

TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO EN PRODUCTOS DE VALOR: DISEÑO DE UNA EXTRUSORA PARA PROMOVER LA ECONOMÍA CIRCULAR EN RIOHACHA



SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

ISSN 2619 - 2896

02

TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO EN PRODUCTOS DE VALOR: DISEÑO DE UNA EXTRUSORA PARA PROMOVER LA ECONOMÍA CIRCULAR EN RIOHACHA.

TRANSFORMATION OF RECYCLED PLASTIC INTO VALUABLE PRODUCTS: DESIGN OF AN EXTRUDER TO PROMOTE THE CIRCULAR ECONOMY IN RIOHACHA

Fainer Cerpa Olivera, Dilan Charris Miranda, Adalberto López Gómez

Magister en Ingeniería Mecánica; Ingeniero Mecánico; Especialista en mantenimiento.

RESUMEN

Este artículo presenta el diseño e implementación de una extrusora de bajo costo orientada a transformar residuos plásticos en productos de alto valor en Riohacha, fomentando la economía circular. Se identificaron y procesaron polímeros como PET, HDPE, LDPE y PP, permitiendo la producción de ladrillos, perfiles y mobiliario urbano, alineados con la demanda del mercado local. La metodología incluyó el uso de herramientas CAD para el modelado 3D y simulaciones CAE para validar la integridad estructural del equipo. Los resultados confirman la viabilidad técnica y económica del proyecto, contribuyendo a la reducción de residuos plásticos y generando oportunidades laborales para los recicladores de oficio. La propuesta se alinea con las políticas ambientales colombianas, consolidando un modelo de gestión sostenible en la región.

Palabras claves: extrusión, plástico reciclado, economía circular, recicladores, Riohacha

ABSTRACT

This article presents the design and implementation of a low-cost extruder aimed at transforming plastic waste into high-value

products in Riohacha, promoting the circular economy. Polymers such as PET, HDPE, LDPE, and PP were identified and processed, enabling the production of bricks, profiles, and urban furniture to meet local market demand. The methodology involved the use of CAD tools for 3D modeling and CAE simulations to validate the structural integrity of the equipment. The results confirm the technical and economic feasibility of the project, contributing to the reduction of plastic waste and creating job opportunities for informal recyclers. The proposal aligns with Colombia's environmental policies, establishing a sustainable management model for the region.

Keywords: extrusion, recycled plastic, circular economy, recyclers, Riohacha..

INTRODUCCIÓN

El crecimiento desmedido de los residuos plásticos constituye uno de los mayores desafíos ambientales contemporáneos, afectando tanto ecosistemas terrestres como acuáticos y comprometiendo la salud pública. Las ciudades costeras como Riohacha enfrentan esta crisis de manera más acentuada, debido a la falta de infraestructura adecuada para la gestión de residuos sólidos y la proximidad al mar, lo que facilita la contaminación marina. La clausura del bo-

tadero municipal en 2022 agravó la situación, llevando a la acumulación de basura en calles y espacios públicos, con graves consecuencias sanitarias y ambientales (El Espectador, 2022; Diario del Norte, 2023).

Uno de los aspectos más críticos es la proliferación de plásticos de un solo uso, diseñados para ciclos de vida cortos, pero con un impacto ambiental duradero. En respuesta, Colombia ha implementado la Ley 2232 de 2022 y la Resolución 0803 de 2024, orientadas a la eliminación progresiva de 21 productos plásticos de un solo uso para el año 2030 (MinAmbiente, 2024a). Estas regulaciones se alinean con la adopción de la economía circular, promoviendo que los plásticos sean reciclables o reutilizables y fomentando la participación de los recicladores de oficio en el proceso productivo (MinAmbiente, 2024b).

En Riohacha, algunas iniciativas innovadoras ya están en marcha, como la fabricación de ladrillos plásticos y mobiliario urbano a partir de residuos reciclados, liderada por asociaciones locales (El Informador, 2023). Sin embargo, estos esfuerzos son insuficientes para cubrir la creciente demanda de productos sostenibles. En 2023, la Asociación de Recicladores Unidos de Riohacha (RECIUNIDOS) recolectó 1.720 toneladas de materiales reciclables, pero la falta de pagos oportunos de tarifas de aprovechamiento y la limitada infraestructura técnica siguen siendo obstáculos significativos (RECIUNIDOS, 2023).

