fluido transfiera la energía térmica absorbida.

Gráfico 3. Concentradores solares de canales parabólicos

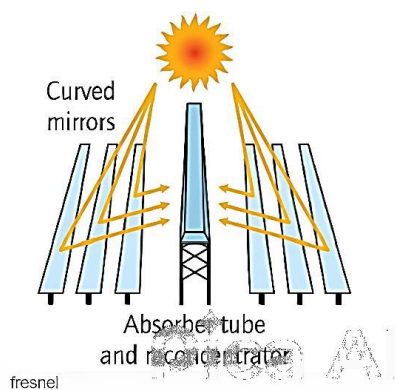


Fuente. Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química Solar (2015)

Espejo tipo Fresnel

Este tipo de colector está compuesto por varios espejos, ya sean planos o curvados, que siguen el movimiento del sol a lo largo del día. Estos espejos reflejan la luz hacia un tubo colocado en su parte superior. Una característica destacada de esta tecnología es que cada reflector está equipado con un sistema de seguimiento independiente, lo que permite que la luz se enfoque en el receptor sin necesidad de moverlo. Además, este diseño favorece un aprovechamiento más eficiente del espacio disponible.

Gráfico 4. Concentradores Fresnel

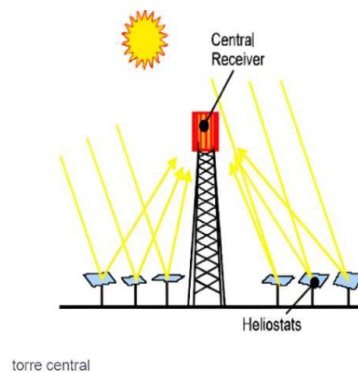


Fuente. Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química Solar (2015)

Espejos con Torre Central

Se compone de los helióstatos, que son espejos diseñados para capturar y reflejar la luz solar. Estos espejos se colocan en grandes grupos, orientados hacia una torre central. Dentro de esta torre, el calor capturado se transfiere a un fluido, que puede ser agua, aceite o sales fundidas. Una de las mayores ventajas de este sistema de recolección solar es su capacidad para generar temperaturas muy altas.

Gráfico 5. Concentrador tipo torre de espejo central

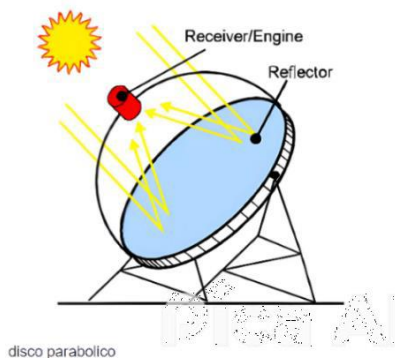


Fuente. Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química Solar (2015)

Disco Parabólico

Este concentrador utiliza un diseño en forma de disco parabólico que, como su nombre lo indica, focaliza la radiación solar en un punto específico. Esta tecnología es utilizada en sistemas como las estufas solares. Sin embargo, su principal limitación radica en la necesidad de mantener una orientación constante hacia el sol para optimizar su eficiencia.

Gráfico 6. Concentrado tipo disco parabólico



Fuente. Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química Solar (2015)

El aprovechamiento del calor derivado de la energía solar no solo varía significativamente entre regiones, sino que depende de factores como la irradiación solar y las tecnologías disponibles. Entre las principales aplicaciones de la energía termo solar destacan el calentamiento de agua para uso doméstico, la calefacción de espacios y la provisión de calor para procesos industriales.

Según el tipo de tecnología termo solar implementada y las condiciones de irradiación solar en el sitio de instalación, los colectores termo solares pueden alcanzar diferentes rangos de temperatura. La tecnología de concentración de energía solar (TCES), que se utiliza principalmente en plantas de generación eléctrica, logran temperaturas superiores a los 500 °C (Secretaría de Energía Sustentabilidad Energética y Fondo Sectorial CONACYT, 2018).

La exploración de estas tecnologías de concentración solar abre posibilidades para su aplicación en otros sectores industriales. El principal desafío radica en repensar los ciclos productivos y los entornos donde se desea implementar estas soluciones. Sin embargo, la información técnica existente es suficientemente extensa como para anticipar su viabilidad en función de los valores energéticos y los requisitos de calor para diferentes procesos industriales mediante el uso de energía termo solar.

Capítulo 4. Pautas Metodológicas para la Integración de Energía Termo solar en la Recuperación de Plásticos (ITRP)

Este capítulo presenta la recopilación y análisis de los datos orientados hacia la implementación del uso de energía termo solar en el proceso de transformación y reciclaje de termoplásticos como el polipropileno (PP) y el polietileno de alta densidad (PEAD). La selección de estos plásticos se basa en su abundancia en los residuos y en su capacidad para responder ante la aplicación de calor, lo que los convierte en candidatos idóneos para un proceso de reciclaje que emplee energía renovable. En este sentido, la investigación busca validar un proceso preliminar que utiliza energía termo solar para la transformación del PP y PEAD, que aborda tanto los aspectos técnicos como los beneficios ambientales de esta alternativa frente a los métodos convencionales de reciclaje.

El desarrollo de esta propuesta metodológica implicó el análisis de la información técnica (ver Tabla 1) sobre los requerimientos de los materiales termoplásticos para su transformación, es decir, las condiciones de temperatura y presión normalmente empleadas en sistemas convencionales. La investigación propuso como acercarse a la utilización de un concentrador solar de canal parabólico como fuente de energía para una prensa de inyección manual diseñada en la que se realizaron pruebas de temperatura sobre los plásticos seleccionados. Estas permitieron visualizar la fundición del plástico PP y PEAD, con calor del sol (energía termo solar), que por su cantidad y propiedades son los más empleados en procesos de reciclaje de baja escala. A partir de estas se pensó en un prototipo básico que orientó el elemento de calor del sistema intervenido de inyección de plástico de forma horizontal donde se hicieron mediciones preliminares de temperatura de dicho elemento para ver como respondía a la exposición solar.

4.1 Aproximación metodológica: Laboratorios en reología del Instituto de Investigación en Materiales de la UNAM (IIM) y Taller de Reciclaje

Se llevó a cabo una visita los laboratorios en reología con el Dr. Antonio Sánchez Solís del Instituto de Investigación en Materiales de la UNAM (IIM), cuyos conocimientos como experto en procesos del plástico permitieron esclarecer tanto parámetros nuevos a considerar como algunas pautas técnicas sobre el reciclaje de plásticos, con el fin de orientar las necesidades de la propuesta que se desarrolló hacia la integración de energía renovable solar.

De manera que, se realizaron entrevistas semiestructurada (ver Anexo) con el objeto de obtener la perspectiva de alguien con un mayor conocimiento sobre el proceso de reciclaje de plástico en la

etapa de transformación de este, con el fin de visualizar la posible implementación de la energía termo solar en el proceso de reciclaje sobre todo en cuanto a los rangos de operación con los que se puede maniobrar con respecto a los valores térmicos del elemento de calor de una prensa de inyección manual de baja escala de producción.

Por otra parte, se analizó el proceso en el centro de reciclaje Nosotros Reciclamos A.C, con enfoque en el funcionamiento de un dispositivo manual de inyección de plástico y la interacción de los usuarios con el mismo. Mediante la observación in situ, se revisaron todas las etapas del reciclaje, desde la recolección y limpieza del material hasta el triturado e inyección en moldes. Aunque la infraestructura techada limita la implementación de soluciones relacionadas con el uso de energía termo solar, se exploraron vías para integrar esta energía en el proceso sin alterar significativamente el método actual. Además, se obtuvo información sobre la operación de una prensa de inyección de código abierto de Precious Plastic (ver Imagen 5), utilizada para inyectar diversas piezas de plástico en el proceso de reciclaje a baja escala.

Se observaron los siguientes pasos del proceso de transformación del plástico en la prensa de inyección, anotando aspectos clave:

1. Depositado del plástico triturado
2. Operación de los moldes
3. Tiempos de espera que tienen los operadores entre la inyección de las piezas
4. Acción biomecánica del prensado
5. Medidas de seguridad aplicadas

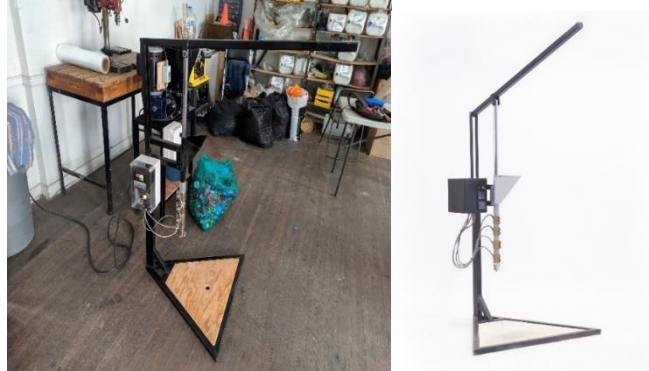
Imagen 4. Operación de prensa de inyección manual de baja escala



Fuente. Elaboración propia

El modelo de inyección que se observó presenta características que no permitían realizar pruebas para integrar energía termo solar. La disposición vertical del cañón de extrusión donde se ubica el elemento de calor no permite mejorar la recepción de los rayos solares. Esta prensa de inyección funcionó como unidad de análisis de la cual se partió para desarrollar una propuesta que pudiera cambiar la disposición del elemento de calor para comenzar con las pruebas de sol.

