

¿Puede la inteligencia artificial ayudarnos a combatir el plástico en los océanos?

Eduardo Sánchez-Ramírez¹, Brenda Huerta-Rosas¹,
Maricruz Juárez-García¹, Juan Gabriel Segovia-Hernández¹

¹Universidad de Guanajuato | Noria Alta s/n, Guanajuato 36050,
México.

Palabras clave: *Inteligencia Artificial, Sostenibilidad, Innovación*

INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores retos en la actualidad es la contaminación por plástico en los océanos que implica impactos severos en la biodiversidad marina (Ning et al., 2024). En cuanto a la magnitud del problema, las cifras son alarmantes. Se estima que alrededor del 80% de la basura marina a nivel mundial está compuesta por plásticos (Thushari & Senevirathna, 2020). Se calcula que entre 8 y 10 millones de toneladas métricas de plástico terminan en los océanos cada año y que al menos 800 especies marinas han sido afectadas por estos desechos a través de la ingestión o el enredo. La avalancha de desechos flotantes se acumula en gigantescas “sopas de plástico” oceánicas, como la gran mancha del Pacífico, y alcanza incluso las regiones más remotas del planeta. Modelos globales estiman que actualmente flotan en los mares trillones de fragmentos de plástico de todos los tamaños (Eriksen et al., 2014), y la tendencia va en aumento. El panorama en México no es ajeno a esta problemática. En 2015, Norteamérica generó 29 millones de toneladas de desechos plásticos, y se proyecta que para 2060 México por sí solo producirá más de 4.5 millones de toneladas anuales de residuos plásticos. (Griffin et al., 2022). Debido a la gestión inadecuada, una fracción de esos residuos acaba en ríos y océanos.

Frente a la magnitud del desafío surge un campo de innovación prometedor: el uso de la inteligencia artificial (IA) para combatir la contaminación por plásticos en los océanos. En años recientes, nuevas tecnologías han empezado a contribuir en la lucha contra la contaminación plástica marina. En el área de la inteligencia artificial, por ejemplo, se están desarrollando sistemas de monitoreo basados que, apoyados con imágenes satelitales, cámaras y drones, permiten detectar y mapear residuos plásticos en

océanos y costas de forma cada vez más eficiente (Ribotti et al., 2024). Estas herramientas pueden identificar acumulaciones de basura flotante o restos en playas, facilitando la localización de “puntos críticos” de contaminación para su limpieza oportuna. ¿Puede la tecnología ser aliada en esta batalla? El presente artículo tiene como objetivo analizar cómo la inteligencia artificial, en particular, puede contribuir a la detección y mitigación de la contaminación por plástico en los ambientes marinos, evaluando el alcance de estas herramientas emergentes y su potencial como aliadas en la protección de nuestros océanos.

SOLUCIONES AMBIENTALES IMPULSADAS POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial (IA) es un campo de la informática enfocado en crear sistemas capaces de realizar tareas que normalmente requieren la inteligencia

humana, como aprender de la experiencia, reconocer patrones o tomar decisiones. Una de las grandes fortalezas de la IA es su capacidad para analizar enormes cantidades de datos y encontrar en ellos patrones complejos que a los humanos nos tomaría demasiado tiempo descubrir. Los sistemas de IA pueden procesar datos masivos o macrodatos (lo que suele llamarse *Big Data*) de forma rápida, extrayendo información útil y revelando relaciones sutiles. En el área ambiental, la IA ya está teniendo un impacto notable al permitir nuevas formas de monitorear y proteger los ecosistemas. A continuación, se describen algunas aplicaciones ambientales destacadas de la inteligencia artificial (Figura 1):

- Detección de residuos plásticos en océanos: Mediante técnicas de visión por computadora, la IA puede identificar basura plástica flotando en el mar a partir de imágenes satelitales. Una herramienta útil en esta tarea son las redes neuronales artificiales, que son sistemas de procesamiento

