

Residuos de equipos de protección individual durante la pandemia de la COVID y su impacto en los ecosistemas marinos.



Autor Principal: María Ángeles Martín Lara (Universidad de Granada)

Otros autores: Francisco J. Peula López (Rethinking Observatorio de Residuos); Francisco Ortega García (Universidad de Granada); Héctor J. Pula Moreno (Aula del Mar CEI·MAR UGR); Pedro Sánchez Castillo (Universidad de Granada); Montserrat Zamorano Toro (Universidad de Granada); Mónica Calero de Hoces (Universidad de Granada).

ÍNDICE

1. Título
2. Palabras Clave
3. Resumen
4. Introducción
5. Metodología
6. Resultados
7. Conclusiones
8. Bibliografía
9. Agradecimientos

TÍTULO

Residuos de equipos de protección individual durante la pandemia de la COVID y su impacto en los ecosistemas marinos.

PALABRAS CLAVE

Residuos de equipos de protección individual; plantas de tratamiento de residuos municipales; contaminación marina; covid-19; residuos plásticos.

RESUMEN

El uso de equipos de protección individual (EPIs) desechables como medida de control para evitar la transmisión contra la COVID-19 ha generado un reto en la gestión de residuos y aumenta la contaminación por plásticos en el medio ambiente, incluyendo los ecosistemas marinos, ya de por sí castigados. En el proyecto RECOMAR, que aún sigue en ejecución, se están llevando a cabo labores de investigación en torno a tres grandes áreas. Por una parte, se han identificado y caracterizado los residuos del contenedor orgánico-resto de las plantas de tratamiento mecánico-biológico de residuos municipales y los residuos separados en la etapa de desbaste de las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas, con especial interés en los residuos de EPIs. Además, se está realizando un seguimiento de las basuras marinas encontradas en las playas y ambientes marinos someros y profundos del litoral granadino, con especial atención en los EPIs. Finalmente, se ha analizado la valorización mediante reciclado químico por pirólisis de los residuos de EPIs para la obtención de combustibles líquidos de interés. En particular, en el marco del proyecto RECOMAR, el objetivo de la comunicación que se presenta es informar de los resultados obtenidos en la caracterización realizada en las

plantas de tratamiento de residuos municipales y de los resultados de la presencia de residuos de EPIs y desechos plásticos en las playas de Granada, España. Los resultados mostraron que las densidades de EPIs en las costas de Granada estaban en el rango de $0,000 - 1,362 \cdot 10^{-3}$ EPIs/m², donde las mascarillas representaban el 92,39% del total de EPIs encontrados, siendo estos resultados comparables a estudios anteriores en otras zonas costeras del mundo. Por otra parte, las densidades de los residuos plásticos estaban en el rango de $2,457 \cdot 10^{-2} - 9,219 \cdot 10^{-1}$ g/m². De media, los residuos de EPIs representaban el 0,64% del total de los residuos plásticos encontrados. Durante los períodos de vacaciones, los residuos plásticos aumentaron entre un 41% y un 119% en comparación con los residuos plásticos encontrados durante los períodos no vacacionales. Los filtros de cigarrillos, los envases de comida y la espuma de poliestireno fueron los elementos más abundantes. En cuanto al tipo de playas, la presencia de residuos de EPIs y de residuos plásticos fue mayor en las playas turísticas/recreativas.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por plásticos es uno de los mayores problemas medioambientales de la actualidad. A pesar de los esfuerzos realizados por todas las partes implicadas en su producción, consumo y gestión, la contaminación por plásticos sigue agravándose con el tiempo. La generación mundial de residuos plásticos alcanzó los 353 millones de toneladas en 2019 y el 22% de estos residuos plásticos elude los sistemas de gestión de residuos y acaba en vertederos incontrolados, se quema en fosas abiertas o acaba en medios terrestres o acuáticos. Se calcula que actualmente hay 30 millones de toneladas de residuos plásticos en los mares y océanos, y otros 109 millones de toneladas se han acumulado en los ríos. (OECD, 2022).

El sistema productivo actual es un generador neto de residuos y son muchos los aspectos que influyen en la generación de los mismos. Por ejemplo, en los últimos años, la pandemia del coronavirus, ha hecho que la sociedad cambie sus hábitos de consumo lo que ha dado lugar a una transformación en la situación de la generación y composición de los residuos. Así, por ejemplo, durante los años 2020, 2021 y gran parte del año 2022, las mascarillas, los guantes y otros equipos de protección individual (EPIs) se han sumado a los residuos y, desgraciadamente, muchos de ellos no han sido gestionados e incluso han acabado en el medio marino. El objetivo principal del proyecto RECOMAR es analizar el impacto de la COVID-19 en la producción de estos residuos, con la finalidad de adoptar estrategias de economía circular y soluciones avanzadas para mantener vivos y libres de la contaminación por residuos de mascarillas, guantes y otros equipos de protección individual (mayoritariamente plásticos) a nuestros mares.