Imagen 5. Revisión de resistencias eléctricas de inyectora de plástico de baja escala

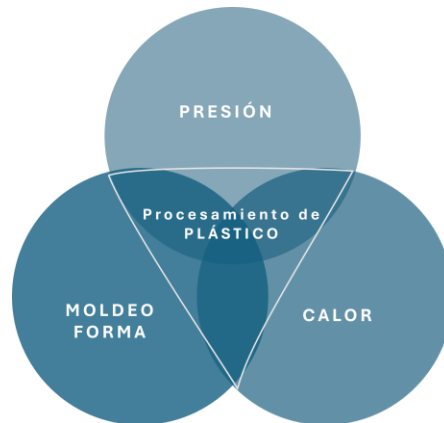


Fuente. Elaboración propia a partir de Precious Plastic

4.2 Procedimiento para implementación de pautas metodológicas de integración termo solar en recuperación de plástico (ITRP)

Para el procesamiento de plásticos se identificaron 3 elementos en la producción de una pieza de plástico. Dichos elementos son la aplicación de calor que modifique el estado del material, la presión que canaliza el material y la formación a través de un molde (ver Gráfico 7).

Gráfico 7. Triangulo de procesamiento de plásticos



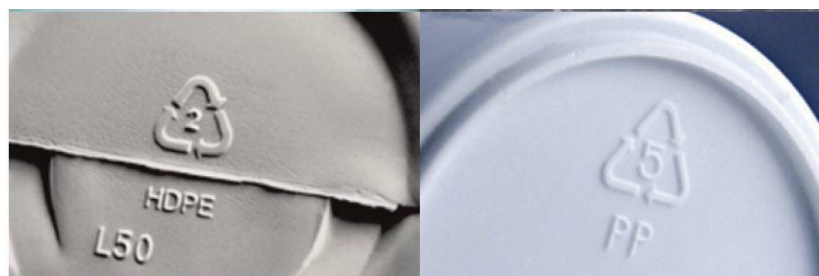
Fuente. Elaboración propia

El procedimiento experimental descrito se centró en un desglose gradual de ideas orientadas a la integración de energía termo solar en el reciclaje de plásticos. Se priorizó la comprensión de las tecnologías disponibles para el reaprovechamiento del calor solar, lo que permitió establecer las bases para un modelo adecuado que optimiza la captación de los rayos solares. Se partió de una fase preparatoria para el diseño de una metodología. En esta etapa se propuso una base para el desarrollo de alternativas en el uso de energía termo solar en la recuperación de plástico.

Para el elemento de estudio del proyecto se utilizó el principio de inyección manual, para ello, se tuvo que realizar el diseño completo para la integración y adaptación de los sistemas de captación termo solar. En un principio se pensaba utilizar un sistema ya creado, sin embargo, las modificaciones necesarias demandaron un cambio sustancial de la función por lo que se procedió a fabricar un sistema de inyección modificado.

Para las pruebas se utilizaron los dos tipos de plásticos planteados en el documento, el PEAD y el PP (ver Imagen 6). Un termoplástico, al ser expuesto a altas temperaturas, pierde su rigidez y se deforma. Estos materiales tienen la capacidad de fundirse con el calor y, al enfriarse, recuperar su consistencia original. Gracias a esta propiedad, es posible moldearlos para diversas aplicaciones.

Imagen 6. El PP o polipropileno y el HDEP en inglés o PEAD polietileno de alta densidad





Fuente. Recuperado de (Hardman, 2021)

Es fundamental considerar que los materiales termoplásticos poseen un historial térmico, y con cada ciclo de calentamiento y enfriamiento, sus propiedades físicas sufren modificaciones progresivas. Este fenómeno ocurre debido al debilitamiento de sus enlaces, lo que conduce a una reducción en su peso molecular, proceso conocido como pérdida de peso molecular (Mexpolimeros, 2024). Cada tipo de termoplástico posee propiedades específicas que permiten diferentes aplicaciones y requerimientos para su procesamiento.

La siguiente tabla muestra las características de los dos tipos de plásticos seleccionados para las pruebas:

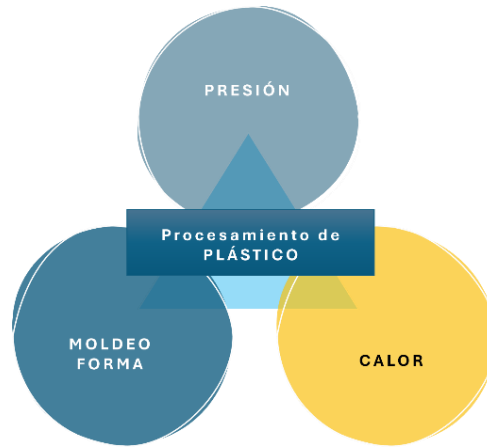
Tabla 1. Temperaturas de fusión

Tipo de plástico	Temperatura de fusión	Densidad	Usos y Aplicaciones
 PP Polipropileno	160 – 170 °C	0.90 – 0.91 g/ cm ³	Tapas de envases, hilados, film, tubería.
 HDPE Polietileno de alta densidad	160 – 170 °C	0.95 – 0.97 g/ cm ³	Envases en general, tuberías, cajas.

Fuente. Elaboración propia a partir de Mexpolimeros (2024)

Posteriormente, se trabajó con el primer elemento del triángulo de procesamiento de plástico que es el calor (ver Gráfico 8).

Gráfico 8. Triángulo de procesamiento de plástico: calor



Fuente. Elaboración propia

El material que se utilizó para las pruebas al ser plástico recuperado triturado normalmente se divide en gamas de color en lugar de un color uniforme. Para el PEAD se utilizó gama de verdes mientras que el PP en gama de azules. Una vez que se llevaron a cabo los primeros intentos de fundición del plástico se llevó a la práctica un experimento para evaluar el potencial solar de ambos tipos de plástico. Para estas pruebas se sometió al material al sol y por medio de la incidencia de rayos solares se fue calentando con ayuda de un concentrador óptico hasta que se notó el cambio

de estado del material. El proceso de calentamiento se realizó solamente con energía termo solar. En las siguientes imágenes se ve el cambio de estado de los 2 tipos de plásticos utilizados.

Imagen 7. Derecha-material PEAD triturado /Izquierda: Material PEAD fundido



Fuente. Elaboración propia

Imagen 8. Derecha-material PP triturado /Izquierda: Material PP fundido

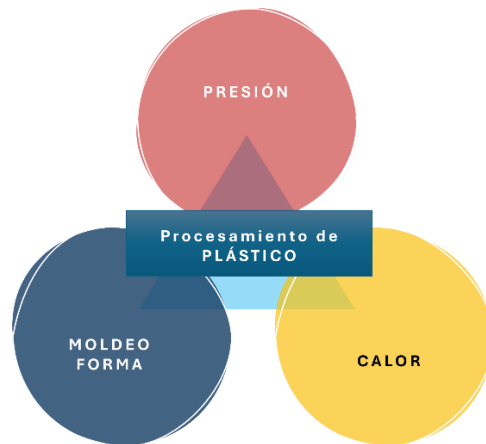


Fuente. Elaboración propia

Las pruebas se realizaron en un horario de trabajo de 10 am a 12 pm, la temperatura de fundición osciló entre 165° y 187° y el tiempo de fundición para ambos materiales rondó entre 15 a 20 minutos hasta llegar a la etapa de fundición. Esto comprobó la posibilidad de derretir el plástico y dio paso a trabajar con la siguiente prueba.

Para trabajar con el siguiente elemento del triángulo de procesamiento de plástico fue necesario modificar el sistema de inyección con el fin de poder aplicar además del calor termo solar la presión para extruir el material: plástico fundido. Sin embargo, dicho sistema no contaba aún con el suministro total de calor proveniente del sol y se empleó corriente eléctrica para alimentar la resistencia (elemento de calor) del sistema con el fin de realizar las pruebas.

