

Impactos ambientales por residuos sólidos generados durante la pandemia de COVID-19 y alternativas de solución

Leticia Narciso Ortiz¹, Carolina Peña Montes², Manuel Alejandro Lizardi Jiménez^{3*}

DOI: 10.56643/rcia.v4i1.199

Como citar este artículo: Narciso-Ortiz, L., Peña-Montes, C., & Lizardi-Jiménez, M. A. (2025). Impactos ambientales por residuos sólidos generados durante la pandemia de COVID-19 y alternativas de solución. *Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura*. 4(1). 8-18. DOI: <https://doi.org/10.56643/rcia.v4i1.199>

Resumen

En marzo de 2020 se declaró el inicio de la pandemia Covid-19; una de las recomendaciones para hacer frente a la misma fue el uso de cubrebocas. Como consecuencia de ello, aumentó la producción y la generación de residuos de equipo de protección. El objetivo de este trabajo fue analizar y resumir información referente a los impactos ambientales provocados por los residuos sólidos generados durante la pandemia y presentar investigaciones que ofrezcan alternativas de solución. Con este propósito se utilizaron motores de búsqueda científicos incluyendo palabras clave en español e inglés. Se encontró que los ecosistemas marinos son los más afectados, ya que el equipo de protección se fabrica con polímeros no degradables; éstos se convierten en microplásticos, que afectan la flora, la fauna y arrastran otros contaminantes.

El uso de organismos para la biodegradación de estos residuos y el empleo de materiales bio-degradables para la fabricación del equipo de protección constituyen alternativas de solución de esta problemática.

Se concluye que uno de los principales problemas que dan lugar a la mala disposición de residuos es la falta de educación ambiental de las autoridades y la población en general. Es importante que el gobierno establezca planes de gestión de residuos. Se puede reconocer, entonces, que la pospandemia demanda la realización de trabajo interdisciplinario de las áreas de la salud, sociales, ambientales y políticas.

Palabras clave: Ambiente, biodegradación, bioplásticos, contaminación, mascarillas, plásticos.

Abstract

In March 2019, the COVID-19 pandemic was declared; one of the recommendations was the use of face masks. As a result, the production and generation of protective equipment waste increased. The objective of this work was to analyze and summarize information regarding the environmental impacts caused by the solid waste generated during the pandemic; and to present research with alternative solutions. Scientific search engines were used with keywords in Spanish and English. It was found that marine ecosystems are the most affected, as the protective equipment is made from non-degradable polymers, which turn into microplastics, affecting flora, fauna, and dragging other contaminants.

¹Maestra en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología, Tecnológico Nacional de México, campus Veracruz. Estudiante de Doctorado en Ciencias en Alimentos en la Unidad de Investigación de Alimentos (UNIDA). ORCID: 0000-0002-5240-6411. Correo electrónico: D20020009@veracruz.tecnm.mx

²Doctora en Ciencias Bioquímicas, Tecnológico Nacional de México, campus Veracruz. Profesora investigadora y Jefa de Laboratorio de Genética Aplicada de la Unidad de Investigación de Alimentos (UNIDA). ORCID: 0000-0002-4767-1210. Correo electrónico: carolina.pm@veracruz.tecnm.mx

³Doctor en Biotecnología, SECIHTI- Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Investigador por México de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI). ORCID: 0000-0002-2054-5556. Correo electrónico de correspondencia: manuel.lizardi@uaslp.mx

Recibido: 01/12/2024 | Aceptado: 24/02/2025 | Publicado: 15/06/2025

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés. La investigación fue financiada con recursos de los autores.

Alternative solutions include the use of organisms for the biodegradation of these wastes and the use of biodegradable materials for the manufacture of protective equipment. It can be concluded that one of the main problems of improper waste disposal is the lack of environmental education among authorities and the general population. It is also important for the government to establish waste management plans. It can be recognized then that the post-pandemic demands interdisciplinary work from the fields of health, social, environmental, and political areas.

Keywords: Biodegradation, bioplastics, environment, masks, plastics, pollution.