Los plásticos más utilizados en la actualidad se consideran no biodegradables. La contaminación por estos plásticos provoca efectos adversos en los medios acuáticos. Se ha observado que los residuos plásticos de gran tamaño provocan enredos con la biota marina, como tortugas, peces y aves marinas. Además, los plásticos pueden ser colonizados por los macroinvertebrados marinos, derivar hacia ecosistemas ajenos y provocar invasiones biológicas (De-la-Torre *et al.*, 2021). Los plásticos también se descomponen en partículas más pequeñas que alcanzan tamaños inferiores a 5 mm y que se consideran microplásticos (MP). Los MP están presentes en todos los medios acuáticos, contaminando las zonas costeras, las aguas superficiales y los sedimentos, y son ingeridos por una amplia gama de organismos.

En el proyecto, que aún sigue en ejecución, se están llevando a cabo labores de investigación en torno a tres grandes áreas. Por una parte, se han identificado y caracterizado los residuos del contenedor orgánico-resto de las plantas de tratamiento mecánico-biológico de residuos municipales y los residuos separados en la etapa de desbaste de las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas, con especial interés en los residuos de EPIs. Además, se está realizando un seguimiento de las basuras marinas encontradas en las playas y ambientes marinos someros y profundos del litoral granadino, con especial atención en los EPIs. Finalmente, se ha analizado la valorización mediante reciclado químico por pirólisis de los residuos de EPIs para la obtención de combustibles líquidos de interés.

El uso de equipos de protección individual desechables como medida de control para evitar la transmisión contra la COVID-19 ha generado un desafío a la gestión de residuos y aumenta la contaminación por plásticos en el medio ambiente.

En este trabajo se presentan los resultados del paquete de trabajo orientado a la determinación de los grupos de materiales que están presentes en los flujos de residuos actualmente gestionados en las plantas de tratamiento de residuos sólidos. Por otra parte, en esta investigación se monitorizó la presencia de residuos de EPIs y desechos plásticos en las zonas costeras de Granada, España, que pertenece al Mar Mediterráneo. Se analizaron cuatro playas denominadas Salobreña, Calahonda, La Rijana, La Rábida durante diferentes periodos. Los criterios de elección de las playas se basaron en su actividad (turística/recreativa y pesquera) y en su ubicación (remota y accesible). Se determinó la abundancia, las características y la distribución de los EPIs y los residuos plásticos.

METODOLOGÍA

Estudio de la generación de residuos municipales en Granada durante la pandemia.

Para el análisis de los datos de generación de residuos municipales en Granada se han empleados los datos disponibles por año en la página web oficial del Ayuntamiento de Granada.

Respecto a las caracterizaciones de los residuos domiciliarios del contenedor orgánico-resto (residuos mezclados), estas fueron realizadas mediante triaje manual consistente en la separación de las diferentes fracciones que lo componen para determinar la naturaleza de cada fracción y en qué porcentaje se encuentra. Particularmente, los residuos del contenedor orgánico-resto que se caracterizaron mediante triaje manual fueron los siguientes:

- Materia orgánica.
- Envases ligeros (PET, PEAD, Film, Envases de acero y aluminio, bricks, otros).
- Papel/cartón.
- Vidrio.

- Restos de poda y jardinería.
- Celulosas/pañales.
- Textiles.
- Residuos de EPIs (Mascarillas, guantes, etc).

En primer lugar, se obtuvo una muestra de unos 1.000 kg del foso/playa de la instalación realizando una homogeneización por medios mecánicos para conseguir que la muestra seleccionada representara, de la mejor forma posible, a la totalidad del flujo caracterizado. Esta muestra de 1.000 kg fue extendida y dividida en cuatro partes similares (cuarteo) de unos 250 kg. A continuación, se escogieron dos esquinas opuestas elegidas al azar las cuales tras abrir las bolsas que estuviesen cerradas, volvieron a ser mezcladas y homogeneizadas. A continuación, se efectuó un segundo cuarteo de los 500 kg no seleccionados anteriormente, de donde se escogieron 50 kg de cada cuarto más 25 kg de dos cuartos opuestos elegidos nuevamente al azar. Todo ello dio una muestra final de unos 250 kg aproximadamente, que es sobre la que se hizo una minuciosa separación agrupando materiales y posteriormente pesando cada una de estas agrupaciones.

Estudio de la presencia de basuras marinas en playas de la costa de Granada.

Área de estudio.

La provincia de Granada está situada en el sureste de la Península Ibérica, con una población de 921.338 habitantes en 2021 (INE, 2022). Sus costas se encuentran bañadas por el Mar Mediterráneo (desde 36°44' 56.35"N 3°8' 16.54"O a 36°44' 27.08"N 3°46' 42.29"O). Debido al relieve de la provincia granadina, las costas de Granada son bastante abruptas en muchas de sus zonas. En la actualidad, estas costas están experimentando una intensa transformación del paisaje debido al desarrollo turístico, la expansión de la agricultura de invernadero y cultivos, y la infraestructura viaria y de transporte (Godoy *et al.*, 2020). Estas actividades representan una fuente importante de contaminación marina por plásticos que, sumado a las medidas de prevención de la COVID que implican la utilización de elementos plásticos de un solo uso, agravan este problema.