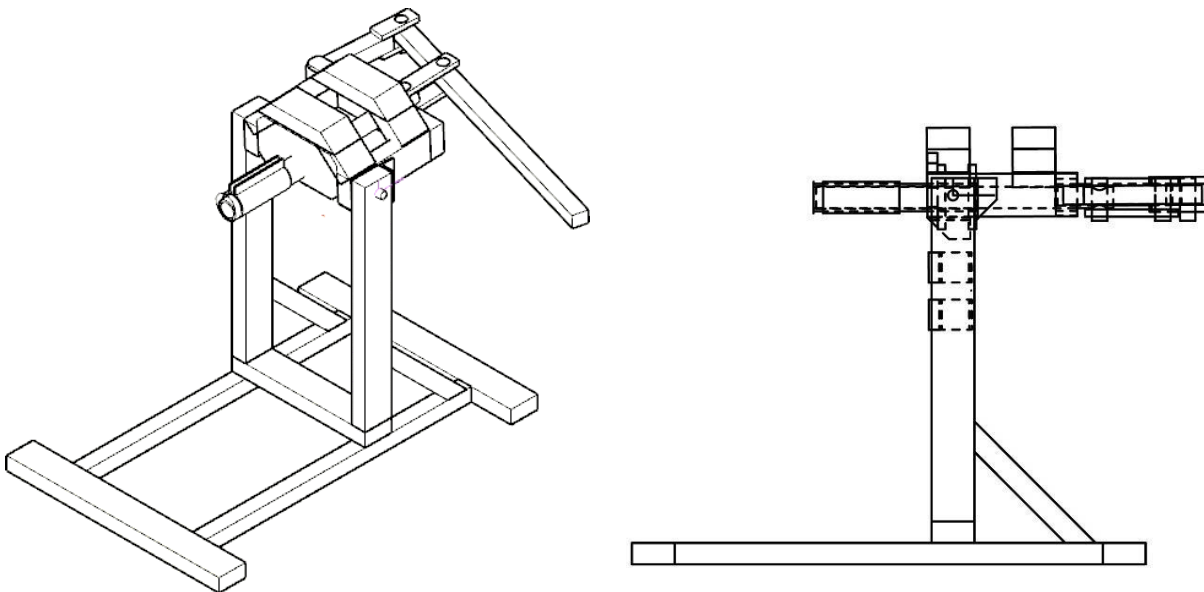
Gráfico 9. Triángulo de procesamiento de plástico: presión



Fuente. Elaboración propia

Para generar presión es necesario tener un sistema de inyección que puede impulsar el material fundido hacia una boquilla. El sistema de inyección con el que se realizó esta prueba ya requería la modificación previa para captar los rayos solares. Por tanto, se generó un diseño que contempla la función de inyección con la posibilidad de integración de energía termo solar.

Gráfico 10. Propuesta de prensa de inyección de baja escala con adecuación para energía termo solar



Fuente. Elaboración propia

La siguiente etapa fue construir un prototipo con el que se realizaron las pruebas de presión basado en un principio flexible que permitiera adecuar alguna ecotecnología de concentración solar.

Imagen 9. Prototipo ubicado al sol en su posición horizontal.



Fuente. Elaboración propia

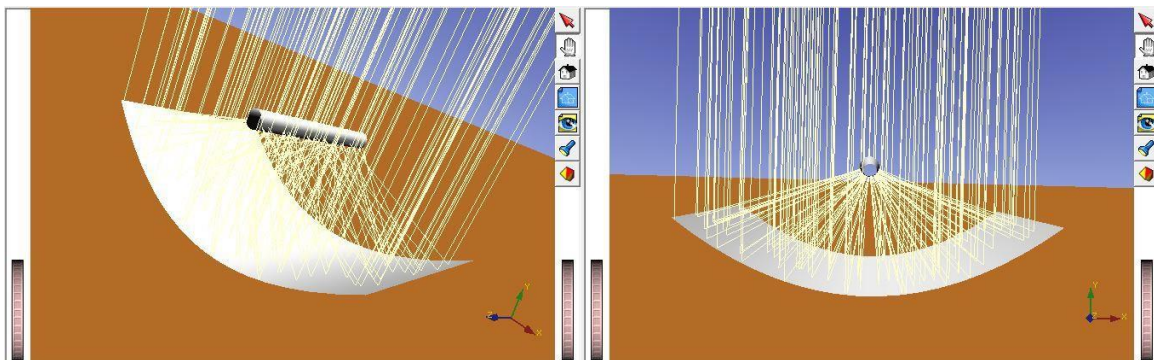
Concentración Térmica mediante Canales Parabólicos para la inyección de Plástico a baja escala: Simulación de la Incidencia Solar

El sistema propuesto consta de un movimiento de rotación que cambia la disposición del elemento de calor con el fin de poderle adecuar una tecnología de concentración solar determinada por la compatibilidad con el sistema. Debido a que el cañón de extrusión de la máquina de inyección es cilíndrico se podría corresponder de una forma sencilla con los modelos de concentración solar de canales parabólicos.

Los reflectores de espejo de canales parabólicos concentran la luz solar en tubos receptores ubicados en la línea focal, por los que circula un fluido de transferencia térmica. Esta ecotecnología, diseñada para seguir el sol en un eje norte-sur, puede alcanzar temperaturas de hasta 400°C en el fluido (Aguilar Gil, 2019). Por esta razón, se considera su uso en el sistema de inyección de plástico manual a baja escala.

Este principio de reflexión de rayos solares presenta la posibilidad de representar la incidencia de rayos mediante un software de simulación de código abierto que muestra una gráfica del sistema para aprovechar la incidencia de radiación para elevar la temperatura de una superficie cilíndrica (ver Gráfico 11).

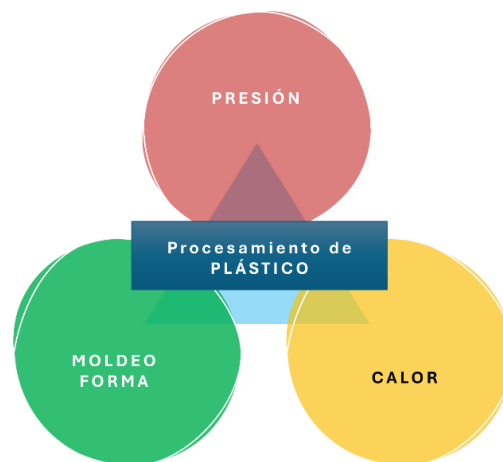
Gráfico 11. Simulación concentrador de canal parabólico



Fuente. Elaboración propia a partir del software Tonatiuh

El siguiente paso, en el triángulo del procesamiento de plásticos (ver Gráfico 12), consiste en evaluar la capacidad del sistema para poder moldear una pieza plástica.

Gráfico 12. Triángulo de procesamiento de plástico: moldeo



Fuente. Elaboración propia

Para ello se requirió de un molde que se fabricó en aluminio, el cual contuviera el material en su estado fundido. Las pruebas se llevaron a cabo para cerrar el ciclo del procesamiento de plástico.

Imagen 10. Maquinado de molde para las probetas de las pruebas



Fuente. Elaboración propia

Las pruebas que se realizaron sirven para guiar una estructura metodológica con la cual se pueda llevar a cabo el desarrollo completo del prototipo y se pueda evaluar mediante una serie de pasos a nivel específico acerca de los beneficios de la implementación de la energía termo solar en el proceso de recuperación de plásticos.

Imagen 11. Proceso de fundición, presión y moldeado de pieza



Fuente. Elaboración propia

La imagen anterior permite ver de manera anticipada cómo el sistema puede transitar del material triturado hasta una pieza conformada. Sin embargo, se requiere en un siguiente nivel de investigación que se continúe con los alcances obtenidos en este momento para la realización de pruebas sistemáticas que arrojen valores relacionados con la reducción de consumo energético que podría proveer la integración de la energía termo solar.