Introducción

Finalizando el mes de diciembre de 2019 se presentó un brote de neumonía desconocida en Wuhan, China. El Chinese Centers for Disease Control and Prevention (ccdc) identificó al virus causante de estos padecimientos como un nuevo coronavirus llamado sars-CoV-2, por sus siglas en inglés Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2, que genera el síndrome respiratorio o Covid-19 (Xie y Chen, 2020). El Covid-19 fue declarado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como una pandemia mundial en marzo de 2020 (OMS, 2020a).

Una pandemia es definida como una epidemia que ocurre en todo el mundo o en un área muy amplia, que cruza fronteras internacionales y generalmente afecta a un gran número de personas (Kelly, 2011). En este caso se inició en China, extendiéndose rápidamente por todo el mundo y provocando cifras insólitas de personas contagiadas. Tan sólo en México se reportaron 7.3 millones de casos a junio de 2023 (Conahcyt, 2023).

La Covid-19 se transmite a través de microgotas (5 - 10 μ m) generadas por una persona infectada al toser, estornudar o exhalar; ya sea por contacto directo o con superficies que se encuentren en el entorno (OMS, 2020b).

Para limitar la propagación del virus se emplearon varias medidas, entre ellas el distanciamiento social, el lavado frecuente de manos y el uso de equipo de protección personal (EPP), como las mascarillas o cubrebocas.

El uso de estos últimos se consideró un enfoque importante para frenar la propagación del SARS-CoV-2 (Berthel et al., 2022; Sharma et al., 2023).

La pandemia de Covid-19 provocó estragos que siguen siendo perceptibles, por ejemplo, la disminución de la actividad comercial de distintas empresas (Arellano-Varona et al., 2023) y el notorio daño al medio ambiente, ya que, debido al uso frecuente de EPP durante y después de la pandemia, los residuos aumentaron.

El objetivo de este trabajo fue analizar y resumir información referente a los impactos ambientales provocados por los residuos sólidos generados durante la pandemia, específicamente cubrebocas o mascarillas, sobre todo en ecosistemas marinos, y presentar investigaciones que ofrezcan alternativas de solución.

Metodología

Se realizó una revisión de literatura a través del repositorio digital Google Academic, empleando las palabras clave: contaminación plástica, mascarillas, Covid-19, biodegradación mascarillas y producción mascarillas biodegradables, en español y en inglés. Se tomaron en cuenta la información publicada a partir de 2020 y los trabajos de mayor relevancia de acuerdo con el número de citas registradas.

Finalmente, se sintetizaron los tópicos más importantes y se organizaron en los siguientes apartados: *Equipo de protección personal*, con énfasis en mascarillas; *Impactos ambientales de los residuos de protección personal*, especialmente en ambientes marinos y Alternativas de solución, dividido en biodegradación de mascarillas y producción de mascarillas con compuestos biodegradables.

Equipo de protección personal

El uso de EPP, como las mascarillas, se considera un dispositivo importante de prevención y control para minimizar la transmisión de la Covid-19. Las mascarillas de un solo uso son fabricadas con plásticos de origen petroquímico, como el polipropileno, y se componen de tres capas (Berthel et al., 2022). Las más utilizadas son las mascarillas N95, ya que su eficiencia es excelente y filtran más de 95% de las partículas con un diámetro de 0.3 μm suspendidas en el aire (Gope et al., 2020).

La pandemia de Covid-19 orilló a la población a usar miles de millones de mascarillas (Sharma et al., 2023). En marzo de 2020, incluso, la OMS (2020c) exhortó a la industria a aumentar la producción en 40%, ya que se estimaba la necesidad de contar con 89 millones de mascarillas al mes para hacer frente a la pandemia de Covid-19. Para junio de ese mismo año China estaba produciendo 200 millones de mascarillas al día, esto es, 20 veces más de lo que producía en febrero de 2020 (Aragaw, 2020). En cuanto a la demanda de mascarillas, *Plastic Innovation Hub* reportó que en el Reino Unido ésta ascendió a 24.37 billones de mascarillas al año (Li et al., 2022). No se tiene un número exacto de las mascarillas utilizadas en México, pero la encuesta *The Global Covid-19 Trends and Impact* posicionó a nuestro país como el tercero que más cubrebocas utiliza en América Latina (El Sol de Puebla, 2024).