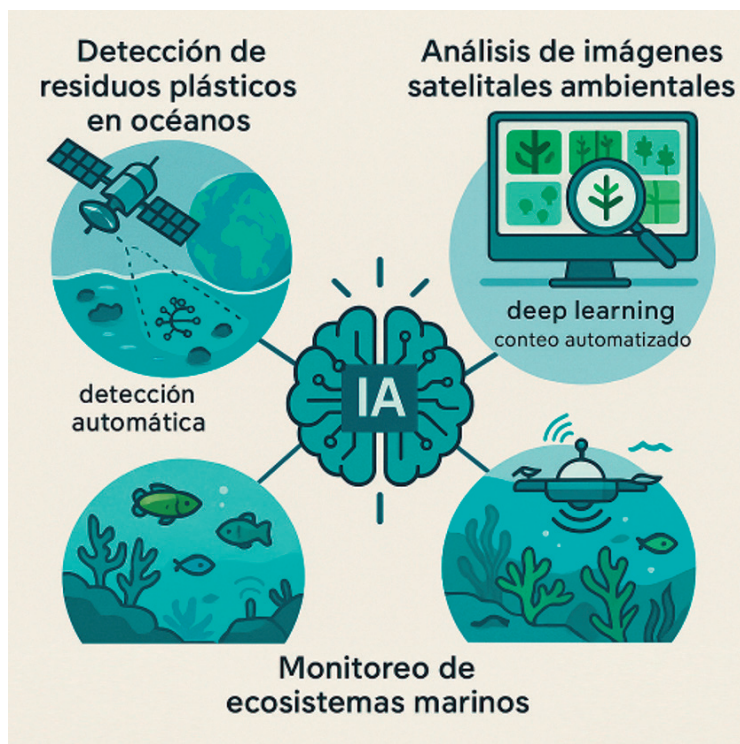


Figura 1. Aplicaciones de la inteligencia artificial en el monitoreo y protección ambiental. *Imagen de autoría propia diseñada con ayuda de IA

que imitan la forma en que el cerebro humano procesa información para aprender, predecir y resolver problemas. Por ejemplo, en un estudio se entrenó una red neuronal profunda para analizar automáticamente imágenes del satélite Sentinel-2 (una misión de observación de la tierra que proporciona imágenes de alta resolución multispectrales de la superficie terrestre) que suman varios terabytes de datos para detectar acumulaciones de desechos marinos. El modelo aprendió a reconocer plásticos flotantes a partir de miles de ejemplos proporcionados por expertos, logrando localizar “islas” de basura en el océano con alta precisión. Esta automatización significa que se pueden vigilar extensas zonas costeras casi en tiempo real, algo impracticable manualmente, facilitando la limpieza y gestión de residuos en mares y playas (Rußwurm et al., 2023).

En este sentido la IA potencia el uso de teledetección para estudiar el medio ambiente desde el espacio. Un algoritmo de *deep learning*, un tipo de aprendizaje automático conocido así por utilizar redes neuronales multicapa, puede recorrer millones de imágenes satelitales en busca de cambios sutiles en la superficie terrestre o el océano. Por ejemplo, se ha conseguido contar árboles uno por uno en imágenes de satélite: un modelo identificó *1,800 millones de árboles* individuales en un área de 1.3 millones de km², mapeando la cobertura vegetal con gran detalle (Ditria et al., 2022).

- **Monitoreo de ecosistemas marinos:** La inteligencia artificial está revolucionando cómo se observan los océanos. Gracias a sensores autónomos, cámaras submarinas, vehículos no tripulados (*drones*) y boyas inteligentes, es posible recolectar datos continuos del ambiente marino (imágenes, sonidos, parámetros fisicoquímicos) y luego analizarlos con IA. Esto permite rastrear la salud de arrecifes de coral, estimar poblaciones de peces o mamíferos marinos, e incluso detectar especies invasoras o señales de sobrepesca de forma automática. (Ditria et al., 2022).

Así, la inteligencia artificial ofrece herramientas poderosas para la comunidad científica y gestora del medio ambiente. Sus capacidades de procesamiento y aprendizaje permiten abordar problemas ambientales con un nivel de detalle y escala antes imposible:

desde vigilar océanos, bosques y especies en peligro, hasta optimizar modelos climáticos y sistemas de alerta temprana.

IA EN ACCIÓN: DETECCIÓN DE BASURA MARINA

Esta sección explora tres de las aplicaciones más prometedoras: el uso de drones, imágenes satelitales y redes neuronales profundas para enfrentar la creciente acumulación de plásticos en los océanos (Figura 2).