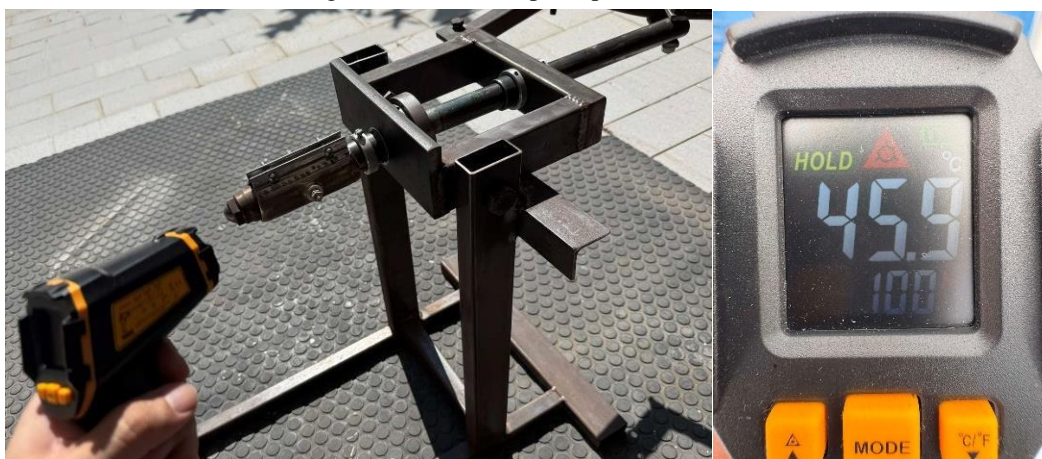
4.3 Parámetros ITRP: Hacia una alternativa frente a los métodos convencionales de reciclaje

La característica principal del prototipo es su capacidad para mantener la perpendicularidad a los rayos solares. Esta particularidad es crucial, ya que optimiza la eficiencia en la captación de energía solar, lo que a su vez proporcionó flexibilidad en las pruebas realizadas. El horario para la realización de los ensayos se gestionó entre las 10:00 a 12:00 horas del día. Se buscó aprovechar un horario de radiación solar alto y la ubicación fue en la zona centro de la Ciudad de México. El tiempo de fundición para ambos materiales tuvo un rango de entre 15 a 20 minutos para llegar a la etapa de fundición con la que se trabajó el material para su reconversión. El diseño del molde se generó a partir de un volumen cilíndrico de 40 mm de diámetro por 8 mm de espesor.

A partir de lo expuesto, para continuar con el desarrollo y ajuste del prototipo, se debe pasar del modelo de colector termo solar sin concentración solar (ver imagen 12), que no alcanza mayores temperaturas a 50°C, a la adecuación de una tecnología de colector que permita la concentración solar, al centralizar la luz del sol desde una gran área de apertura a un área reducida mediante el uso, en el caso que se propone, de un espejo parabólico. Cuando la luz solar es concentrada se convierte en calor, este mecanismo puede producir temperaturas mayores a 100°C (Secretaría de Energía Sustentabilidad Energética y Fondo Sectorial CONACYT, 2018). A partir de estos rangos se considera posible integrar efectivamente la energía termo solar en el proceso de inyección de plástico.

El reciclaje de plásticos con energía termo solar requiere de un conocimiento de las variables implicadas, tanto dependientes como independientes, para asegurar que el sistema funcione de manera eficiente. Por ejemplo, las variables independientes como la incidencia solar y las condiciones climáticas afectan directamente la cantidad de energía capturada y, por ende, el rendimiento del proceso. Al agrupar estas variables, los investigadores pueden implementar un enfoque más riguroso, ajustando elementos como el ángulo del concentrador solar y el tiempo de operación para maximizar la eficiencia térmica.

Imagen 12. Medición de prototipo sin concentración solar



Fuente. Elaboración propia, pruebas con calentamiento termo solar sin concentración

Al seguir los principios del moldeo por inyección descritos por Madrigal Guzmán et al., (2013) el reciclaje de plásticos implica alcanzar la temperatura homogénea del polímero antes de moldearlo. Al aplicar este principio a la investigación de la ITRP, las mediciones sin concentración solar alcanzaron un máximo de 45.9 grados Celsius al utilizar energía termo solar. Como punto de partida se determina que se puede apoyar al elemento de calor del sistema en una parte del requerimiento de temperatura, esto asegura que el material reciclado tenga la viscosidad adecuada para ser inyectado en el molde, con el posible aumento de aportes térmicos al integrar ecotecnologías de concentración solar.

Se distinguen entre variables dependientes e independientes para facilitar el diseño de experimentos controlados. Las variables independientes, como las condiciones climáticas o la disponibilidad de recursos, influyen en el proceso de recuperación de plásticos mediante energía termo solar y aunque no pueden ser controladas se deben tener en cuenta. Mientras las variables controlables como la presión, la inclinación del concentrador solar o la temperatura del plástico permiten mantener una mejor consistencia en las pruebas.

Para los parámetros de diseño se proponen dos matrices de variables, las dependientes (ver Tabla 2) y las independientes (ver Tabla 3), para evaluar la integración de un concentrador solar de canal parabólico adaptado en un sistema modificado de prensa de inyección manual.

La matriz de variables dependientes se enfoca en los aspectos medibles del proceso de reciclaje, tales como la granulometría del plástico y otros elementos que pueden ser intervenidos para mejorar la calidad del producto final.

Esta matriz permite establecer métricas claras y evaluables que facilitan el análisis de los resultados y la implementación

Tabla 2. Aspectos medibles del proceso de reciclaje

Variable Dependiente	Modificabilidad	Descripción
Presión	Alta	La presión aplicada durante el proceso de compactación del plástico puede ser ajustada para optimizar la calidad del reciclaje.
Granulación	Alta	El tamaño de las partículas de plástico triturado se puede modificar ajustando el proceso de molienda.
Consumo Eléctrico	Media	El consumo de energía eléctrica puede ser influenciado por el ajuste del tiempo de operación y la eficiencia del sistema.
Tiempo de Trabajo	Alta	La duración del proceso de reciclaje se puede ajustar para optimizar la eficiencia del reciclaje y la calidad del producto final.
Temperatura del Plástico	Alta	La temperatura del plástico durante el reciclaje se puede controlar mediante el ajuste de la energía termosolar capturada y la presión aplicada.
Eficiencia del Prototipo	Alta	La eficiencia del prototipo puede ser ajustada mediante la optimización de las variables controlables como la inclinación del concentrador y las condiciones de operación.
Durabilidad del Plástico Reciclado	Media	La durabilidad del plástico reciclado se puede influir ajustando el proceso de reciclaje, aunque está parcialmente determinada por la calidad del material original.
Tiempo de Enfriamiento	Media	El tiempo de enfriamiento puede ser modificado ajustando las condiciones del proceso, como la velocidad de enfriamiento y la temperatura ambiente.
Homogeneidad del Producto Final	Alta	La homogeneidad del producto final puede ser controlada mediante el ajuste del proceso de reciclaje, incluyendo la granulación y la presión aplicada.
Reducción de Volumen del Plástico	Alta	La reducción de volumen durante el reciclaje puede ser controlada ajustando la presión y la temperatura aplicadas.
Tasa de Producción	Alta	La tasa de producción de plástico reciclado se puede ajustar optimizando el proceso para aumentar la eficiencia.
Costo de Energía	Baja	Aunque se puede intentar optimizar el uso de energía, el costo por unidad de energía puede estar parcialmente fuera de control y sujeto a factores externos.

Fuente. Elaboración propia a partir de Mexpolimeros (2024) y Madrigal Guzmán et al., (2013)

Las variables independientes son de mayor importancia ya que presentan los factores externos que pueden influir en el proceso de recuperación de plásticos para emplear energía termo solar.

Se consideran aspectos como las condiciones climáticas, disponibilidad de recursos y otros elementos que no son controlables directamente, pero pueden ajustarse o preverse para mejorar los resultados del proceso.

Tabla 3. Factores externos que pueden influir en el proceso de reciclaje de plásticos

Variable Independiente	Controlabilidad	Descripción
Tiempo del Día	Parcial	Aunque no se puede modificar directamente, se puede planificar el proceso para que coincida con las horas de mayor radiación solar.
Condiciones Climáticas	No Controlable	Las condiciones meteorológicas, como la nubosidad o la lluvia, no pueden ser modificadas, aunque pueden ser monitoreadas para ajustar el proceso de reciclaje.
Incidencia Solar	Parcial	La incidencia solar depende de la posición del sol y las condiciones climáticas, pero se puede optimizar la orientación del concentrador para maximizarla.
Estaciones Meteorológicas	No Controlable	Las estaciones meteorológicas proporcionan datos sobre el clima, pero las condiciones específicas no pueden ser controladas directamente.
Ángulo del Concentrador	Controlable	El ángulo del concentrador solar es totalmente ajustable para optimizar la captación de radiación solar.
Tamaño del Concentrador	Fijo/Controlable	El tamaño del concentrador es fijo una vez construido, pero es un factor que se puede diseñar o modificar en fases preliminares de desarrollo.
Material del Concentrador	Fijo/Controlable	Similar al tamaño, el material del concentrador es fijo una vez seleccionado, pero es un aspecto que se puede optimizar en el diseño inicial.
Orientación del Concentrador	Controlable	La orientación del concentrador es totalmente ajustable para optimizar la captación de energía solar durante el día.
Tipo de Plástico	Fijo/Controlable	El tipo de plástico a reciclar puede ser seleccionado previamente, pero una vez decidido, no puede modificarse durante el proceso.
Condiciones de Almacenamiento	Controlable	Las condiciones de almacenamiento del plástico reciclado, como la humedad y la temperatura, pueden ser controladas para preservar la calidad del material.
Ángulo de Incidencia Solar	Parcial	Aunque no se puede modificar directamente, el concentrador puede ser ajustado para maximizar la captación de energía basada en el ángulo de incidencia.
Temperatura Ambiente	No Controlable	La temperatura ambiental es un factor externo que no puede ser controlado, pero debe ser considerado en la planificación del proceso.
Humedad Relativa	No Controlable	La humedad relativa es una variable ambiental que no puede ser controlada, pero afecta el proceso y debe ser monitoreada.