Lamentablemente, una vez utilizadas, las mascarillas son desechadas sin tener en cuenta medidas de protección, lo que conduce a la acumulación y amontonamiento de desechos de residuos plásticos en el medio ambiente. La fundación OceansAsia proporcionó cifras impresionantes tras realizar un estudio en el que estimó que, en 2020, alrededor de 1.56 billones de mascarillas habrían ingresado a los océanos (OceansAsia Foundation, 2020).

Por tratarse de un residuo médico peligroso, se recomendaba colocar las mascarillas en centros de reciclaje para su incineración; sin embargo, este proceso libera gases nocivos para el ambiente y la salud humana (Nagy y Kutí, 2016). Por lo que en la mayoría de los casos estos residuos terminan en contenedores de basura o en la calle, llegando eventualmente a los ecosistemas, principalmente marinos.

Impactos ambientales ocasionados por los residuos de protección personal

El uso masivo de mascarillas desechables provocado por la pandemia de Covid-19 y la mala disposición de estos residuos incrementaron la contaminación por plásticos ya existente en el medio marino. Ello responde a que la mayoría de las mascarillas de un solo uso se caracterizan por su baja biodegradabilidad, lo que las convierte en un problema de salud pública que afecta a los ecosistemas y la población en general (Berthel et al., 2022; Soo et al., 2022).

En México, durante la pandemia, los desechos médicos de EPP, material biológico y hasta ataúdes excedieron la capacidad del país. En 2020 tuvo lugar un conocido evento: la Deutsche Welle publicó una noticia en la que señalaba que el gobierno de la Ciudad de México había encontrado 3.5 t (toneladas) de residuos médicos y tejido humano parcialmente incinerado en la localidad

boscosa de Nicolás Romero, así como 6 000 metros cúbicos de residuos similares en un tiradero clandestino en Puebla. La noticia se acompañaba de fotografías impresionantes (Deutsche Welle, 2020). Aunque no se tiene una cifra exacta del número de mascarillas utilizadas en nuestro país, Gómez-Tagle y Cilia-López (2021) estimaron por medio de una ecuación el número de cubrebocas que podían desecharse en las ciudades más pobladas de México, los resultados que obtuvieron indican que en el año 2021 se desechaban 43 606 224 cubrebocas diariamente.

Las mascarillas desechadas en el ambiente son una fuente de microplásticos (mp) y contaminantes químicos, lo que constituye un sustrato para la colonización de especies invasoras y una amenaza potencial de enredo, ingestión y/o infección entre depredadores, principalmente en ecosistemas acuáticos (Ben-Haddad et al., 2021). Los MP son partículas de plástico con un tamaño menor a 5 mm, que pueden actuar como vectores absorbiendo distintos contaminantes químicos, metales, pesticidas e hidrocarburos (Torres et al., 2021). Los MP se han encontrado en el plancton (Lin, 2016), en moluscos (De la Torre et al., 2020), en crustáceos (Goldstein y Goodwin, 2013), peces (Digka et al., 2018), tortugas marinas (Di Renzo et al., 2021) y hasta en mamíferos marinos (Merrill et al., 2023; Santillán et al., 2020).

Aunado a ello, las mascarillas sólo filtran los microorganismos o virus, pero no los eliminan, lo que conduce a un mayor riesgo de contaminación cruzada al desechar durante la eliminación de las mascarillas, y aumenta aún más los problemas ambientales ocasionados por las malas prácticas de eliminación (Sharma et al., 2023). Estos residuos médicos mal gestionados son la principal fuente de infección de pacientes, trabajadores de la salud, recolectores de basura y público en general (Gómez-Tagle y Cilia-López, 2021). Los países de América Latina son particularmente vulnerables, lo que les impide garantizar una gestión adecuada de las mascarillas utilizadas porque no son autosuficientes.

