

CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Las Áreas Marinas
Protegidas: ¿están
realmente protegidas frente
a las basuras marinas?





CONAMA 2020

LAS ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS: ¿ESTÁN REALMENTE PROTEGIDAS FRENTE A LAS BASURAS MARINAS?

Autor Principal: Carlos Sáenz-Lazaro^{1,2} (¹*Departamento de Ecología. Universidad de Alicante, España.* ²*Instituto Multidisciplinar del Medio "Ramón Margalef", Universidad de Alicante, España.*)

Otros autores: Nuria Casado-Coy²; Isabel Abel Abellán²; José Emilio Martínez¹; Santiago Soliveres^{1,2}

LAS ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS: ¿ESTÁN REALMENTE PROTEGIDAS FRENTE A LAS BASURAS MARINAS?

Palabras Clave

Áreas Marinas Protegidas, basuras marinas, ciencia ciudadana, contaminación marina, contaminación por plásticos, gestión ambiental de zonas costeras, playas.

Resumen

El constante incremento de generación de residuos, derivados de actividad humana, y su inadecuada gestión supone un incremento de la cantidad de vertidos al medio. Gran cantidad de estos vertidos llegan al mar y se acumulan en la línea de costa, lo que genera un creciente impacto ambiental. Existen espacios marinos con gran valor ecológico que son objeto de conservación bajo la designación de diferentes figuras de protección y que no están libres de la presencia de basuras marinas. En este escenario, de claras repercusiones ambientales, se plantea la necesidad de evaluar la eficiencia de las actuales medidas de protección en estas Áreas Marinas Protegidas (AMPs). En este estudio se utilizaron los datos de muestreos en playas de toda España, realizados mediante acciones de ciencia ciudadana, y disponibles en las bases de datos de las Organizaciones No Gubernamentales (ONG) Ambiente Europeo y Surfrider y la plataforma MARNOBA. Adicionalmente, se obtuvo información sobre otras variables ambientales relevantes (tipo de sustrato de la playa, facilidad de acceso e infraestructuras, corrientes dominantes, cercanía a zonas urbanas y agrícolas, etc.). También se recopiló información sobre la presencia/ausencia de alguna figura de protección en cada una de las playas, así como la tipología de dicha protección. Se recogieron una media de 137 kg de basura (rango 2400-2 kg) y 1662 objetos (rango 58532-4) en las 881 playas muestreadas. Más de la mitad de los objetos recogidos fueron restos de colillas, pequeños trozos de plástico (<2.5 cm), anillas de latas y tapones de botella, y envoltorios de chucherías, lo que indica una mayor importancia de la procedencia del medio terrestre frente al marino como fuentes de las basuras encontradas en las playas españolas. De los factores considerados, el sustrato de la playa, la dirección de la corriente dominante, el porcentaje de hábitat natural en los alrededores, y el nivel de protección fueron los factores que mejor explicaron los resultados encontrados. Se registraron más basuras en playas de roca o bolos/cantos rodados, con un menor porcentaje de hábitat natural alrededor, con corrientes dominantes más fuertes, o con un mayor número de servicios y actividades. Se observó una gran variabilidad dependiendo del tipo de protección establecido en las AMPs. Los espacios naturales protegidos, por ejemplo, mostraron un gran número de objetos ligeros (kilos recogidos por debajo de la media, número de objetos muy por encima). Sin embargo, el número de objetos recogidos fue mucho más bajo en Reservas de la biosfera y Zonas Especiales de Conservación (ZECs) de lo que se encontró en áreas no protegidas. De manera general, en las áreas protegidas se observó una menor cantidad de basuras y que éstas presentaban una composición distinta. Mientras se observaron, en proporción, más botellas y tapones en las AMPs que en playas sin ninguna figura de protección, se recogieron menos colillas,

bastoncillos y toallitas húmedas. Este trabajo ayudará a entender la efectividad de las AMPs en relación a las basuras marinas y permitirá identificar las medidas más efectivas para disminuir el impacto de este problema ambiental. De este modo, los gestores ambientales podrán optimizar las herramientas existentes o diseñar nuevas acciones basadas en los resultados de este proyecto.

Introducción

La cantidad de basuras marinas de diversa tipología que están presentes en nuestros océanos y playas constituyen un problema ambiental que está creciendo exponencialmente (Plastics Europe 2013). Estos residuos no sólo tienen un impacto paisajístico que puede afectar en el sector turístico, sino que su presencia influye en la calidad de las aguas, la fauna marina, la pesca, la navegación, y a funciones de los ecosistemas (e.g., Derraik 2002; Hardesty et al. 2017; Bucci et al. 2020). Sin embargo, la cantidad y tipología de las basuras que llegan a la playa depende del origen y condiciones ambientales que influyen en su transporte y acumulación (Schwarz et al. 2019). Por ejemplo, un muestreo en las playas de Corea reveló una gran proporción de residuos de poliuretano en sus costas, derivadas de una intensa actividad en acuicultura (Hong et al. 2014), mientras que en las costas chilenas o australianas la inmensa mayoría de residuos marinos son pequeños trozos de plástico no identificables, colillas o restos de vidrio, probablemente derivados de la afluencia de público y la cercanía a núcleos urbanos (Bravo et al. 2009; Hardesty et al. 2017). La cantidad de estas basuras marinas también varía de forma sustancial, con densidades de entre 45000 y 0.2 objetos recogidos/m² según el país, la metodología, o el estudio (Bravo et al. 2009). Por tanto, para poder abordar esta problemática, se necesita conocer qué factores determinan la variación en cantidad y composición de estos residuos, con el fin de inferir las principales fuentes y poder aplicar medidas regulatorias para limitar dichos vertidos.

Entre los factores que pueden afectar a la cantidad y tipología de residuos se encuentran el nivel de accesibilidad y uso de las playas, con más objetos recogidos, por ejemplo, en playas urbanas o muy frecuentadas (e.g. Hardesty et al. 2017). Las actividades humanas a mayores escalas también pueden influir. La presencia de invernaderos o actividades industriales en las inmediaciones puede generar una mayor presencia de residuos plásticos, de madera, metálicos o textiles de gran tamaño (Plastics Europe 2013). Además de la influencia antrópica, variables ambientales como el tipo de sustrato de la playa (e.g., arenoso vs bolos o rocas), la dirección y fuerza de las corrientes dominantes, o la presencia de desembocaduras de río cercanas, también afectan a la cantidad y composición de basuras marinas (Moore et al. 2001; Hardesty et al. 2017). Sin embargo, se desconoce cuáles de estos factores son los más importantes a la hora de determinar qué y cuánto se encuentra en nuestras playas.