Fuente. Elaboración propia a partir de Subsecretaría De Energías Renovables y Eficiencia Energética (2019) y Secretaría de Energía Sustentabilidad Energética and Fondo Sectorial CONACYT, (2018)

Capítulo 5. Conclusiones

Las conclusiones de este proyecto revelan una transformación en la perspectiva técnica inicial hacia el reciclaje de plásticos. Lo que comenzó como una búsqueda de soluciones en torno a la problemática de los plásticos se ha convertido en una crítica al modelo convencional de manejo de estos materiales. Se ha pasado de considerar el reciclaje como una solución completa a reconocer sus falencias sistémicas y su incapacidad para abordar los problemas ambientales.

El modelo actual de producción y consumo de plásticos plantea desafíos para cualquier intento de abordar el problema en su raíz. Las alternativas disponibles aún no son capaces de equilibrar entre la reducción del impacto ambiental con la demanda del mercado. Esta reflexión pone de relieve la complejidad de la economía circular, que no solo se trata del ciclo material, sino también de los múltiples impactos asociados a los procesos involucrados.

Este proyecto, si bien ha logrado cubrir los objetivos propuestos inicialmente, tiene el potencial de extenderse para alcanzar un resultado que se pueda implementar de manera efectiva en la recuperación de plásticos.

El enfoque en el procesamiento mediante energía termo solar ha destacado la necesidad de reflexionar sobre las limitaciones inherentes a esta perspectiva, especialmente en lo que respecta a la alta demanda de producción.

Por ejemplo, el requerimiento de separación de plásticos de manera específica, la contaminación por usos indebidos del material, o el lavado de los plásticos que se encuentren en mal estado, ya sea por un mal manejo al desecharlo o la contaminación en los centros de recolección, son partes que hacen que se requiera mayor esfuerzo para la preparación de los plásticos antes que se puedan volver a transformar.

El proyecto busca posicionarse como una contribución al campo, al reflexionar sobre las suposiciones convencionales y alentar una revisión profunda de nuestras prácticas actuales. Se destaca la necesidad de seguir explorando nuevas formas de abordar el problema de los plásticos desde una perspectiva más holística, que considere no solo los aspectos ambientales, sino también los económicos y sociales.

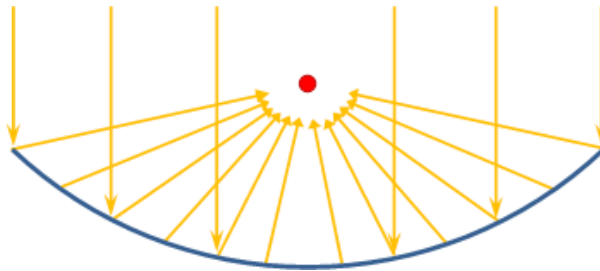
5.1 Alcances y líneas de acción

Como resultado de esta investigación se buscó integrar la información obtenida de las pruebas realizadas con los planteamientos obtenidos de las pautas metodológicas y por medio de eso concluir con una propuesta que sirva de guía.

Antes de pasar a la discusión que se desprendió de la revisión teórica se considera pertinente mostrar el resultado de diseño de esta primera fase. A continuación, se explica cuáles fueron los elementos integrados a nivel funcional en el sistema de ITRP con base en el alcance que tuvo este proyecto.

Lo que se presenta es una fase conceptual que describe la integración del concentrador solar parabólico que busca captar y concentrar la energía solar en un punto focal (ver Gráfico 13). Es mediante este principio que se define dónde y cómo se ubicará el cañón de extrusión del sistema de inyección.

Gráfico 13. Proyección de rayos solares en concentrador de canal parabólico



Fuente. Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química Solar (2015)

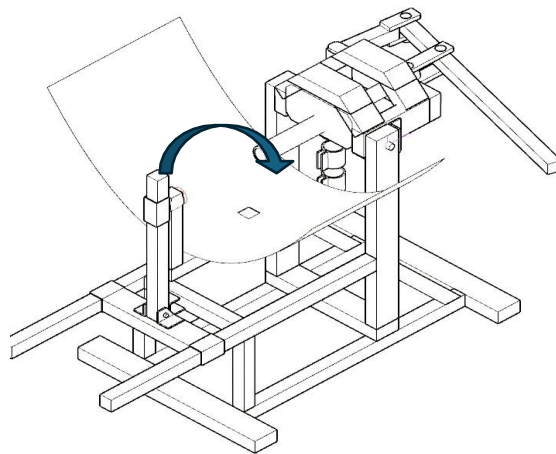
A partir de esto se propone un sistema híbrido, que trabaje con energía eléctrica para mantener un mayor control sobre la temperatura y el proceso de conformación de plástico, con la adecuación para asistir a dicho sistema con calor proveniente del concentrador solar, ajustándose tanto las condiciones externas como el clima. El principio funcional de concentrador parabólico lineal se encuentra fundamentado en la forma en la que se puede aprovechar las características de concentración con respecto al modelo prototipo con el que se trabajó al final de esta investigación.

La propuesta que concluye este trabajo se basa en los hallazgos obtenidos durante la investigación, al integrar las pruebas y reflexiones que surgieron a lo largo del proceso.

Se buscó desarrollar un modelo de diseño que conjuntara los parámetros observados, con el fin de ofrecer una vía que ejemplificara el resultado deseado: la implementación de la Integración Termo solar para la Recuperación de Plásticos (ITRP).

Los siguientes diagramas ilustran el diseño propuesto, para mostrar cómo el concentrador solar se podría integrar de manera funcional con el sistema de inyección manual para facilitar un proceso de reciclaje más eficiente y ecológico. En este gráfico se muestra la posición del sistema para la concentración solar:

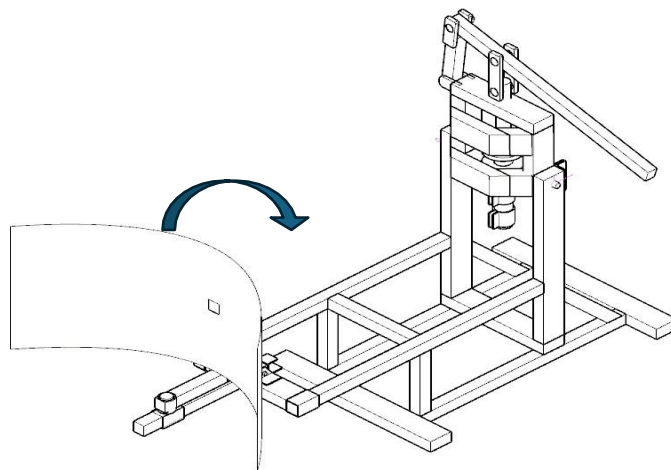
Gráfico 14. Prensa de Inyección con concentrador parabólico, modo concentración solar



Fuente. Elaboración propia

La segunda posición contempla la operación de inyección de plástico:

Gráfico 15. Prensa de Inyección con concentrador parabólico, modo de inyección de plástico



Fuente. Elaboración propia

El funcionamiento del sistema se basa en un mecanismo de rotación que permite ajustar la posición del elemento de calor de la prensa de inyección manual (resistencia térmica) y del concentrador parabólico. Este movimiento facilita el cambio entre dos configuraciones: una posición vertical para la inyección y una posición horizontal para ubicar el cañón de extrusión en la posición horizontal, el concentrador parabólico puede alinearse con la trayectoria solar. Esto permite la recepción de los rayos solares.

Mediante el ajuste del concentrador parabólico, se maximiza la captación de energía solar para asistir en el calentamiento del cañón de extrusión. Aunque el sistema se encuentra en una fase conceptual, integra diversos elementos que permiten su futura implementación y pruebas experimentales. Este diseño puede ser una alternativa sustentable para el reciclaje de plásticos.

Finalmente se acompaña a la propuesta con elementos de evaluación para poder medir que tanta eficiencia se obtiene del sistema en términos de reducción de consumo energético, por lo que se consideran los siguientes indicadores para su medición.

- **Medidores de Energía:** Utiliza medidores de energía de calidad que registren de manera precisa y constante el consumo de energía eléctrica en tiempo real.
- **Monitoreo de Energía Solar:** Tablas de monitoreo de sistemas de energía solar para registrar datos sobre la generación y utilización de energía solar.
- **Comparación del plástico reciclado con energía convencional contra el empleo de energía termo solar:** Realizar proporciones equivalentes en dos casos, el primero con energía convencional y el segundo con la utilización de energía termo solar.
- **Medición del Consumo de Energía:** Instalar medidores de energía en ambas áreas del prototipo (solar y convencional) para registrar el consumo de energía durante un período de tiempo determinado.
- **Medición de Emisiones de Carbono:** Utilizar técnicas de medición de emisiones de gases de efecto invernadero, por medio de la equivalencia, es decir hacer cálculo de la variable del CO₂) producido en el proceso en proporción a la energía empleada o reducida.