Por otro lado, pero no menos importante, la falta de educación ambiental lleva a que la población contamine directamente. Al respecto, podemos analizar un estudio que se realizó en 2021 en Agadir, Marruecos (Ben Haddad et al., 2021). En este lugar turístico se recolectaron 689 artículos de protección en las playas públicas, de los cuales 96.8% eran mascarillas. Los resultados mostraron que en los puntos de muestreo en los que se concentró un mayor número de turistas se encontró un número mayor de mascarillas. Por lo que el estudio sugiere directamente que los sitios costeros visitados por bañistas presentan mayor índice de contaminación; esto podría minimizarse si la población tuviera conciencia ambiental, la cual se logra por medio de la educación. Estudios equivalentes realizados en otras zonas costeras del mundo, por ejemplo, Busher en el golfo Pérsico (Akhbarizadeh et al., 2021); Cox's Bazar en Bangladés (Rakib et al., 2021) y Chile (Thiel et al., 2021), llegaron a resultados similares, lo que da cuenta de que ésta no es una situación aislada, sino generalizada. Por tal razón, la educación ambiental se presenta como una herramienta clave para promover conciencia, incluso en tiempos de pandemia. Ésta puede impartirse haciendo uso de la tecnología (Borja-Sánchez, 2024). El proyecto "Jóvenes aprendiendo a conservar" proporciona un ejemplo claro. Mediante una serie de webinars que contó con un promedio de 275 espectadores, logró contribuir a incrementar el interés de los asistentes en la conservación de la biodiversidad y la búsqueda de alternativas de solución a problemas ambientales (Pérez-Guadián y Dorantes-Molina, 2021).

Alternativas de solución

Los problemas ambientales antes mencionados, derivados del incremento en el uso de EPP durante la pandemia, hacen necesario buscar alternativas sostenibles que reduzcan el impacto ambiental.

Las investigaciones consultadas que se relacionan con alternativas de solución se mencionarán en dos grupos: el primero supone el uso de materiales biodegradables para la fabricación de mascarillas, con el fin de minimizar sus impactos ambientales cuando sean desechadas; y el segundo propone la biodegradación de las mascarillas convencionales, es decir, las elaboradas a partir de materia prima petroquímica, después de uso.

La celulosa bacteriana es un biopolímero considerado como uno de los materiales alternativos para remplazar los medios de filtración sintéticos utilizados en la producción de mascarillas N95, debido a que posee varias propiedades deseables: es biodegradable, tiene alta pureza, posee una estructura de malla de nanofibras de 20 a 100 nm y buena resistencia mecánica, alta capacidad de retención de agua y una alta eficiencia de filtración. La celulosa bacteriana es un biopolímero sintetizado extracelularmente por varios tipos de bacterias, entre ellos, *Gluconacetobacter*, *Acetobacter*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Sarcina ventriculi* y *Salmonella*. Las bacterias productoras de celulosa más importantes son *Gluconacetobacter hansenii*, *Gluconacetobacter xylinum* y *Gluconacetobacter pasteurianus* (Sharma et al., 2023).

La tabla 1 muestra una comparación entre las mascarillas N95 convencionales y las elaboradas con celulosa. Como puede observarse las características se mantienen e incluso se mejoran con el biopolímero.

Tabla 1.

Comparación entre mascarillas N95 y mascarillas de celulosa

Mascarilla N95	Mascarilla de celulosa
95% filtración	99.99% filtración
Filtra partículas de hasta 0.3 μm	Filtra partículas < 100 nm
Transpirable	Hidrofobicidad
Alta fuerza mecánica	Antibacteriana
Problemas de disposición final	Transpirable
	Alta fuerza mecánica
	Biodegradable
Gope et al., 2020	

También se ha propuesto el uso de ácido poliláctico (PLA) como candidato prometedor para producir mascarillas en lugar de los de origen fósil. En la investigación de Soo et al. (2022) se estudió la biodegradación de mascarillas desechables de tres capas elaboradas con PLA e inoculadas con lodos de depuración a temperatura ambiente, en diferentes condiciones de pH (2, 7 y 13), durante intervalos de tiempo regulares de hasta ocho semanas. El estudio demostró que, en condiciones de pH básico, en la primera semana se registró una pérdida de 25% de peso, aun cuando sólo la capa intermedia experimentaba una degradación considerable. Además, se constató que después de ocho semanas los fragmentos solubilizados de PLA fueron mineralizados completamente sin gene-

rar microplásticos. Este estudio es muy importante, ya que comprueba que el PLA puede ser metabolizado por los microorganismos presentes en los lodos sin generar compuestos contaminantes y mostrando un buen porcentaje de biodegradación en poco tiempo. Por tratarse de condiciones muy específicas, este método tendría que ser escalado a un biorreactor y probar mayores tiempos de incubación.