Las playas seleccionadas para realizar los muestreos fueron las playas de Salobreña, Calahonda, La Rijana y La Rábida. Los criterios de elección de las playas se basaron en su actividad (turística/recreativa y pesquera), en su ubicación (remota y accesible) y de forma que ocuparan las zonas oriental, central y occidental de la costa de Granada. En la Figura 1 se muestra la ubicación geográfica de las playas seleccionadas.



Figura 1. Ubicación geográfica de las playas muestreadas (Fuente: Google Maps).

La playa de La Charca (S2) se encuentra ubicada en el municipio de Salobreña, en la región occidental de la costa de Granada a menos de 20 kilómetros de la provincia de Málaga. En esta localidad de más de 12 mil habitantes (12.472 en 2021) el turismo es la actividad principal seguida de la agricultura donde la extensión de cultivos de frutas subtropicales supera las 900 hectáreas (Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, 2022). Esta playa de 1,80 kilómetros de extensión se encuentra urbanizada, es accesible y su principal uso es el turístico.

La playa de Calahonda (S4) pertenece a la entidad local autónoma de Carchuna- Calahonda, en el municipio de Motril. Esta playa se encuentra en la región central de la costa de Granada a aproximadamente 30 kilómetros de la provincia de Málaga y a una distancia similar de la provincia de Almería. En este núcleo de población de aproximadamente 4 mil habitantes la agricultura es la actividad principal seguido del turismo. Esta playa de 1,30 kilómetros de extensión se encuentra urbanizada, es accesible y su principal uso es el turístico pese a la cercanía de las explotaciones agrícolas.

La playa de La Rijana (S1) pertenece al municipio de Gualchos. Esta playa se encuentra en la región central de la costa de Granada a aproximadamente 35 kilómetros de la provincia de Málaga y a unos 25 kilómetros de la provincia de Almería. Esta cala de apenas 250 metros de extensión se encuentra aislada, sin edificaciones a su alrededor y su uso principal es el turístico.

La playa de La Rábida (S3) pertenece al municipio de Albuñol. Esta playa se encuentra en la región oriental de la costa de Granada a aproximadamente 5 kilómetros de la provincia de Almería. En este núcleo de población de algo más de 2 mil habitantes la agricultura es la actividad principal seguido del turismo. Esta playa de 1 kilómetro de extensión se encuentra urbanizada, es accesible y el uso principal del área muestreada es la pesca.

Estrategia de muestreo de los EPis

La estrategia de muestreo de los EPis siguió los procedimientos de estudios anteriores realizado en otras partes del mundo como la costa de Perú (De-la-Torre *et al.*, 2021), Argentina (De-la-Torre *et al.*, 2022), Bangladesh (Rakib *et al.*, 2021) y Marruecos (Haddad *et al.*, 2021). Esta estrategia consistió en el establecimiento en cada lugar de una zona de muestreo que cubría toda la extensión de la playa (desde la línea de bajamar hasta el límite superior de la playa) y

se establecieron varios transectos paralelos separados por 5 metros para cubrir visualmente todas las zonas de la playa. Durante la realización de los transectos se recogieron, contabilizaron y registraron todos los residuos plásticos encontrados y se clasificaron por categorías en función de su tipología mientras que los residuos de EPIs fueron recogidos por separado, contabilizados y catalogados como mascarilla FFP2, mascarilla quirúrgica, mascarilla de otro tipo, pantalla facial, traje de protección y guante. Además, los diferentes grupos de materiales fueron pesados para su cuantificación en masa.

Las campañas de muestreo se realizaron desde el mes de abril hasta el mes de septiembre de 2022. El área cubierta en cada sitio de muestreo se estimó utilizando la herramienta Google Maps. La Tabla 1 muestra las características principales de cada playa muestreada. Estos valores se utilizaron para calcular la densidad de residuos EPIs en cada sitio de muestreo de acuerdo a la ecuación 1 (Okuku *et al.*, 2021):

$$C = n/a \text{ (Eq. 1)}$$

donde C es la densidad de EPIs por metro cuadrado (EPI·m⁻²), n es el número de EPIs observados y a es el área cubierta (m²).

Cuadro 1. Características principales de las playas objeto de muestreo.

Municipio	Playa	Área muestreada, m ²	Accesibilidad	Actividad
Gualchos	La Rijana	6.217	Remota	Recreativa
Salobreña	La Charca	48.308	Accesible	Recreativa
La Rábida	Albuñol	9.548	Accesible	Pesca
Carchuna-Calahonda	Calahonda	27.580	Accesible	Recreativa

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

Estudio de la generación de residuos municipales en Granada durante la pandemia.