5.2 Propuesta de Análisis Comparativo entre el Uso de Energía Termo solar y Energía Convencional en la Implementación del ITRP

A partir de las pruebas realizadas en la fase experimental del proyecto de Integración Termo Solar en la Recuperación de Plásticos (ITRP), se han identificado una serie de parámetros clave que deben medirse para evaluar la viabilidad del sistema. Estos puntos servirán como base para futuras investigaciones enfocadas en el desarrollo del reciclaje de plásticos asistido por energía termo solar. A continuación, se presentan los elementos sugeridos para el análisis comparativo en investigaciones posteriores:

1. **Comparación de Datos:** Se propone realizar un análisis comparativo entre dos grupos. El grupo de control utilizará una prensa convencional sin intervención, mientras que el grupo experimental empleará energía termo solar en el proceso de inyección. Para ampliar el alcance de los resultados, se sugiere registrar el consumo energético en ambos casos, cuantificar el uso de electricidad y traducir los beneficios en términos de reducción de emisiones de carbono. Estos datos facilitarán la identificación de las diferencias entre los sistemas que utilizan energía convencional y aquellos que incorporan energía termo solar.
2. **Evaluación del Impacto:** A partir de los resultados obtenidos, se sugiere analizar el efecto del uso de energía solar en la disminución de la huella de carbono y en la sustentabilidad del proceso de recuperación de plásticos, en contraste con los métodos tradicionales. Es importante tomar en cuenta que las emisiones dentro del escenario de mitigación tienen su origen tanto en las plantas de reciclaje, donde los materiales son separados y recuperados, como en el consumo de electricidad y combustible requerido para su procesamiento y manufactura antes de ser reintegrados al ciclo de vida. Para calcular dichas emisiones, se debe conocer el consumo energético asociado con el procesamiento de materiales, así como el consumo energético en la manufactura de materiales reciclados (Martínez Arroyo et al., 2020).
3. **Escalabilidad de la Producción:** Las pruebas experimentales indican que es factible analizar la implementación del sistema en producciones de pequeña escala. Se propone que se estudie el rendimiento del ITRP de manera progresiva, comenzando con producciones limitadas y aumentando gradualmente la escala, a medida que se evalúan la eficiencia y los posibles desafíos para su implementación en procesos industriales.

5.3 Hacia la transición socio-ecológica: una reflexión final

Las inconsistencias temporales son un desafío crucial en la era actual (Antropoceno), marcada por la huella humana en el medio ambiente. La falta de sincronización entre diferentes temporalidades resalta un conflicto inherente entre el medio ambiente y lo social. Esto puede dificultar la planificación y la respuesta efectiva a los problemas ambientales, en este caso en las prácticas del diseño, ya que las decisiones humanas no siempre consideran el ritmo y la dinámica de los sistemas naturales. Esto sugiere la gestión de estos desajustes como vital para abordar los problemas ambientales contemporáneos.

Percepciones antecesoras a la transición socio-ecológica, conciben al "tiempo del medio ambiente" como homogéneo e inmutable. No obstante, la plasticidad y la variabilidad del ritmo de cambio en los procesos del sistema terrestre sugiere que la naturaleza es dinámica y cambiante. Adam y Urry citados en Ruwet (2021) afirman que la mente tiene hábitos heredados de una visión newtoniana abstracta, absoluta y lineal. Lo cual ha llevado a fenómenos como la desconexión con los procesos biofísicos o la mercantilización del tiempo en el medio ambiente.

Si bien, el desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido una mejor comprensión de las diversas temporalidades de los ecosistemas y los procesos de la Tierra. La identificación de características como la aceleración, la incertidumbre y los puntos de inflexión resalta la complejidad de los procesos biogeoquímicos. De manera que esta variabilidad debe ser considerada para entender cómo funcionan los sistemas de la Tierra y cómo pueden superar límites críticos. Esto indica un cambio necesario en nuestra forma de pensar para comprender mejor las realidades ecológicas y desarrollar nuevos enfoques de diseño.

La propuesta de considerar el tiempo desde una perspectiva del diseño es significativa, ya que sugiere que debemos entender el tiempo en su relación con el medio ambiente, y no como una entidad aislada. Esto puede ayudar a reconciliar las relaciones entre lo social y la naturaleza. Sin embargo, las barreras epistémicas nos llevan a una comprensión parcial que enfatiza ciertos aspectos y excluye otros. En ese sentido, es necesario develar la perpetuación de las relaciones de poder a través de los discursos sobre "el medio ambiente", estrategia recurrente a lo largo de la historia que indica que la forma en que conceptualizamos las prácticas sustentables puede estar cargada de implicaciones políticas y sociales.

Para superar las barreras epistémicas, la transición socio-ecológica invita a profundizar en los mecanismos de producción-consumo-acumulación y su relación con las estrategias de sustentabilidad. El análisis debe incluir tanto la relación de los humanos con el tiempo como las temporalidades específicas de los procesos biofísicos en su conexión con los procesos sociales. El medio ambiente y la sustentabilidad son temporales y multidimensionales; sin una comprensión profunda de esta complejidad, las acciones, políticas ambientales y las prácticas del diseño pueden quedar atrapadas en un ciclo infructuoso.

La naturaleza, el medio ambiente y la sostenibilidad no son meras cuestiones de espacio, sino ámbitos, procesos y conceptos fundamentalmente temporales. Además, su temporalidad dista mucho de ser simple y singular. Es multidimensional, un aspecto múltiple de la existencia terrenal. Sin un conocimiento profundo de esta complejidad temporal, la acción y la política ambiental están destinadas a encallar, incapaces de salir del callejón sin salida espacial que ellas mismas han creado (Traducido de Ruwet, 2023, p. 302).

Bibliografía

- Acosta Fuentes, Isaac, Molina Mata, Sandra Luz, García Parra, Brenda, Sahagún Angulo, Rubén, Ramírez Lozano, Alejandro, 2017. Aproximaciones al ecodiseño. Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Adán, F.S., 2014. Ecodiseño un nuevo concepto en el desarrollo de productos. Universidad de La Rioja.
- Agencia Estatal de Meteorología, s/f. La radiación solar. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RURAL Y MARINO.
- Aguilar Gil, F., 2019. Diseño y evaluación de un concentrador solar parabólico para la producción de hidrógeno. UAM Azcapotzalco, México.
- Altomonte, H., Coviello, M.F., Lutz, W.F., 2003. Energías renovables y eficiencia energética en América Latina y el Caribe: restricciones y perspectivas. Naciones Unidas, CEPAL, Santiago de Chile.
- Álvarez-Lopezello, J., Chávez García, E., 2022. Microplásticos en el Antropoceno: contaminación y efectos en el suelo. Desde el Herbario CICY 212–217.
- Belén, M., Eduardo, L., 2019. De una Economía Lineal a una Circular, en el siglo XXI.
- Brandt, B., Pilz, H., 2011. Impacto de los envases de plástico en el consumo de energía. *Plastics Europe*.
- Cantera K, J.R., Franco-Herrera, A., 2022. Las grandes manchas de plásticos en los océanos. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 46, 567–569. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1709>
- CeMIESol, C.M. de I. en E.S., 2023. datos de radiación solar [WWW Document]. URL <https://rayenari.geofisica.unam.mx/mexico/datsolar.html> (accessed 10.7.24).
- CIEP, C. de Investigación económica y presupuestaria, 2017. Energía solar en México: su potencial y aprovechamiento [WWW Document]. CIEP. URL <https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/> (accessed 9.29.24).
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, C., s/f. Acerca de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible [WWW Document]. URL <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/acerca-la-agenda-2030-desarrollo-sostenible> (accessed 8.5.24).