Podemos mencionar un ejemplo ya presente en el mercado con el nombre de Airx coffee mask (<https://airxcoffee.jp/en/>). Dicha mascarilla está hecha de una capa hilos de café y un filtro desarrollado con nanotecnología a partir de moléculas de plata y fibras café. Según lo que informan sus campañas publicitarias, estas mascarillas son antimicrobianas, lavables, reutilizables y biodegradables (Ha y Trinh, 2021).

Si bien es importante producir mascarillas con materiales biodegradables, aún estamos lejos de que puedan elaborarse en grandes cantidades como para cubrir la demanda actual, por lo que seguirán utilizándose mascarillas fabricadas a partir de plásticos fósiles por un tiempo considerable. Esto hace que se considere como una alternativa de solución la biodegradación de mascarillas por medio de organismos o microorganismos.

En 2024, Azuara-Domínguez et al. investigaron la biodegradación de cuatro mascarillas (KN95, bicapa, tricapa y de tela) empleando la larva *Galleria mellonella*. El experimento se llevó a cabo en un recipiente de plástico de 2 L (litros) con tapa y perforaciones, en el que se colocaron 18.86 ± 1.12 gramos de mascarilla y 100 larvas por tratamiento. Los investigadores reportaron un consumo de cubrebocas de alrededor de 18 gramos para cada tipo de cubrebocas en 10 días, sin encontrar diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y una producción de entre 4 y 6 pupas. Esto confirmó la degradación casi total de los cubrebocas por medio de las larvas. En otro estudio, Knicker y Velasco-Molina (2022) registraron la degradación de 250 miligramos de trozos de mascarillas (10 x 10 mm) no pretratadas a lo largo de seis meses en un microcosmo a 25 °C con 20 gramos de suelo. Al respecto, reportaron una mineralización de 4 a 5% que, si bien no alteró la apariencia, generó CO₂, lo que comprueba que los microorganismos presentes en el suelo realizaron una acción de degradación sobre las mascarillas.

De los dos estudios antes mencionados puede inferirse que los microorganismos cumplen un papel fundamental en la degradación, tanto los de la microbiota de las larvas (Azuara-Domínguez et al., 2024) como los alojados en el suelo utilizado (Knicker y Velasco-Molina, 2022). Esto se evidencia en la investigación de Ma et al. (2022), en la que se expusieron mascarillas en agua de mar durante 30 días para evaluar su envejecimiento. Se encontraron colonizadores microbianos como *Rhodobacteraceae*, *Flavobacteriaceae* y *Vibrionaceae*, registrándose una disminución de 7% de peso de las fibras de las mascarillas. Este resultado respondió a la interacción de diferentes factores: radiación uv, oxígeno disuelto y la biopelícula formada por los microorganismos.

Asimismo, en 2022, Subekti y Wulandari probaron algunos microorganismos del intestino de la termita *Macrotermes gilvus* y, aunque no fueron identificados, la adición de las bacterias al proceso de compostaje de mascarillas obtuvo el mejor resultado basado en las propiedades físicas y químicas de la composta. Ese año también se aisló una bacteria *Staphylococcus* sp. de suelos agrícolas de Bhubaneswar, India, y se probó para la biodegradación de mascarillas a nivel de laboratorio, pero sólo se obtuvo 2% de pérdida de peso (Priyadarshini et al., 2024).

Estas investigaciones constituyen una pauta para continuar en esta línea, ya que se ha comprobado que las mascarillas pueden ser mineralizadas. Es importante aislar los microorganismos responsables de esta acción e identificar las enzimas involucradas, para poder escalar los procesos

y hacer frente a la cantidad de desechos que deben tratarse para mitigar sus impactos ambientales.

Consideramos que las alternativas deben involucrar dos segmentos con características específicas: el primero es el desarrollo de mascarillas elaboradas con materiales biodegradables, que paulatinamente vayan sustituyendo a las actuales; el segundo es diseñar, optimizar y escalar procesos biotecnológicos para degradar los desechos actuales.

Cabe señalar que estas alternativas sólo serán prósperas cuando los gobiernos regulen la disposición de los desechos. La buena gobernanza es considerada ya el nuevo pilar del desarrollo sostenible que, junto con los ejes social, ambiental y económico, integran el compromiso de una buena gestión de recursos (Quintero-Romero, 2023). En el caso específico de México, la gestión de desechos de residuos plásticos en general no está regulada. La NOM-161-Semarnat-2011 (dof, 1 de febrero de 2013) es la única norma que regula los desechos plásticos, pero se limita sólo a los grandes generadores, es decir, a los que generan cantidades mayores a 10 t anuales.

Conclusiones

A pesar de que la emergencia ocasionada por la pandemia de Covid-19 se declaró terminada, el uso de mascarillas no se eliminará por completo, lo que supone un panorama devastador para el medio ambiente. Los ecosistemas marinos, en especial la fauna, son los más afectados por los desechos plásticos de gran tamaño y los microplásticos, que pueden ser vectores de otro tipo de contaminantes.

Por ello resulta crucial la sinergia entre agencias médicas, científicos ambientales, líderes políticos y la comunidad en general, en aras de mejorar los sistemas de gestión de desechos y la administración de residuos. Se debe buscar la corrección de las malas prácticas de gestión, además de aumentar la conciencia.

Asimismo, es importante realizar esfuerzos en el sentido de alentar a las empresas a utilizar materiales biodegradables; una opción ecológica es la producción de mascarillas de PLA o celulosa.

Futuras investigaciones deben orientarse a solucionar las limitaciones que hoy impiden una producción a gran escala y el desarrollo de materiales de mayor degradabilidad que se descompongan completamente y mantengan las propiedades de protección. Aunado a ello, deben buscarse microorganismos con capacidad para degradar las mascarillas convencionales hechas a base de plásticos fósiles.

Referencias

- Akhbarizadeh, R., Dobaradaran, S., Nabipour, I., Tangestani, M., Abedi, D., Javanfekr, F. y Zendehboodi, A. (2021). Abandoned Covid-19 personal protective equipment along the Bushehr shores, the Persian Gulf: an emerging source of secondary microplastics in coastlines. *Marine pollution bulletin*, 168, 112386. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112386>
- Aragaw, T. A. (2020). Surgical face masks as a potential source for microplastic pollution in the COVID-19 scenario. *Marine pollution bulletin*, 159, 111517. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111517>
- Arellano-Varona, M., López-Velasco, R. y Rivera-Ramírez, J. (2023). Violencia escolar en el Centro de Estudios Tecnológicos, Industriales y de Servicios (cetis) N°116, Acapulco, Guerrero, México. *Revista Investigum IRE: Ciencias Sociales y Humanas*, 15(1), 57-74. doi: <https://doi.org/10.15658/INVESTIGIUMIRE.241501.04>
- Azuara-Domínguez, A. A., Rodríguez, A. P., Alcántara, P. F. G., Lázaro-Dzul, M. O., Trujillo, Y. D., Madriz, H. V., y Ojeda, A. M. (2024). *Galleria mellonella* y *Tenebrio molitor* Biodegraders of Bags, Straws, Unicel Cups and Face Mask. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(2). <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.5145>
- Ben Haddad, M. B., De-la-Torre, G. E., Abelouah, M. R., Hajji, S., y Alla, A. A. (2021). Personal protective equipment (ppe) pollution associated with the COVID-19 pandemic along the coastline of Agadir, Morocco. *Science of The Total Environment*, 798, 149282. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149282>
- Berthel, L. L., Benítez, L. T., Salgado, B. A., Espinosa, A. P., y Montero, L. V. (2022). Mascarillas faciales: contaminación ambiental, efectos toxicológicos, posibles soluciones y políticas globales. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*. <https://doi.org/10.26507/paper.2438>
- Borja-Sánchez, J. (2024). Editorial: La educación ambiental como medio para alcanzar la ecociudadanía. *Revista Electrónica en Educación y Pedagogía*, 8(13), 9-14. <https://doi.org/10.15658/rev.electron.educ.pedagog24.02081401>
- Conahcyt (2023). Covid-19 México. <https://datos.covid-19.conacyt.mx/>
- De la Torre, G. E., Apaza-Vargas, D. M., y Santillán, L. (2020). Microplastic ingestion and feeding ecology in three intertidal mollusk species from Lima, Peru. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 55(2), 167-171. <https://doi.org/10.22370/rbmo.2020.55.2.2502>
- Deutsche Welle (2020). Residuos de la pandemia se acumulan en México. <https://www.dw.com/es/residuos-de-la-pandemia-se-acumulan-en-m%C3%A9xico/a-53490794>
- Di Renzo, L., Mascilongo, G., Berti, M., Bogdanović, T., Listeš, E., Brkljača, M. y Di Giacinto, F. (2021). Potential impact of microplastics and additives on the health status of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) stranded along the Central Adriatic Coast. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-04994-8>
- Digka, N., Tsangaris, C., Torre, M., Anastasopoulou, A., y Zeri, C. (2018). Microplastics in mussels and fish from the Northern Ionian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 135, 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.063>
- dof (2013, febrero 1). NOM-161-Semarnat-2011. Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5286505&fecha=01/02/2013#gsc.tab=0
- El Sol de Puebla (2024). México es uno de los países que más usa cubrebocas: encuesta. <https://www.elsoldepuebla.com.mx/doble-via/salud/mexico-es-uno-de-los-paises-que-mas-usa-cubrebocas-encuesta-7895820.html>
- Goldstein, M. C., y Goodwin, D. S. (2013). Gooseneck barnacles (*Lepas* spp.) ingest microplastic debris in the North Pacific Subtropical Gyre. *PeerJ*, 1, e184. <https://doi.org/10.7717/peerj.184>
- Gómez-Tagle, M. J., y Cilia-López, V. G. (2021). The massive misuse of face mask as a risk to COVID-19 pandemic in Latin American: the case of Mexico. *Research Square*, 10. <https://orcid.org/0000-0003-0064-4490>
- Gope, D., Gope, A., y Gope, P. C. (2020). Mask material: challenges and virucidal properties as an effective