Drones con visión artificial para identificar basura flotante

Los drones, o vehículos aéreos no tripulados, se han convertido en aliados valiosos para vigilar zonas costeras y marinas. Equipados con cámaras de alta resolución y sensores multispectrales, estos dispositivos pueden sobrevolar áreas extensas y capturar imágenes que luego son analizadas mediante **algoritmos de visión por computadora**. La IA permite procesar estas imágenes para **detectar objetos plásticos en playas, riberas y aguas superficiales**, diferenciándolos del entorno natural. Por ejemplo, (Maharjan et al., 2022) desarrollaron un sistema basado en aprendizaje profundo que analiza imágenes captadas por drones para localizar residuos plásticos en entornos costeros con una precisión del 92%. Esta capacidad es fundamental para optimizar las labores de limpieza y para la planificación ambiental en zonas vulnerables. Además, tecnologías como el proyecto **WasteShark**, un dron acuático autónomo, han demostrado que también es posible recolectar residuos flotantes de forma automatizada en cuerpos de agua urbanos y marinos, combinando navegación inteligente y detección de objetos por IA (Hölzle et al., 2022).

Satélites y modelos predictivos para rastrear plásticos en movimiento

A escala global, el seguimiento de desechos plásticos en el océano abierto plantea un gran desafío. Gracias a datos ópticos y multispectrales de satélites como

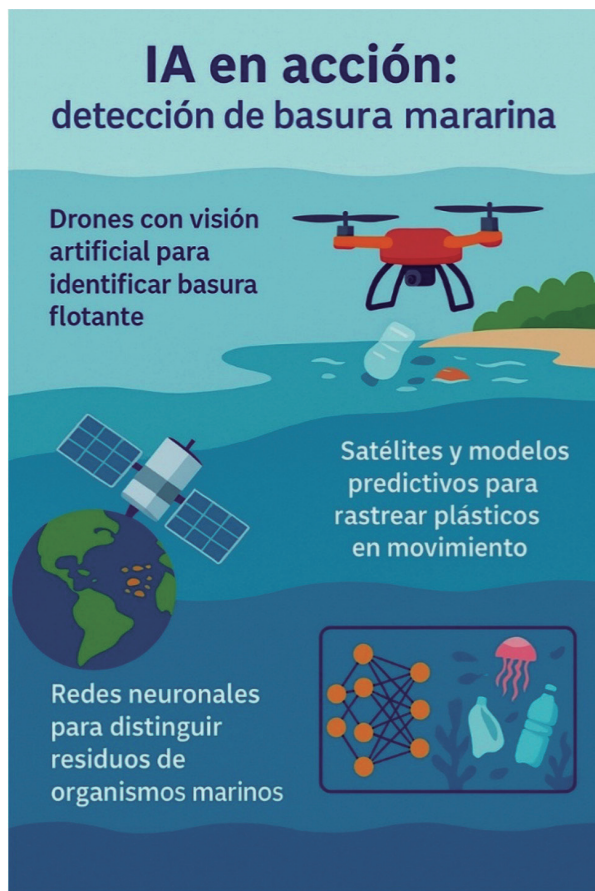


Figura 2. Aplicaciones de la inteligencia artificial para la detección automatizada de residuos plásticos marinos mediante drones, satélites y redes neuronales. *Imagen de autoría propia diseñada con ayuda de IA

Sentinel-2 (misión Copernicus de la Agencia Espacial Europea), ahora es posible detectar **manchas flotantes de basura marina** en alta mar, sobre todo en zonas de acumulación como giros oceánicos. Un estudio reciente de (Rußwurm et al., 2023) aplicó redes neuronales convolucionales, utilizadas para el reconocimiento y clasificación de imágenes y objetos, para analizar miles de imágenes satelitales, detectando presencia de basura marina con precisión sorprendente. El algoritmo fue entrenado para distinguir entre residuos plásticos y otros objetos flotantes naturales, como algas o madera, y logró identificar patrones de acumulación que se correlacionan con datos de campo.