En Granada, en el periodo de la pandemia, la recogida de competencia municipal de los residuos domiciliarios se ha realizado de manera separada con un modelo de segregación de cuatro fracciones (tres contenedores para la recogida selectiva de envases ligeros, papel-cartón y vidrio respectivamente, y un contenedor para la fracción orgánico-resto). En esta primera parte del trabajo se presenta el escenario de la generación de residuos domiciliarios en Granada (España) a lo largo del período pandémico (año 2020) comparado con datos anteriores a la pandemia (año 2019).

En el Cuadro 2 se detallan los datos de recogida de residuos domiciliarios en la ciudad de Granada durante los años 2019 y 2020 expresados en toneladas métricas.

Cuadro 2. Datos de recogida de residuos domiciliarios en Granada (Fuente: Ayuntamiento de Granada)

Año	Papel/cartón	Envases	Fracción resto	Vidrio	Ropa	Pilas	Aceite	Total	Selectiva
2019	6.571,21	3.639,86	111.612,06	4.353,73	512,36	19,54	96,96	126.805,72	11,98%
2020	6.094,69	4.138,78	94.110,22	1.422,08	35,79	1,27	35,79	105.838,61	11,08%
Variación	-7,25%	+13,71%	-15,68%	-67,34%	-93,01%	-93,50%	-63,09%	-16,53%	

Fuente: Elaboración propia

Si se comparan la producción global de residuos durante los dos años (pre-pandemia y pandemia), se observa una importante disminución (20.967,11 toneladas) de los residuos generados. En lo que respecta a las diferentes tipologías de residuos, salvo la recogida de residuos de envases que aumentaron en un 13,71%, el resto de fracciones o componentes de los residuos sólidos urbanos analizadas mostraron una disminución notable alcanzando porcentajes de variación superiores al 93% para las pilas o los residuos textiles o del 67% para los residuos de vidrio. Estas diferencias encontradas en la composición de los residuos municipales están relacionadas con la situación provocada por la pandemia y las restricciones acaecidas en la ciudad de Granada durante la misma. Así, por ejemplo, la disminución del turismo y estudiantes en la ciudad de Granada, así como las restricciones impuestas al sector hostelero durante prácticamente todo el año 2020, puede ser la causa de la disminución en la recolección de residuos de vidrio. Del mismo modo, el aumento en la generación de residuos de envases puede estar ligado al uso desmedido del plástico de un solo uso durante la pandemia como resultado de las compras online y el miedo al contagio. Por otra parte, si se determina el porcentaje que supone la recogida separada o selectiva respecto a la cantidad total de residuos recogidos, se podría indicar que no hubo una variación significativa, pues en el año 2019 el porcentaje de recogida selectiva supuso un 12% y en 2020 un 11%. Cabe indicar que se entiende por recogida separada aquella en la que el flujo de residuos se mantiene por separado, según su tipo y naturaleza, para facilitar el tratamiento específico e incluiríamos aquí la fracción de envases ligeros, vidrio, papel/cartón, ropa, pilas y aceite presentados en el Cuadro 3.

Por otra parte, se ha realizado una caracterización del contenedor orgánico-resto de la planta de tratamiento mecánico-biológico de Alhendín (Ecocentral Granada), una de las instalaciones más avanzadas del país en materia de reciclaje, durante los meses de abril a noviembre de 2020 que se presenta resumida en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Datos de las caracterizaciones realizadas en el periodo que comprende los meses de abril a noviembre de 2020 del contenedor orgánico-resto de la planta de tratamiento mecánico-biológico de Alhendín (Ecocentral, Granada).

Material	Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre	
	kg	%	kg	%	kg	%	Kg	%	kg	%
Materia Orgánica	89,86	34,40	83,99	33,89	106,54	39,32	93,78	32,31	93,78	32,31
Envases ligeros	36,11	13,83	35,68	14,45	28,96	10,65	35,94	12,49	35,94	12,49
PET	7,33	2,82	6,50	2,63	5,95	2,20	6,85	2,44	6,85	2,44
PEAD	3,34	1,28	2,80	1,14	2,67	0,99	1,84	0,65	1,84	0,65
Film	10,53	4,03	11,55	4,69	7,27	2,68	10,42	3,58	10,42	3,58
Otros plásticos	4,65	1,78	5,42	2,20	5,04	1,86	6,73	2,30	6,73	2,30
Envases metálicos	7,43	2,84	6,43	2,60	5,75	2,10	6,70	2,32	6,70	2,2
Bricks	2,83	1,09	2,68	1,08	2,23	0,81	3,25	1,13	3,25	1,13
Papel/cartón	34,54	13,29	25,43	10,47	25,08	9,32	26,67	9,41	26,67	9,41
Vidrio	13,19	5,06	18,03	7,26	15,41	5,71	13,70	4,21	13,70	4,21
Otros	87,07	33,39	82,85	33,68	94,37	34,91	123,79	42,13	123,79	42,13
Restos Poda	9,63	3,62	8,97	3,76	8,51	3,24	12,40	4,14	12,40	4,14
Celulosas/Pañales	17,06	6,53	15,21	6,16	17,37	6,38	15,67	5,41	15,67	5,41
Textiles	12,22	4,69	16,79	6,87	17,31	6,42	17,55	6,22	17,55	6,22
Otros componentes	47,16	18,08	41,55	16,89	50,76	18,77	77,73	26,45	77,73	26,45
EPIs (Total)	1,00	0,39	0,33	0,14	0,42	0,15	0,44	0,15	0,44	0,15
TOTAL	260,78	100,00	245,98	100,00	270,36	100,00	293,85	100,00	293,85	100,00