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2024. Daño y pérdida de biodiversidad [WWW Document]. URL <https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/perdida-biodiversidad> (accessed 9.23.24).
- Cubillos, A., Estenssoro Saavedra, F. (Eds.), 2011. Energía y medio ambiente: una ecuación difícil para América Latina ; los desafíos del crecimiento y desarrollo en el contexto del cambio climático, 1. ed. ed, Colección Idea. Inst. Igualdad Centro de Estudios, Santiago de Chile.
- Denmon, D.E., López Lecube, C.L., Ayala Rojas, D.E., Carlos Báez, J., Elgul, G.N., Silva, M.A., Sánchez Negrette, A., 2014. El desarrollo sustentable en el nordeste argentino, 1st ed. F.A.De.S Edicio-nes, Corrientes, Argentina.
- Ellen MacArthur Foundation, 2024. Introducción a la economía circular [WWW Document]. URL <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/temas/presentacion-economia-circular/vision-general> (accessed 9.28.24).
- European Commission, 2018. Una estrategia europea para el plástico en una economía circular.
- European Environment Agency (EEA), 2023. Energy efficiency [WWW Document]. URL <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/energy-efficiency> (accessed 11.19.23).
- Fernández Durán, R., 2011. El antropoceno: la expansión del capitalismo global choca con la biosfera, 1st ed. Virus, Barcelona.
- Forbes, 2023. México es el segundo mayor emisor de contaminantes de Latinoamérica, según el CAF [WWW Document]. Forbes México. URL <https://www.forbes.com.mx/mexico-segundo-mayor-emisor-contaminantes-latinoamerica-segun-caf/> (accessed 11.17.23).
- Fundación Heinrich Böll, B.F.F.P., 2020. El ATLAS DEL PLÁSTICO.
- Gian Carlo, R.D., 2013. ¿Por qué es importante la ecología política? Nu e v a So c i e d a d.
- Greenpeace, M., 2019. Reciclar no es suficiente, ESTADO DEL RECICLAJE EN MÉXICO. [WWW Document]. URL <https://actua.greenpeace.org.mx/reciclar-no-es-suficiente> (accessed 11.16.23).
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2010. Guía Práctica de la Energía. Consumo Eficiente y Responsable. IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

- Hardman, L., 2021. New Technology to Identify Plastics is Helping to Recycle Ghost Nets [WWW Document]. Plastic Collective. URL <https://www.plasticcollective.co/new-technology-to-identify-marine-plastics/> (accessed 10.18.24).
- International Energy Agency, 2024. Crisis Energética Mundial [WWW Document]. IEA. URL <https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis> (accessed 9.28.24).
- International Energy Agency, 2022. Resumen ejecutivo – World Energy Outlook 2022 – Analysis [WWW Document]. IEA. URL <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022/executive-summary> (accessed 11.12.23).
- IPCC, 2019. El IPCC publica el Informe especial sobre el calentamiento global de 1,5 °C [WWW Document]. Intergovernmental Panel on Climate Change. URL <https://public.wmo.int/es/resources/bulletin/el-ipcc-publica-el-informe-especial-sobre-el-calentamiento-global-de-15-%C2%B0c> (accessed 11.17.23).
- Janssens, V., 2022. Plásticos - Situación en 2022.
- Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar Y Química Solar, S., 2015. Concentración Solar [WWW Document]. <http://www.concentrationsolar.org.mx/>. URL <https://concentrationsolar.org.mx/concentracion-solar> (accessed 9.20.24).
- Leff, E., 2008. Decrecimiento o desconstrucción de la economía: Hacia un mundo sustentable. Polis 7. <https://doi.org/10.4067/S0718-65682008000200005>
- Llamas, P.L., 2009. EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MEDIO AMBIENTE.
- Lorca, M.P., de Alcalá, U., 2018. Población, cambio climático y huella ambiental 9.
- Lugo Chávez, E., Ramos Cortez, S.C., Cid Bouchán, A.K., Quevedo Mancilla, M.V., 2019. RECICLAR, LA FALACIA DE LA INDUSTRIA EN LA LUCHA CONTRA LA CONTAMINACIÓN PLÁSTICA.
- Madrigal Guzmán, J.F., Shastri, R., Arista González, G., Rodríguez Morales, L., 2013. Manual de plásticos para diseñadores, 1st ed. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Martínez Arroyo, A., Nieto Ruiz, J., Octaviano Villasana, C.A., 2020. Metodología para la identificación y cuantificación de acciones de mitigación por el reciclaje de residuos sólidos urbanos. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

- Mexpolimeros, 2024. Termoplásticos [WWW Document]. Polímeros termoplásticos, elastómeros y aditivos. URL <https://www.mexpolimeros.com/etp/termoplásticos.html> (accessed 2.10.24).
- Morin, E., 1994. Introducción al Pensamiento Complejo. Gedisa, Barcelona, España.
- Naciones Unidas, 2023. ¿Qué consecuencias tiene para la salud planetaria y la sostenibilidad una población mundial de más de 8.000 millones de personas? | Naciones Unidas [WWW Document]. United Nations. URL <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/%C2%BFqu%C3%A9-consecuencias-tiene-para-la-salud-planetaria-y-la-sostenibilidad-una-poblaci%C3%B3n> (accessed 9.23.24).
- Naciones Unidas en México, 2023. Informe sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Edición especial [WWW Document]. URL <https://mexico.un.org/es/239254-informe-sobre-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible-2023-edici%C3%B3n-especial> (accessed 11.16.23).
- Noticias ONU, 2021. El plástico, que ya ha atragantado nuestros océanos, terminará por asfixiarnos a todos si no actuamos rápidamente | Noticias ONU [WWW Document]. URL <https://news.un.org/es/story/2021/10/1498752> (accessed 11.2.23).
- OCDE, 2022. La contaminación por plástico crece sin cesar, en tanto que la gestión de residuos y el reciclaje se quedan cortos, dice la OCDE. [WWW Document]. Noticias - OCDE en español. URL <https://www.oecd.org/espanol/noticias/perspectivas-globales-del-plastico.htm> (accessed 11.2.23).
- ONU Medio Ambiente, 2019. Reciclaje de plástico: el sector está listo para un nuevo impulso [WWW Document]. UNEP. URL <http://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/reciclaje-de-plastico-el-sector-esta-listo-para-un-nuevo-impulso> (accessed 11.16.23).
- ONU Medio Ambiente, 2018. EL ESTADO DE LOS PLÁSTICOS: Perspectiva del día mundial del medio ambiente 2018.
- ONU Medio Ambiente, U.N., 2022. Contaminación por plásticos [WWW Document]. UNEP - UN Environment Programme. URL <http://www.unep.org/es/contaminacion-por-plasticos> (accessed 11.17.23).

- Organismo internacional de energía atómica, 2020. La energía nucleoelectrica y la transición a una energía limpia. Boletín del OIEA.
- Ortiz-Pech, R., Burgos-Suárez, L.C., Rivera-de La Rosa, A.R., 2020. Generación, reciclaje y disposición final de los principales residuos en México, 2000-2014. Gest. Ambient. 23. <https://doi.org/10.15446/ga.v23n1.78405>
- Plataforma Mexicana de Carbono [WWW Document], 2019. URL <https://www.mexico2.com.mx/noticia-ma-contenido.php?id=445> (accessed 9.23.24).
- Ramírez, M.E.L., 2019. Ecología política: necesidad de una nueva teoría del poder en América Latina, basada en el poder político de la naturaleza 11.
- Red 2030, 2022. El reciclaje: la clave para reducir el consumo energético. Red 2030. URL <https://red2030.com/el-reciclaje-la-clave-para-reducir-el-consumo-energetico/> (accessed 9.28.24).
- Rodríguez Ponce, Y., Sánchez García, E., Soto Carrión, C., 2022. ENERGÍA VS DESARROLLO SOSTENIBLE: PARADIGMAS AL ACTUAL MODELO ENERGÉTICO. HYW 1, 109–119. <https://doi.org/10.57107/hyw.v1i2.28>
- Rosas-Sánchez, G.A., 2021. Los retos del sector eléctrico mexicano frente a la transición energética internacional. Revista Legislativa de Estudios Sociales y de Opinión Pública 14, 37–65.
- Ruiz Gil, J.A., 2022. El antropoceno. Definición y lecturas básicas. Historia Actual Online 193–208. <https://doi.org/10.36132/hao.v2i58.2201>
- Ruwet, C., 2021. ‘Bringing time back in’. Towards a socio-ecological stratification of time. Environmental Sociology 7, 294–304. <https://doi.org/10.1080/23251042.2021.1910454>
- Sandoval García, E., Ramos Rodríguez, G.G., Correa Torres, A., 2023. Midiendo la economía circular en México 14.
- Santamarina, B., Coca, A., Beltran, Y.O., 2018. ANTROPOLOGÍA AMBIENTAL. Antropología ambiental. indd 3.
- Santiago, A., 2009. LA GLOBALIZACIÓN DEL DETERIORO AMBIENTAL.