Redes neuronales para distinguir residuos de organismos marinos

Uno de los mayores desafíos en la clasificación automatizada de imágenes marinas es la **semejanza visual entre plásticos y elementos naturales**, como medusas, algas o bolsas de aire en el agua. Un caso destacado es el trabajo de (Topouzelis et al., 2019) , quienes entrenaron un sistema de IA para analizar imágenes captadas desde drones y satélites, distinguiendo entre desechos plásticos y fauna marina flotante. Gracias al uso de conjuntos de datos etiquetados por expertos y técnicas de aprendizaje supervisado, el modelo alcanzó altos niveles de sensibilidad y especificidad. Este tipo de inteligencia visual permite que los sistemas no solo “vean”, sino que **comprendan** lo que están viendo, lo que abre la puerta a sistemas de monitoreo autónomo capaces de operar sin supervisión humana constante.

Robots recolectores y sistemas automatizados

La inteligencia artificial se ha convertido en una aliada clave para la **limpieza inteligente** de los océanos, impulsando robots recolectores y sistemas automatizados capaces de optimizar la recolección de residuos plásticos. Proyectos a gran escala como **The Ocean Cleanup** integran algoritmos avanzados de **posicionamiento, predicción y limpieza** basados en IA para retirar plásticos del mar de manera eficiente. Esta organización emplea software de **visión artificial** (basado en aprendizaje automático) que analiza imágenes de cámaras con GPS (Global Positioning System por sus siglas en inglés) para mapear dónde se acumula la basura flotante, ayudando a posicionar sus sistemas de recolección en las zonas más afectadas (de Vries, 2022). Asimismo, modelos predictivos y algoritmos de optimización de rutas permiten planificar la limpieza de forma autónoma (por ejemplo, determinar la trayectoria óptima de sus barcos recolectores según la densidad de plásticos). Un estudio reciente mostró que tales algoritmos pueden aumentar la eficiencia de recolección en más de un **60%**, sin añadir costos operativos, acelerando el avance hacia océanos más limpios (den Hertog et al., 2024). La IA también impulsa nuevos **drones marinos autónomos** para recoger

basura. Estos pequeños botes robotizados navegan por la superficie y recolectan residuos flotantes de forma automática. Equipados con cámaras, son capaces de detectar objetos como botellas o bolsas plásticas en el agua y diferenciarlos de la fauna marina u otros elementos naturales, asegurando que solo capturen desechos. Un ejemplo es *Clearbot*, un bote eléctrico autónomo que emplea visión artificial para **identificar desechos flotantes** y acercarse a ellos de forma inteligente, evitando obstáculos; su algoritmo optimiza la ruta para **maximizar la recolección** en cada recorrido (Deayton, 2022).

CASOS REALES Y AVANCES ACTUALES

WasteShark: drones acuáticos para limpiar residuos flotantes. Uno de los desarrollos innovadores en la lucha contra la contaminación plástica es *WasteShark*, un dron acuático autónomo diseñado para recolectar basura flotante en puertos, ríos y otros cuerpos de agua urbanos. Inspirado en el tiburón ballena (un filtrador natural), este dispositivo navega la superficie del agua “devorando” residuos plásticos, algas y otros desechos en su trayecto. Puede recoger hasta aproximadamente 200 litros de basura en un solo viaje y operar por varias horas continuas con cero emisiones directas. WasteShark ha sido desplegado en puertos de Europa, Asia y Norteamérica, donde ayuda a retirar objetos plásticos *antes* de que lleguen mar adentro. Además de recolectar desechos, estos drones suelen incorporar sensores ambientales, recopilando datos de calidad del agua (pH, salinidad, etc.) que resultan útiles para monitorear la salud del ecosistema marino local (Han, 2025).

Predicción de acumulaciones plásticas en playas mediante IA. Otra aplicación emergente de la inteligencia artificial se enfoca en anticipar *dónde* y *cuándo* se acumularán desperdicios plásticos en las costas. En los últimos años, científicos de datos de la empresa IBM (International Business Machines), en colaboración con instituciones ambientales, han desarrollado herramientas de *machine learning* para predecir vertimientos o acumulaciones de plásticos en playas. Estas herramientas analizan grandes

volúmenes de datos —por ejemplo, información de limpiezas costeras pasadas, patrones de viento y corrientes oceánicas, densidad de población cercana y otras variables ambientales— con el fin de identificar tendencias y factores que influyen en la llegada de basura marina a determinadas costas. Mediante modelos de aprendizaje automático (como redes neuronales o enfoques probabilísticos), es posible pronosticar cuánta basura podría depositarse en una playa en el futuro inmediato e incluso estimar la evolución a varios años vista (Granado et al., 2019).