Fuente: Elaboración propia

La materia orgánica sigue siendo el mayor componente encontrado en la fracción orgánico-resto con porcentajes que varían entre un 32,31% y un 39,32%, dependiendo del mes analizado. El papel y cartón supuso entre el 9,41% y el 13,29% y los envases ligeros entre el 10,65% y el 14,45%. Respecto a la cantidad de residuos de EPIs, principalmente residuos de mascarillas y guantes, se recogieron cantidades mensuales que varían entre el 0,14% y el 0,39% del peso de los residuos depositados en el contenedor orgánico-resto. Aunque estos porcentajes pueden parecer pequeños, si se considera la cantidad anual recogida de residuos del contenedor orgánico-resto en Granada, las toneladas de estos materiales que acaban en vertedero oscilarían entre 132 y 367 toneladas métricas.

Estudio de la presencia de basuras marinas en playas de la costa de Granada.

Este estudio se llevó a cabo con el fin de contar y caracterizar los objetos encontrados en diferentes playas de la costa de Granada y comparar la situación en las diferentes playas analizadas, calcular tendencias y facilitar información sistemática que permita el establecimiento de medidas orientadas a reducir las basuras marinas que llegan al medio marino.

El Cuadro 4 incluye los resultados obtenidos para los EPIs encontrados distribuidos por tipología.

Cuadro 4. Datos de recogida de residuos de EPIs en las playas seleccionadas de la provincia de Granada (España)

Material	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3		EPIs (Total)
	Febrero 2022		Abril 2022		Junio 2022		
	Uds.	%	Uds.	%	Uds.	%	
Mascarilla FFP2	2	8,33	4	7,85	0	0,00	6
Mascarilla Quirúrgica	16	66,67	39	76,47	13	76,47	68
Mascarilla de otro tipo	2	8,33	5	9,80	4	23,53	11
Guante	4	16,67	3	5,88	0	0,00	7
EPIs (Total)	24		51		17		92

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos, durante el periodo de muestreo y, pese a que la situación de pandemia no se encontraba en los momentos más críticos (no existiendo obligación en el momento de la realización de los muestreos de llevar mascarilla en las playas) se hallaron diferentes tipos de EPIs en las zonas costeras. En total, se encontraron 68 mascarillas quirúrgicas, 6 mascarillas FFP2 y 11 mascarillas de otro tipo como pueden ser mascarillas de tela reutilizables. Además, se recogieron 7 guantes en un área acumulada de 274.959 m². Sin embargo, no se encontró ningún otro tipo de equipo de protección personal derivado de la COVID-19 como protectores faciales en el área de estudio. Según los resultados, los residuos de EPIs más acumulados en las costas de Granada fueron las mascarillas quirúrgicas.

En relación al número de objetos encontrados, si se realiza una comparación con otros estudios en otras playas del mundo, el número de residuos de EPIs encontrados es muy bajo. Así, por ejemplo, Hassan *et al.* (2022) contabilizaron un total de 1.689 residuos de EPIs en Alejandría (Egipto) en un área de apenas 500 m² en un sólo día. En cambio, De-la-Torre *et al.* (2021) encontraron 138 residuos de EPIs durante todo el periodo de muestreo (12 semanas consecutivas a partir de septiembre de 2020). realizado en las zonas costeras de Lima, Perú. Sin embargo, Akhbarizadeh *et al.* (2021), informaron de un número similar de residuos de mascarillas y guantes encontrados en las playas de Bushehr (Irán) en el periodo que comprende 40 días desde noviembre a diciembre de 2020. Las razones probables de estas diferencias tan elevadas son las diferentes medidas de prevención en los diferentes países, el comportamiento de las corrientes marinas y la distinta concienciación ambiental de la población en las distintas regiones.

Independientemente del número y la tipología de residuos de EPIs abandonados en las zonas costeras, los residuos plásticos de un solo uso generados a raíz de la pandemia son un nuevo problema medioambiental que pueden interactuar con la fauna, principalmente con los organismos marinos, causando lesiones físicas, como enredos y obstrucciones o actuar como vectores de transporte de especies invasoras o generadores de microplásticos que terminan siendo ingeridos por las especies marinas (Fadare & Okoffo, 2020). Es por ello por lo que surge

la necesidad de normativas que regulen la correcta gestión de este tipo de residuos en las zonas costeras, así como la innovación en el diseño de EPIs reutilizables o biodegradables con los que se reduzca el impacto ambiental de estos residuos (De-la-Torre *et al.*, 2021).