- Secretaría de Energía, 2023. Balance Nacional de Energía 2022 (Balance Nacional de Energía 2022). Subsecretaria de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Secretaria de Energía, México.
- Secretaría de Energía, 2021. BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA PRELIMINAR 2020 (Balance Nacional de Energía 2020). Subsecretaria de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Secretaria de Energía, México.
- Secretaría de Energía, 2015. ¿Qué son los hidrocarburos? [WWW Document]. gob.mx. URL <http://www.gob.mx/sener/articulos/que-son-los-hidrocarburos> (accessed 9.23.24).
- Secretaría de Energía Sustentabilidad Energética, Fondo Sectorial CONACYT, 2018. REPORTE DE INTELIGENCIA TECNOLÓGICA ENERGÍA TERMOSOLAR. Instituto Mexicano del Petroleo, México.
- SEMARNAT, S. de M.A. y R.N., 2020. Panorama General de las Tecnologías de Reciclaje de Plásticos en México y en el Mundo.
- Sociedad Nuclear Española (SNE), n.d. tonelada equivalente de petróleo (+) [WWW Document]. sne.es. URL <https://www.sne.es/diccionario-nuclear/tonelada-equivalente-de-petroleo/> (accessed 11.17.23).
- SUBSECRETARIA DE ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA, 2019. ENERGÍA SOLAR CONCENTRADA.
- Tetreault, D., 2004. Una taxonomía Introducción de modelos de desarrollo sustentable. Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad X, 45–77.
- The association of plastic recyclers, 2018. LIFE CYCLE IMPACTS FOR POSTCONSUMER RECYCLED RESINS: PET, HDPE, AND PP.
- Transferencia de Calor, 2022. URL <https://blogceta.zaragoza.unam.mx/tcalor/> (accessed 9.29.24).
- United Nations, 2021. Energías renovables: energías para un futuro más seguro | Naciones Unidas [WWW Document]. United Nations. URL <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy> (accessed 11.17.23).

- United Nations Environment Programme, 2018. Un problema doble: el plástico también emite potentes gases de efecto invernadero [WWW Document]. UNEP. URL <http://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/un-problema-doble-el-plastico-tambien-emite-potentes-gases-de> (accessed 5.13.24).
- Valarezo Ulloa, M.J., Ruiz Virgen, L., 2022. El reciclaje de plásticos, un reto para lograr una economía circular. CEDAMAZ 12. <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v12i2.1265>
- Valladares, O.G., 2017. Aplicaciones térmicas de la energía solar, 1st ed. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Energías Renovables 2017., Ciudad de México.
- Vázquez, A.L., 2014. La energía renovable en México: perspectivas desde el Balance Nacional de Energía 2012. Economía Informa 385, 90–99. [https://doi.org/10.1016/S0185-0849\(14\)70423-2](https://doi.org/10.1016/S0185-0849(14)70423-2)
- Wiatros-Motyka, M., 2023. Global Electricity Review 2023. Global Electricity Review de Ember.
- Yohana De la Peña, Graciela Bordeth, Hugo Campo, Ulfran Murillo, 2018. Energías limpias una oportunidad para salvar el Planeta. IJMSOR 3.
- Zamora, M.E., Huerta, A.H., Maqueo, O.P., Badillo, G.B., 2016. Cambio global: el Antropoceno. Ciencia Ergo Sum 23.
- Zero Waste Europe, Rethink Plastic alliance, 2022. Climate impact of pyrolysis of waste plastic packaging in comparison with reuse and mechanical recycling.

Anexos

Entrevista semiestructurada Dr. Antonio Sánchez Solís del Instituto de Investigación en Materiales de la UNAM (IIM)

La visita se dividió en diferentes áreas de interés, las cuales se componen con base en los objetivos del proyecto.

Preguntas Generales

1. ¿Cuáles son los tipos más comunes de plásticos utilizados en procesos de inyección?

Los procesos de inyección producen artículos para un gran número de aplicaciones, la lista de plásticos es grande, sin embargo, los más comunes son los listados en el SPI (sociedad de industria del plástico)

2. ¿Cómo afecta la temperatura del plástico durante la inyección a la calidad del producto final?

Las resinas plásticas pueden tener diversos comportamientos, existen los termoplásticos que como su nombre indica, pueden reaccionar ante el aumento de temperatura cambiando sus estructuras poliméricas, lo que permite modificarlos en forma para volver a recomponerse una vez llegando a su temperatura normal, esto los diferencia de otro tipo de resinas poliméricas que pueden denominarse como plásticos termofijo, que a diferencia de los primeros estos generan sus enlaces poliméricos después de una reacción llamada catalización por lo que una vez fijados estos no pueden volver a cambiarse a menos que sea por medios químicos.

3. ¿Cuáles son los principales desafíos al trabajar con plástico reciclado en comparación con plástico virgen?

Los termoplásticos van afectados su peso molecular ante cada etapa de fundición, cada que se funde y enfría se generan modificaciones en los enlaces poliméricos que le restan propiedades mecánicas si no se integran aditivos que regeneren el peso molecular del material, esto es lo que ha sido mal entendido por la idea del reciclaje en la que se piensa que el plástico se puede reutilizar una y otra vez sin mayor cuidado, ya que muchas veces se tiene que mantener un porcentaje de plástico virgen para que no se vean afectados los requisitos de la producción de las piezas a fabricar.

Imagen 13. Adecuación para extrusión de plástico en el laboratorio del IIM



Elaboración propia

4. ¿Qué factores considera al seleccionar el tipo de máquina de inyección para un proyecto específico?

Principalmente se considera el volumen de producción que se va a necesitar, es raro utilizar máquinas no automatizadas o de baja escala, ya que por lo general e tienen que fabricar muchas piezas, aunque dependiendo de la aplicación o forma del proyecto se opta por sistemas de inyección, soplado, rotomoldeo, extrusión, etc.

5. ¿Cuáles son los parámetros clave que afectan la velocidad de inyección y cómo impactan en la calidad del producto?

Los parámetros más básicos son la temperatura y la presión, pero en una máquina automatizada se contemplan otros controles, por ejemplo, los moldes también se someten a un precalentado para mejorar la fluidez del plástico, se controlan espreas neumáticas que ayudan al desmolde de las piezas, hay controles de humedad en los sistemas de depósito del material a las tolvas, etc.

Preguntas sobre Plástico Reciclado

6. ¿Cuáles son las diferencias críticas al inyectar plástico reciclado en comparación con plástico virgen?

Nuevamente es una cuestión del peso molecular, lo ideal para realizar pellets de plástico reciclado óptimos para su uso industrialmente es combinar el lote de material triturado con aditivos que

garanticen que no haya una reducción significativa en las propiedades del plástico, para este proceso se mezcla en una extrusora que debe incorporar muy bien el plástico reciclado con los aditivos o en dado caso con material virgen.

Imagen 14. Costales con plástico reciclado en el laboratorio del IIM



Elaboración propia

7. ¿Cómo afecta la calidad y homogeneidad del plástico reciclado a los parámetros de inyección?

Para aplicaciones de alta demanda de calidad no se puede usar el plástico directamente triturado, es necesario hacer el proceso descrito anteriormente, pero si es para algún artículo o producto que no demande una calidad muy grande se puede solamente considera la limpieza del material y evadir la humedad en la mayor medida posible, con el fin de que la pieza obtenida no resulte propensa a fracturarse o con un acabado muy deficiente.

8. ¿Hay consideraciones especiales para el reciclaje de plásticos mixtos en comparación con plásticos de un solo tipo?

Por la composición de los materiales no se deben mezclar, sin embargo, en el caso del HDEP y el PP hay cierta compatibilidad de mezcla, aunque la pieza resultante puede tener diferentes densidades y por consiguiente ser más frágil. A pesar de eso no se recomienda mezclarlos puesto que dificultaría más el proceso en el caso de volverlo a reciclar.

Imagen 15. Extrusora de pellets e inyectora automática del IIM



Elaboración propia

Preguntas Técnicas en el aspecto energético

9. ¿Cuáles son los parámetros críticos de la máquina de inyección que afectan directamente la calidad del producto?

Todos los parámetros se pueden considerar críticos para la producción en una máquina de inyección, aunque en el caso de las prensas manuales que son herramientas más artesanales se debe cuidar que la temperatura sea la correcta y evitar un sobrecalentamiento del plástico que lo degradaría aún más, por otro lado se debe aplicar presión consistentemente y de forma rápida para evitar que el molde no se llene por completo dejando huecos en la pieza final, así que serían temperatura y presión del material hacia el molde.

10. ¿Cómo se ajusta la presión de inyección y cómo afecta al proceso?

Nuevamente este parámetro es muy difícil de controlar en una prensa de inyección manual, para el uso de una máquina industrial se recurre al ajuste del pistón hidráulico o neumático según sea el caso, tomando en cuenta la densidad del plástico a utilizar y los aditivos que se empleen para mejorar la fluidez.

11. ¿Qué elemento consume mayor energía en un sistema de inyección de plástico?

Tanto los motores que alimentan los sistemas hidráulicos, o de movimiento como las resistencias térmicas tienen un consumo elevado para el uso industrial, en el caso de equipos manuales el consumo energético puede provenir solamente de las resistencias térmicas.

Imagen 16. Extrusora de doble husillo, una de las máquinas de mayor consumo energético



Elaboración propia