Este artículo propone el diseño e implementación de una extrusora de bajo costo que permita transformar residuos plásticos en productos de alto valor. Esta solución no solo complementa los esfuerzos existentes, sino que también fortalece la economía circular en la región, integrando a los recicladores en la cadena de valor y generando oportunidades económicas para el mercado local. Además, se alinea con las políticas ambientales nacionales, contribuyendo a la

reducción de residuos y posicionando a Riohacha como un referente en sostenibilidad (MinAmbiente, 2024a). Esta propuesta busca así no solo mitigar el impacto ambiental de los residuos plásticos, sino también impulsar el desarrollo económico y social del distrito.

DESARROLLO

¿Qué es el plástico?
Originalmente llamados polímeros, los plásticos son materiales artificiales o sintéticos y derivado del petróleo, caracterizado por maleabilidad que le permite adaptarse a diversas formas. Los polímeros están formados por largas cadenas moleculares de grandes tamaños compuestas a su vez por unidades repetidas de carbono que reciben el nombre de monómeros (ilustración 2), algunos ejemplos son el polipropileno, cloruro de vinilo, el etileno y el estireno.

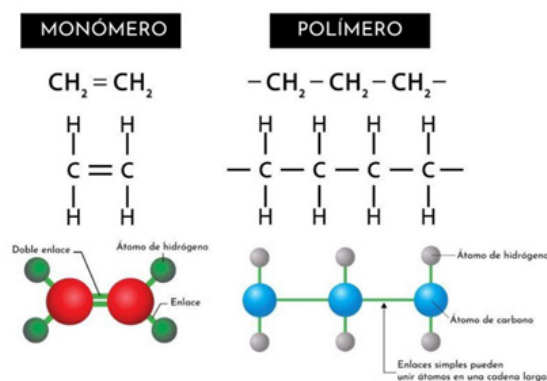
Tabla 1.
Clasificación de polímeros

Categoría	Definición	Carasterística
Termo-plásticos (TP)	Este material es sólido a temperatura ambiente con la capacidad de volverse liquido viscoso al aplicar temperatura a unos cientos de grado, con gran capacidad de moldeo y puede soportar varios ciclos de calentamiento y enfriamiento.	• Soluble en algunos disolventes orgánicos. • Buenas propiedades mecánicas y químicas. • Fácilmente moldeable. • Aislante térmico y eléctrico. • Reusable.

Termofijos (Termoestables) (TS)	A diferencia de los termoplásticos, estos no toleran varios ciclos de calentamientos. Inicialmente son maleables y moldeables, pero al calentarse a altas temperatura sufre una reacción química que se puede resumir en una degradación térmica de la materia y carbonizándose si se vuelve a calentar.	• Moldeo irreversible. • Resistencia térmica alta. • Alta dureza y rigidez. • Resistencia química • Buen aislante eléctrico. • Poco reusable.
Elastómeros (E)	En algunas ocasiones se les relaciona con los termofijos. Son polímeros de origen vegetal que tienen la cualidad de alargarse hasta 10 veces su tamaño y lograr retomar su forma original. Se le relaciona con los termofijos debido a que presenta una estructura molecular a estos mismos.	• Alta elasticidad y deformación reversible. • Estructura reticular. • Son amorfos y de baja temperatura de transición vítrea.

Ilustración 1.

Clasificación de polímeros



Nota: La ilustración izquierda representa la unión de dos monómeros, mientras que la ilustración de la derecha representa la unión de varios monómeros para formar un polímero. Fuente Bolívar, 2022

Extrusión de Plásticos: Definición y Aplicaciones

La extrusión es un proceso de manufactura en el cual un material, generalmente en forma de pellets o escamas plásticas, es calentado y empujado a través de una boquilla o dado para darle una forma continua y específica. Este proceso se utiliza ampliamente para producir productos como tuberías, perfiles estructurales, láminas, y componentes industriales. La extrusión ofrece la ventaja de crear productos con secciones transversales constantes de manera eficiente y a bajo costo (Schmid & Kalpakjian, 2014). Este método es particularmente relevante en iniciativas de reciclaje de plásticos, ya que permite reutilizar residuos para fabricar artículos útiles para la construcción y otros sectores económicos. En el contexto de Riohacha, la extrusión se presenta como una solución práctica para transformar los residuos plásticos en productos de valor, fomentando la economía circular y reduciendo el impacto ambiental.

