

Ara em veus: la problemàtica dels plàstics flotants en els nostres mars i oceans

Rafael Sardá,¹ Juan Ramis² i Luis Francisco Ruiz-Orejón¹

¹ Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB-CSIC)

² ESADE Business School

Correspondència: Rafael Sardá. Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB-CSIC). Carrer d'accés a la cala St. Francesc, 14. 17300 Blanes (Girona)

DOI: 10.2436/20.1501.02.192

ISSN (ed. impresa): 0212-3037

ISSN (ed. digital): 2013-9802

<http://revistes.iec.cat/index.php/TSCB>

Rebut: 24/05/2019

Acceptat: 12/06/2019

Resum

Segons estimes recents, entre set i divuit milions de tones de plàstics podrien entrar als mars i oceans aquest any (segurament més si fem altres suposicions). D'aquests materials, entre el 70% i el 95% acabaran en els fons i la resta arribarà a les nostres costes o es fragmentarà en partícules de meso-, micro- i nanoplàstic que suraran pels mars o entraran a les seves cadenes tròfiques. Nosaltres els hem creat, depenem d'ells i ara hem descobert que també són un problema. Un problema que al segle XXI apareix, com tantes altres problemàtiques ambientals, de forma global (són desplaçats pels corrents independentment del seu origen), persistent (els farem servir un minut, però seran escombraries per una centúria o més) i incert (només estem començant a visualitzar les seves primeres problemàtiques... i ja són molt serioses). En el present treball, a partir d'unes expedicions realitzades pel mar Mediterrani (les campanyes del NIXE III) parlarem d'aquesta problemàtica, de com aquests materials afecten els nostres mars i oceans, quins serveis dels ecosistemes marins es veuen afectats i quines respostes hem de començar a plantejar-nos com a societat civil.

Paraules clau: plàstics, microplàstics, DPSWR, Mediterrani.

Now you see it... The problem of floating plastics in our seas and oceans

Summary

According to estimates, between 7 and 18 million tonnes of plastic could enter the seas and oceans of our planet this year (and probably even more if we make other assumptions). Between 70 and 95% of this material will sink to the bottom and the rest will reach our coasts or become fragmented and end up in meso-, micro- and nano-plastic particles which will float about our seas or enter their food chains. We have created plastics, we depend on them, and now we have discovered that they are also a problem for us. In the 21st century, like so many other environmental issues, it is a problem that is global (particles will be mobilized by currents regardless of their origin), persistent (we may use them for only one minute, but they will remain as rubbish for a century or more), and uncertain (we are only starting to realise some of the problems that this entails but these problems are already quite serious). In this paper, basing ourselves on data from the NIXE III Project carried out in the Mediterranean, we will discuss the problem of plastics and what impact these materials have on our seas, which marine ecosystem services are affected, and which responses we must consider as a civil society.

Keywords: plastics, microplastics, DPSWR, Mediterranean Sea.

Fa cent anys, l'arxiduc Ludwig Salvator d'Àustria (1847-1915) va explorar la Mediterrània amb el seu vaixell de vapor, el *Nixe II*, d'oest a est i de nord a sud. Durant aquestes expedicions, va centrar l'atenció en petites i desconegudes regions i illes d'aquest mar. L'arxiduc va ser considerat un investigador i cronista del mar Mediterrani, una vida apassionada en un món que semblava que tenia uns recursos il·limitats. L'arxiduc va desenvolupar tot un conjunt de monografies, més de sis mil pàgines impreses que contenien descripcions d'animals, plantes, meteorologia, història, folklore, arquitectura, paisatge i explicacions detallades de la població, els seus costums, cançons i poemes. Per celebrar el centenari de la mort de l'arxiduc, la Fundació Innovació, Acció i Coneixement de les illes Balears va iniciar el projecte Nixe III el 2010: l'objectiu principal era fer una comparativa entre les monografies de l'arxiduc realitzades cent anys enrere i nous documents obtinguts en revisar els llocs originals que l'arxiduc va visitar. El projecte Nixe III

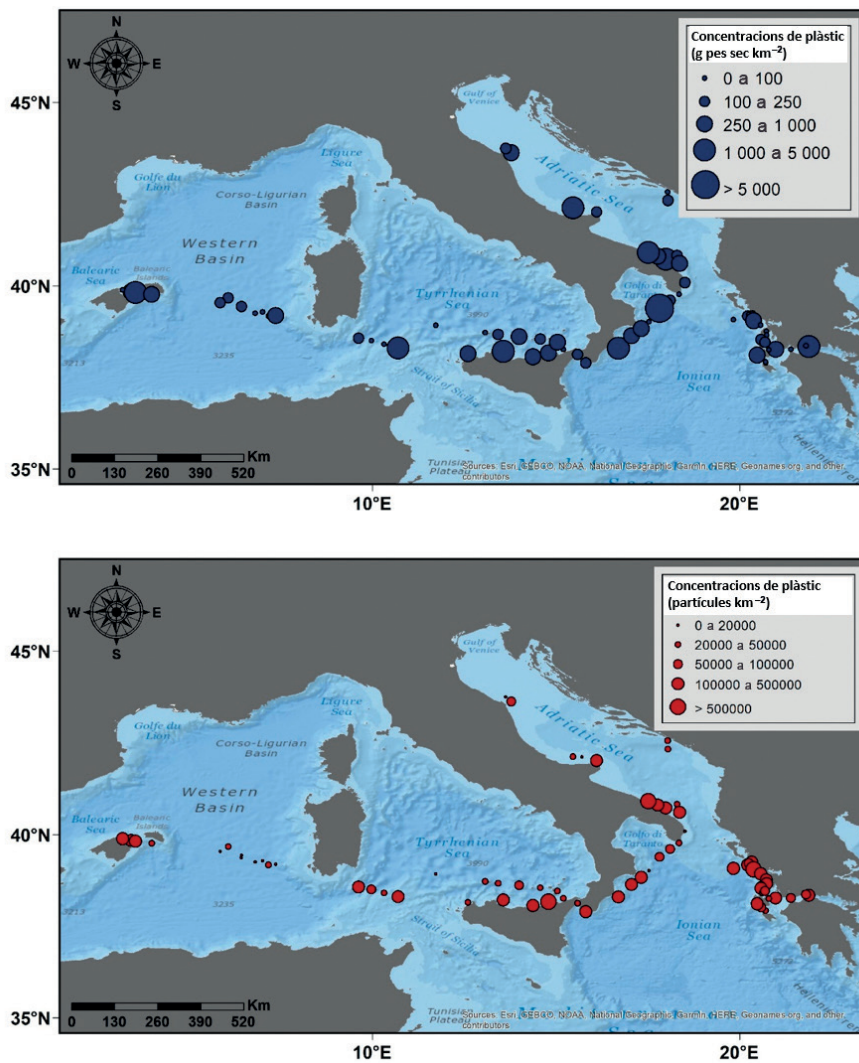
va durar cinc anys i durant aquest temps es van dur a terme diverses campanyes per la Mediterrània. Atesos els llargs desplaçaments entre els llocs a descriure, es va pensar a mostrejar plàstics flotants a la Mediterrània; tenint en consideració que quan el *Nixe II* i l'arxiduc van navegar-hi no hi havia plàstics al mar.

El projecte Nixe III va estudiar la situació dels plàstics flotants des d'un punt de vista socioecològic. El projecte (2010-2015) va analitzar la situació d'aquestes deixalles (plàstics flotants) a tres escales: *a*) a gran escala, mostrant la Mediterrània occidental i central, *b*) a escala regional, treballant les zones costaneres de les illes Balears, i *c*) a escala local, mitjançant l'estudi estacional de la seva presència al canal de Menorca. Durant els mostrejos realitzats, mitjançant una xarxa d'arrossegament coneguda com a *manta* per la seva particular forma (*manta trawl*), no es va obtenir cap mostra on no es trobessin restes de fragments plàstics (Ruiz-Orejón *et al.*, 2016; 2018; 2019). El 97% de tot el material obtingut amb origen no natural varen

ser plàstics, amb un clar predomini dels microplàstics, i les partícules més abundants tenien al voltant d'1 mm² de superfície (malla de mostreig utilitzada: 333 µm). Es va fer també un estudi sobre les percepcions, actituds i comportament de les persones i grups d'activitat de l'illa de Mallorca (Ruiz-Orejón, 2018).

A escala mediterrània (2011 i 2013) es van estudiar un total de setanta-una mostres. Es va estimar una mitjana de 579,3 g de pes sec per km² (en endavant, ps km⁻²) (màxim: 9.298,2 g ps km⁻²) i una concentració mitjana de partícules de 147.500 peces de plàstic per km² (en endavant, pt km⁻²) (màxima: 1.164.403 pt km⁻²) (vegeu la figura 1). Segons estimes fetes amb aquestes dades, la Mediterrània acumularia en l'actualitat unes mil cinc-cents tones de residus plàstics a la seva superfície.

A escala balear, es van estudiar vint mostres (estiu de 2014) a les seves aigües costaneres (primers cinc quilòmetres de costa). Amb una elevada variabilitat, la concentració de partícules més alta (màxim: 4.576.115 pt km⁻²)



◀ Figura 1. Concentracions de plàstic (gràfic superior: g ps sec km⁻²; gràfic inferior: pt km⁻²) de les mostres del projecte Nixe III (adaptat de Ruiz-Orejón *et al.*, 2016).

i el pes sec (màxim: 8.102,9 g ps km⁻²) es varen situar al nord del promontori de les illes. Amb dades d'aquest estudi, la concentració mitjana de pes va ser de 1.165,7 g ps km⁻² i la concentració mitjana de partícules de 900.324 pt km⁻², valors superiors als obtinguts en l'estudi anterior i que s'expliquen pel fet de ser mostres més properes a la costa, on aquests valors augmenten. Els elevats valors de concentració de plàstics a la costa N-NW d'Eivissa i Mallorca en ubicacions poc poblades suggereixen que la distribució de partícules de plàstic podria estar condicionada majoritàriament pels corrents oceanogràfics de la zona.

Finalment, a una escala més local, es va obtenir un total de quaranta-vuit mostres trimestralment a l'àrea protegida del canal de Menorca. La finalitat d'aquest estudi era analitzar les possibles variacions estacionals i comprovar-ne la presència en una àrea marina protegida. Les dades obtingudes varen arribar fins a 2.016,7 g ps km⁻² a l'estiu i 347.793 pt km⁻²

a la primavera a la zona més propera a l'illa de Mallorca com a valors més elevats. Les dades semblaven indicar l'existència d'un patró d'acumulació i neteja que estaria relacionat amb la circulació d'aigües al canal.

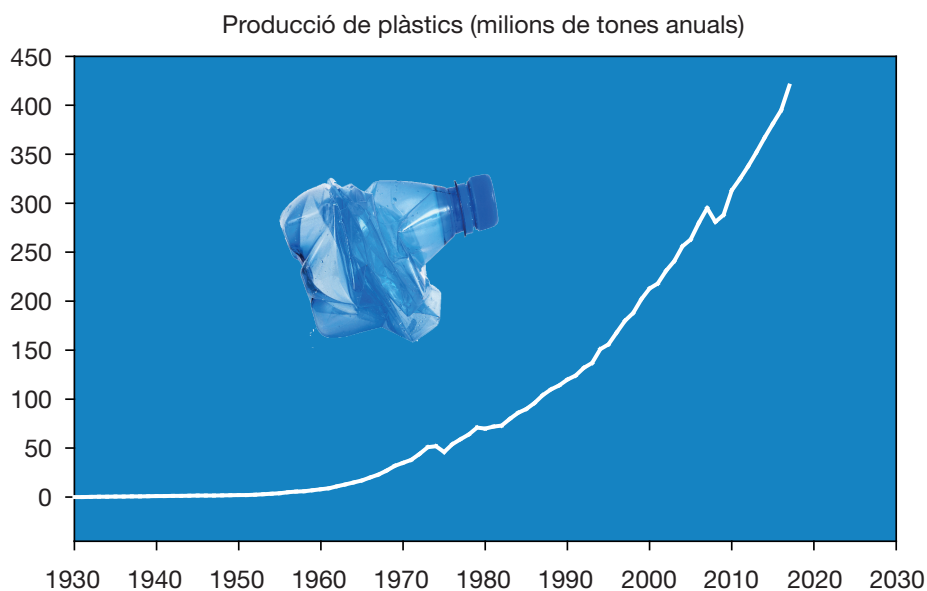
Els resultats del projecte Nixe III concorden amb els estudis internacionals que assenyalen que la presència de plàstics en els oceans és global. L'acumulació més gran de plàstics es va observar en les zones més costaneres i en àrees de circulació o de confluència de corrents (golf de Taranto, illes del Jònic i part de les illes Balears). Les acumulacions a la Mediterrània en zones de confluència de corrents constitueixen l'observació en un mar més petit d'un aspecte semblant a les grans acumulacions de residus que es donen en els grans girs de circulació oceànica conegudes com *garbage patches*, a les quals ens referirem més endavant (Moore *et al.*, 2001; Kaiser, 2010).

Els sistemes naturals són capaços de proveir les nostres societats amb recursos naturals

abundants; aquests sistemes naturals no es poden tractar com entitats discretes i analitzar-les per separat; depenen d'uns sistemes socials i econòmics amb els quals interactuen i per això molts autors comenten la necessitat que siguin analitzats tenint en compte els sistemes socioecològics dels quals formen part (Berkes i Folke, 1998). Aquests sistemes es poden analitzar a través de diverses plataformes d'informació. Recentment Cooper (2013) ha proposat el marc DPSWR (*drivers, pressures, states, welfare, responses*, en català *forces motores, pressions, estat, benestar, respostes*), un marc conceptual que utilitzarem a continuació. Els sistemes humans, les persones i les seves activitats, es converteixen en forces motores de canvi. Aquestes forces pressionen els sistemes naturals amb els quals es relacionen. Com a conseqüència, els sistemes naturals (les seves unitats estructurals i les seves funcions) poden alterar el seu estat, que finalment es pot traduir en la degradació dels recursos naturals fonamentals utilitzats per l'home (els serveis ecosistèmics) i en la disminució, d'aquesta manera, del benestar humà. El reconeixement d'aquesta degradació hauria de permetre que l'home realitzés respostes polítiques adequades per resoldre el patró de degradació observat. Utilitzarem aquest marc conceptual per analitzar la problemàtica actual dels plàstics en mars i oceans.

La producció global de plàstics (*forces motores*)

Els plàstics són una de les grans solucions de la civilització. Són versàtils, lleugers, duradors, hermètics, resistent, econòmics i flexibles, i tot això els ha fet estar presents en una enorme varietat de productes. Els plàstics ens acompanyen en la nostra vida diària i, per això, a mesura que la població augmenta (7.710 milions de persones al planeta, els últims mil milions arribats en els últims dotze anys) i que les activitats d'aquesta població també augmenten (88 milers de bilions de dòlars de producte interior brut global amb un increment del 2,9% de mitjana anual des que hem creuat el mil·lenni), la producció de plàstic no para de créixer, per la qual cosa hem desenvolupat enormes



↑ Figura 2. Evolució de la producció mundial de plàstics (elaboració pròpia).

capacitats productives d'aquests materials (vegeu la figura 2). A partir dels anys cinquanta, es dispara el consum del plàstic en introduir-ne les aplicacions en els mercats de masses.

La producció mundial de plàstics podria estar al voltant dels 400 milions de tones anuals (335 al 2017 segons PlasticEurope [2018] enfront dels 440 del 2015 segons Geyer *et al.* [2017]) amb una taxa de creixement anual del 8,5% des de 1950 (produïm més de mil milions de quilograms al dia; ampolles de plàstic d'aigua a una velocitat de gairebé vint mil per segon; hem duplicat el tonatge de producció global de plàstic en menys de dues dècades). L'extrapolació d'aquestes dades mitjançant un escenari *business as usual* és enorme. Gairebé la meitat dels materials de plàstic produïts pels humans fins a l'actualitat (8.300 milions de tones) han estat manufacturats en els darrers quinze anys i, d'aquests, 6.300 milions ja serien deixalles, la major part (el 60%) en abocadors o dispersos pel medi natural. Si continuen les tendències actuals de producció i gestió de residus, al voltant de 12.000 milions de tones de residus plàstics aniran a l'abocador o a un entorn natural abans del 2050 (Geyer *et al.*, 2017).

L'impacte sobre mars i oceans (pressions)

Els mars i els oceans cobreixen el 70% de la superfície de la Terra i actuen com a magatzem natural d'energia tèrmica i carboni. Els corrents oceànics redistribueixen energia i carboni i determinen d'aquesta manera la seva pro-

ductivitat i el clima del planeta. Aquesta circulació oceànica també és aprofitada pels éssers vius en els seus desplaçaments, i també per noves entitats de contaminació química i altres deixalles marines, entre les quals destaquen les partícules de plàstic. La major part d'aquestes deixalles no suren i solen acabar bé als fons abissals, bé a les costes i platges expulsades per l'onatge, la qual cosa dona lloc a problemes molt diversos.

La quantitat de plàstic que entra anualment als mars i oceans és encara imprecisa i només s'ha abordat d'acord amb estimacions. Un grup d'investigadors americans (Jambeck *et al.*, 2015) amb dades de 2010 van estimar la massa total de residus plàstics que entraven als mars i oceans cada any: entre 4,8 i 12,7 milions de tones (Economia [2016] situava aquest valor als 17 milions de tones). A partir de les dades de Jambeck *et al.* (2015) i els creixements observats en la indústria (8,5% per any), podríem projectar les dades al present; entre 7 i 18 milions de tones de plàstics podrien haver entrat als oceans l'any 2019. Un treball recent de Schmidt *et al.* (2017) assenyalava que el 90% del plàstic que contamina els nostres oceans podria vindre de només deu rius, vuit dels quals es troben a l'Àsia: Iangtsé, Indus, Groc, Hai He, Ganges, Perla, Amur, Mekong, i dos, a l'Àfrica: el Nil i el Níger. Les conques d'aquests rius tenen dues coses en comú: una població generalment alta, de vegades centenars de milions de persones, i un procés de gestió de residus bastant deficient.

Una vegada al mar, els plàstics es fotodegraden amb l'exposició a la llum solar i es van descomponent en partícules durant llargs períodes de temps, degut també a la utilització industrial d'estabilitzadors addicionals com l'ús d'antioxidants (cinquanta anys per a una tassa de cafè, cinc-cents anys per a un aparell de pescar). A causa d'aquest patró, els plàstics es fragmenten en partícules cada vegada més petites, fins a arribar als anomenats microplàstics i nanoplàstics. Els prefixos *nano-*, *micro-*, *meso-* i *macro-* en relació amb la contaminació de plàstics estan encara poc definits. Els límits generalment acceptats per als microplàstics es basarien per la banda inferior en els residus retinguts per una malla de newton de 0,25 mm i un límit superior d'aproximadament 5 mm; per sota hi hauria els nanoplàstics. Els mesoplàstics tindrien un límit inferior de 5 mm i, tot i que amb cap límit superior definit, Eriksen *et al.* (2014) estableixen el límit superior del mesoplàstic en 200 mm. Els macroplàstics se situarien per sobre. El procés de fragmentació es pot explicar com a resultat de l'exposició al sol, els efectes de les onades, el contacte amb la vida marina i els canvis de temperatura. Un cop convertits en microplàstics són molt difícils d'eliminar i sovint són confosos amb aliments per part d'animals marins.

Menció especial reben altres petits fragments de plàstic flotants; les llàgrimes de les sirenes o bé *mermaid tears*, diminutes boletes de resina plàstica que formen la base de construcció de cada producte plàstic fabricat; els *microbeads*, petites partícules de plàstic sòlid de menys d'un mil·límetre els més grans (de polietilè, polipropilè o poliestirè, materials sovint utilitzats en productes cosmètics i de cura personal); o les microfibrilles, en algunes ocasions residus de productes tèxtils però també, de vegades, derivats del món del plàstic. En qualsevol cas, les llàgrimes de les sirenes, els *microbeads* o les microfibrilles i els residus de plàstic fragmentats (microplàstics i nanoplàstics), arriben a una mida microscòpica al llarg del temps, romanen a tot arreu i gairebé no es poden netejar.

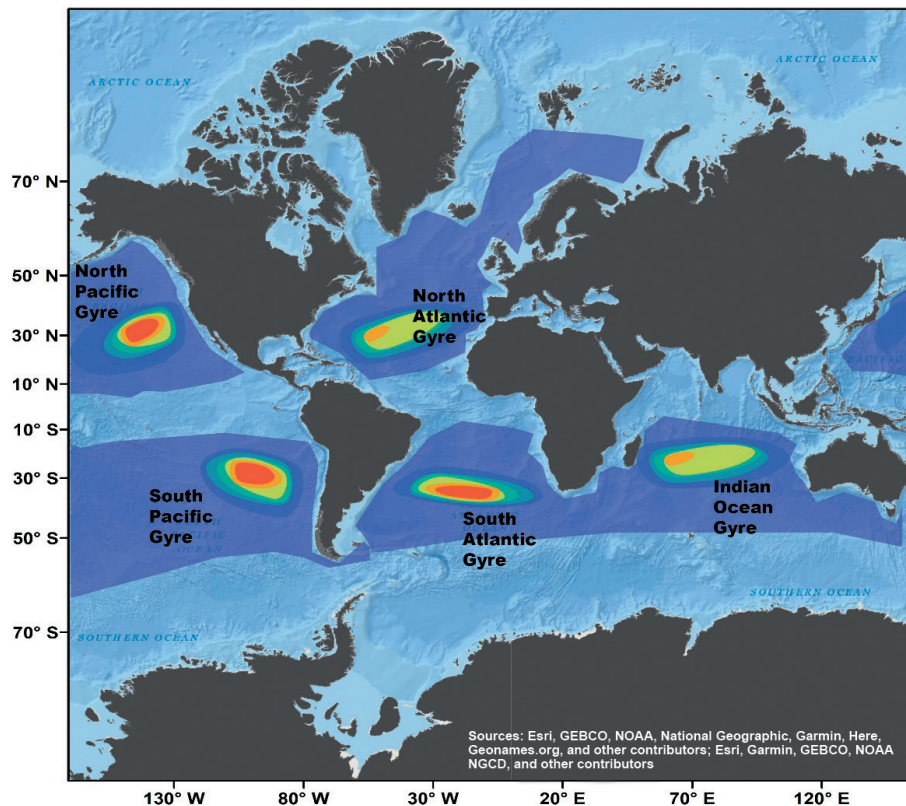
Quan aquests materials entren als nostres mars i oceans es converteixen en un dels problemes més omnipresents a causa de les seves propietats inherents: la flotabilitat, la durabilitat, la propensió a absorbir els contaminants de l'aigua, la seva capacitat de fragmentar-se en peces microscòpiques i, més important, la seva provada possibilitat de descompondre's i deixar anar tòxics a l'aigua de mar.

Els plàstics en el medi marí (estats)

Els processos de degradació dels plàstics són molt més lents en l'aigua que en la terra; en aquest mitjà, el temps per completar la mineralització d'un plàstic (procés a través del qual una substància orgànica es converteix finalment en inorgànica) pot estimar-se en centenars, o fins i tot, milers d'anys (Barnes, 2009). A causa del procés de degradació per fragmentacions successives i la seva lenta mineralització, l'entrada acumulada de materials de plàstic en mars i oceans ha determinat la presència de multitud de micro- i nanopartícules de plàstic en tots ells, fins i tot a l'Àrtic o l'Antàrtida (Waller *et al.*, 2017). Aquestes partícules de plàstic són presents a la superfície dels mars i dels oceans, a la columna d'aigua, en els sediments, a les costes i platges, però també en els sistemes digestius dels organismes que els habiten, en les seves estructures de respiració i en els seus teixits. Algunes de les preguntes que ens fem avui en dia exigeixen conèixer en quines concentracions trobem aquests materials en mars i oceans, on s'acumulen, com s'hi mouen, i quines són les taxes d'augment.

Des dels anys vuitanta es coneix que grans concentracions de deixalles marines s'acumulen en regions governades per vòrtexs de corrents oceànics, les *garbage patches* (vegeu la figura 3). Les *garbage patches* estan formades per corrents oceànics rotatoris, *gyres*, i són zones que donen peu a veure residus amalgamats atrapant vida marina i que ens deixen imatges icòniques sobre l'estat dels nostres mars i oceans.

El 2014, un altre grup de científics que col·laboraven amb l'organització no governamental 5 Gyres (<https://www.5gyres.org/>) va publicar una primera estima sobre la contaminació de plàstics flotants en els oceans (Eriksen *et al.*, 2014). Mitjançant modelització oceanogràfica, van estimar que 268.940 tones i uns 525 milers de bilions de partícules suren per la superfície dels oceans, el que es coneix com *plastic smog* (vegeu la taula 1). Malgrat aquesta enorme quantitat, els mateixos autors assenyalaven que la presència de microplàstics a la superfície era menor de la que els models semblaven indicar d'acord amb els patrons de fragmentació i descomposició obtinguts al laboratori. La desaparició de plàstics de la superfície pot ser deguda a diversos processos: l'eliminació per foto- i biodegradació, la ingestió per organismes, la disminució de la flotabilitat per fricció, l'arrossegament per sedimentació, la pesca i l'arribada a les costes entre d'altres.



↑ Figura 3. Mapa d'acumulacions de deixalles marines en els oceans (extret de 5 Gyres).

Eriksen *et al.* (2014) determinaven que de les 268.940 tones estimades, el 75,4% devia estar format per macroplàstics, un 11,4% per mesoplàstics i la resta (35.540 tones) per partícules petites de microplàstics i nanoplàstics. Aplicant aquest percentatge de pes per a partícules petites de plàstic (13,2%) a l'estima obtinguda en el seu model per al mar Mediterrani (23.150 tones, vegeu la taula 1) podríem estimar el pes de la fracció petita (micro- i nanoplàstics) en aquest mar Mediterrani de l'ordre de 3.056 tones; un valor una mica superior al que vam obtenir en la nostra estima del projecte Nixe III.

Nombroses espècies ingereixen microplàstics i fan que estiguin disponibles també per als seus depredadors i així successivament,

i contribueixen d'aquesta manera a l'eliminació diferencial de petites partícules de la superfície, per exemple acumulant microplàstics en les seves excrecions i millorant-ne així l'enfonsament. Alguns microbis podrien biodegradar partícules de microplàstics i afavorir la seva mineralització (Dussud *et al.*, 2018). Mitjançant la disminució de la flotabilitat per fricció o l'arrossegament per sedimentació, s'han trobat partícules de microplàstic a les zones abissals més remotes dels ambients marins, els seus sediments profunds (Cauwenberghé *et al.*, 2013); i el seu desplaçament als fons, on moltes d'aquestes partícules de plàstic romanen entre aigües per llargs períodes de temps gràcies a la seva flotabilitat.

↓ Taula 1. Valors d'acumulació de plàstics flotants globalment i extensió dels oceans (adaptat d'Eriksen *et al.*, 2014)

	Pacífic nord	Pacífic sud	Atlàntic nord	Atlàntic sud	Oceà Índic	Mediterrani	TOTAL
Nombre de partícules (milers de bilions de partícules)	199,0	49,1	93,0	29,7	130,0	24,7	525,0
Pes (tones)	96.400	21.020	56.470	12.780	59.130	23.150	268.940
	Oceà Pacífic		Oceà Atlàntic		Índic	Mediterrani	
Extensió (milers de quilòmetres quadrats)	155.557		76.762		68.556	2.510	

↓ Taula 2. Valors estimats de plàstic en compartiments de l'espai marí (adaptat d'Eunomia, 2016)

Localització del plàstic	Estudis de referència	Extensió (milions de quilòmetres quadrats)	Pes (valor mitjà en kg per km o km ²)	Estimació global (milions de tones)
Flotant	Eriksen <i>et al.</i> (2014); Cózar <i>et al.</i> (2014)	361	0,74 kg per km ²	0,27
Platges	Ocean Conservancy (2012); Ryan <i>et al.</i> (2014); Smith i Markic (2013)	1,4	1.013 kg per km	1,4
Enterrat a les platges	Kusui i Noda (2003)	0,52	110 kg per km	0,057
Fons marins	Pham <i>et al.</i> (2014)	361	70-180 kg per km ²	25,3-65
TOTAL				27-66,7

Amb la intenció d'avaluar la quantitat de plàstic que es troba a cada compartiment marí (flotant, costes i platges, i fons marins), un informe d'Eunomia (2016) va intentar unir tots els coneixements amb una visió general. La taula 2 presenta aquests resultats. El 94 % del plàstic estaria en els fons (estimes fetes amb dades procedents de la Mediterrània que s'aplicaven sobre una base d'àrea per unitat [densitats de 70-180 kg km⁻² amb un màxim de 400 ± 180 kg km⁻² en les zones més afectades]), un 5 % acabaria a les costes i només un 1 % estaria en la fracció flotant.

A part de la seva presència en organismes, en fons marins o en la columna d'aigua, un altre destí final d'aquests materials són les costes, i especialment les platges. Són icòniques les imatges de platges, fins i tot en llocs verges, on observem una presència majoritària de materials de plàstic. Recentment, científics anglesos i australians van fer una recerca a l'illa de Henderson (una illa de 3.700 ha), la més gran de les quatre illes de les Pitcairn (patrimoni de la humanitat per la UNESCO, al mig de l'oceà Pacífic sud), un dels pocs atollons del món que han escapat de l'activitat humana. Els investigadors van trobar que a les seves platges hi havia al voltant de 38 milions de peces i 18.000 tones de residus de plàstic, i es van sorprendre de saber que la majoria de les deixalles, al voltant del 70%, no eren visibles i no entraven en aquests càlculs (fins a 4.500 peces per metre quadrat enterrades a una profunditat de 10 cm). Cada any, milers de persones realitzen neteges voluntàries de platges per recollir manualment centenars de milers de peces de deixalles (majoritàriament plàstic).

Les conseqüències per a l'home (benestar)

L'entrada de plàstics als mars i oceans, el seu transport, fragmentació, mineralització i acumulació tenen conseqüències que van molt més enllà de l'alteració dels ecosistemes, i afecten la relació de l'ésser humà amb aquests ecosistemes. L'informe de Nacions Unides Mil-

lennium Ecosystem Assessment va posar de manifest la importància dels serveis dels ecosistemes (Daly, 1997) per al benestar i el desenvolupament de les societats humanes (ME, 2005). L'avaluació va definir quatre categories de serveis: *a*) serveis de subministrament; *b*) serveis de regulació; *c*) serveis culturals, i *d*) serveis de suport. Les conseqüències negatives (directes o indirectes) per a l'ésser humà poden quedar englobades en tres grans categories.

Conseqüències sobre la biodiversitat

Els efectes nocius dels plàstics sobre la biodiversitat es coneixen des de fa temps (Ogunola i Palanisami, 2016). Quedar atrapat, la potencial asfíxia, la ingestió i dispersió de partícules de plàstic, o els efectes que tenen els plàstics quan entren a la cadena alimentària i produeixen processos de bioacumulació i biomagnificació fins al potencial consumidor final, serien les principals conseqüències que podrien observar-se en els organismes. A més, el plàstic pot actuar com a vector de dispersió, vehicle potencial per iniciar processos invasius d'espècies en llocs molt diferents dels de procedència (Kiessling *et al.*, 2015).

Molts organismes s'enganxen a peces de plàstic grans, xarxes i altres aparells de pesca, la denominada «pesca fantasma»: tortugues de mar (Kühn *et al.*, 2015), foques (Derraik, 2002), balenes (Galgani *et al.*, 2014), aus marines (Franecker i Law, 2015) o peixos (Alomar i Deudero, 2017). Altres vegades els plàstics s'enganxen als animals i en limiten el moviment, la qual cosa causa mortalitats (Antonelis *et al.*, 2011; Cho, 2011), provoca la restricció o impossibilitat d'adquirir aliments (Laist, 1997), fa ferides que poden causar infeccions, deformitats o amputacions (Orós *et al.*, 2005) i afecta també la vida sèssil de corals, gorgònies o bivalves, entre altres (Fabri *et al.*, 2014; Lamb *et al.*, 2018).

La ingestió de plàstic (directa o accidental) és un dels principals problemes. La ingestió directa sol donar-se com a resultat de la confu-

sió de partícules amb preses (Kühn *et al.*, 2015; Schuyler *et al.*, 2014) o la curiositat envers els residus, inclús el color de les partícules pot influir en la ingesta (Santos *et al.*, 2016). D'altra banda, la ingesta accidental sol presentar-se en organismes filtradors (Fossi *et al.*, 2014, Cauwenberghe i Janssen, 2014) però també succeeix com a conseqüència de la depredació d'un individu que prèviament havia ingerit plàstic (Boerger *et al.*, 2010; Eriksson i Burton, 2003). Un cop ingerit el residu, comencen a produir-se els impactes dins l'organisme. L'obstrucció total del tracte digestiu o el dany que provoca el procés d'ingestió pot causar la mort però la seva obstrucció parcial pot conduir a una reducció de la ingesta alimentària necessària per al desenvolupament o afectar l'eficiència dels processos digestius de l'individu (Lavers *et al.*, 2014). Les partícules de plàstic ingerides poden portar compostos químics afegits durant la fabricació: carcinògens (Lithner *et al.*, 2011) i disruptors endocrins (Rochman, 2015), i provocar efectes neuroconductuals o malalties reproductives (Verma *et al.*, 2016).

Encara que l'atrapament i la ingesta s'han reportat més vegades, altres impactes, com l'asfíxia, causen efectes perjudicials tan importants com els anteriors. L'asfíxia afecta directament tant la fauna com la flora i també indirectament perquè en quedar atrapats la via respiratòria es pot obstruir externament (Sazima *et al.*, 2002). L'asfíxia també pot aparèixer per la presència de sediments anòxics produïts pels residus de plàstics i que també poden afectar invertebrats del bentos o flora marina (Kühn *et al.*, 2015).

Conseqüències sobre la salut humana

Tot i que els mateixos polímers de plàstic poden considerar-se inerts, la gran quantitat d'additius afegits poden produir efectes perjudicials en organismes i finalment poden arribar a l'home i afectar la seva salut (Galloway, 2015). Compostos com el bisfenol A, la bisfe-

nona, retardants de flama, organotines, ftalats o triclosan són alguns d'aquests compostos que poden deixar les partícules com a conseqüència de processos de lixiviació; alguns additius actuen com disruptors hormonaals (Moriyama *et al.*, 2002), afavoreixen l'obesitat i les malalties cardiovasculars (Lang, 2008; Melzer *et al.*, 2012), alteren les funcions reproductives i el seu desenvolupament (Rochester, 2013), redueixen la flora intestinal, o produeixen canvis en l'estructura de les biomolècules que interactuen amb ells (Galloway, 2015).

Conseqüències econòmiques Els plàstics flotants causen greus pèrdues econòmiques a diferents sectors. Entre els més afectats hi ha les comunitats costaneres (major despesa en neteja de platges, salut pública i eliminació de deixalles), el turisme (pèrdua d'ingressos, mala publicitat), el transport (neteja d'hèlixs d'embarcacions, motors danyats, eliminació d'escombraries i maneig de deixalles en ports), o la pesca (reduccions de captures, xarxes danyades i la seva neteja, contaminació). A més, aquests materials presenten costos intangibles que afecten el benestar de les persones i que, en bona part, van lligats als serveis ecosistèmics culturals: recreatius, estètics, educatius o espirituals.

Els pocs estudis que han intentat avaluar els costos (directes, marginals o alternatius i socials) tendeixen a subestimar-los. Els costos directes es refereixen als directament atribuïbles a les conseqüències de la contaminació per plàstics: *a*) neteja de platges (18-19 milions d'euros anuals al Regne Unit o 10,4 milions d'euros anuals als Països Baixos); *b*) costos del dany als vaixells de pesca i els seus engranatges (fins a 19.000 euros l'any i vaixell a la pesca escocesa), i *c*) obstrucció de les canonades en aqüicultura (al voltant de 160.000 euros anuals als productors d'aqüicultura a Escòcia) (Mouat *et al.*, 2010).

Els costos marginals o alternatius es relacionen principalment amb la pèrdua d'ingressos o amb els costos d'oportunitat. El sector més afectat és el turisme. Una petita illa de Corea del Sud va perdre per temes estètics 500.000 turistes en un any (amb un cost de 23-29 milions d'euros). La pesca és un altre sector afectat a causa de la possible pèrdua de captures degudes a captures incidentals de plàstic o la competència de l'efecte anomenat *pesca fantasma* (Newman *et al.*, 2015). Finalment, tenim els costos socials lligats al benestar de les persones, relacionats principalment amb els

diferents impactes per a la salut humana i aspectes de caràcter recreatiu i cultural.

Perseguint la recerca de solucions (respostes)

Com hem vist anteriorment, ens enfrontem a una problemàtica (increment de la presència de partícules de plàstic en mars i oceans) que augmentarà si no s'afronta. El fet que el problema sigui global i que el transport d'aquests materials contaminants sigui ràpid (corrents marins i altres condicions oceanogràfiques) fa que les solucions hagin de ser també globals i la col·laboració cada dia més necessària. Les solucions de futur poden englobar-se en dos tipus d'estratègies: estratègies de minimització en tres àmbits, societat, regulació i indústria, i estratègies de restauració. En qualsevol cas, és necessària una cooperació oberta a escala planetària entre institucions, indústria i societat que fomenti la presa de decisions basada en l'evidència científica.

Estratègies de minimització

Societat La contaminació del medi marí per materials de plàstic té fortes arrels socials i conductuals. Necessitem conèixer millor els factors contextuais que impulsen el comportament de les persones cap a l'ús del plàstic. Existeixen, però, perspectives molt diferents sobre aquesta problemàtica. En unes enquestes sobre la problemàtica dels residus plàstics al mar, realitzades el 2015, durant el projecte Nixe III, als banyistes de l'illa de Mallorca, el 67% dels enquestats van respondre que existeix una manca d'informació sobre aquesta problemàtica i els riscos que això comporta, i el 70% apuntaven una falta de conscienciació en la recerca de solucions al problema (Ruiz-Orejón, 2018). Tot i això la contaminació per plàstics és avui molt més visible. Tot-hom està familiaritzat amb l'ús del plàstic i la nostra vida diària depèn molt del seu ús. D'aquesta forma, fàcilment, podem mobilitzar campanyes d'informació per a l'eliminació del plàstic, desenvolupar activitats educatives per millorar-ne l'ús o es poden fer projectes audiovisuals (*A Plastic Ocean*, 2017, a Netflix). No obstant això, encara és necessària una major integració de les visions de tots els grups d'interès, des d'escales internacionals fins a locals, per abordar els problemes relacionats amb els residus plàstics.

Regulació S'han promogut diferents instruments regulatoris posant la Mediterrània com a exemple. Pel que fa als instruments glo-

bals, des del Conveni de Londres de 1975 (reforçat el 1994 per l'entrada en vigor de la Convenció sobre el Dret del Mar – UNCLOS) es prohibeix l'eliminació de plàstics persistents i altres materials al mar, la Convenció MARPOL (73/1978, annex v del 2013) prohibeix l'eliminació de tota classe d'escombraries al mar des dels vaixells. El 1995 es va establir el programa mundial d'acció per a la protecció del medi marí a partir d'activitats terrestres (GPA). El GPA és la primera regulació que té en compte la connexió entre sistemes (les interaccions terra-mar) en relació amb els contaminants, i va estar emparat pel PNUMA (Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient) a través del Programa de Mars Regionals per aconseguir la seva implementació.

Pel que fa a la regió mediterrània, el 1975, setze països mediterranis van adoptar el Pla d'Acció per a la Mediterrània (MAP), el primer programa de mars regionals. Un any més tard, aquests països van aprovar la Convenció de Barcelona i el 1995 l'anomenada Convenció per a la Protecció del Medi Marí i la Regió Costanera del Mediterrani (Conveni de Barcelona). Entre els seus objectius principals hi ha l'avaluació i el control de la contaminació marina i la prevenció, reducció i eliminació de la contaminació procedent de fonts terrestres i marítimes.

Es poden esmentar diverses directives de la Unió Europea per la seva relació amb les deixalles marines: la Directiva d'instal·lacions de recepció dels ports (Directiva PRF, 2002); la Directiva marc de residus (Directiva WF, 2008); la Directiva sobre abocadors (Directiva Landfill, 1999) i la Directiva sobre residus d'envasos i embalatges (Directiva PPW, 2015). Més recentment, un canvi en la política europea de traslladar les directives d'impacte a una nova generació de directives per a la protecció del medi ambient va donar lloc a la Directiva marc de l'aigua (Directiva MWF) i la Directiva marc d'estratègies marines (Directiva MSFD), instruments integrals per al desenvolupament de dues visions, el bon estat ecològic i la bona situació mediambiental, respectivament.

La MSFD és el principal instrument integral de la política per a la protecció del medi marí a la Unió Europea i la bona situació mediambiental (*good environmental status*, GES), el seu principal objectiu. La GES s'avalua a través d'un total d'onze descriptors; un d'ells, el descriptor 10, està relacionat amb els residus marins amb l'objectiu final que les

proprietats i quantitats de les deixalles marines no causin danys al medi ambient costaner i marí. El descriptor 10 avalua el possible dany en tres categories: l'impacte ecològic de les escombraries, els impactes econòmics i els impactes socials. També es proposen una sèrie de compartiments per determinar els nivells acceptables de dany en aquestes categories, començant pel medi marí (fons marins, superfície del mar, columna d'aigua, litoral), efectes ecològics de les escombraries marines, problemes relacionats amb la degradació de les escombraries i efectes socials i econòmics provocats pels residus marins (Galvani *et al.*, 2010).

Finalment, la Comissió de la Unió Europea ha establert com a prioritat una nova estratègia per als plàstics amb la introducció de l'economia circular en la seva gestió (EU-COM, 2018). El 2017, la Comissió va confirmar que se centraria en la producció i l'ús de plàstics i treballaria per aconseguir que tots els envasos de plàstic siguin reciclables el 2030; el Parlament Europeu ha aprovat recentment la prohibició de comercialització d'alguns plàstics d'un sol ús per al 2021, així com la recollida selectiva del 90 % d'ampolles de plàstic per al 2025.

Indústria La indústria veu en l'economia circular el model estratègic a seguir. El desenvolupament del concepte d'economia circular basat en la sostenibilitat dels recursos naturals limitats i la seva capacitat de recuperació obre els nous models de negoci integrats a la natura (Sardà i Pogutz, 2019), una nova economia al món del plàstic (Ellen Macarthur Foundation, 2017). Aquesta nova economia del plàstic ofereix una nova visió, alineada amb els principis de l'economia circular i amb un enfocament explícitament sistèmic i de col·laboració. La visió última d'aquesta nova economia del plàstic és que els plàstics mai no es converteixen en residus. Les principals necessitats que l'informe assenyalava són: a) màxima prioritat: desenvolupar mesures per a un segon ús efectiu d'aquests materials després de la seva primera utilització; b) reduir dràsticament les pressions al medi marí produïdes per les fuites de materials de plàstic envers aquests sistemes naturals, i c) la necessitat òbvia a causa de les regulacions futures de desacoplar la producció de plàstics de l'ús de matèries primeres fòssils, la qual cosa permetria que la indústria entrés en un procés de producció amb baix contingut de carboni, i participés de forma efectiva en el món econòmic del futur.

Estratègies de restauració No entrarem en detall en les múltiples iniciatives que en l'actualitat s'estan desenvolupant per restaurar el medi marí, bàsicament en temes de neteja. Probablement, en l'àmbit global, la iniciativa privada més coneguda és The Ocean Cleanup, que assenyalava que desplegant a gran escala els seus sistemes es podria netejar el 50 % del *Great Pacific Garbage Patch* cada cinc anys. Òbviament aquestes activitats de neteja es relacionen més amb les fraccions de plàstics de mida gran (la major part en pes) i no amb les diminutes partícules que es van formant per la seva fragmentació, la retirada de les quals és poc menys que impossible, almenys amb la tecnologia actual.

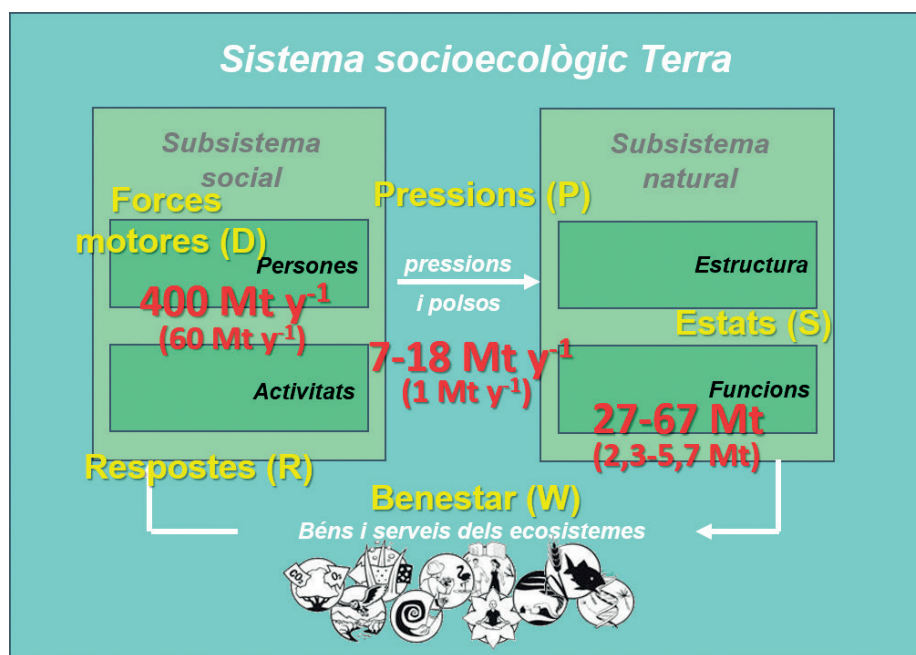
Conclusions finals

Al voltant del 70 % de tots els residus que arriben als mars estan fets de plàstic (Galvani *et al.*, 2010). Aquesta contaminació és global, i pot trobar-se des dels pols fins a l'equador i des de la costa i la superfície del mar fins als fons abissals. Aquesta contaminació és persistent; hem fabricat compostos extremadament resistents la degradació i posterior mineralització dels quals és molt, molt lenta. Els plàstics s'acumulen en els sediments de les zones abissals de les grans masses d'aigua del planeta i, en un futur, podran datar el pas de l'home per la Terra en l'Antropocè (www.anthropocene.com).

info). Aquesta contaminació és molt incerta; estem començant a visualitzar els problemes que crea, *ara els veiem*, però encara no sabem fins on poden arribar i quines poden ser-ne les últimes conseqüències. A més, és una problemàtica molt complexa per la gran varietat de procedències, mides, formes i polímers dels plàstics. Aquesta és una tendència general i, per això, l'acumulació de residus de plàstic s'ha identificat en les reunions de l'Assemblea de Medi Ambient de les Nacions Unides com un dels problemes mundials importants. L'home ha creat els plàstics, en depenem i, ara, hem descobert que també són un problema. Un problema que al segle XXI afecta greument la salut de mar i oceans.

Sintetitzant la informació d'aquest treball, la figura 4 mostra la problemàtica dels residus plàstics als mars i oceans: la conclusió general és que les dades no quadren. L'acumulació d'aquests materials en el medi marí mostra valors més petits del que les entrades anuals ens farien pensar. Per una banda, processos com la deposició de plàstics als fons abissals, la ingestió per organismes o l'arribada massiva a la costa i platges podrien estar infravalorats i, de l'altra, l'entrada de plàstics al mar podria ser més baixa que la que s'indica.

El plàstic ha estat un important catalitzador del canvi tecnològic. Tenint en compte la naturalesa omnipresent del plàstic i la inveni-



↑ Figura 4. Síntesi de la informació mitjançant l'esquema conceptual DPSWR (*drivers, pressures, states, welfare, responses*). Entre parèntesis, les dades per a l'entorn mediterrani. Figura adaptada de Sardà i Pogutz, 2019. Les icones utilitzades en benestar són les recollides de TEEB, 2010.

tabilitat del seu consum, és fonamental la importància de garantir que aquest plàstic, quan es converteixi en residu, no acabi fora de situacions controlades. Atès que la mida de la població i la qualitat dels sistemes de gestió de residus determinen en gran mesura quins països aporten la massa més gran de residus que poden convertir-se en residus marins plàstics, sense una millora significativa de les infraestructures de gestió de residus en aquests països i un canvi radical en la forma d'usar (i llençar) aquests materials per part nostra, la presència de plàstics en mars i oceans augmentarà de la mateixa manera que ho fa la concentració de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera, de manera exponencial. Conèixer millor aquesta problemàtica i com ens afecta és vital per adaptar-nos-hi i solucionar-la.

En un futur pròxim, per reduir l'impacte dels plàstics en el medi marí, es requeriran més estudis per comprendre els processos relacionats amb l'origen i el transport d'aquests residus, necessitarem centrar-nos més en l'anàlisi dels micro- i nanoplàstics i les seves conseqüències, així com en l'avaluació i el tractament de la percepció social i la consciència del problema per part de les societats humanes i també en el suport a països en desenvolupament. Atès que ens enfrontem a un problema d'àmbit global, per trobar una solució a l'acumulació de plàstics als mars i oceans calen solucions que impliquin educació, transferència de tecnologies, inversions públic-privades als països de les conques de rius afectades que els permetin millorar la gestió dels residus.

Cent anys després que l'arxiduc Ludwig Salvator d'Àustria explorés la Mediterrània en

un moment en què la conservació no significava res, la realitat actual mostra que al mar Mediterrani sura una elevada concentració de plàstics, i probablement augmentarà en un futur. Cal que el problema es traslladi a l'agenda política per accelerar noves polítiques que contribueixin a aturar l'impacte i la degradació ambiental, però que també es traslladi a la societat en la seva part més conductual.

Agraïments

Aquest treball es va dur a terme en el marc del projecte Nixe III (<http://www.nixe3.com/>), el projecte Playa+ del Pla de Recerca Nacional d'Espanya en R + D + I (CGL2013-49061), i el projecte KnowSeas+ (201530E018). Agraïm a la tripulació del Nixe III, de la R/V Pola, de la R/V Wizard i de la R/V Rossina di Mare la seva ajuda durant les campanyes.

Bibliografia

- ALOMAR, C.; DEUDERO, S. (2017). «Evidence of microplastic ingestion in the shark *Galeus melastomus Rafinesque*, 1810 in the continental shelf off the western Mediterranean Sea». *Environ. Pollut.*, 223: 223-229.
- ANTONELIS, K. [et al.] (2011). «Dungeness crab mortality due to lost traps and a cost-benefit analysis of trap removal in Washington State waters of the Salish Sea». *North Am. J. Fish. Manag.*, 31: 880-893.
- BARNES, D. K. A. [et al.] (2009). «Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments». *Philos. Trans. R. Soc. B.*, 364: 1985-1998.
- BERKES, F.; FOLKE, C. (1998). «Linking social and ecological systems for resilience and sustainability». A: BERKES, F.; FOLKE, C. (ed.). *Linking social and ecological systems: Management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge; Nova York: Cambridge University Press, 1-25.
- BOERGER, C. M. [et al.] (2010). «Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre». *Mar. Pollut. Bull.*, 60: 2275-2278.
- CAUWENBERGHE, L. van [et al.] (2013). «Microplastic pollution in deep-sea sediments». *Environ. Pollut.*, 182: 495-499.
- CAUWENBERGHE, L. van; JANSSEN, C. R. (2014). «Microplastics in bivalves cultured for human consumption». *Environ. Pollut.*, 193: 65-70.
- CHO, D. O. (2011). «Removing derelict fishing gear from the deep seabed of the East Sea». *Mar. Pollut.*, 35: 610-614.
- COOPER, P. (2013). «Socio-ecological accounting: DPSWR, a modified DPSIR framework, and its application to marine ecosystems». *Ecol. Econ.*, 94: 106-115.
- CÓZAR, A. [et al.] (2015). «Plastic accumulation in the Mediterranean Sea». *PLoS One*, 10: e0121762.
- DAILY, G. C. (ed.) (1997). *Nature's Services*. Washington: Island Press.
- DERRAIK, J. G. B. (2002). «The pollution of the marine environment by plastic debris: A review». *Mar. Pollut. Bull.*, 44: 842-852.
- DUSSUD, C. [et al.] (2018). «Colonization of non-biodegradable and biodegradable plastics by marine microorganisms». *Front. Microbiol.* DOI: 10.3389/fmicb.2018.01571.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2017). *The new plastics economy: Rethinking the future of plastics and catalyzing action*. Cowes: Ellen MacArthur Foundation.
- ERIKSEN, M. [et al.] (2014). «Plastic pollution in the world's oceans: More than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea». *PLoS One*. DOI: 10.1371/journal.pone.0111913.
- ERIKSSON, C.; BURTON, H. (2003). «Origins and biological accumulation of small plastic particles in fur seals from Macquarie Island». *AMBIO*, 32: 380-384.
- EUNOMIA RESEARCH AND CONSULTING LTD. (2016). *Plastics in the marine environment*. Regne Unit: Eunomia.
- FABRI, M. C. [et al.] (2014). «Megafauna of vulnerable marine ecosystems in French mediterranean submarine canyons: Spatial distribution and anthropogenic impacts». *Deep. Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.*, 104: 184-207.
- FOSSI, M. C. [et al.] (2014). «Large filter feeding marine organisms as indicators of microplastic in the pelagic environment. The case studies of the Mediterranean basking shark (*Cetorhinus maximus*) and fin whale (*Balaenoptera physalus*)». *Mar. Environ. Res.*, 100: 17-24.
- FRANEKER, J. A. van; LAW, K. L. (2015). «Seabirds, gyres and global trends in plastic pollution». *Environ. Pollut.*, 203: 89-96.
- GALGANI, F. [et al.] (2010). *Marine Strategy Framework Directive: Task Group 10: Report Marine Litter*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. (Scientific and Technical Research Series) DOI: 10.2788/86941.
- (2014). «Monitoring the impact of litter in large vertebrates in the Mediterranean Sea within the European Marine Strategy Framework Directive (MSFD): Constraints, specificities and recommendations». *Mar. Environ. Res.*, 100: 3-9.
- GALLOWAY, T. S. (2015). «Micro- and nano-plastics and human health». A: BERGMANN, M. [et al.] (ed.). *Marine anthropogenic litter*. Cham: Springer International Publishing, 343-366. DOI: 10.1007/978-3-319-16510-3_13.
- GEYER, R. [et al.] (2017). «Production, use and fate of all plastics ever made». *Sci. Adv.*, 3: e1700782.
- JAMBECK, J. R. [et al.] (2015). «Plastic waste inputs from land into the ocean». *Science*, 347: 768-771.
- KAISER, J. (2010). «The dirt on ocean garbage patches». *Science*, 328: 1506.
- KIESSLING, T. [et al.] (2015). «Marine litter as habitat and dispersal vector». A: BERGMANN, M. [et al.] (ed.). *Marine anthropogenic litter*. Cham: Springer International Publishing, 141-181. DOI: 10.1007/978-3-319-16510-3_6.
- KÜHN, S. [et al.] (2015). «Deleterious effects of litter on marine life». A: BERGMANN, M. [et al.] (ed.). *Marine anthropogenic litter*. Cham: Springer International Publishing, 75-116. DOI: 10.1007/978-3-319-16510-3_4.
- KUSUI, T.; NODA, M. (2003). «International survey on the distribution of stranded and buried litter on beaches along the Sea of Japan». *Mar. Pollut. Bull.*, 47, 1-6: 175-179.
- LAIST, D. W. (1997). «Impacts of marine debris: Entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records». Nova York: Springer Verlag.
- LAMB, J. B. [et al.] (2018). «Plastic waste associated with disease on coral reefs». *Science*, 359: 460-462.
- LANG, I. A. (2008). «Association of urinary bisphenol A concentration with medical disorders and laboratory abnormalities in adults». *JAMA*, 300: 1303-1310.
- LAVERS, J. L. [et al.] (2014). «Plastic ingestion by Flesh-footed Shearwaters (*Puffinus carneipes*): Implications for fledgling body condition and the accumulation of plastic-derived chemicals». *Environ. Pollut.*, 187: 124-129.
- LITHNER, D. [et al.] (2011). «Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition». *Sci. Total Environ.*, 409: 3309-3324.
- MELZER, D. [et al.] (2012). «Urinary bisphenol A concentration and risk of future coronary artery disease in apparently healthy men and women». *Circulation*, 125: 1482-1490.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (ME) (2005). *Ecosystems and human wellbeing: Synthesis*. Washington: Island Press.
- MOORE, C. J. [et al.] (2001). «A comparison of plastic and plankton in the North Pacific Central Gyre». *Mar. Pollut. Bull.*, 42: 1297-1300.
- MORDECAI, G. [et al.] (2011). «Litter in submarine canyons off the west coast of Portugal». *Deep Sea Res. Part II: Top. Stud. Oceanogr.*, 58: 2489-2496.
- MORIYAMA, K. [et al.] (2002). «Thyroid hormone action is disrupted by bisphenol A as an antagonist». *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 87: 5185-5190.
- MOUAT, J. (2010). *Economic impacts of marine litter*. Shetland: Kommunernes Internationale Miljøorganisation (KIMO). 105 p.
- NEWMAN, S. [et al.] (2015). «The economics of marine litter». A: BERGMANN, M. [et al.] (ed.). *Marine anthropogenic litter*. Cham: Springer International Publishing, 367-394. DOI: 10.1007/978-3-319-16510-3_14.
- OCEAN CONSERVANCY (2012). *The Ocean Trash Index: Results of the International Coastal Cleanup (ICC)*.
- OGUNOLA, O. S.; PALANISAMI, T. (2016). «Microplastics in the marine environment: Current status, assessment methodologies, impacts and solutions». *J. Pollut. Eff. Control*, 4: 2.
- ORÓS, J. [et al.] (2005). «Diseases and causes of mortality among sea turtles stranded in the Canary Islands, Spain». *Dis. Aquat. Organ.*, 63: 13-24.

- PHAM, C. K. [et al.] (2014). «Marine litter distribution and density in European seas, from the shelves to deep basins». *PLoS ONE*, 4: e95839.
- PLASTICSEUROPE (2018). *Plastics – the facts 2017: An analysis of plastic production, demand and waste data*. <https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf>.
- ROCHESTER, J. R. (2013). «Bisphenol A and human health: A review of the literature». *Reprod. Toxicol.*, 42: 132-155.
- ROCHMAN, C. M. (2015). «The complex mixture, fate and toxicity of chemicals associated with plastic debris in the marine environment». A: BERGMANN, M. [et al.] (ed.). *Marine anthropogenic litter*. Cham: Springer International Publishing, 117-140. DOI: 10.1007/978-3-319-16510-3_5.
- RUIZ-OREJÓN, L. F. (2018). *Floating plastic debris in the Central and Western Mediterranean Sea: Current status and its social perception*. Tesi doctoral. Universitat de Barcelona.
- RUIZ-OREJÓN, L. F. [et al.] (2016). «Floating plastic debris in the Central and Western Mediterranean Sea». *Mar. Env. Res.*, 120: 136-144.
- (2018). «Now, you see me: High concentrations of floating plastic debris in the coastal waters of the Balearic Islands (Spain)». *Mar. Pollut. Bull.*, 133: 636-646.
- (2019). «Quarterly variability of floating plastic debris in the Marine Protected Area of the Minorca Channel (Spain)». *Environ. Pollut.*, 252: 1742-1754.
- RYAN, P. G. [et al.] (2014). «The effect of fine-scale sampling frequency on estimates of beach litter accumulation». *Mar. Pollut. Bull.*, 88: 249-254.
- SANTOS, R. G. [et al.] (2016). «Marine debris ingestion and Thayer's law – The importance of plastic color». *Environ. Pollut.*, 214: 585-588.
- SARDÀ, R.; POGUTZ, S. (2019). *Corporate sustainability in the 21st century: Increasing the resilience of social-ecological systems*. Londres: Routledge.
- SAZIMA, I. [et al.] (2002). «Plastic debris collars on juvenile carcharhinid sharks (*Rhizoprionodon lalandii*) in southwest Atlantic». *Mar. Pollut. Bull.*, 44: 1149-1151.
- SCHMIDT, C. [et al.] (2017). «Export of plastic debris by rivers into the sea». *Environ. Sci. Technol.*, 51: 12246-12253.
- SCHUYLER, Q. [et al.] (2014). «Global analysis of anthropogenic debris ingestion by sea turtles». *Conserv. Biol.*, 28: 129-139.
- SMITH, S. D. A.; MARKIC, A. (2013). «Estimates of marine debris accumulation on beaches are strongly affected by the temporal scale of sampling». *PLoS ONE*, 8: e83694.
- TEEB (THE ECONOMICS OF ECOSYSTEM AND BIODIVERSITY) (2010). *The Economics of ecosystem and biodiversity: Ecological and economic foundations*. Londres: Earthscan.
- UHRIN, A.; SHELLINGER, J. (2011). «Marine debris impacts to a tidal fringing-marsh in North Carolina». *Mar. Pollut. Bull.*, 62: 2605-2610.
- VERMA, R. [et al.] (2016). «Toxic pollutants from plastic waste – A Review». *Procedia Environ. Sci.*, 35: 701-708.
- WALLER, C. L. [et al.] (2017). «Microplastics in the Antarctic marine system: An emerging area of research». *Sci. Total Environ.*, 598: 220-227.