Detección de microplásticos mediante aprendizaje automático. Un desafío especial lo presentan los microplásticos (partículas menores de 5 mm) dispersos en aguas y sedimentos marinos, ya que son difíciles de identificar y cuantificar con métodos convencionales. Aquí es donde la visión por computadora y el aprendizaje automático han logrado avances **notables**. Recientemente se han entrenado algoritmos de inteligencia artificial para reconocer microplásticos en imágenes y datos espectroscópicos de muestras ambientales. En términos sencillos, estos sistemas “aprenden” a distinguir fragmentos de plástico microscópicos de otras partículas naturales basándose en sus características visuales o químicas. Por ejemplo, se ha desarrollado una técnica que emplea *imágenes hiperespectrales* (fotografías que capturan bandas de luz más allá del visible) junto con algoritmos de clasificación para detectar rápidamente microplásticos en agua de mar (Shan et al., 2019). Asimismo, otros investigadores han utilizado redes neuronales y métodos de *machine learning* para analizar espectros infrarrojos o de Raman generados por muestras de agua/arena, logrando identificar automáticamente partículas de distintos polímeros plásticos en esas muestras (Hufnagl et al., 2019).

RETOS Y LIMITACIONES

La implementación de inteligencia artificial para combatir la contaminación plástica marina enfrenta diversos retos técnicos y operativos. Uno de los principales es el acceso limitado a datos de calidad. Los algoritmos requieren grandes cantidades de información etiqueta-

da para entrenarse adecuadamente, pero en el contexto marino estos datos son escasos, difíciles de recolectar y a menudo están restringidos a zonas costeras o superficiales. Además, la ausencia de estándares unificados de recolección y anotación genera conjuntos de datos heterogéneos que dificultan la interoperabilidad. Para superar esto, se han propuesto estrategias como la generación de datos sintéticos, el uso de campañas de ciencia ciudadana, y la creación de bases de datos colaborativas y estandarizadas a nivel global.

Otro desafío importante es el alto consumo energético de los modelos de IA, especialmente aquellos basados en aprendizaje profundo. Estos algoritmos requieren potentes recursos computacionales tanto para su entrenamiento como para su operación en tiempo real, lo que resulta problemático en entornos marinos donde las plataformas —como drones, boyas o vehículos autónomos— tienen recursos limitados y difícil acceso a energía. Como soluciones, la literatura propone optimizar la eficiencia de los modelos, emplear hardware de bajo consumo, integrar fuentes renovables y aplicar estrategias de gestión inteligente de tareas que reduzcan el uso innecesario de energía.

La implementación de inteligencia artificial (IA) para detectar residuos plásticos marinos enfrenta retos clave que van desde lo técnico hasta lo ético. Uno de ellos es la variabilidad regional del desempeño de los algoritmos: muchos modelos están entrenados con datos de regiones templadas, mientras que zonas tropicales o poco monitoreadas presentan condiciones distintas que pueden afectar la precisión. Por ello, sería útil comparar el rendimiento de los modelos en distintos entornos y ajustar sus parámetros a las características locales (Sustainability Directory, 2025). Otro aspecto crítico es la huella de carbono de la IA. El entrenamiento y uso de modelos complejos consume grandes cantidades de energía, contribuyendo a las emisiones de CO₂. Para hacer estas soluciones más sostenibles, se están desarrollando algoritmos más eficientes y estrategias como el uso de hardware de bajo consumo o energía renovable (UN, 2024). La ciencia ciudadana emerge como una herramienta fundamental para generar datos en zonas con poca infraestructura. Mediante el uso de aplicaciones móviles o plataformas abiertas, comunidades locales pueden capturar imágenes georreferenciadas de resi-

duos plásticos, enriqueciendo los conjuntos de entrenamiento y ayudando a validar las predicciones de los modelos. Esto no solo aporta información útil, sino que también fortalece la participación social y la conciencia ambiental (Saad et al., 2025).