- tive solution against coronavirus sars-CoV-2. *Open Health*, 1(1), 37-50. <https://doi.org/10.1515/openhe-2020-0004>
- Ha, T. M., y Trinh, V. D. (2021). Green brand equity and COVID-19 post-pandemic: The case of the world's first coffee face mask in Vietnam. The Future of Service Post-COVID-19 *Pandemic, Volume 2: Transformation of Services Marketing* (pp. 65-86). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4134-0_4
- Kelly, H. (2011). The classical definition of a pandemic is not elusive. *Bulletin of the World Health Organization*, 89, 540-541. <https://doi.org/10.2471/BLT.11.089086>
- Knicker, H., y Velasco-Molina, M. (2022). Biodegradability of disposable surgical face masks littered into soil systems during the COVID 19 pandemic—a first approach using microcosms. *Soil Systems*, 6(2), 39. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6020039>
- Li, B., Huang, Y., Guo, D., Liu, Y., Liu, Z., Han, J. C., y Xing, B. (2022). Environmental risks of disposable face masks during the pandemic of COVID-19: Challenges and management. *Science of the Total Environment*, 825, 153880. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153880>
- Lin, V. S. (2016). Research highlights: impacts of microplastics on plankton. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 18(2), 160-163. <https://doi.org/10.1039/C6EM90004F>
- Ma, J., Chen, F., Xu, H., Liu, J., Chen, C. C., Zhang, Z., y Pan, K. (2022). Fate of face masks after being discarded into seawater: aging and microbial colonization. *Journal of Hazardous Materials*, 436, 129084. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129084>
- Merrill, G. B., Hermabessiere, L., Rochman, C. M., y Nowacek, D. P. (2023). Microplastics in marine mammal blubber, melon, & other tissues: Evidence of translocation. *Environmental Pollution*, 335, 122252. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122252>
- OceansAsia Foundation (2020). COVID-19 Facemasks & Marine Plastic Pollution. <https://oceansasia.org/covid-19-facemasks/>
- OMS Organización Mundial de la Salud (2020a). Who Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 - 11 March 2020. <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>
- OMS Organización Mundial de la Salud (2020b). Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for ipc precaution recommendations. <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>
- OMS Organización Mundial de la Salud (2020c). Shortage of personal protective equipment endangering health workers worldwide. <https://www.who.int/news/item/03-03-2020-shortage-of-personal-protective-equipment-endangering-health-workers-worldwide>
- Pérez-Guadián, P. J., y Dorantes-Molina, J. F. (2021). ¿Cómo hacer educación ambiental en tiempos de COVID-19? Experiencias del proyecto “Jóvenes aprendiendo a conservar”. *Educación ambiental y estudios biológicos. Aportes e investigaciones en tiempos de pandemia*. <https://omp.siea.org.mx/omp/index.php/omp/catalog/view/7/151/219>
- Priyadarshini, B., Santhosh Kumar, M., y Das, A. P. (2024). Microbial Degradation of Synthetic Plastics Released from COVID-19 Generated Single Use Disposable Face Masks. En Das, A. P., y Mishra, S. (Eds.), *Impact of COVID-19 Waste on Environmental Pollution and Its Sustainable Management: COVID-19 Waste and Its Management* (pp.1-16). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50840-0_1
- Quintero-Romero, D. (2023). Editorial: Educación ambiental y sustentabilidad. Elementos necesarios para el desarrollo. *Revista Electrónica en Educación y Pedagogía* 7(13), 9-13. <https://doi.org/10.15658/rev.electron.educ.pedagog23.11081301>
- Rakib, M. R. J., De-la-Torre, G. E., Pizarro-Ortega, C. I., Dioses-Salinas, D. C., y Al-Nahian, S. (2021). Personal protective equipment (ppe) pollution driven by the COVID-19 pandemic in Cox's Bazar, the longest natural beach in the world. *Marine pollution bulletin*, 169, 112497. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112497>
- Santillán, L., Saldaña-Serrano, M., y De-La-Torre, G. E. (2020). First record of microplastics in the endangered marine otter (Lontra felina). *Mastozoología neotropical*, 27(1), 211-215. <https://doi.org/10.31687/>

saremMN.20.271.0.12

- Sharma, P., Mittal, M., Yadav, A., y Aggarwal, N. K. (2023). Bacterial cellulose: nano-biomaterial for biodegradable face masks—a greener approach towards environment. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 19, 100759. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100759>
- Soo, X. Y. D., Wang, S., Yeo, C. C. J., Li, J., Ni, X. P., Jiang, L., y Loh, X. J. (2022). Polylactic acid face masks: Are these the sustainable solutions in times of COVID-19 pandemic? *Science of the Total Environment*, 807, 151084. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151084>
- Subekti, N., y Wulandari, R. (2022). The Role of Bacteria in the Termites Intestine *Macrotermes gilvus* Hagen as a Biological Agent in the Degradation of Medical Mask Waste. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 14(2). <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v14i2.37711>
- Thiel, M., De Veer, D., Espinoza-Fuenzalida, N. L., Espinoza, C., Gallardo, C., Hinojosa, I. A., y Villablanca, R. (2021). COVID lessons from the global south—face masks invading tourist beaches and recommendations for the outdoor seasons. *Science of the Total Environment*, 786, 147486. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147486>
- Torres, F. G., Dioses-Salinas, D. C., Pizarro-Ortega, C. I., y De-la-Torre, G. E. (2021). Sorption of chemical contaminants on degradable and non-degradable microplastics: *Recent progress and research trends. Science of the Total Environment*, 757, 143875. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143875>
- Xie, M., y Chen, Q. (2020). Insight into 2019 novel coronavirus—An updated interim review and lessons from sars-CoV and mers-CoV. *International Journal of Infectious Diseases*, 94, 119–124. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.03.071>

Derechos de Autor© 2025 Narciso Ortiz, Leticia: Peña Montes, Carolina y Lizardi Jiménez, Manuel Alejandro



Este texto está protegido por una licencia Creative Commons 4.0. Usted es libre para Compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de: Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.