Por otra parte, la densidad media de residuos de EPIs encontrados en las costas de Granada fue de $3,3E-04 \pm 1,4E-04$. Los resultados de este estudio se han comparado con los datos publicados en trabajos anteriores realizados en otras partes del mundo y en el Cuadro 5 se presenta un resumen de los principales valores obtenidos. La densidad de EPIs en la costa de Granada fue ligeramente más alta que los valores reportados de Lima, Perú ($6.4E-05 \pm 1.1E-05$ unidades/m²) (De-la-Torre *et al.*, 2021), Agadir, Marruecos ($1.1E-05$ unidades/m²) (Haddad *et al.*, 2021) y São Paulo, Brasil ($7.5E-05$ unidades/m²) (Ribeiro *et al.*, 2022). Por otra parte, la densidad de residuos de EPIs en las playas de Argentina y Perú era comparable con los resultados de este estudio (De-la-Torre *et al.*, 2022). Asimismo, la densidad de residuos de lugares como Bushehr, Irán (Akhbarizadeh *et al.*, 2021) o Alejandría, Egipto (Hassan *et al.*, 2022) es mucho mayor que la reflejada en este estudio. Además, como era de esperar, la densidad de EPIs en las épocas de mayor afluencia de turistas fue mayor que en otras estaciones.

Cuadro 5. Resumen de la media y el rango de densidades de EPIs en otros estudios.

Región	Densidad de EPIs, ud/m ²	Rango de EPIs, ud/m ²	Referencia
Granada, España	$3.3E-04 \pm 1.4E-04$	$1,04E-04 - 1,36E-03$	Este estudio
Lima, Perú	$6.4E-05 \pm 1.1E-05$	$0.00 - 7.44E-04$	(De-la-Torre <i>et al.</i> , 2021)
Lima, Perú (playas turísticas)	$1.6E-04 \pm 2.8E-05$	-	(De-la-Torre <i>et al.</i> , 2021)
Perú (nacional)	$6.6E-04$	$0.00 - 5.01E-03$	(De-la-Torre <i>et al.</i> , 2022)
Argentina (nacional)	$7.2E-04$	$0.00 - 5.60E-03$	(De-la-Torre <i>et al.</i> , 2022)
Cox's Bazar, Bangladesh	$6.3E-03$	$3.16E-04 - 2.18E-02$	(Rakib <i>et al.</i> , 2021)
Agadir, Marruecos	$1.1E-05$	$0.00 - 1.21E-04$	(Haddad <i>et al.</i> , 2021)
Kenia (playas urbanas)	-	$0.00 - 0.38E-01$	(Okuku <i>et al.</i> , 2021)
Kenia (playas remotas)	-	$0.00 - 0.56E-01$	(Okuku <i>et al.</i> , 2021)
Alejandría, Egipto	$2.8 \pm 3.1E-01$	-	(Hassan <i>et al.</i> , 2022)
Hurghada, Egipto	$2.9E-01 \pm 1.8E-02$	-	(Hassan <i>et al.</i> , 2022)
Jeddah, Arabia Saudí	$8.6E-01 \pm 3.2E-02$	-	(Hassan <i>et al.</i> , 2022)
Tetuán, Marruecos	$1.2E-03 \pm 8E-04$	$0.00 - 3.67E-03$	(Mghili <i>et al.</i> , 2022)
São Paulo, Brasil	$7.5E-05$	$0.00 - 3.89E-04$	(Ribeiro <i>et al.</i> , 2022)
Mazandaran, Irán	$1.0E-04$	$0.00 - 7.16E-04$	(Hatami <i>et al.</i> , 2022)
Bushehr, Irán	$1.7E-02 \pm 7.9E-03$	$7.71E-03 - 2.70E-02$	(Akhbarizadeh <i>et al.</i> , 2021)
Chile	$6E-03 \pm 9E-03$	-	(Thiel <i>et al.</i> , 2021)

Fuente: Elaboración propia

Por último, en el Cuadro 6 se muestran los resultados obtenidos de la recogida de residuos plásticos en las costas de Granada. Aquí queda patente que los residuos de EPIs representan

una fracción emergente de residuos plásticos que debería ser considerada, alcanzando un valor promedio de 0,64% del total de los residuos recogidos. Por otra parte, cabe destacar que el residuo plástico mayoritario encontrado son los filtros de cigarro. Otros residuos plásticos que cobran relevancia en las costas de Granada son los envases y utensilios de comida y las espumas (residuos plásticos de poliuretano y poliestireno expandidos), residuos que están directamente relacionados con el turismo y un uso recreativo de las costas. Otro aspecto reseñable es el aumento de residuos plásticos recogidos durante los muestreos posteriores a un periodo vacacional (Muestreo 2) con respecto a los realizados en fechas de menor afluencia turística en las costas (Muestreos 1 y 3). Estos hechos manifiestan que el turismo inconsciente con el medioambiente genera un impacto relativo relevante en los ecosistemas marinos. Es por ello que se consideran necesarias campañas de concienciación social además de medidas disciplinarias que controlen el vertido de estos desechos.

