



NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

13 - 16
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,
COLOMBIA



Mascarillas faciales: contaminación ambiental, efectos toxicológicos, posibles soluciones y políticas globales

Lina Lucía Berthel, Lesly Patricia Tejeda Benítez, Bárbara Julia Arroyo Salgado, Luisa Fernanda Villalba Montero, Angélica Lucía Pantoja Espinosa

**Universidad de Cartagena
Cartagena, Colombia**

Resumen

La pandemia por el virus SARS-CoV-2 (COVID-19) declarada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en marzo de 2020, ha afectado gravemente la salud humana y las economías mundiales. Según la OMS, el uso de mascarillas ayuda a controlar la propagación del virus, lo que ha provocado un aumento sin precedentes en la producción y el uso de este elemento de protección personal (EPP). Sin embargo, la eliminación inadecuada y la regulación insuficiente de las mascarillas de plásticos desechables (DPFs) ha intensificado el problema de la contaminación plástica ya existente, debido a que son fabricadas de materiales poliméricos que no se degradan fácilmente y que al ingresar al medio ambiente liberarían microplásticos. Existe una preocupación creciente en torno al destino ambiental de las DPFs que son desechadas irresponsablemente y dispuestas en vertederos que terminan inevitablemente en el curso de ríos y océanos. Recientes estudios informan el aumento de los residuos relacionados con la COVID-19 en algunos entornos, su interacción con la fauna silvestre y la presencia de contaminantes liberados por las DPFs con potencial para inducir efectos ecotoxicológicos. El objetivo de este estudio fue realizar una revisión bibliográfica acerca del impacto ambiental originado por los desechos de las mascarillas faciales debido al aumento de su uso durante la pandemia de la COVID-19, así como también recolectar información preliminar para el tema de la tesis doctoral. Se analizaron artículos científicos en revistas de alto impacto sobre el uso, la eliminación, el manejo de las mascarillas faciales usadas, las implicaciones ambientales originadas por la eliminación inadecuada de este EPP y una revisión de las políticas existentes de plásticos de un solo uso a nivel mundial. Por lo anterior, es necesario encontrar alternativas sostenibles que reduzcan el impacto ambiental causado por las mascarillas plásticas, dentro de las se encuentran; la producción de mascarillas biodegradables a partir de residuos agroindustri-

triales tales como; el plátano, aguacate, cáñamo, maíz, café y caña de azúcar disponibles actualmente y que han sido reportados en estudios; la reutilización plástica mediante trituración y clasificación mediante diferentes técnicas que permiten derretir el plástico en gránulos; la fabricación de mascarillas de tela con filtros desechables; el reciclaje de este EPP mediante pirolisis, la incorporación de máscaras faciales desechables en materiales de construcción y por último, un verdadero cambio hacia las políticas de disposición de plásticos por parte de los líderes políticos a nivel mundial acompañado de la unión de esfuerzos entre la población en general y la tecnología que genere un buen escenario para empezar a resolver la problemática originada por la contaminación plástica en el mundo.

Palabras clave: SARS-CoV-2; contaminación; plásticos biodegradables

Abstract

The pandemic declared by the World Health Organization (WHO) in March 2020, caused by virus SARS-CoV-2 and responsible for COVID-19 disease has seriously affected human health and impacted the world economy. According to the WHO, face masks have been used to restrict the spread of the virus, leading to an unprecedented increase in the production and use of this Personal Protection Element (PPE). However, improper disposal and insufficient regulation of disposable plastic face mask (DPFs) have intensified the problem of existing plastic pollution since they are made of polymeric materials that do not degrade easily releasing microplastic into the environment. There is a growing concern about the environmental fate of DPFs that are irresponsibly discarded and disposed in landfills that inevitably end up in rivers and oceans. Recent studies report the increase of COVID-19-related residues in some environments, their interaction with wildlife and the presence of contaminants released from DPFs with the potential to induce ecotoxicological effects. The objective of this study was to conduct bibliographic review of the environmental impact of face mask waste due to their increased use during the COVID-19 pandemic, as well as to collect preliminary data for doctoral thesis. Scientific articles in high impact journals on the use, disposal and management of used face masks, the environmental implications of improper disposal of this PPE and a review of existing single-use plastic policies worldwide were analyzed. It is necessary to find sustainable alternatives that reduce the environmental impact caused by plastic face masks, among which are: the production of biodegradable face masks from agro-industrial waste such as banana, avocado, hemp, corn, coffee and sugar cane currently available and which have been reported in studies; plastic reuse through shredding and classification using different techniques that allow melting the plastic into granules; the manufacture of fabric masks with disposable filters; the recycling of this PPE through pyrolysis, the incorporation of disposable face masks in construction materials and finally, a real change towards plastic disposal policies on the part of political world leaders accompanied by the union of efforts between the population in general and technology to build an optimist scenario in order to start solving the problem originated by plastic pollution in the world.

Keywords: SARS-CoV-2; pollution; disposable plastics



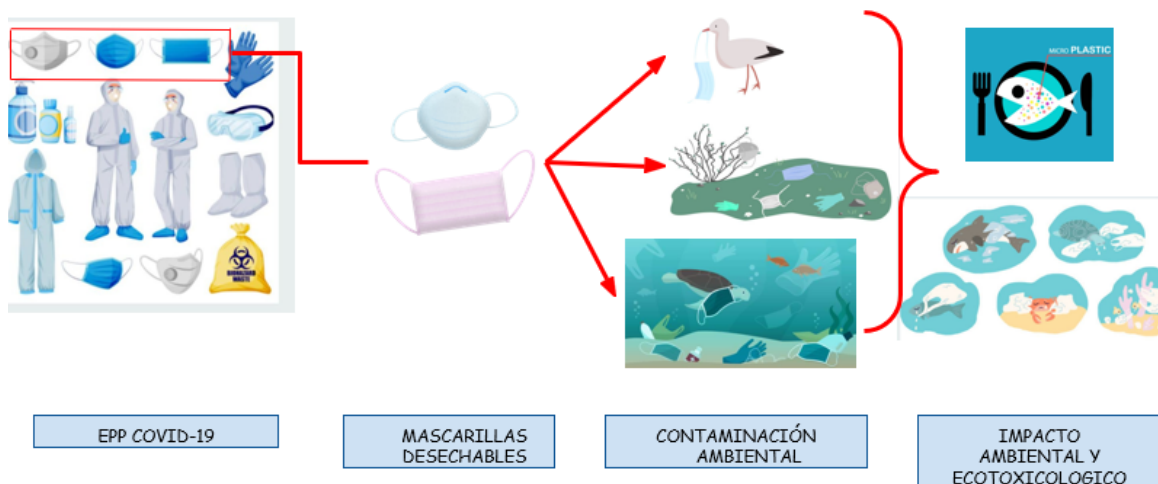


Figura 1. Resumen gráfico.

1. Introducción

El impacto sobre la salud humana, la perturbación social y la economía mundial debida a la pandemia del virus SARS-CoV-2 han sido devastadores (Mendonca-Gomes et al., 2021). Estudios mostraron que el SARS-CoV-2 es altamente transmisible a través del contacto cercano, gotas respiratorias y partículas de aerosol (Cao et al., 2021). Para prevenir la transmisión, se implementaron medidas que incluían cuarentenas, distanciamiento social, aislamiento, restricción de viajes, lavado de manos y el uso de mascarillas faciales (Fadare & Okoffo, 2020). Las partículas de aerosol permanecen más tiempo en el aire en atmósferas húmedas y cálidas, alcanzando mayor potencial para propagar el virus (Bourouiba et al., 2014). Por lo anterior, muchos países, el Centro de Control de Enfermedades (CDC) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) impusieron el uso obligatorio de mascarillas desechables o de tela en lugares públicos durante la pandemia de la COVID-19 (Silva et al., 2021).

Sin embargo, recientemente se ha demostrado que el uso excesivo de Elementos de Protección Personal (EPP) como máscaras y guantes desechables están incrementando la contaminación ya existente por plásticos en el medio marino convirtiéndose en un problema de salud pública que afecta a los ecosistemas naturales y la población en general (De-la-Torre & Aragaw, 2021). Esta revisión muestra una perspectiva de la contaminación por plásticos derivados de la pandemia, sus impactos ambientales y toxicológicos, y la legislación existente de plásticos de un solo uso a nivel mundial. También se presentan alternativas sostenibles como el uso de plásticos de base biológica en aplicaciones de un solo uso.

2. Composición de las máscaras quirúrgicas

La mayoría de las mascarillas de un solo uso son fabricadas con plásticos de origen petroquímico (Das et al., 2020), como el polipropileno, polietileno y poliestireno (Aragaw, 2020; Jung et al.,

2021) que se caracterizan por su baja o nula biodegradabilidad (Das et al., 2020). Desde hace décadas se ha mostrado que estos materiales conforman la mayoría de microplásticos presentes en los océanos (Aragaw, 2020; Sullivan et al., 2021).

Las máscaras de un solo uso se fabrican esencialmente con polipropileno y polietileno de alta densidad y se componen principalmente de tres capas ordenadas de dentro a fuera: capa interior con fibras blandas (de color verde, azul o blanco), capa intermedia formada por un filtro y capa exterior con fibras no tejidas (Shen et al., 2021). La tabla 1 muestra las partes de una máscara facial de un solo uso y sus componentes.

Tabla 1. Partes de una mascarilla de un solo uso y sus componentes.

Partes de una mascarilla de un solo uso	Componentes
Capa interna	<i>Esta parte puede ser de material de fibra suave o de tela no tejida, y es hidrofílica. Su función consiste en absorber la humedad, la saliva y el sudor. Esta capa consiste en la parte filtrante y está hecha por la tecnología de Electrospinning utilizando nanofibras o microfibras (Shen et al., 2021; Ma et al., 2021; Essa et al., 2021).</i>
Capa Intermedia	<i>Se encarga de proteger de los agentes infecciosos gracias a su capacidad de filtrar partículas. Su peso está entre 10 y 100 gm⁻² (Essa et al., 2021; Aragaw, 2020; Wibisono et al., 2020).</i>
Capa externa	<i>Esta capa se compone de telas no tejidas de polipropileno, que son resistentes al agua y normalmente de color. Su función principal es repeler los fluidos corporales y el agua. (Ma et al., 2021; Essa et al., 2021; Shekaraiah & Suresh, 2021; Chua et al., 2020; Fadare & Okoffo, 2020).</i>
Banda para la oreja	<i>Hecha de material de fibra (Shen et al., 2021)</i>

El filtro se considera la parte más importante de las mascarillas, ya que es el responsable de proteger las vías respiratorias de los agentes infecciosos (Das et al., 2020) gracias a su capacidad para filtrar partículas pequeñas (Pellett, Mitra & Holland, 2014). En el caso de las partículas víricas con un diámetro de 20-400 nm, el mecanismo de filtración ideal es el movimiento browniano (Mao, 2017). La capa intermedia, la que contiene el filtro, se fabrica mediante un proceso de electrospinning (Purwar, Goutham & Srivastava, 2016). En algunos procesos de fabricación se añaden partículas de sílice como relleno con el fin de aumentar la resistencia del material (Wu et al., 2005).

Adicionalmente, algunas mascarillas desechables contienen tintes de diferentes colorantes químicos que tienen en su composición metales como: antimonio, Cobre y Cromo (Sungur & Gülmez, 2015; Hahladakis et al., 2018), los cuales han sido asociados al desarrollo de reacciones alérgicas, enfermedades renales y cáncer debido a su fácil transmisión a través del proceso de inhalación en el uso de mascarillas (Sungur & Gülmez, 2015; Luch, 2012).

3. Impacto ambiental y ecotoxicológico

La pandemia causada por el SARS-CoV-2 trajo consigo efectos positivos y negativos para el medio ambiente, que impactaron a gran escala a nivel mundial. Entre los cambios positivos observados en el medio ambiente como consecuencia de la pandemia, se encuentra la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero, dióxido de nitrógeno y otros gases (Shrestha et al., 2020), el mejoramiento de la calidad del agua (Saraswat & Saraswat, 2020), del aire y del suelo, debido a que diversos sectores como el industrial y el del transporte suspendieron sus actividades (Sharma et al., 2020; Rodríguez-Urrego D & Rodríguez-Urrego L, 2020). Los ecosistemas acuáticos se beneficiaron durante el inicio de la cuarentena, como el río Ganges, la calidad del agua mejoró (Mani, 2020).

Sin embargo, el uso desproporcionado de desinfectantes y EPP como mascarillas y guantes desechables han impactado negativamente el medio ambiente, especialmente en los ecosistemas marinos como lugar de disposición final de múltiples residuos plásticos (Zambrano-Monserrate, Ruano & Sánchez-Alcalde, 2020). En Toronto, se documentaron 1306 residuos de EPP en ecosistemas acuáticos, de los cuales el 44% eran guantes desechables y el 31% mascarillas; el 97% representado por mascarillas de un solo uso (Ammendolia et al., 2021).

Se ha demostrado que cuando los plásticos entran en contacto con el agua, liberan micro y nanofibras de plástico, partículas de sílice y metales pesados (Fadare & Okoffo, 2020). Las fibras y compuestos químicos son fácilmente ingeridos por organismos marinos como los peces, incorporándose en la cadena alimentaria (Sullivan et al., 2021). Las micro y nanofibras producen efectos citotóxicos y genotóxicos en los organismos acuáticos, provocando daños celulares en estas especies (Bouwmeester, Hollman & Peters, 2015; Bhagat et al., 2020). Estudios en animales, como el pez cebra, han indicado que las fibras se adhieren fácilmente a los intestinos causando un gran estrés oxidativo e inflamación en el organismo (Bhagat et al., 2020).

4. Alternativas biodegradables y posibles soluciones

Debido a los problemas antes mencionados, es necesario encontrar alternativas sostenibles que reduzcan el impacto ambiental, algunas son protocolos adecuados de uso y desecho de mascarillas; desinfección, reutilización, reprocesamiento y desinfección de mascarillas desechables, uso de mascarillas de tela con filtros desechables y producción de mascarillas biodegradables (Babaahmadi et al., 2021; Selvaranjan et al., 2021).

En primer lugar, debe haber una correcta gestión y clasificación de los residuos hospitalarios, ya que contribuyen significativamente a la contaminación plástica a nivel global y pueden ser peligrosos, radiactivos o una fuente de propagación (Huang & Huang, 2007). Las técnicas de desinfección más usadas para la gestión de los residuos hospitalarios son el pirólisis y las microondas (Selvaranjan et al., 2021). Éstas ofrecen ventajas como baja tasa de emisión, reducción del volumen en un 95%, reducción de la masa hasta en un 90% y una menor carga ambiental sin residuos nocivos durante la fase de desinfección (Ilyas, Srivastava & Kim, 2020).

La reutilización puede realizarse mediante una estrategia denominada rotación de máscaras. En esta estrategia, la mascarilla utilizada puede rotarse cada día, dejándolas secar durante periodos lo suficientemente largos como para que el virus ya no sea viable (> 72 h) (SAGES, 2020). Se requiere colgar las mascarillas para que se sequen o mantenerlas en un recipiente limpio y transpirable, como una bolsa de papel entre usos (Vanapalli et al., 2021; Williams-Wynn & Naidoo, 2020). El reprocesamiento/descontaminación se lleva a cabo mediante diversos métodos, como el calor húmedo, el calor seco, el tratamiento con rayos UV o la vaporización de peróxido de hidrógeno H_2O_2 . Las técnicas de calor seco con H_2O_2 permiten reprocesar los protectores personales (mascarillas N95) y reutilizarlos (Ilyas, Srivastava & Kim, 2020).

Es importante que se desarrollen mascarillas sostenibles totalmente biodegradables que tengan una amplia disponibilidad, eficacia y bajo costo (Das et al., 2020). Los plásticos biodegradables pueden ser una opción para sustituir al polipropileno, si cumplen requisitos básicos como la elasticidad, la resistencia al agua y la propiedad de filtración (Selvaranjan et al., 2021).

Los polímeros biodegradables pueden obtenerse de diferentes familias como la producción de biomasa a partir de recursos agrícolas como polisacáridos (almidones, lignocelulosa), proteínas, lípidos y microorganismos. Las fibras naturales como el cactus, plátano, aguacate, loto, sisal, paja, cáñamo, maíz, bambú, café y la caña de azúcar tienen la capacidad de cumplir los requisitos estándar para producir máscaras (Selvaranjan et al., 2021). El uso de biomateriales como el alginato, quitina, quitosano, gluten, alcohol polivinílico, ácido poliláctico (APL), ácido poliláctico glicólico, policaprolactona, óxido de polietileno, acetato de celulosa y sus mezclas para la preparación de máscaras es eficiente y sostenible, sin embargo, representa un costo más elevado que el de los polímeros derivados del petróleo, por lo que deben desarrollarse nuevos enfoques de producción y fabricación (Pandit et al., 2021).

Adicionalmente, pueden reforzarse con el uso de recursos herbales con propiedades funcionales, como antimicrobianas, antifúngicas, de protección contra los rayos UV, repelentes de insectos y de acabado aromático de los tejidos naturales; por ello, el extracto de hierbas obtenido del tulsi, aceite de neem, semillas de carom o ajwain, pimienta negra, cúrcuma, goma arábiga, sándalo, clavo y azafrán se utilizan para la preparación de mascarillas biodegradables (Pandit et al., 2021).

Por ejemplo, se han desarrollado mascarilla con capas de algodón, nanofibras de APL electrohilada adicionada con extractos de hierbas indias con propiedades antibacterianas y antivirales (Patil et al., 2021); máscaras con una nanofibra de APL a nanoescala mediante electrospinning (Wang et al., 2022); filtros de membrana integrada con esteras de microfibra y nanofibras de base poli succinato de butileno, recubierto con nanopérlas de quitosano (Choi et al., 2021); máscaras a partir de nanofibras de gluten carbonizado (Das et al., 2020); mascarillas fabricadas con café (Ha & Trinh, 2021).

5. Políticas de plásticos de un solo uso en el mundo

El aumento significativo de los residuos plásticos durante la pandemia por COVID-19 representado principalmente por plásticos de un solo uso (SUP) y EPP pone en evidencia la necesidad esencial



de fortalecer las políticas de reducción de plásticos, así como también soluciones sostenibles y ecológicas que permitan establecer sistemas de gestión de residuos eficaces y con capacidad de respuesta inmediata (Silva et al., 2020).

Las políticas relativas a las bolsas de plástico han aumentado más rápidamente en los países en desarrollo que en los industrializados (Bezerra et al., 2021). La tabla 2 ofrece una descripción general de las políticas existentes de SUP a nivel mundial.

Tabla 2. Políticas sobre plásticos de un solo

País	Año de creación	Política	Referencia
India	2018	Prohibición del uso de bolsas de transporte hechas de plástico virgen o reciclado, láminas de plástico o similares	Sivadas et al., 2022
India	2018	Prohibición de productos hechos de plásticos reciclados para envasar y almacenar alimentos	Sivadas et al., 2022
China, Francia, Italia, Rumania, Turquía. India, Arabia Saudita, Mongolia, Pakistán, Afganistán, Costa Rica	2018	Prohibición total o fabricación, libre distribución e importación de SUP	Diggie & Walker, 2020
Japón, Portugal, Argelia, Panamá	2018	Prohibición total o parcial de fabricación e importación o ambas de SUP	Silva et al., 2020
Canadá, Australia, Indonesia, Alemania Suecia, Noruega Nueva Zelanda, Vietnam, Filipinas, Egipto, Brasil, Argentina. México, Ecuador, Guatemala	2018	Prohibición total o parcial en regiones/ciudades específicas (fabricación y/o libre distribución y/o importación de SUP)	PNUMA, 2018; Silva et al., 2020
España, Polonia, Irlanda, Corea del Sur, Chile	2018	Prohibición total o parcial de la libre distribución al por menor de SUP	PNUMA, 2018; Silva et al., 2020
Reino Unido, Finlandia, Paraguay	2018	Prohibición total o parcial de la libre distribución al por menor y de la importación de SUP	PNUMA, 2018; Silva et al., 2020
República Democrática del Congo, Tanzania	2017	Prohibición, importación, producción, consumo y uso de bolsas y envases de plástico a partir del 1 de julio de 2018	Bezerra et al., 2021
Islas Comoras, Mauricio, Seychelles	2015	Prohibición, producción, importación y comercialización de bolsas de plástico de SUP	Bezerra et al., 2021
Sudáfrica	2002	Prohibición de las bolsas de SUP	Hasson et al., 2007
Colombia	2017	Tasa nacional sobre las bolsas de plástico	Knoblauch & Mederake, 2021



Colombia

2019

*Prohibición nacional de SUP en los
Parques Nacionales Naturales**Knoblauch &
Mederake,
2021.*

Las tasas o las prohibiciones de los plásticos de un solo uso se han retrasado o suspendido debido al Coronavirus, entre otros, en varios estados de Estados Unidos. En el Reino Unido, se canceló la tasa sobre las bolsas de plástico para las entregas en línea. Las prohibiciones de los SUP también se han pospuesto en Canadá y en el sur de Australia. En Italia, el impuesto sobre los plásticos vírgenes se retrasó hasta 2021. En general, los grupos de presión utilizaron la pandemia como argumento contra la regulación de los plásticos (Knoblauch y Mederake, 2021).

6. Conclusiones

Son requeridos grandes cambios en el sistema por parte de los líderes políticos a nivel mundial encargados de formular las políticas de disposición de plásticos, así como también es necesaria una sinergia entre el estado y la empresa privada que motive a inversionistas a afrontar los desafíos de adoptar una normatividad responsable y consciente acerca del uso de plásticos con objetivos claros y alcanzables. También es importante promover políticas para el abastecimiento competitivo de materiales reutilizables o compostables sustitutos y en este sentido garantizar una mejor disposición de residuos originados. Cabe mencionar que la unión de esfuerzos entre la población en general, la tecnología y los distintos gobiernos sería un buen escenario para empezar a resolver la problemática originada por la contaminación plástica a nivel mundial.

7. Referencias bibliográficas

- Ammendolia, J., Saturno, J., Brooks, A. L., Jacobs, S., & Jambeck, J. R. (2021). An emerging source of plastic pollution: environmental presence of plastic personal protective equipment (PPE) debris related to COVID-19 in a metropolitan city. *Environmental Pollution*, Vol. 269, p. 116160.
- Aragaw, T. A. (2020). Surgical face masks as a potential source for microplastic pollution in the COVID-19 scenario. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 159, p. 111517.
- Babaahmadi, V., Amid, H., Naeimirad, M., & Ramakrishna, S. (2021). Biodegradable and multi-functional surgical face masks: A brief review on demands during COVID-19 pandemic, recent developments, and future perspectives. *Science of the Total Environment*, Vol. 798, p. 149233.
- Bezerra, J. C., Walker, T. R., Clayton, C. A., & Adam, I. (2021). Single-use plastic bag policies in the Southern African development community. *Environmental Challenges*, Vol. 3, p. 100029.
- Bhagat, J., Zang, L., Nishimura, N., & Shimada, Y. (2020). Zebrafish: An emerging model to study microplastic and nanoplastic toxicity. *Science of The Total Environment*, Vol. 728, p. 138707.
- Bourouiba, L., Dehandschoewercker, E., & Bush, J. W. (2014). Violent expiratory events: on coughing and sneezing. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 745, pp. 537-563.
- Bouwmeester, H., Hollman, P. C., & Peters, R. J. (2015). Potential health impact of environmentally released micro-and nanoplastics in the human food production chain: experiences from nanotoxicology. *Environmental science & technology*, Vol. 49, No. 15, pp. 8932-8947.



- Cao, Y., Shao, L., Jones, T., Oliveira, M. L., Ge, S., Feng, X., ... & Bérubé, K. (2021). Multiple relationships between aerosol and COVID-19: A framework for global studies. *Gondwana Research*, Vol. 93, pp. 243-251.
- Choi, S., Jeon, H., Jang, M., Kim, H., Shin, G., Koo, J. M., ... & Hwang, S. Y. (2021). Biodegradable, efficient, and breathable multi-use face mask filter. *Advanced Science*, Vol. 8, No. 6, p. 2003155.
- Chua, M. H., Cheng, W., Goh, S. S., Kong, J., Li, B., Lim, J. Y., ... & Loh, X. J. (2020). Face masks in the new COVID-19 normal: materials, testing, and perspectives. *Research*, 2020, Vol. 2020.
- Das, O., Neisiany, R. E., Capezza, A. J., Hedenqvist, M. S., Försth, M., Xu, Q., ... & Ramakrishna, S. (2020). The need for fully bio-based facemasks to counter coronavirus outbreaks: A perspective. *Science of the Total Environment*, Vol. 736, p. 139611.
- Das, O., Kim, N. K., Hedenqvist, M. S., Bhattacharyya, D., Johansson, E., Xu, Q., & Holder, S. (2020). Naturally-occurring bromophenol to develop fire retardant gluten biopolymers. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 243, p. 118552.
- De-la-Torre, G. E., & Aragaw, T. A. (2021). What we need to know about PPE associated with the COVID-19 pandemic in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, Vol. 163, p. 111879.
- Diggle, A., & Walker, T. R. (2020). Implementation of harmonized Extended Producer Responsibility strategies to incentivize recovery of single-use plastic packaging waste in Canada. *Waste Management*, Vol. 110, pp. 20-23.
- Essa, W. K., Yasin, S. A., Saeed, I. A., & Ali, G. A. (2021). Nanofiber-based face masks and respirators as COVID-19 protection: A review. *Membranes*, 2021, Vol. 11, No. 4, p. 250.
- Fadare, O. O., & Okoffo, E. D. (2020). Covid-19 face masks: A potential source of microplastic fibers in the environment. *The Science of the total environment*, Vol. 737, p. 140279
- Ha, T. M., & Trinh, V. D. (2021). Green brand equity and COVID-19 post-pandemic: The case of the world's first coffee face mask in Vietnam. In *The Future of Service Post-COVID-19 Pandemic*, Volume 2 (pp. 65-86). Springer, Singapore
- Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., & Purnell, P. (2018). An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of hazardous materials*, Vol. 344, pp. 179-199.
- Hasson, R., Leiman, A., & Visser, M. (2007). The economics of plastic bag legislation in South Africa 1. *South African Journal of Economics*, Vol. 75, No. 1, p. 66-83.
- Huang, J. T., & Huang, V. J. (2007). Evaluation of the efficiency of medical masks and the creation of new medical masks. *Journal of international medical research*, Vol. 35, No. 2, pp. 213-223.
- Ilyas, S., Srivastava, R. R., & Kim, H. (2020). Disinfection technology and strategies for COVID-19 hospital and bio-medical waste management. *Science of the Total Environment*, Vol. 749, p. 141652.
- Jung, S., Lee, S., Dou, X., & Kwon, E. E. (2021). Valorization of disposable COVID-19 mask through the thermo-chemical process. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 405, p. 126658.
- Knoblauch, D., & Mederake, L. (2021). Government policies combatting plastic pollution. *Current Opinion in Toxicology*, Vol. 28, p. 87-96.
- Luch A, editor. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology* [Internet]. Basel: Springer Basel; 2012. (Experientia Supplementum; vol. 101). Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-7643-8340-4>
- Ma, J., Chen, F., Xu, H., Jiang, H., Liu, J., Li, P., ... & Pan, K. (2021). Face masks as a source of nanoplastics and microplastics in the environment: quantification, characterization, and potential for bioaccumulation. *Environmental Pollution*, Vol. 288, p. 117748.
- Mani KA. The Lockdown Cleaned the Ganga More Than 'Namami Gange' Ever Did [Internet]. 2020. Available from: <https://science.thewire.in/environment/ganga-river-lockdown-cleaner-namami-gange-sewage-treatment-ecological-flow/>



- Mendonça-Gomes, J. M., da Costa Araújo, A. P., da Luz, T. M., Charlie-Silva, I., Braz, H. L. B., Jorge, R. J. B., ... & Malafaia, G. (2021). Environmental impacts of COVID-19 treatment: Toxicological evaluation of azithromycin and hydroxychloroquine in adult zebrafish. *Science of The Total Environment*, Vol. 790, p. 148129.
- Oberoi, G., & Garg, A. (2021). Single-Use Plastics: A Roadmap for Sustainability?. *Supremo Amicus*, Vol. 24, p. 585.
- Pandit, P., Maity, S., Singha, K., Uzun, M., Shekh, M., & Ahmed, S. (2021). Potential biodegradable face mask to counter environmental impact of Covid-19. *Cleaner Engineering and Technology*, Vol. 4, p. 100218.
- Patil, N. A., Gore, P. M., Prakash, N. J., Govindaraj, P., Yadav, R., Verma, V., ... & Kandasubramanian, B. (2021). Needleless electrospun phytochemicals encapsulated nanofibre based 3-ply biodegradable mask for combating COVID-19 pandemic. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 416, p. 129152.
- Pellett, P. E., Mitra, S., & Holland, T. C. (2014). Basics of virology. *Handbook of clinical neurology*, Vol. 123, pp. 45-66.
- Purwar, R., Sai Goutham, K., & Srivastava, C. M. (2016). Electrospun Sericin/PVA/Clay nanofibrous mats for antimicrobial air filtration mask. *Fibers and Polymers*, Vol. 17, No 8, pp. 1206-1216.
- Rodríguez-Urrego, D., & Rodríguez-Urrego, L. (2020). Air quality during the COVID-19: PM2. 5 analysis in the 50 most polluted capital cities in the world. *Environmental Pollution*, Vol. 266, p. 115042.
- S. A. G. E. S. (2020). N95 Mask Re-Use Strategies. Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons. Consultado el 20 de agosto de 2021 en <https://www.sages.org/n-95-re-use-instructions>.
- Saraswat, R., & Saraswat, D. A. (2020). Research opportunities in pandemic lockdown. *Science*, Vol. 368, No. 6491, pp. 594-595.
- Selvaranjan, K., Navaratnam, S., Rajeev, P., & Ravintherakumaran, N. (2021). Environmental challenges induced by extensive use of face masks during COVID-19: A review and potential solutions. *Environmental Challenges*, Vol. 3, p. 100039.
- Sharma, S., Zhang, M., Gao, J., Zhang, H., & Kota, S. H. (2020). Effect of restricted emissions during COVID-19 on air quality in India. *Science of the Total Environment*, Vol. 728, p. 138878.
- Shekaraiah, S., & Suresh, K. (2021). Effect of Face Mask on Voice Production During COVID-19 Pandemic: A Systematic Review. *Journal of Voice*.
- Shen, M., Zeng, Z., Song, B., Yi, H., Hu, T., Zhang, Y., ... & Xiao, R. (2021). Neglected microplastics pollution in global COVID-19: disposable surgical masks. *Science of the Total Environment*, Vol. 790, p. 148130.
- Shrestha, A. M., Shrestha, U. B., Sharma, R., Bhattarai, S., Tran, H. N. T., & Rupakheti, M. (2020). Lockdown caused by COVID-19 pandemic reduces air pollution in cities worldwide.
- Silva, A. L. P., Prata, J. C., Walker, T. R., Duarte, A. C., Ouyang, W., Barcelò, D., & Rocha-Santos, T. (2021). Increased plastic pollution due to COVID-19 pandemic: Challenges and recommendations. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 405, p. 126683
- Silva, A. L. P., Prata, J. C., Walker, T. R., Campos, D., Duarte, A. C., Soares, A. M., ... & Rocha-Santos, T. (2020). Rethinking and optimising plastic waste management under COVID-19 pandemic: policy solutions based on redesign and reduction of single-use plastics and personal protective equipment. *Science of the Total Environment*, Vol. 742, p. 140565.
- Sivadas, S. K., Mishra, P., Kaviarasan, T., Sambandam, M., Dhineka, K., Murthy, M. R., ... & Hoehn, D. (2022). Litter and plastic monitoring in the Indian marine environment: A review of current research, policies, waste management, and a roadmap for multidisciplinary action. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 176, p. 113424.



- Sullivan, G. L., Delgado-Gallardo, J., Watson, T. M., & Sarp, S. (2021). An investigation into the leaching of micro and nano particles and chemical pollutants from disposable face masks-linked to the COVID-19 pandemic. *Water Research*, Vol. 196, p. 117033.
- Sungur, Ş., & Gülmez, F. (2015). Determination of metal contents of various fibers used in textile industry by MP-AES. *Journal of Spectroscopy*, Vol. 2015.
- Vanapalli, K. R., Sharma, H. B., Ranjan, V. P., Samal, B., Bhattacharya, J., Dubey, B. K., & Goel, S. (2021). Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment*, Vol. 750, p. 141514.
- Wang, L., Gao, Y., Xiong, J., Shao, W., Cui, C., Sun, N., ... & He, J. (2022). Biodegradable and high-performance multiscale structured nanofiber membrane as mask filter media via poly (lactic acid) electrospinning. *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 606, pp. 961-970.
- Wibisono, Y., Fadila, C. R., Saiful, S., & Bilad, M. R. (2020). Facile approaches of polymeric face masks reuse and reinforcements for micro-aerosol droplets and viruses filtration: A review. *Polymers*, Vol. 12, No. 11, p. 2516.
- Williams-Wynn, M. D., & Naidoo, P. (2020). A review of the treatment options for marine plastic waste in South Africa. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 161, p. 111785.
- Wu, C. L., Zhang, M. Q., Rong, M. Z., & Friedrich, K. (2005). Silica nanoparticles filled polypropylene: effects of particle surface treatment, matrix ductility and particle species on mechanical performance of the composites. *Composites science and technology*, Vol. 65, No. 3-4, pp. 635-645.
- Zambrano-Monserrate, M. A., Ruano, M. A., & Sánchez-Alcalde, L. (2020). Indirect effects of COVID-19 on the environment. *Science of the total environment*, Vol. 728, p. 138813.

Sobre los autores

- **Lina Lucía Berthel:** Ingeniera de alimentos. Doctorando en Ingeniería. Universidad de Cartagena. lberthel@unicartagena.edu.co
- **Lesly Patricia Tejada Benítez:** Ingeniera química, Magister en Ingeniería Ambiental. PhD en Toxicología Ambiental. Docente titular del programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena. ltejedab@unicartagena.edu.co
- **Bárbara Julia Arroyo Salgado:** Microbióloga. PhD en Ciencias Biomédicas. Docente titular de la Facultad de Medicina, Universidad de Cartagena. barroyos@unicartagena.edu.co
- **Luisa Fernanda Villalba Montero:** Estudiante de Medicina, Universidad de Cartagena. lvillalbam1@unicartagena.edu.co
- **Angélica Lucía Pantoja Espinosa:** Estudiante de Medicina, Universidad de Cartagena. apantojae@unicartagena.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