Economía Circular

La economía circular es un modelo económico que busca maximizar el aprove-

chamamiento de los recursos minimizando la generación de residuos y fomentando su reutilización. En contraste con el modelo lineal de "producir, consumir y desechar", la economía circular promueve el diseño de productos que puedan ser reciclados o reutilizados al final de su vida útil. Este enfoque es especialmente relevante en la gestión de residuos plásticos, donde se busca transformar los desechos en productos de valor agregado, como mobiliario, ladrillos plásticos y elementos agropecuarios (WWF, 2024).

En Colombia, la adopción de la economía circular se ha incentivado mediante la Ley 2232 de 2022 y la Resolución 0803 de 2024, las cuales buscan la eliminación progresiva de los plásticos de un solo uso y fomentan la creación de materiales reutilizables (MinAmbiente, 2024a). Este marco normativo destaca la participación de recicladores de oficio como actores fundamentales en la cadena de reciclaje, promoviendo su integración en la economía formal (MinAmbiente, 2024b).

Normativa y Políticas Ambientales

El marco normativo colombiano, encabezado por la Ley 2232 de 2022, busca reducir gradualmente el uso de plásticos de un solo uso mediante regulaciones específicas que fomentan la creación de productos reciclados y la reutilización de materiales (MinAmbiente, 2024a). La normativa destaca también la importancia de la responsabilidad extendida del productor, que obliga a las empresas a gestionar los residuos generados por sus productos y promover soluciones sostenibles (MinAmbiente, 2024b). Estas políticas son esenciales para respaldar iniciativas en la ciudad de Riohacha, donde la economía circular no solo reduce la contaminación, sino que también genera empleo y fortalece la infraestructura local de reciclaje.

MÉTODOS

Metodología

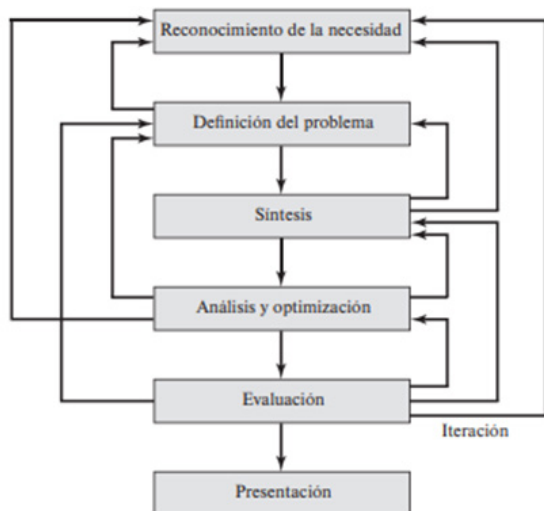
La metodología empleada para el diseño de la extrusora de plástico sigue el enfoque propuesto en el libro *Diseño en Ingeniería Mecánica* de Shigley, 10ª edición (Shigley, 2019), el cual se centra en el proceso estructurado de diseño de máquinas, orientado a obtener un producto funcional y práctico. Este marco metodológico se articula con el enfoque de ingeniería del diseño propuesto por (Elisava, 2023)), que aboga por la identificación y comprensión detallada de una necesidad o problema, seguido de la generación y evaluación de conceptos, con el fin de mejorar las soluciones propuestas y presentar un diseño final optimizado.

Fase de Investigación y Revisión Bibliográfica

La primera fase del proceso de diseño implicó una exhaustiva revisión bibliográfica y webgráfica para comprender en profundidad las características funcionales y técnicas de las extrusoras de plástico. Se consultaron libros, artículos científicos, tesis y fuentes web relevantes. Esta revisión permitió identificar los principios clave de operación de la extrusora, las diferentes técnicas de extrusión y los parámetros críticos que influyen en su diseño. La comparación de diferentes diseños previos ayudó a delinear los requerimientos fundamentales y a establecer un marco de referencia robusto para el desarrollo de nuestro modelo.

Ilustración 2.

Fase del proceso de diseño.



Fuente: Diseño En Ingeniería Mecánica De Shigley-10ed, 2019.

Análisis de requisitos

El análisis de requisitos técnicos es esencial para definir el desempeño esperado de la extrusora. En esta fase, se realizó un análisis de estudios previos sobre el proceso de extrusión, las diferentes tipologías de máquinas extrusoras y sus componentes clave. Se evaluaron en profundidad los sistemas de control, mecanismos de calentamiento, etapas del proceso de extrusión, y los parámetros operativos críticos, como las dimensiones del husillo, la capacidad de producción y los sistemas de enfriamiento. Este análisis permitió especificar de manera precisa los requisitos que debía cumplir el diseño final, asegurando un funcionamiento óptimo y eficiente de la extrusora.

Proceso de diseño

El proceso de diseño siguió una aproximación iterativa, iniciando con lo que podría denominarse un diseño descriptivo, basado en descripciones detalladas de la funcionalidad y estructura de la máquina. Se partió de la recopilación de fichas técnicas, manuales y recomendaciones de fabricantes, que sirvieron para definir los parámetros

iniciales, tales como las dimensiones del husillo y del cilindro, elementos clave que determinan la capacidad de producción, potencia requerida y eficiencia energética de la extrusora.

Posteriormente, se realizaron los cálculos necesarios para definir las características técnicas del diseño. Estos cálculos se realizaron manualmente en primera instancia, seguidos de simulaciones y ajustes mediante herramientas como Excel, lo que permitió explorar diferentes configuraciones y optimizar las variables clave. Finalmente, se utilizó SolidWorks para modelar en 3D el diseño de la extrusora, lo cual facilitó la validación de los cálculos y permitió ajustar detalles de diseño, como la selección de materiales y el dimensionamiento de componentes críticos.

Simulación

Una vez finalizado el modelado 3D en SolidWorks, se utilizó la herramienta Simulation para llevar a cabo análisis estáticos, aplicando el método de elementos finitos. Estas simulaciones fueron fundamentales para garantizar la integridad estructural y funcional de la extrusora bajo condiciones operativas reales. El análisis estático permitió evaluar la resistencia de los materiales seleccionados y los esfuerzos a los que estarían sometidos, especialmente el extrusor que es el elemento al cual va estar sometido a más cargas.

RESULTADOS

La extrusora diseñada para transformar plástico reciclado en productos de valor en Riohacha demuestra viabilidad técnica y económica. A continuación, se presentan los resultados más relevantes obtenidos del proceso de diseño, simulación y estimación de producción, destacando su capacidad para integrarse a la economía circular de la región. Este análisis también resalta cómo la

máquina contribuye a solucionar la problemática de residuos plásticos en el municipio.

Capacidad de Producción por Polímero

Los cálculos estiman una capacidad de procesamiento diferenciada según el tipo de polímero, asegurando la versatilidad del equipo para fabricar diversos productos útiles como ladrillos plásticos, perfiles y mobiliario urbano. Estos resultados reflejan la capacidad del equipo para satisfacer las demandas del mercado local, maximizando el aprovechamiento de residuos plásticos que actualmente carecen de un destino adecuado.

Rendimiento Energético y Control Térmico

El rendimiento energético es un aspecto clave para garantizar la eficiencia del proceso. Los resultados de simulaciones y cálculos térmicos revelan el siguiente consumo:

- Consumo eléctrico total: 9 kW.
- Potencia térmica requerida:
- PET: 4,3 kW.
- HDPE, LDPE: 2 kW.
- PP: 2,5 kW.

Tabla 2.
Producción de polímeros por unidad de tiempo

Polímero	Producción (kg/h)	Productos Potenciales
PET	39	Botellas recicladas, souvenirs
HDPE	27	Tuberías, contenedores
PVC	41	Postes, cercas
LDPE	26	Películas, envolturas agrícolas
PP	26	Mobiliario urbano, tapas

Las tres zonas de calentamiento distribuidas a lo largo del husillo aseguran que los polímeros se fundan de manera uniforme, evitando defectos en el producto final. El control preciso de la temperatura también minimiza el desperdicio de material durante la producción, alineándose con los principios de la economía circular.

Simulación Mecánica del Husillo

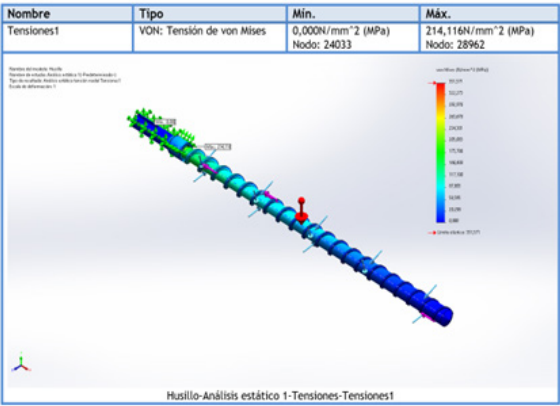
El diseño del husillo fue validado mediante simulaciones de elementos finitos (FEA) en SolidWorks, asegurando su integridad estructural bajo las condiciones operativas esperadas.

- Esfuerzo máximo: 214,116 MPa (criterio de Von Mises).
- Factor de seguridad: 2.3.
- El análisis confirma que el husillo soportará las cargas mecánicas sin sufrir deformaciones permanentes ni fatiga estructural, garantizando la durabilidad del equipo y la continuidad del proceso productivo.

Impacto Económico y Sostenibilidad

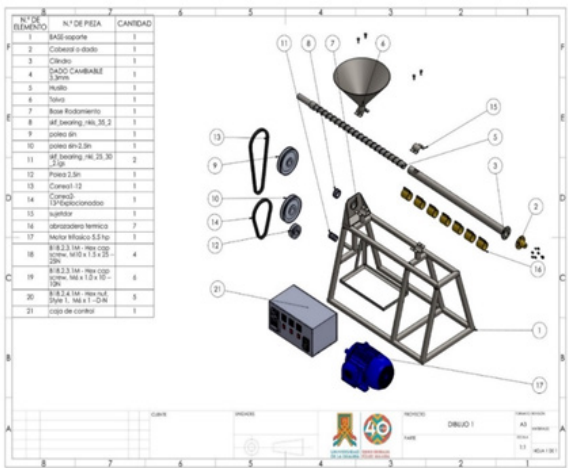
El diseño eficiente de la extrusora permite no solo reducir los costos operativos, sino también generar productos competitivos para el mercado local. Esta iniciativa también facilita la integración de recicladores de oficio, quienes podrán transformar residuos en bienes con valor agregado, contribuyendo a la sostenibilidad económica y social de Riohacha. La producción de ladrillos plásticos y cercas agropecuarias, entre otros, complementa las iniciativas en marcha en la ciudad, ampliando el espectro de productos reciclados.

Ilustración 3.
Análisis de esfuerzo en husillo.



Fuente: Análisis desarrollado en SolidWorks 2022

Ilustración 4.
Vista explosionada del maquina extrusora



Fuente: SolidWorks 2022

Impacto Económico y Sostenibilidad

El diseño eficiente de la extrusora permite no solo reducir los costos operativos, sino también generar productos competitivos para el mercado local. Esta iniciativa también facilita la integración de recicladores de oficio, quienes podrán transformar residuos en bienes con valor agregado, contribuyendo a la sostenibilidad económica y social de Riohacha. La producción de ladrillos plásticos y cercas agropecuarias, entre otros, complementa las iniciativas en mar-

cha en la ciudad, ampliando el espectro de productos reciclados.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del diseño y simulación de la extrusora muestran que es posible transformar residuos plásticos en productos de alto valor como ladrillos, perfiles y mobiliario urbano, alineándose con los principios de la economía circular. El análisis de producción por polímero demuestra la capacidad de la extrusora para procesar diferentes tipos de plásticos (PET, HDPE, LDPE, PP), lo que amplía el espectro de productos potenciales para el mercado local en Riohacha. Estos resultados respaldan los postulados de la economía circular, que promueve el reaprovechamiento de recursos para minimizar la generación de residuos (WWF, 2024).

En comparación con las iniciativas ya existentes en la ciudad, como la fabricación de ladrillos plásticos por asociaciones de recicladores, la extrusora diseñada aumenta la capacidad de producción y diversifica la gama de productos reciclados disponibles (El Informador, 2023). Esto representa una mejora significativa en términos de escalabilidad y eficiencia del proceso, respondiendo a la necesidad de optimizar la gestión de residuos sólidos en Riohacha, una ciudad afectada por el mal manejo de los desechos y la acumulación de basura en espacios públicos (Diario del Norte, 2023).

Desde un punto de vista técnico, las simulaciones realizadas validan la viabilidad del diseño. La evaluación mecánica del husillo confirmó que este puede soportar las cargas operativas sin sufrir deformaciones, asegurando la durabilidad del equipo. Asimismo, el control térmico preciso minimiza el desperdicio de material y garantiza la calidad del producto final, aspectos esenciales en la producción eficiente de bienes reciclados. Este rendimiento técnico complementa la normatividad colombiana en la

reducción del plástico de un solo uso, que fomenta la reutilización de materiales reciclables (MinAmbiente, 2024a).

Sin embargo, el éxito de esta iniciativa dependerá de superar ciertos desafíos. La integración efectiva de los recicladores de oficio es clave para asegurar la continuidad del flujo de material reciclado, lo cual exige fortalecer la infraestructura y los incentivos económicos. La educación y sensibilización de la ciudadanía en la separación de residuos también será fundamental para optimizar la cadena de reciclaje. En ese sentido, el proyecto ofrece una plataforma para consolidar un modelo de desarrollo sostenible en la región.

CONCLUSIÓN

Este estudio presenta el diseño y la validación de una extrusora de bajo costo capaz de transformar diversos tipos de plástico reciclado en productos de valor, promoviendo la economía circular en Riohacha. La extrusora permite procesar polímeros como PET, HDPE, LDPE y PP, ampliando las posibilidades de producción hacia bienes útiles para la construcción, la agricultura y el mobiliario urbano. Los resultados técnicos confirman la viabilidad del proyecto, destacando el rendimiento eficiente del equipo tanto en términos mecánicos como energéticos.

El proyecto responde directamente a los objetivos planteados en la introducción, al abordar de manera integral la gestión de residuos plásticos mediante la creación de productos sostenibles. Además, complementa las iniciativas locales en marcha, como la producción de ladrillos plásticos, y se alinea con las políticas ambientales colombianas que buscan la eliminación gradual de los plásticos de un solo uso (MinAmbiente, 2024a).

El desarrollo de esta extrusora no solo contribuirá a la reducción de residuos plásticos en Riohacha, sino que también fomentará la

generación de empleo mediante la inclusión de los recicladores de oficio en la economía formal. La implementación del proyecto posicionará a Riohacha como un referente en la adopción de prácticas sostenibles y en la consolidación de un modelo de economía circular que pueda replicarse en otras regiones del país. De este modo, la iniciativa se convierte en una solución integral, tanto para mitigar el impacto ambiental de los residuos como para generar beneficios económicos y sociales a largo plazo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Diario del Norte. (2023). Crisis ambiental por cierre del botadero de Riohacha. Diario del Norte. <https://www.diario-delnorte.net>
- El Espectador. (2022). Cierre de botadero municipal agrava crisis de residuos en Riohacha. El Espectador. <https://www.elespectador.com>
- El Informador. (2023). Iniciativas de reciclaje en Riohacha: ladrillos plásticos y mobiliario urbano. El Informador. <https://www.elinformador.com.co>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). (2024a). Ley 2232 de 2022: Eliminación progresiva de plásticos de un solo uso. <https://www.minambiente.gov.co>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). (2024b). Resolución 0803 de 2024: Gestión integral de residuos plásticos y participación de recicladores. <https://www.minambiente.gov.co>
- RECIUNIDOS. (2023). Informe anual de recolección de materiales reciclables en Riohacha. Asociación de Recicladores Unidos de Riohacha.

Schmid, S. R., & Kalpakjian, S. (2014). Manufacturing processes for engineering materials (6th ed.). Pearson.

Shigley, J. E., Mischke, C. R., & Budynas, R. G. (2019). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (10.ª ed.). McGraw-Hill Education.

WWF. (2024). Economía circular y gestión de residuos plásticos. Fondo Mundial para la Naturaleza. <https://www.wwf.org>