Cuadro 6. Datos de recogida de residuos plásticos en las playas seleccionadas de la provincia de Granada.

Material	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3	
	Febrero 2022		Abril 2022		Junio 2022	
	Uds.	%	Uds.	%	Uds.	%
Bolsa de plástico	11	0,32	83	1,21	56	1,41
Botella	25	0,72	52	0,76	44	1,10
Envases y utensilios comida	324	9,28	616	8,96	457	11,47
Espuma	145	4,15	1597	23,24	613	15,39
EPIs (Total)	24	0,69	51	0,74	17	0,43
Film	85	2,44	282	4,10	224	5,62
Filtro de cigarro	2024	57,99	2598	37,81	1561	39,19
Red/Hilo de pesca	64	1,83	173	2,52	130	3,26
Tapón de plástico	132	3,78	204	2,97	94	2,36
Tubo	44	1,26	67	0,97	33	0,83
Vaso de plástico	15	0,43	19	0,28	16	0,40
Otros	597	17,11	1130	16,44	738	18,53
TOTAL	3490		6872		3983	

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la contaminación por plásticos en las costas de Granada es significativamente menor que en muestreos realizados en otras regiones como Alejandría, Hurghada y Jeddah (Hassan *et al.*, 2022). En el Cuadro 7 se muestra un comparativo de los resultados obtenidos en las costas de Granada frente a estas regiones.

Cuadro 7. Comparativa de densidad de residuos plásticos recogidos en las playas.

Site	Plastic density, g/m ²	Referencia
Granada, Spain	5.217E-02 ± 5.145E-03	Este estudio
Alejandría, Egipto	26.52 ± 4.03	(Hassan <i>et al.</i> , 2022)
Hurghada, Egipto	6.33 ± 1.18	(Hassan <i>et al.</i> , 2022)
Jeddah, Arabia Saudí	15.16 ± 2.28	(Hassan <i>et al.</i> , 2022)

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

La nueva enfermedad por coronavirus denominada "COVID-19" ha obligado a la población española a utilizar los EPIs como forma de prevención contra la transmisión. Dadas las malas condiciones de gestión de los residuos sólidos y la falta de concienciación medioambiental, la eliminación incorrecta de estos artículos de un solo uso en el medio ambiente se ha vuelto incontrollable. Así, se han exacerbado las múltiples formas de contaminación por plásticos, incluidos los microplásticos y nanoplásticos. Además, los residuos de EPIs desechados amenazan a los depredadores marinos por ingestión y enredo y la posibilidad de albergar especies potencialmente invasoras. En el presente estudio, las plantas de tratamiento mecánico- biológico y las playas de Granada, España, fueron monitoreadas para detectar la contaminación por residuos de EPIs. En los contenedores orgánico-resto de residuos municipales, la materia orgánica sigue siendo el mayor componente encontrado con porcentajes que varían entre un 32,31% y un 39,32%, dependiendo del mes analizado. Respecto a la cantidad de residuos de EPIs, principalmente residuos de mascarillas y guantes, se recogieron cantidades mensuales que varían entre el 0,14% y el 0,39% del peso de los residuos depositados en este contenedor. Por otra parte, en general, las playas de recreo fueron las más afectadas por los residuos plásticos y de EPIs. Esto está relacionado con la gran afluencia de bañistas a estas playas en comparación con los lugares donde la pesca es la actividad dominante. Además, la reapertura de las playas públicas tras el periodo de confinamiento ha provocado un notable aumento de EPIs en las playas de Granada. La situación, por tanto, requiere la supervisión instantánea de los desechos marinos, y la penalización contra la eliminación incorrecta de los EPIs. El estado actual también requiere una ampliación de las operaciones de limpieza en el tiempo y el espacio para una mejor gestión de los residuos en las playas de Granada. Es necesario mejorar los sistemas de recogida y eliminación de residuos, que se han visto muy afectados por la pandemia, y fomentar mejores prácticas de residuos entre la población. Dada la falta de concienciación medioambiental respecto a la contaminación por plásticos entre la población, las medidas a largo plazo deben abordar esta cuestión mediante campañas educativas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Akhbarizadeh, R., Dobaradaran, S., Nabipour, I., Tangestani, M., Abedi, D., Javanfekr, F., Jeddi, F., & Zendehtoodi, 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>
2. De-la-Torre, G. E., Dioses-Salinas, D. C., Pizarro-Ortega, C. I., Fernández Severini, M. D., Forero López, A. D., Mansilla, R., Ayala, F., Castillo, L. M. J., Castillo-Paico, E., Torres, D. A., Mendoza-Castilla, L. M., Meza-Chuquizuta, C., Vizcarra, J. K., Mejía, M., de La Gala, J. J. V., Ninaja, E. A. S., Calisaya, D. L. S., Flores-Miranda, W. E., Rosillo, J. L. E., ... Santillán, L. (2022). Binational survey of personal protective equipment (PPE) pollution driven by the COVID-19 pandemic in coastal environments: Abundance, distribution, and analytical characterization. *Journal of Hazardous Materials*, 426, 128070. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2021.128070>
3. De-la-Torre, G. E., Rakib, Md. R. J., Pizarro-Ortega, C. I., & Dioses-Salinas, D. C. (2021). Occurrence of personal protective equipment (PPE) associated with the COVID-19 pandemic along the coast of Lima, Peru. *Science of The Total Environment*, 774, 145774. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145774>
4. Fadare, O. O., & Okoffo, E. D. (2020). Covid-19 face masks: A potential source of microplastic fibers in the environment. *Science of The Total Environment*, 737, 140279. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.140279>
5. Godoy, V., Prata, J. C., Blázquez, G., Almendros, A. I., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T., Calero, M., & Martín-Lara, M. Á. (2020). Effects of distance to the sea and geomorphological characteristics on the quantity and distribution of microplastics in beach sediments of Granada (Spain). *Science of The Total Environment*, 746, 142023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142023>
6. Haddad, M. B., De-la-Torre, G. E., Abelouah, M. R., Hajji, S., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149282>
7. Hassan, I. A., Younis, A., al Ghamdi, M. A., Almazroui, M., Basahi, J. M., El-Sheekh, M. M., Abouelkhair, E. K., Haiba, N. S., Alhussaini, M. S., Hajjar, D., Abdel Wahab, M. M., & el Maghraby, D. M. (2022). Contamination of the marine environment in Egypt and Saudi Arabia with personal protective equipment during COVID-19 pandemic: A short focus. *Science of The Total Environment*, 810, 152046. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.152046>
8. Hatami, T., Rakib, Md. R. J., Madadi, R., De-la-Torre, G. E., & Idris, A. M. (2022). Personal protective equipment (PPE) pollution in the Caspian Sea, the largest enclosed inland waterbody in the world. *Science of The Total Environment*, 824, 153771. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153771>