Un factor adicional, y poco estudiado respecto a la acumulación de basuras en nuestras playas, es el papel de los espacios protegidos, en concreto las áreas marinas protegidas (AMP). La designación de una AMP puede suponer una reducción de la presencia de los residuos marinos y afectar a la composición de las basuras marinas debido a tres mecanismos principales. El primero de ellos está asociado a los usuarios de estos espacios, ya que puede que estén más concienciados con la problemática ambiental y, por tanto, hagan una gestión adecuada de los residuos generados tras su

visita. En segundo lugar, las playas de las AMPs suelen ser menos accesibles y ofrecer menos actividades y servicios, por lo que la afluencia de público puede ser algo menor. Y, en tercer lugar, los usos agrícolas, urbanos e industriales presentes en las AMPs pueden estar más limitados, lo que podría reducir la cantidad de residuos provenientes de estas actividades. A pesar de estas premisas, a día de hoy, se desconoce si en un lugar el hecho de contar con una figura de protección afecta a la acumulación de basuras en las playas, y de ser así, cuales son los mecanismos o variables ambientales que definen este efecto protector.

Gracias al esfuerzo de las ONGs Ambiente Europeo y Surfrider y la plataforma MARNÓBA y miles de voluntarios en España, se han recopilado datos detallados sobre el peso, número y tipología de objetos recogidos desde 2011 hasta 2020 como basura en 881 playas de nuestra costa. En este artículo se presentan algunos resultados preliminares sobre los factores determinantes de la composición de estas basuras [geográficos (latitud, longitud, demarcación), ambientales (tipo de playa, distancia al río más cercano, corrientes marinas dominantes), de uso (nivel de accesibilidad, actividades disponibles, usos desarrollados alrededor)], y un análisis detallado sobre cómo y cuándo pueden las áreas marinas protegidas reducir el impacto de estas basuras. Las hipótesis iniciales son: i) los factores antrópicos son más importantes que los ambientales para determinar la composición de las basuras marinas, ii) la protección de un área reduce de manera efectiva la cantidad de basuras en nuestras playas, iii) tanto los efectos de la influencia antrópica como del nivel de protección son modulados en parte por las características ambientales de cada playa, sobre todo, por la hidrodinámica de la playa.

Metodología

Entre las tres bases de datos se reunieron un total de 881 recogidas de basuras en playas de todo el litoral español (Fig. 1). Para todas estas recogidas, se conocen las coordenadas geográficas, los metros recorridos en la recogida, el número de objetos recogidos, así como su clasificación estandarizada siguiendo la tarjeta de campo de ciencia ciudadana elaborada en el marco del foro permanente interdisciplinar sobre basuras marinas dinamizada por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (<https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/basuras-marinas/basura-programas.aspx>) en el caso de la base de datos de Ambiente Europeo y de una tarjeta simplificada del protocolo OSPAR en el caso de Surfrider y MARNÓBA. La información de Ambiente Europeo (N = 350) contaba además con el peso de los residuos recogidos, así como el número de voluntarios participantes. En algunos casos, se tienen datos de recogida en una misma playa en distintos años. En estos casos, cada recogida se analizó se tuvo en cuenta en los análisis como una recogida diferente.

VARIABLES AMBIENTALES: A partir de las coordenadas, a cada zona muestreada se le asignó su demarcación marina correspondiente, según la Ley 41/2010, y el tipo de playa (reorganizadas en este estudio como arenas, bolos/rocas o mixta), con la finalidad de conocer si había diferencias en la cantidad y composición de las basuras marinas en función de dichas variables. Corrientes más fuertes o dirigidas directamente hacia la costa pueden arrastrar una mayor cantidad de residuos a la misma. Por tanto, se obtuvo la dirección y velocidad de las corrientes dominantes de la base de datos Copernicus de la Unión Europea (<https://marine.copernicus.eu/>), realizando el promedio anual de los datos

mensuales durante un año (2019, escogido aleatoriamente), para integrar las variaciones estacionales de un año. Por la misma razón, se ha medido la distancia a la desembocadura del río más cercano (a partir de Google Earth), ya que en éstas se pueden arrastrar residuos que acaban depositados en las playas colindantes.

Comentado [CS1]: No se tuvo en cuenta la corriente predominante, por eso no hemos añadido eso. La corriente predominante varía en cada zona su intensidad y su prevalencia.

Variables antrópicas: Se extrajo la información sobre la presión antrópica ejercida a dos escalas: nivel local y de paisaje. Se recopiló (MITERD) la información sobre si era fácil acceder a cada una de las playas, así como la clasificación de la playa como “urbana”, “semi-urbana” o “aislada”. Estas dos categorías se combinaron en una sola variable binomial, donde 1 = accesible (clasificada como urbana o semi-urbana y/o accesible fácilmente con coche, y 0 = no accesible (clasificada como aislada y accesible solamente a pie o en barco). Se clasificó también como “no accesible” a las playas semi-urbanas no accesibles fácilmente a pie o en coche.

Además, se obtuvo información (MITERD) 18 variables relacionadas con actividades recreativas o instalaciones disponibles en la playa, asumiendo que éstas se relacionan con una mayor afluencia de público y, por tanto, mayor intensidad en el uso de la playa. Estas variables incluyeron 1) presencia de paseo marítimo, 2) presencia de indicaciones para llegar, 3) autobús disponible, 4) aparcamiento de coches, 5) lavapies, 6) papeleras, 7) servicio de limpieza, 8) alquiler de sombrillas, 9) hamacas, o 10) patinetes, 11) presencia de oficina de turismo cercana, 12) restaurantes o bares, 13) zona de juego para niños, 14) zona de deporte, 15) clubs de vela, 16) buceo, 17) submarinismo y 18) zona designada para la práctica del surf. A partir de estas variables se calculó un “índice de uso”, donde la presencia de un servicio =1, mientras que su ausencia = 0. El índice de uso era el porcentaje de los 18 servicios medidos que estaban presentes en una playa. Hay que destacar que tanto la presencia de papeleras como de servicio de limpieza se codificó al revés (0 = presencia), ya que estos servicios, en principio, deberían estar relacionados con una menor presencia de basura en la playa. El índice de uso se relacionó fuertemente con el nivel de accesibilidad de la playa (test de Mann-Whitney: $U = 37697$; $P < 0.0001$), con las playas accesibles mostrando unos índices mucho mayores (media = 43.37) que las no accesibles (media = 16.67).

Comentado [CS2]: El revisor sugería mover este párrafo a la discusión, pero creemos que es más adecuado en los resultados, por ser éste uno de ellos. Pero creemos que es más adecuado ponerlo aquí ya que es simplemente un test realizado para mostrar que el índice usado en el trabajo funciona.

Para cuantificar el uso antrópico a nivel de paisaje (en un diámetro de 5 km alrededor de la playa), se registraron los porcentajes de cobertura de usos urbanos, industrial, cultivo, invernadero y medio natural. Dicha información se obtuvo visualmente de Google Earth y puede estar relacionada con la cantidad y tipología de basuras recogidas.

Para cada una de las playas, se obtuvo información sobre el tipo de figura de protección y su fecha de establecimiento, si formaba parte de algún Lugar de Interés Comunitario (LIC) o Zona de Especial Protección para Aves (ZEPA) (Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico), así como la existencia o no de algún plan de gestión para residuos plásticos (Natura 2000 - Standard Data Form). Dicha información provee detalles sobre el grado de protección e interés ambiental de la zona. Para esta ponencia, y por simplicidad, se utilizará sólo la categoría protegido/no protegido, a excepción de un análisis descriptivo sobre las distintas figuras de protección (ver abajo).

Análisis estadísticos: Se analizaron los datos siguiendo tres pasos de creciente complejidad. Primero, se consideró el efecto de la presencia de una figura de protección (0/1) sobre el nivel de uso de la playa, así como la cantidad (peso y número de objetos) recogidos. Como

muchas de las variables no seguían una distribución normal, se utilizó el estadístico no paramétrico de Mann-Whitney para comparar entre áreas protegidas y no protegidas.

Segundo, para considerar el efecto de los múltiples factores que, junto con el nivel de protección, pueden afectar a la cantidad y composición de las basuras marinas, se utilizaron modelos lineales. En estos modelos se han considerado: i) latitud, longitud y demarcación (efecto espacial), ii) composición de la playa, dirección y velocidad de la corriente dominante, distancia a la desembocadura de río más cercana (variables ambientales), iii) número de voluntarios y metros recorridos (variables logísticas), iv) índice de uso antrópico y % de usos urbanos, industriales, agrícolas o naturales (uso humano a distintas escalas), y v) la presencia o no de una figura de protección. Para conocer si el efecto del grado de protección dependía de alguno de los factores arriba mencionados, se consideraron las interacciones entre “espacio protegido” (binomial) y el resto de predictores en el modelo. Se realizaron los modelos estadísticos por separado para el número de objetos recogidos, su peso (sólo con datos de Ambiente Europeo, ya que era la única base de datos con esa información disponible) y su composición.

Para analizar la composición de las basuras se aplicó un MDS (non-metric multidimensional scaling; utilizado comúnmente para medir la composición de comunidades bióticas), pero utilizando cada tipo de residuo como una “especie”. Para este análisis sólo se consideraron las 36 categorías comunes a los esquemas de clasificación de las bases de datos. La ordenación MDS más satisfactoria (estrés = 0.18), basada en datos transformados dos veces mediante el cálculo de la raíz cuadrada, para eliminar la influencia excesiva de los ítems más numerosos, consistió en tres ejes. El primero de ellos relacionado con la cantidad de botellas y tapones de plástico (correlación de Spearman: $r = 0.75$), latas ($r = 0.77$) y botellas de vidrio ($r = 0.75$). El segundo eje, por otro lado, se relacionó con el número de colillas ($r = 0.47$), bastoncillos ($r = 0.50$) y toallitas húmedas ($r = 0.46$). El tercer eje se relacionó más con pequeños fragmentos de plástico, de 2.5 cm o menos ($r = 0.57$). Estos ejes se utilizaron como una representación de cambios en la composición de las basuras marinas en los modelos lineales arriba indicados (utilizando dichos ejes como respuesta en lugar del número de objetos o su peso).

Por último, para diferenciar entre los diferentes mecanismos por lo que las áreas protegidas pueden reducir la cantidad de basura en nuestras playas, se utilizaron modelos de ecuaciones estructurales. Éstos nos permiten analizar los datos considerando el sistema en su conjunto, y diferenciando entre los efectos directos de la protección (público más concienciado) frente a los indirectos mediados por la intensidad en el uso de la playa (representado con el índice de uso) o el control de usos más contaminantes dentro de las zonas protegidas (% vegetación natural vs usos industriales, agrícolas o urbanos). Los modelos lineales se realizaron con R v. 3.4.3 (R Core Team 2013), la ordenación MDS se realizó con PERMANOVA para Primer+ (Anderson et al. 2008), mientras que los modelos de ecuaciones estructurales se realizaron en AMOS v. 18.

Resultados

Se recogieron una media de 137 kg de basura (rango 2400-2 kg) y 1662 objetos (rango 58532-4) en las playas muestreadas (Figura 1). Estas basuras estaban dominadas por restos de colillas, pequeños trozos de plástico (<2.5 cm), anillas de latas y tapones de botella, y envoltorios de chucherías (categorías 37, 26, 2 y 9 según la tarjeta de campo de ciencia

Comentado [CS3]: Comentario del revisor: “¿No sería este un factor “directo” de la protección?”

Respuesta: Tanto el uso de suelo alrededor de la playa como la intensidad en el uso de la playa en sí podrían ser considerados efectos directos de la protección. Sin embargo, en este análisis se pretende diferenciar la influencia relativa de cada uno de estos potenciales mecanismos de protección, por lo que se consideran “indirectos” simplemente para facilitar su visualización como distintos mecanismos derivados de la protección. Dejando como “directo” aquel para el que no contamos con estimas cuantitativas, como es la asistencia de un público más concienciado a la playa.

ciudadana elaborada en el marco del foro permanente interdisciplinar sobre basuras marinas). Estos cuatro tipos de basura representaron más de la mitad de los objetos recogidos (Figura 2).

Aunque la presencia de una figura de protección redujo el índice de uso de las playas, no se observan diferencias ni en el peso ni en los objetos recogidos entre playas en espacios protegidos vs. no protegidos (Figura 3). Parte de esta falta de efecto del grado de protección sobre las basuras recogidas se debió a la gran variación entre distintas figuras de protección (Figura 4). Los espacios naturales protegidos, por ejemplo, mostraron un gran número de objetos ligeros (kilos recogidos por debajo de la media, número de objetos muy por encima). Sin embargo, el número de objetos recogidos fue mucho más bajo en Reservas de la biosfera y ZECs de lo que se encontró en áreas no protegidas. Esto indica que, o bien estas figuras pueden reducir el aporte de basura a nuestras playas, o que se establecen en zonas por lo general más limpias.

La presencia de algún grado de protección en las playas, sin embargo, sí que resultó significativa una vez consideradas las influencias de otras variables de interés que regulan la cantidad y composición de las basuras marinas, como con las variables logísticas (número de voluntarios y metros recorridos), geográficas (latitud, longitud y demarcación), ambientales (composición de la playa, velocidad y dirección de la corriente dominante) y de uso humano (índice de uso). Estos resultados contradictorios (falta de efecto si consideramos la protección por separado vs efecto significativo si consideramos otras variables) podría deberse a, por ejemplo, un mayor número de voluntarios en las recogidas en áreas protegidas (y por tanto mayor basura recogida). También podría deberse a las interacciones significativas entre el grado de protección y variables geográficas, ambientales o de uso (columnas por debajo de la última línea punteada en la Fig. 5). Estas interacciones indican que tanto la demarcación (para kilos recogidos), las corrientes dominantes (número de ítems y composición), así como la intensidad de uso humano (número de ítems) modulan la efectividad del grado de protección en la reducción de las basuras que alcanzan nuestras costas, lo que podría explicar en parte la falta de significancia de los resultados cuando no se tienen estos efectos en consideración (figuras 3 y 4). Estos potenciales “efectos de confusión” no se tienen en cuenta en los resultados presentados en las figuras 3 y 4, y sólo parcialmente en los resultados presentados en la figura 6, pero sí en los resultados de la figura 5. Los modelos estadísticos considerando todas los predictores de interés muestran que en las áreas protegidas se observó una menor cantidad de basuras recogidas y una composición distinta (efectos significativos de “protegido” para kilos de basura recogidos y composición de la basura; Fig. 5). Las zonas protegidas aumentaron los objetos relacionados con el eje 1 de la ordenación MDS (botellas y tapones; ver Fig. 5) mientras que redujo aquellos objetos relacionados con el eje 2 (colillas, bastoncillos y toallitas húmedas; Fig. 6; ver párrafo siguiente), así como el peso de la basura recogida (Fig. 5). En conjunto, todos los factores considerados no explicaron más de un 33% en la variación en la cantidad y composición de las basuras marinas.

El modelo de ecuaciones estructurales encajó bien con los datos (modelos de ajuste globales no significativamente distintos entre relaciones propuestas y encontradas; Fig. 6). Este modelo indica que los efectos de la protección ambiental se dieron mediante la reducción del nivel de uso [path coefficient (equivalente a un coeficiente de correlación parcial, corregido por las otras variables en el modelo = -0.32)] y, sobretodo, de manera

Comentado [CS4]: Santi: El revisor dice: “En la gráfica no se incluye “anillas” ¿están dentro de “tapones”? Aclarar.”

Comentado [CS5]: Comentario del revisor: En la gráfica no se incluye “anillas” ¿están dentro de “tapones”? Aclarar.”

Respuesta: Las categorías utilizadas son las de la tarjeta de campo de ciencia ciudadana elaborada en el marco del foro permanente interdisciplinar sobre basuras marinas, donde la categoría 2 de basuras marinas corresponde a “Tapas y tapones de botellas y anillas”. Hemos añadido las categorías de Ambiente Europeo a los que corresponde cada cosa: restos de colillas (categoría 37, según Ambiente Europeo), pequeños trozos de plástico (<2.5 cm; categoría 26), anillas de latas y tapones de botella (categoría 2), y envoltorios de chucherías (categoría 9)

directa (path coefficient “protección” a “composición” = -0.15; Fig. 6). Mientras que sus efectos sobre la ordenación del territorio (mediante el % de área cubierta por vegetación natural vs otros usos) no pareció influir de manera marcada la cantidad o composición de los residuos recogidos en nuestras playas (no encontramos relaciones significativas entre “protección” y el porcentaje de área ocupada por distintos usos del suelo).

Independientemente de la figura de protección, el porcentaje de hábitat natural circundante fue uno de los mejores predictores para la cantidad y composición de las basuras marinas. Paisajes más naturales disminuyeron de forma significativa el número de objetos recogidos (path coefficient = -0.19), así como los ejes 1 y 3 de su composición (botellas, tapones y pequeños fragmentos de plástico; resultados resumidos como “composición” en la figura 6).

Discusión

El potencial uso de la ciencia ciudadana y los voluntariados para entender mejor los factores determinantes de la cantidad y composición de las basuras marinas se hace patente en esta contribución. Se han realizado análisis de 881 recogidas de basuras marinas en playas distribuidas por todo el litoral español, para los cuales se han clasificado millones de objetos. Esta gran cantidad de información permite presentar el primer análisis sobre la importancia relativa de factores ambientales, antrópicos y de protección a la hora de determinar los residuos recogidos en nuestras playas, así como evaluar el papel de las áreas marinas protegidas (AMPs) como posible barrera frente a uno de los problemas ambientales más extensos a los que nos enfrentamos en la actualidad.

Entre los más de 1600 objetos recogidos, de media, en cada colecta de basura, más del 50% lo representan restos de colillas, pequeños trozos de plástico y tapones de botellas (Fig. 2). Nuestros resultados coinciden con análisis similares en las playas de Australia (Hardesty et al. 2017), Hawai (Morishige et al. 2007), Chile (Bravo et al. 2009), ilustrando una problemática general más allá de las costas españolas, y una necesidad acuciante en la reducción y gestión de estos residuos. Por tanto, nuestros resultados enfatizan la necesidad de más campañas de concienciación para que los usuarios de nuestras playas recojan sus residuos al marcharse, así como un mayor énfasis en la reducción de los envases y enseres de un solo uso. La composición de los residuos más habituales ilustra a su vez una mayor importancia de la procedencia del medio terrestre frente al marino como fuentes de estos residuos (Zhou et al. 2011), con una inmensa mayoría de objetos cotidianos como pajitas, botellas de plástico y vidrio, toallitas húmedas o envases de cosmética. Restos de pesca y acuicultura, como cabos o redes, representan menos de un 10% del número de objetos recogidos. Tanto la existencia de figuras de protección (Fig. 5), como la proporción de hábitat natural alrededor de la playa (Figs. 5 y 6), demostraron reducir de forma significativa la cantidad de estos residuos. Por tanto, se puede concluir que el grado de naturalidad del paisaje, así como su protección, pueden ser herramientas efectivas para prevenir daños en sitios de especial afluencia o importancia de fauna o donde la limpieza de estos residuos sea particularmente difícil o costosa.

A pesar de tener en cuenta una gran cantidad de factores ambientales y antrópicos, no se puede explicar más de un 33% en la variabilidad de la cantidad y composición en las basuras marinas de las playas estudiadas, y este porcentaje es especialmente bajo para la cantidad (kg) de residuos recogidos. Es probable que temporales u otros eventos climáticos extremos sean de especial importancia a la hora de definir la cantidad de

Comentado [CS6]: Respuesta al comentario del revisor: “¿Grado de protección? Si el término “grado” es correcto habría que definirlos, hasta ahora se ha hablado de “Figuras de protección” pero no de grados.”

Se hace referencia al grado de protección en el párrafo sexto del M&M: “Para cada una de las playas, se obtuvo información sobre el tipo de figura de protección y su fecha de establecimiento, si formaba parte de algún Lugar de Interés Comunitario (LIC) o Zona de Especial Protección para Aves (ZEPA) (Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico), así como la existencia o no de algún plan de gestión para residuos plásticos (Natura 2000 - Standard Data Form). Dicha información provee detalles sobre el grado de protección e interés ambiental de la zona.”

Comentado [CS7]: El revisor dice: “Sería conveniente explicar mejor cómo la figura 6 apoya las afirmaciones de este párrafo. No resulta evidente, y menos cuando en la gráfica se dice que el ajuste del modelo no es significativo.”

Respuesta: En los modelos de ecuaciones estructurales, un ajuste no significativo muestra que la estructura del modelo no difiere de las relaciones causales entre las variables y que, por tanto, el modelo se ajusta correctamente a los datos. Esto se aclara ahora en la figura 6 y en resultados. Hemos reescrito esta parte de los resultados para describir, de una forma más detallada, los mismos.

residuos que llegan a nuestras costas (e.g., Morishige et al. 2007; Jang et al. 2014). El número de objetos, así como su composición, sin embargo, fueron algo más predecibles por los factores ambientales y antrópicos considerados, lo que indica que éstos son más fáciles de controlar mediante las herramientas de gestión y protección existentes. Entre los factores ambientales que determinan el número y composición de los objetos recogidos, destacan los sustratos rocosos o de bolos/cantos rodados (que retienen una mayor cantidad de residuos o se limpian con menos frecuencia; Moore et al. 2001; Hardesty et al. 2017) y la velocidad de las corrientes dominantes (que arrastran objetos más voluminosos; Fig. 5). En ambos casos, centrar las labores de limpieza y recogida de residuos en playas de bolos/rocas o que reciben corrientes rápidas, podría ser una manera efectiva de reducir significativamente la cantidad de residuos biológicamente activos en nuestras costas.

En general, los factores antrópicos (grado de uso a nivel local y de paisaje, figuras de protección) fueron más importantes que los ambientales a la hora de determinar tanto la cantidad como composición de los residuos. En este sentido, la cantidad de residuos se ve drásticamente disminuida en Reservas de la Biosfera, ZECs y Parajes naturales (Fig. 4), aunque este efecto es mucho menos marcado en la demarcación Sudatlántica que en el resto (interacción protección x demarcación en la Fig. 5), así como en Espacios naturales protegidos (Fig. 4). Tanto las figuras de protección, como un menor número de servicios o actividades ofrecidas, se relacionó con menores valores de los ejes 1 y 3 de nuestra ordenación multivariante, lo que sugiere que en éstas condiciones se encuentran menos colillas, bastoncillos, toallitas húmedas y botellas que en espacios no protegidos, con mayores servicios o que no cuentan con papeleras o servicio de limpieza. Finalmente, nuestros resultados sugieren una gran importancia de los usos del suelo en áreas cercanas (<5 km) a nuestras playas, con una menor cantidad de pequeños trozos de plásticos en playas rodeadas de hábitat natural. Este resultado es particularmente relevante y sugiere que, más allá del grado de protección, podría ser interesante el reducir los usos industriales, urbanos o agrícolas en las cercanías de áreas de nidificación o de especial interés para la cría de alevines o establecer condiciones de uso más respetuosas con el medio ambiente.

Más allá de la influencia individual de los factores evaluados, se encontraron interacciones significativas entre ellos para todas las variables analizadas. Por tanto, no es preciso reducir servicios, también se podría conseguir a través de medidas como reforzar la vigilancia o dar más información a los usuarios para que mejoren su comportamiento. En cuanto a las corrientes dominantes, estas no tienen influencia en la "efectividad de la protección" de las AMP y las medidas de protección/conservación tendrán que tenerlas en consideración. Las conclusiones sobre el papel de las AMPs en la protección de nuestras costas frente a la acumulación de residuos difieren sustancialmente cuando se analiza su efecto por separado (Fig. 3) respecto a si se analiza en conjunto con otras covariables ambientales y antrópicas (Figs. 5 y 6). Esto último ilustra la importancia de considerar en conjunto los múltiples factores determinantes de la cantidad y composición de las basuras marinas, para entender mejor como gestionar y reducir este problema ambiental.

Conclusiones

-Aunque existe una gran variabilidad, nuestras playas sufren en general elevados índices

Comentado [CS8]: El revisor dice: "Incluir la figura/tabla que respalde esta afirmación. Si es la figura 5, aclararlo en la parte de resultados. Como indicado anteriormente, las figuras 5 y 6 necesitan una explicación más detallada."

Respuesta: Hemos incluido la figura. Más detalles sobre estos resultados se encuentran en la sección de arriba, siguiendo la recomendación del revisor.

Comentado [CS9]: El revisor dice: "Quizás sea preciso revisarlas cuando se muestren todos los resultados en gráficas. Prestar especial atención a qué diferencias de las encontradas son significativas desde un punto de vista estadístico y cuáles no para no hacer afirmaciones subjetivas".

Respuesta: No acabamos de entender este comentario. Si el revisor pudiera ser más específico en cuanto a cuales de nuestras conclusiones son subjetivas y carecen de soporte estadístico, estaremos encantados de corregir los errores. Hasta donde podemos ver, las dos primeras conclusiones son evaluaciones descriptivas en cuanto a cantidad y tipología de las basuras marinas encontradas. No vemos nada subjetivo en esa parte. Las otras dos conclusiones están apoyadas por los análisis estadísticos que se muestran en las figuras 5 y 6, y sólo mencionan aquellos resultados que fueron significativos.

de contaminación por residuos de todo tipo, con más de 130 kg y 1600 objetos recogidos, de media, en 881 playas de nuestro litoral.

-Estos residuos están dominados en su mayoría por colillas, restos de envoltorios y botellas de plástico de un solo uso.

-Los factores ambientales, antrópicos y figuras de protección co-determinan la cantidad y composición de las basuras marinas, aunque mucha de la variabilidad (> 65%) no se explica por los factores considerados en nuestros análisis. De los factores considerados, la composición de la playa (arena vs bolos/roca), la dirección de la corriente dominante, el porcentaje de hábitat natural en los alrededores, y la figura de protección fueron los factores principales.

-Una vez filtrados los efectos de otros factores ambientales (e.g., composición de la playa, grado de uso, corrientes dominantes, distancia al río más cercano, coordenadas geográficas) y logísticos (e.g., número de voluntarios), la presencia de basuras marinas en AMP es menor. En concreto, la protección en áreas marinas parece disminuir la cantidad de colillas, bastoncillos y toallitas húmedas, los cuales representan la mayoría de los residuos que se recogen. Estos efectos protectores se ven modulados a nivel de Demarcación Marina (menos efectiva en la demarcación Sudatlántica), el grado de uso de la playa (más efectiva cuanto menos actividades y servicios se ofrecen) y la dirección de la corriente marina dominante (menos efectiva cuantos más grados).

Agradecimientos

Queremos agradecer a Ambiente Europeo, Vertidos cero y Surfrider su disposición y colaboración para compartir los datos de sus bases de datos de ciencia ciudadana de recogida de basuras marinas en las playas. Este estudio se enmarca dentro del proyecto SOCIPLAS: "Investigación y ciencia ciudadana para mejorar la gestión de la presencia de plásticos de las Áreas Marinas Protegidas." financiado por la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. SS está financiado por la ayuda Ramón y Cajal (RyC-2016-20604) del Ministerio de Ciencia e Innovación. CS ha sido financiado por la Universidad de Alicante como Investigador Distinguido (UATALENTO 17-11).

Bibliografía

- Anderson MJ, Gorley RN, Clarke KR. 2008. PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods.
- Bravo M, Gallardo MA, Luna-Jorquera G, Núñez P, Vásquez N, Thiel M. 2009. Anthropogenic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): Results from a national survey supported by volunteers. *Marine Pollution Bulletin* 58:1718–1726
- Bucci K, Tulio M, Rochman CM. 2020. What is known and unknown about the effects of plastic pollution: A meta-analysis and systematic review. *Ecological Applications*, 30, e02044
- Derraik JGB. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin* 44: 842–852

Comentado [CS10]: El revisor dice: "Esta afirmación no está respaldada por los resultados que muestra la Figura 3."

Respuesta: No, en la figura 3 sólo considera el factor "protección". Sin embargo, al considerar los efectos de otros factores ambientales (tipo de playa, grado de uso, corrientes dominantes, distancia al río, coordenadas, etc) y logísticos (número de voluntarios y metros recorridos), el "ruido estadístico" se limpia, mostrando una clara reducción de los kilos de basura recogidos en áreas protegidas (Figura 5). Hemos reescrito esta parte para aclarar nuestros resultados

Hardesty BD, Lawson TJ, van der Velde T, Lansell M, Wilcox C. 2017. Estimating quantities and sources of marine debris at a continental scale. *Frontiers in Ecology and the Environment* 15: 18–25.

Hong S, Lee J, Kang D, Choi H-W, Ko S-H. 2014. Quantities, composition, and sources of beach debris in Korea from the results of nationwide monitoring. *Marine Pollution Bulletin* 84: 27–34

Plastics Europe. 2013. *Plastics – the facts 2013: an analysis of European latest plastics production, demand, and waste data*. Brussels, Belgium: Plastics Europe

Jang YC, Hong S, Lee J, et al. 2014. Estimation of lost tourism revenue in Geoje Island from the 2011 marine debris pollution event in South Korea. *Marine Pollution Bulletin* 81: 49–54.

Morishige C, Donohue MJ, Flint E, Swenson C, Woolaway C. 2007. Factors affecting marine debris deposition at French Frigate Shoals, Northwestern Hawaiian Islands Marine National Monument, 1990–2006. *Marine Pollution Bulletin* 54: 1162–1169

Moore SL, Gregorio D, Carreon M, Weisberg SB, Leecaster MK. 2001. Composition and distribution of beach debris in Orange County, California. *Marine Pollution Bulletin* 42: 241–245

R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>

Schwarz AE, Lighthart TN, Boukris E, van Harmelen T. 2019. Sources, transport, and accumulation of different types of plastic litter in aquatic environments: A review study. *Marine Pollution Bulletin* 143: 92–100

Zhou P, Huang C, Fang H, Cai W, Li D, Li X, Yu H. 2011. The abundance, composition and sources of marine debris in coastal seawaters or beaches around the northern South China Sea (China). *Marine Pollution Bulletin* 62: 1998–2007

1. Figuras

[1]

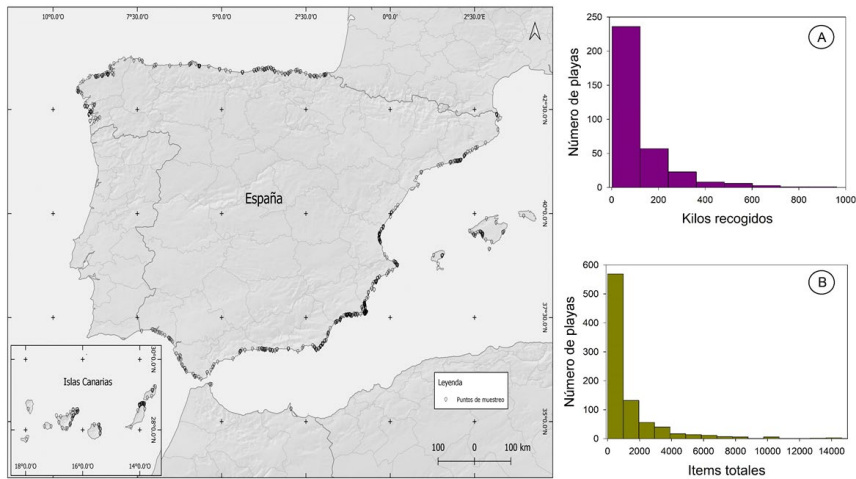


Figura 1. Distribución de las playas en las que se efectuaron recogidas de basura, así como los histogramas de frecuencia de pesos (kilos) y objetos (ítems) recogidos.

Comentado [CS11]: El revisor dice: "Histograma ítems: La primera barra abarca un rango de 0 a 3000 ítems, más o menos, y engloba a la mayoría de las playas consideradas. ¿Se podría desglosar más? Por ejemplo, de 1000 en 1000."

Respuesta: Estos gráficos se realizaron con el mismo número de categorías para ítems y kilos recogidos por consistencia. Sin embargo, siguiendo la recomendación, hemos ampliado el número de categorías para el número de "ítems" para mostrar de una forma más clara las playas con <3000 ítems recogidos.

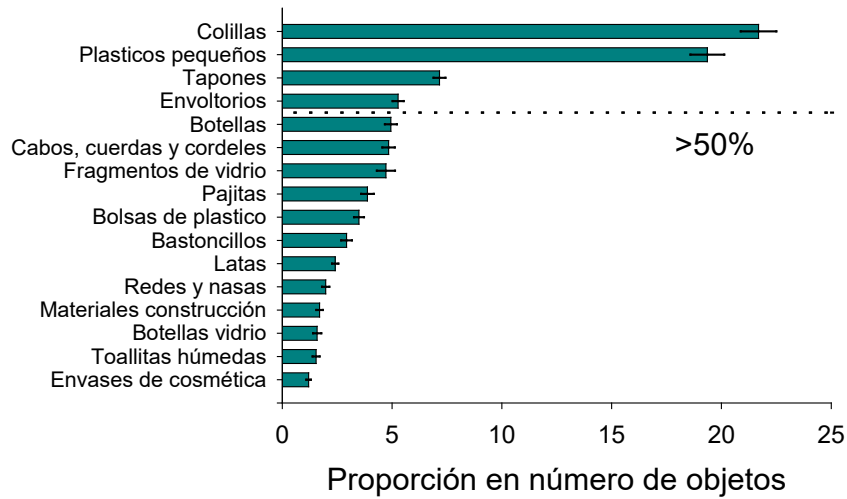


Figura 2. Tipos más frecuentes de objetos encontrados en las recogidas de basura. Se marcan con una línea discontinua aquellos que representan más del 50% de los objetos recogidos. Las barras muestran la media y ES (error estándar) para las 881 playas. Sólo se muestran los 16 tipos de residuos más abundantes, de las 36 categorías evaluadas.

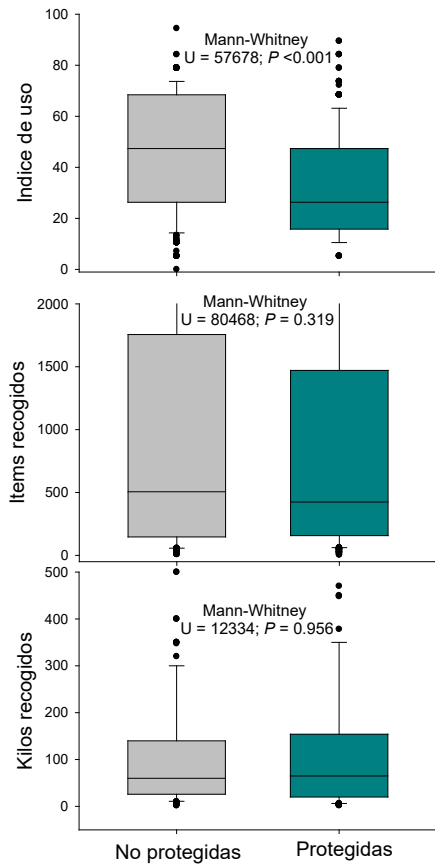


Figura 3. Índice de uso, número de objetos (ítems) y peso (kg) recogidos en función de si la playa cuenta con alguna figura de protección (Protegidas) o no (No protegidas). Los diagramas de cajas muestran la media y los cuartiles 25% y 75%, las rayas horizontales muestran los cuartiles 5% y 95%, mientras que los puntos muestran los “outliers”. El estadístico no paramétrico de Mann-Whitney se empleó para evaluar si estas tres variables eran significativamente distintas entre playas protegidas y no protegidas, resultando sólo significativa la diferencia en el índice de uso.

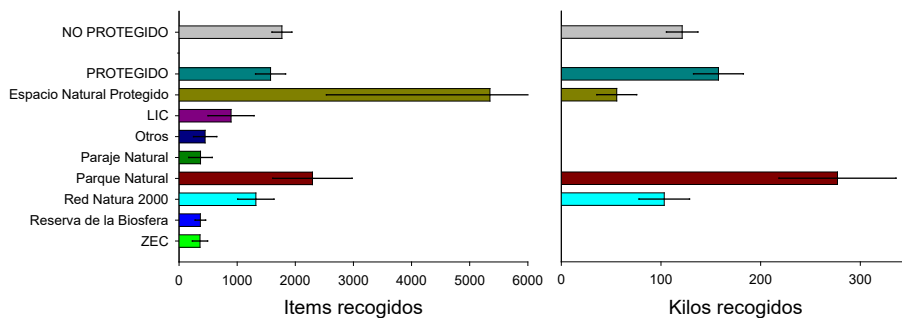


Figura 4. Número de objetos (ítems) y kilogramos de basuras marinas en función del grado y figura de protección de la playa. Se muestra media \pm ES (error estándar). No se muestra información sobre el peso recogido en algunos tipos de protección ya que no existían suficientes datos al respecto (más de 5 recogidas efectuadas por Ambiente Europeo en estas zonas).

Comentado [CS12]: Comentario del revisor: "Entiendo que la barra de "Protegido" muestra la media de los datos de todas las figuras de protección que se incluyen en el gráfico. Si es así, llama la atención que su barra de ES sea tan pequeña. ¿Por qué?"

Respuesta: Correcto, la barra "protegido" es la media para todas las figuras de protección. El ES es pequeño porque el tamaño muestral es muy elevado. Por tanto, a pesar de la que desviación estándar es amplia, al dividir por la raíz cuadrada del tamaño muestral, el ES se reduce considerablemente.

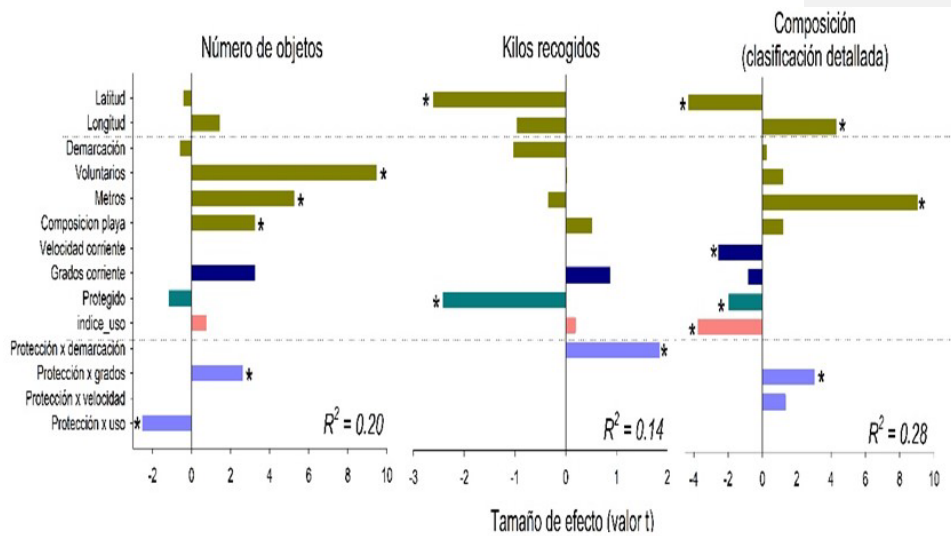


Figura 5. Resultados estadísticos para los modelos lineales utilizados para analizar el peso, número de objetos y su composición. Los asteriscos indican efectos significativos. Sólo se muestran aquellos factores evaluados que resultaron significativos para alguna de las variables de respuesta tras la simplificación del modelo utilizando F-ratio tests. Se indica la varianza total (R^2) explicada por el modelo. Por simplicidad, se muestran sólo los resultados para el primero de los tres ejes multivariantes de composición.

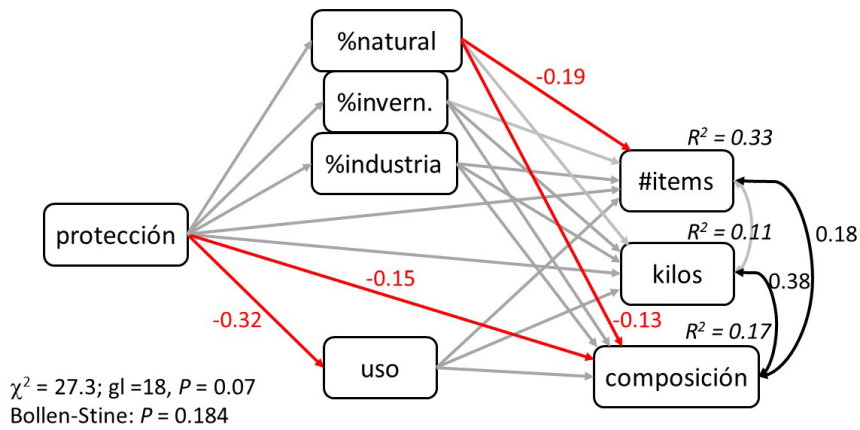


Figura 6. Modelo simplificado de ecuaciones estructurales indicando los posibles mecanismos por lo que las áreas marinas protegidas pueden afectar a la cantidad y composición de las basuras marinas. Se indican relaciones significativas positivas (negro), negativas (rojo) y relaciones no significativas (gris). Se muestra la cantidad de varianza (R^2) explicada por nuestro modelo para cada variable de respuesta. El modelo incluye, además de las variables mostradas: latitud, longitud, metros cubiertos, voluntarios implicados en la recogida, y los 3 ejes de composición (aquí resumidos como uno solo). Los índices de bondad de ajuste del modelo (χ^2 y Bollen-Stine) fueron no significativos, indicando que la estructura utilizada es una explicación causal plausible para nuestros datos, y que el modelo se ajusta bien a los datos. La significación de las relaciones se evaluó mediante “bootstrapping” debido a que algunas de las variables incluidas en el modelo no eran normales.