Además, se está explorando la combinación de IA con modelos oceanográficos y climáticos, lo cual permitiría predecir con mayor precisión el transporte y acumulación de plásticos en escenarios de mediano y largo plazo, incluyendo eventos extremos como huracanes o alteraciones en las corrientes marinas (Ryan et al., 2023). Asimismo, muchos expertos coinciden en que es urgente crear una base de datos internacional estandarizada y abierta sobre residuos plásticos marinos. Esta iniciativa enfrentaría obstáculos técnicos (como la unificación de protocolos), legales (relacionados con la propiedad de los datos) y éticos (como asegurar el acceso equitativo y evitar sesgos regionales), pero su desarrollo permitiría una mejor cooperación científica y decisiones más informadas a escala global (Nyadjro et al., 2023).

Finalmente, existen limitaciones en la precisión y generalización de los algoritmos. Aunque algunos modelos alcanzan altos niveles de exactitud en entornos controlados, su desempeño en condiciones reales sigue siendo inestable. Esto se debe a la alta variabilidad del plástico (en forma, color y estado de degradación) y a la presencia de elementos naturales que pueden confundirse fácilmente con residuos (como algas o madera). También, muchos modelos no generalizan bien cuando se enfrentan a condiciones distintas a las de su conjunto de entrenamiento. Para mitigar estos problemas, se recomienda ampliar la diversidad de datos de entrenamiento, emplear aprendizaje continuo o transferido, combinar distintos tipos de sensores (ópticos, radar, acústicos), y desarrollar algoritmos híbridos más robustos.

CONCLUSIÓN

La contaminación por plásticos en los océanos representa una crisis ambiental con profundas repercusiones ecológicas, sociales y económicas. La inteligencia artificial (IA) ofrece herramientas eficaces para complementar los esfuerzos humanos, desde la

detección y monitoreo de residuos hasta el análisis automatizado de microplásticos. No obstante, su impacto real depende de integrarla en estrategias más amplias que incluyan políticas públicas, educación ambiental y economía circular. La protección de los océanos exige colaboración entre ciencia, innovación y sociedad, reconociendo que la tecnología, guiada por valores éticos y responsabilidad colectiva, puede convertirse en un aliado clave para restaurar la salud marina y avanzar hacia un futuro sostenible.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial

Para la elaboración de este documento se utilizaron herramientas de inteligencia artificial exclusivamente con el fin de homogeneizar el estilo de redacción y mejorar la corrección gramatical. El contenido, las ideas y el análisis presentados son de autoría original, y la IA no intervino en la generación de datos, resultados o conclusiones.

REFERENCIAS

- UN. (2024). *AI has an environmental problem. Here's what the world can do about that*. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/ai-has-environmental-problem-heres-what-world-can-do-about>
- de Vries, R. (2022). *Using AI to Monitor Plastic Density in the Ocean | Updates | The Ocean Cleanup*. <https://theoceancleanup.com/updates/using-artificial-intelligence-to-monitor-plastic-density-in-the-ocean/>
- Deayton, J. (2022). *This AI-enabled robotic boat cleans up harbors and rivers to keep plastic trash out of the ocean - Source Asia*. <https://news.microsoft.com/source/asia/features/this-ai-enabled-robotic-boat-cleans-up-harbors-and-rivers-to-keep-trash-out-of-the-ocean/>
- den Hertog, D., Pauphilet, J., Pham, Y., Sainte-Rose, B., & Song, B. (2024). Optimizing the Path Towards Plastic-Free Oceans. *Operations Research*. <https://doi.org/10.1287/OPRE.2023.0515>
- Ditria, E. M., Buelow, C. A., Gonzalez-Rivero, M., & Connolly, R. M. (2022). Artificial intelligence and automated monitoring for assisting conservation of marine ecosystems: A perspective. *Frontiers in Marine Science*, 9, 918104. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2022.918104/XML/NLM>
- Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., & Reisser, J. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLOS ONE*, 9(12), e111913. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0111913>
- Granado, I., Basurko, O. C., Rubio, A., Ferrer, L., Hernández-González, J., Epelde, I., & Fernandes, J. A. (2019). Beach litter forecasting on the south-eastern coast of the Bay of Biscay: A bayesian networks approach. *Continental Shelf Research*, 180, 14–23. <https://doi.org/10.1016/J.CSR.2019.04.016>
- Griffin, M., Karasik, R., & Takeaways, K. (2022). *Policy Brief Plastic Pollution Policy Country Profile: Mexico*.
- Han, L. Y. (2025). The White Amur and the WasteShark: Hungry machines and circumventive remediations of waste. *Environment and Planning E: Nature and Space*. <https://doi.org/10.1177/25148486241304970>
- Hölzle, I., Somani, M., Ramana, G. V., & Datta, M. (2022). Heavy metals in soil-like material from landfills – Resource or contaminants? *Journal of Cleaner Production*, 369, 133136. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.133136>
- Maharjan, N., Miyazaki, H., Pati, B. M., Dailey, M. N., Shrestha, S., & Nakamura, T. (2022). Detection of River Plastic Using UAV Sensor Data and Deep Learning. *Remote Sensing 2022, Vol. 14, Page 3049, 14(13)*, 3049. <https://doi.org/10.3390/RS14133049>
- Ning, J., Pang, S., Arifin, Z., Zhang, Y., Epa, U. P. K., Qu, M., Zhao, J., Zhen, F., Chowdhury, A., Guo, R., Deng, Y., & Zhang, H. (2024). The Diversity of Artificial Intelligence Applications in Marine Pollution: A Systematic Literature Review. *Journal of Marine Science and Engineering 2024, Vol. 12, Page 1181, 12(7)*, 1181. <https://doi.org/10.3390/JMSE12071181>
- Nyadjro, E. S., Webster, J. A. B., Boyer, T. P., Cebrian, J., Collazo, L., Kaltenberger, G., Larsen, K., Lau, Y. H., Mickle, P., Toft, T., & Wang, Z. (2023). The NOAA NCEI marine microplastics database. *Scientific Data*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/S41597-023-02632-Y;SUBJMETA=172,704,829;KWRD=ENVIRONMENTAL+SCIENCES,OCEAN+SCIENCES>
- Ribotti, A., Ning, J., Pang, S., Arifin, Z., Zhang, Y., Epa, U. P. K., Qu, M., Zhao, J., Zhen, F., Chowdhury, A., Guo, R., Deng, Y., & Zhang, H. (2024). The Diversity of Artificial Intelligence Applications in Marine Pollution: A Systematic Literature Review. *Journal of Marine Science and Engineering 2024, Vol. 12, Page 1181, 12(7)*, 1181. <https://doi.org/10.3390/JMSE12071181>
- Rußwurm, M., Venkatesa, S. J., & Tuia, D. (2023). Large-scale detection of marine debris in coastal areas with Sentinel-2. *IScience*, 26(12). <https://doi.org/10.1016/J.ISCI.2023.108402/ASSET/29F5C057-B384-4D5A-872B-E52744D1380F/MAIN.ASSETS/GR10.JPG>

- Ryan, A. C., Allen, D., Allen, S., Maselli, V., LeBlanc, A., Kelleher, L., Krause, S., Walker, T. R., & Cohen, M. (2023). Transport and deposition of ocean-sourced microplastic particles by a North Atlantic hurricane. *Communications Earth and Environment*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/S43247-023-01115-7>
- Saad, M. R., Abdullah, N. F., Abu-Samah, A., & Nordin, R. (2025). Empowering citizen scientists: A web app for plastic litter classification. *Expert Systems with Applications*, 284, 127776. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2025.127776>
- Sustainability Directory. (2025). *The Role of AI in Combating Marine Plastic Pollution → Scenario*. <https://prism.sustainability-directory.com/scenario/the-role-of-ai-in-combating-marine-plastic-pollution/>
- Thushari, G. G. N., & Senevirathna, J. D. M. (2020). Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon*, 6(8), e04709. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E04709>
- Topouzelis, K., Papakonstantinou, A., & Garaba, S. P. (2019). Detection of floating plastics from satellite and unmanned aerial systems (Plastic Litter Project 2018). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 79, 175–183. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.03.011>