9. Instituto Nacional de Estadística (INE). (2022). *Granada: Población por municipios y sexo. (2871)*. Retrieved September 2, 2022, <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2871>
10. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. (2022). *SIMA - Salobreña (Granada) / Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía*. Retrieved September 5, 2022. <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/ficha.htm?mu n=18173>
11. Mghili, B., Analla, M., & Aksissou, M. (2022). Face masks related to COVID-19 in the beaches of the Moroccan Mediterranean: An emerging source of plastic pollution. *Marine Pollution Bulletin*, *174*, 113181. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2021.113181>
12. OECD. (2022). *Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options*. Organisation for Economic Co-operation and Development. <https://doi.org/10.1787/DE747AEF-EN>
13. Okuku, E., Kiteresi, L., Owato, G., Otieno, K., Mwalugha, C., Mbuhe, M., Gwada, B., Nelson, A., Chepkemboi, P., Achieng, Q., Wanjeri, V., Ndwiga, J., Mulupi, L., & Omire, J. (2021). The impacts of COVID-19 pandemic on marine litter pollution along the Kenyan Coast: A synthesis after 100 days following the first reported case in Kenya. *Marine Pollution Bulletin*, *162*, 111840. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2020.111840>
14. Rakib, Md. R. J., De-la-Torre, G. E., Pizarro-Ortega, C. I., Dioses-Salinas, D. C., & 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>
15. Ribeiro, V. V., De-la-Torre, G. E., & Castro, Í. B. (2022). COVID-19-related personal protective equipment (PPE) contamination in the highly urbanized southeast Brazilian coast. *Marine Pollution Bulletin*, *177*, 113522. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113522>
16. Thiel, M., de Veer, D., Espinoza-Fuenzalida, N. L., Espinoza, C., Gallardo, C., Hinojosa, I. A., Kiessling, T., Rojas, J., Sanchez, A., Sotomayor, F., Vasquez, N., & 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>

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación se ha llevado a cabo en el marco del proyecto “CARACTERIZACIÓN Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS ASOCIADOS A LA CRISIS SANITARIA DE LA COVID 19 Y SU IMPACTO AMBIENTAL EN EL MEDIO MARINO (RECOMAR)”, referencia PYC20 RE 041 UGR. Este

proyecto ha sido financiado por la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y la Consejería de Transformación Económica, Industria, Conocimiento y Universidades, Junta de Andalucía. Convocatoria 2020 de Ayudas para la realización de proyectos de interés colaborativo en el ámbito de los Ecosistemas de Innovación de los Centros de Excelencia Internacional y en el marco estratégico por el que se impulsa el desarrollo de proyectos singulares de actuaciones de transferencia en los Campus de Excelencia Internacional en las áreas de la estrategia de investigación e innovación para la especialización inteligente de Andalucía (RIS3 Andalucía) dentro de las actuaciones cofinanciadas por el programa operativo FEDER en Andalucía para el periodo 2014-2020 (BOJA núm.132, 10 de julio de 2020). Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación (PAIDI 2020). Objetivo Temático: “Potenciar la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación”