



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultat de Ciències

Memòria del Treball de Fi de Grau

Els plàstics com a vectors de dispersió dels foraminífers

Miquel Adrover Vicens

Grau de Biologia

Any acadèmic 2018-19

Treball tutelat per Guillem Mateu Vicens*

*Departament de Biologia

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	X		X	

Paraules clau del treball:

Plàstic, dispersió, foraminífer, contaminació.

Índex:

Resum:	4
Abstract:	5
Introducció:	6
Material i mètodes:	9
Zona d'Estudi:	9
Obtenció de mostres:	10
Descripció del funcionament dels mostrejors:	10
Anàlisi de mostres i material:	11
Anàlisi de dades:	12
Resultats:	12
Discussió:	19
Mida dels plàstics colonitzats:	22
Abundància:	22
Conclusió:	23
Agraïments:	23
Bibliografia:	24
ANNEX:	29

Resum:

Des dels anys 50, la producció de plàstic s'ha incrementat exponencialment degut a la seva versatilitat i poc cost, fent que es fabriquin mils de milions de tonelades d'aquest producte que, en la majoria de casos, acaba al medi ambient. Una vegada dipositat al medi ambient, són susceptibles a ser transportats als mars i oceans a través dels rius, pluges i vents des de terra endins o des de la costa. Un elevat nombre de organismes marins estan sofrint ja les conseqüències d'aquesta acumulació de residus plàstics, que posa en perill la seva supervivència. Un dels problemes més destacats dels plàstics és la possibilitat de transportar organismes vius sobre ells a grans distàncies, fenomen conegut com a "rafitng", que posa també en perill espècies autòctones i/o endèmiques per la potencial introducció d'espècies invasores.

En el present treball es pretén demostrar que els plàstics són capaços de ser vectors d'un grup d'organismes en concret, els foraminífers, molt susceptibles als canvis en l'ambient i que poden ser capaços d'utilitzar els plàstics per a viatjar grans distàncies, augmentant la seva dispersió.

Abstract:

Since the 1950s, plastic production has increased exponentially due to its versatility and low cost, producing thousands of millions of tons of this product that, in most cases, ends in the environment. Once deposited in the environment, they are susceptible to being transported to the seas and oceans through rivers, rains and winds from the inland or from the coast. A large number of marine organisms are already suffering the consequences of this accumulation of plastic waste, which endangers their survival. One of the most prominent problems of plastics is the possibility of transporting live organisms on them at large distances, a phenomenon known as rafting, which also endangers autochthonous and / or endemic species by the potential introduction of invasive species.

This paper tries to show that plastics are capable of being vectors of a group of organisms in particular, foraminifera, very susceptible to changes in the environment and that they may be able to use plastics to travel large distances, increasing its dispersion.

Introducció:

Els plàstics s'han convertit en els contaminants més freqüents i persistents dels mars i oceans del món (Derraik, 2002; Barnes et al., 2009; Harrison et al., 2011). Des dels anys 50 la seva producció s'ha incrementat exponencialment any rere any per la seva durabilitat, versatilitat i poc cost (Andrady and Neal, 2009; Andrady, 2011). En els últims 65 anys s'han produït al voltant de 8,3 mil milions de tones de plàstic, dels quals la gran majoria no són reciclats i acaben en els sistemes sedimentaris del món amenaçant ecosistemes sencers i potencialment la salut humana (Geyer et al., 2017; IA Kane i MA Clare, 2019). Les activitats humanes, els factors hidrogeològics (pluges i rius, principalment) i el vent transporten els plàstics des de la terra fins als mars i oceans, i des del mateix mar, els pescadors recreacionals i comercials també són una font de contaminació plàstica (Barnes et al., 2009; Ryan et al., 2009; Harrison, 2011). Aquestes deixalles es distribueixen globalment per la superfície i fons marí en qualsevol profunditat i poden resistir la degradació física i biològica durant centenars d'anys (Galgani et al., 2000; Moore et al., 2001; Andrady and Neal, 2009). Tot i que el plàstic és un material que pot surar, la majoria dels polímers sintètics s'enfonsen en l'aigua de mar, convertint el fons marí en embornals per a l'acumulació d'aquestes deixalles (Barnes et al., 2009; Engler, 2012). Koutsodendris et al. (2008) va trobar al fons marí del Mediterrani oriental més de 47.4 kg / km², dels quals més de la meitat eren plàstics, que contrasten amb les dades de Ryan et al. (2009) que va descriure 5.1 Kg / Km² de plàstic flotant en el gir central del Pacífic nord. Recentment aquest any s'ha descobert en les profunditats de l'estret de Messina, entre Sicília i Itàlia, una gran quantitat de residus dels quals gairebé el 80% eren plàstics, i l'abundància podria arribar a 120,000 ítems / Km² com a mínim (Pierdomenico, M., Casalbore, D., & Chiocci, F.L., 2019).

El mar Mediterrani representa una conca semitancada amb una alta densitat demogràfica al llarg de la seva costa i és un dels mars més contaminats del planeta (Suaria & Aliani, 2014; Pham et al., 2014; Cózar et al., 2015), ja que hi ha una important aportació de plàstic combinat amb una exportació limitada a l'Oceà Atlàntic (Cózar et al., 2015). Les Illes Balears, al Mediterrani occidental, estan exposades a una alta pressió antropogènica causada pel turisme costaner i les activitats recreatives, a més de la densa població i la urbanització al llarg de les seves costes (Martínez-Ribes et al., 2007). És un dels principals destins turístics d'Espanya, amb un total de 19.592.049 turistes arribats per via aèria en 2017, dels quals 13.943.770 van entrar únicament a l'illa de Mallorca. Aquestes xifres han anat pujant des de 2012, on les Illes van rebre 15.345.665 turistes per via aèria (GOIB, 2017). L'impacte antropogènic resultant d'aquesta arribada massiva de turistes produeix problemes en els ecosistemes marins i costaners de les illes a causa de l'estrès produït i els residus generats (Martínez-Ribes et al., 2006). Per resoldre aquest problema va ser creada la Directiva Marc d'Estratègies Marines de la Unió Europea (MSFD, per les sigles en anglès), que estableix les condicions requerides perquè els estats membres europeus arribin a un "bon estat ambiental" (GES) per a finals de 2020. Per assolir aquest objectiu, cal controlar i estimar l'abundància actual i les característiques dels residus plàstics en els mars i oceans que estan en contacte amb les costes europees, així com investigar sobre com afecten aquests plàstics a la biologia de les espècies per tal de trobar solucions eficaces.

Els plàstics són un perill per a les espècies que desenvolupen el seu cicle vital en el medi marí, ja que, per una banda, van alliberant gradualment substàncies tòxiques, com els bifenils policlorats (PCB) i dioxines que poden ser letals per a la fauna (Mato et al., 2001; Engler, 2012; Pham et al., 2014). D'altra banda, poden ser ingerits per organismes marins com ara peixos (Nadal et al., 2016), tortugues marines (Domènech et al., 2019), aus, mamífers marins i cetacis, incorporant aquests components tòxics als seus tractes respiratoris i digestius, respectivament (Gregory, 2009). Els invertebrats filtradors que s'alimenten de partícules en suspensió, que es troben a la base de la xarxa alimentària, també serien capaços d'ingerir fragments de plàstic més petits, anomenats microplàstics (<5 mm de diàmetre), i s'ha demostrat que aquests poden ser transportats a nivells tròfics més elevats (Teuten et al., 2009; Pham et al., 2014).

En addició a tots aquests problemes que comporten els plàstics en l'ambient marí, hi ha un altre factor de risc que posa en perill la biodiversitat dels ecosistemes marins, i és que els residus plàstics poden comportar-se com hàbitats per a espècies epibionts i comunitats microbianes (Gregory, 2009; Harrison et al., 2011; Kiessling et al., 2015; Gündoğdu et al., 2017), i per tant suposen un vehicle de dispersió per a molts organismes que podrien colonitzar noves zones o ecosistemes i entrar en competició amb espècies autòctones i/o endèmiques, pertorbant l'ecologia d'aquestes espècies (Barnes, 2002; Gregory, 2009; Pawar et al., 2016; Roy et al., 2018).

Sobre aquest últim problema s'investigarà en el present treball, on s'examinaran amb lupa fragments de plàstics recollits a Mallorca per diferents mètodes a Port Adriano (Calvià) a la recerca d'organismes adherits o que viatjaven al costat d'ells per demostrar que aquests residus plàstics poden actuar com a vectors de diversos organismes, encara que es mostrarà especial atenció als foraminífers, ja que són organismes bioindicadors de la salut dels mars i oceans per la seva sensibilitat a canvis de salinitat, temperatura, oxigen dissolt i terbolesa de l'aigua, entre d'altres. Són de gran importància en els estudis paleocenaogràfics i paleoclimatològics per la seva presència en el registre fòssil des de l'Era Paleozoica (Cambrià).

El filum Foraminífera està format per organismes unicel·lulars ameboides dotats d'una closca (o testa) amb càmeres o cel·les interconnectades per nombroses obertures anomenades foramina (que donen nom al filum), de grandària i composició variable. Aquests organismes comunament mesuren entre 0,1 i 1 mm, encara que hi ha espècies com *Nummulites* sp. del període Eocè que podien superar els 10 cm de diàmetre (Calonge et al., 2001). A l'interior de la closca, el seu citoplasma conté diferents orgànuls com mitocòndries, ribosomes, lisosomes, vacúols digestius, peroxisomes, aparell de Golgi i nucli (o nuclis, en alguns casos). D'aquests orgànuls cal destacar l'aparell de Golgi, que és l'encarregat de la secreció del material orgànic necessari per a la construcció de la closca. Una altra característica morfològica els diferencia d'altres protistes, aquesta és la possessió de reticulopodis, pseudòpodes fins amb forma de fil i textura granular que són prolongacions del citoplasma que s'estiren i s'encongeixen i poden canviar de forma, dividint-se i ajuntant-se formant una xarxa reticulada. Són utilitzats per interactuar amb l'ambient, ja sigui per depredar, ancorar-se o reconèixer

objectes, per a la reproducció, la locomoció i la respiració (Goldstein, 1999; Murray, 2006).

Són generalment heteròtrofs, tot i que alguns poden establir relacions simbiòtiques amb algues unicel·lulars, essent llavors mixòtrofs, que capturen directament partícules en suspensió de la columna d'aigua on troben organismes de petita mida com diatomees, bacteris o, en alguns casos, copèpodes. Alguns utilitzen els mucopolisacàrids que segreguen en els seus pseudòpodes com a substrat per al creixement de bacteris i zooplàncton dels quals s'alimenten, procés conegut com "farming" (Murray, 2006), com *Elphidium crispum* (Linnaeus, 1758) que és capaç de "conrear" algues unicel·lulars com diatomees per poder alimentar-se (Goldstein 1999).

Es poden distingir dos tipus de foraminífers en base al seu mode de vida. D'una banda, hi ha els foraminífers planctònics, que habiten a la columna d'aigua a prop de la superfície i es desplacen passivament per les corrents, encara que poden realitzar migracions verticals depenent de les seves necessitats. D'altra banda, hi ha els bentònics, que viuen al fons marí ja sigui com epifauna, és a dir, per sobre dels sediments, o com endofauna dins dels sediments.

Els foraminífers constitueixen el grup més divers d'organismes amb esquelet calcari, però segons sigui la composició i el procés de formació de la closca, es poden distingir tres tipus de foraminífers (Calonge et al., 2001; Bellier et al. 2010):

Aglutinats: Produeixen una matriu orgànica que serà coberta per sediment, espícules d'esponja i diatomees, entre altres partícules, per mitjà dels seus pseudòpodes i cimentats amb carbonat càlcic (Ordres: Asthorrhizida, Lituolida, Textulariida i Trochamminida). També hi ha un ordre de foraminífero que viu a grans profunditats amb un alt contingut en matèria orgànica que construeixen la seva closca amb material silici a causa de la falta de calcita i un baix pH (Ordre: Silicoloculinida).

Aporcelanats: Creen la seva closca a partir de espícules calcàries segregades per l'aparell de Golgi, que presenta un contingut elevat de magnesi. La seva morfologia és uniforme, sense perforacions i d'un color blanc brillant (Ordre: Miliolida). Com a excepció, els ordres Involutinida i Robertinida construeixen les seves closques amb aragonita.

Hialins: Construeixen una closca calcària a partir d'un procés de biomineralització a l'exterior del cos citoplasmàtic. La closca és perforada, amb un contingut baix en magnesi i té un aspecte translúcid (Ordres: Buliminida, Carterinida, Globigerinida, Lagenida, Rotaliida i Spirillinida).

El cicle de vida dels foraminífers bentònics correspon a un model d'alternança de generacions sexual i asexual, en la majoria dels casos. L'organisme comença a créixer com a resultat de la reproducció sexual en forma d'agamont, que és diploide i multinucleat. Llavors es divideix a través de meiosi i produeix juvenils haploides, els quals creixeran i formaran l'estadi gamont, que produirà gàmetes que després de fusionar-se formaran un zigot que donarà lloc a un nou estadi agamont. La fase asexual consisteix en diverses fissions binàries de l'agamont, formant l'estadi esquizont multinucleat i diploide, que pot generar al mateix temps més esquizonts per fissió

binària o créixer i formar directament el gamont (Murray, 2006). Però existeixen algunes espècies de gènere *Rosalina* en les quals el gamont, abans de produir gàmetes, produeix una gran càmera flotant (l'anomenada fase *Tretomphalus*), que li permet alliberar els gàmetes en les aigües superficials, optimitzant la seva dispersió (Jorissen, 2014).

En canvi, el cicle de vida dels foraminífers planctònics correspon estrictament a un model de reproducció sexual (Calonge et al., 2001; Murray, 2006).

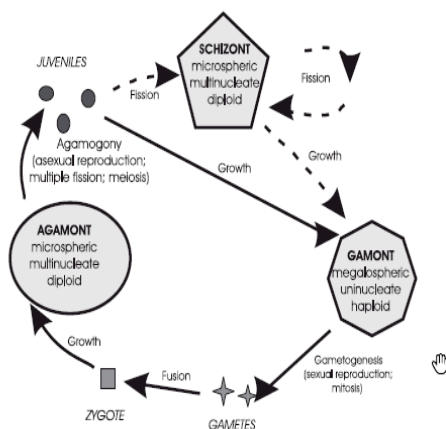


Figure 3.2. Schematic representation of the classic life cycle (alternation of generations) of benthic foraminifera (based on Lee et al., 1991b; Goldstein, 1999). Entire arrows: basic cycle; broken arrows: alternative multiple fission.

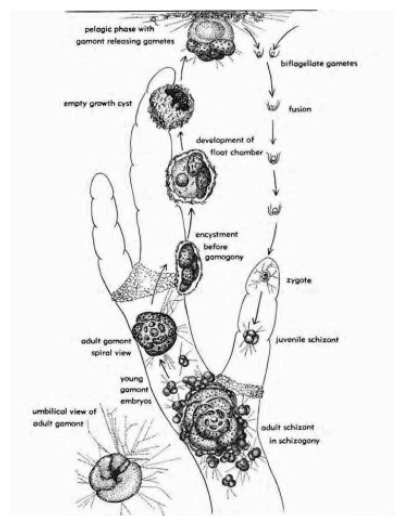


Figure 2. Life cycle of *Rosalina globularis* (Loeblich and Tappan, 1964, after Myers, 1943).

Esquema 1: A l'esquerra hi ha el cicle vital dels foraminífers bentònics, extret del llibre "Ecology and Applications of Benthic Foraminifera" de J.W. Murray (2006). A la dreta hi tenim el cicle reproductiu del foraminífer bentònic *Rosalina globularis* amb la fase planctònica, anomenada *Tretomphalus* sp., extret del CIESM Workshop Monographs n°46 "Colonization by the benthic foraminifer *Rosalina (Tretomphalus) concinna* of Mediterranean drifting plastics" escrit per F.J. Jorissen (2014).

Material i mètodes:

Zona d'Estudi:

El mostreig de plàstic es va realitzar a Port Adriano, situat a El Toro (Calvià), Mallorca (Figura 1) durant els mesos de maig fins a octubre de 2017. Avui en dia, és una referència turística amb 25.000 m2 de zona comercial, restaurants i empreses que ofereixen activitats recreatives a l'aigua, com "paddle surf", "jet ski" i busseig, així com diversos serveis nàutics relatius al manteniment i reparació de iots. L'afluència estimada de persones al port durant l'estudi va ser d'aproximadament un milió de persones. Durant els mesos de juliol i agost, la majoria de les visites es van concentrar en dies específics amb esdeveniments importants (concerts) que van atraure un gran nombre de persones els dies 20 i 25 de juliol i 4 d'agost.

Port Adriano és una font potencialment important de contaminació plàstica per al medi marí ja que ofereix una gran varietat d'activitats i esdeveniments a turistes i nadius.



Figura 1: A l'esquerra es pot veure la localització de Port Adriano a l'illa de Mallorca (punt groc). A la part central es mostra una fotografia aèria del port, amb el recorregut del transecte realitzat per recollir mostres de plàstic de forma activa (línia vermella). A la dreta, la localització del recolector automàtic de plàstics (punt groc).

Obtenció de mostres:

L'obtenció de mostres es va dur a terme l'any 2017 per tal de proporcionar dades sobre els plàstics portuaris per realitzar un treball de fi de Màster. Es pretenia avaluar la contaminació plàstica en un dels ports més actius de les Balears i per comparar metodologies d'obtenció i eliminació de deixalles flotants dins dels ports. Malgrat això, com que les testes dels foraminífers es conserven molt bé durant el temps, les possibilitats de trobar-ne a les mostres és elevada ja que l'origen dels plàstics trobats no només poden ser del mateix port, sinó que també poden haver arribat des d'alta mar transportant aquests petits organismes amb l'ajuda de les corrents marines, l'onatge i el vent.

Així doncs, per recollectar les mostres es van usar 3 tipus diferents de mostreig: Per al mostreig de fraccions de plàstics de totes les mides es va utilitzar un sistema automatitzat de recol·lecció de deixalles marines flotants a zones portuàries ("SB"), proporcionat per Seabin PTY LTD. També es va utilitzar, centrant-se en els microplàstics, una xarxa Manta d'escombrat superficial ("M") de HydroBios GmbH amb una malla de 0.335 mm de diàmetre de porus (Ryan et al., 2009). L'altre tipus de mostreig es va fer combinant i adaptant les dues metodologies anteriors, incorporant al Sea Bin la xarxa Manta de 0.335 mm per recollectar microplàstics de manera autònoma ("SB335").

Descripció del funcionament dels mostrejors:

Aquests processos que s'expliquen a continuació van ser realitzats per Enrique Vaquer per a realitzar un treball de fi de "Màster d'Oceanografia i Gestió del Medi Marí" de la Universitat de Barcelona durant el 2017.

- **Sea Bin ("SB")**

L'estratègia de mostreig va consistir en un mostreig setmanal dins el port, tots els dimecres si el clima ho permetia. El dispositiu estava ubicat en un pont flotant protegit (figura 1).

El Sea Bin és un filtre flotant (Imatge 1 de l'annex), activat per una bomba d'aigua submergible que fa circular aigua a una velocitat de 25000 L/h (Litres per hora) que atrapa, a través de la seva obertura circular de 35 cm de diàmetre, les deixalles que suren a la superfície de l'aigua. Dins el dispositiu de filtrat hi ha una bossa de captura amb una mida de malla de 4x2 mm i és capaç de contenir fins a 15 kg o més. El temps de funcionament de la màquina va ser continu durant la setmana, però el temps dedicat a treballar va variar entre les mostres. Aquestes mostres van ser portades al laboratori i van ser separades i analitzades.

- **Xarxa Manta d'escombrat superficial ("M")**

La xarxa Manta d'escombrat superficial s'assembla a una manta (peix filtrador, d'aquí el seu nom), amb ales de metall i una boca ampla, i és un sistema creat per mostrejar petites peces de plàstic i el plàncton associat en la superfície oceànica (Imatge 2 de l'annex). Té una obertura neta rectangular de 70 x 40 cm, que va seguida d'una malla de 0.335 mm de diàmetre de porus. La velocitat mitjana del vaixell va ser de 1.2 m / s per a una durada mitjana de 15 minuts per a cada mostreig. La ruta seguida dins el port es mostra a la figura 1. La distància recorreguda en cada mostreig va ser mesurada a partir de les coordenades de GPS en les posicions inicial i final i va ser usada per calcular el volum total filtrat. Una vegada que es completa el mostreig, la xarxa es neteja per recollir tots els residus i es transfereix a un flascó per al seu anàlisi.

- **Sea Bin amb malla de 0.335 mm ("SB335")**

Les mostres van ser recollides entre el 27 de juliol i el 6 d'octubre una vegada per setmana. El mostreig es va realitzar amb el sistema anteriorment descrit ("SB"), però en aquest cas la bossa de captura es va equipar amb la xarxa Manta d'escombrat superficial ("M"). La durada de cada mostreig va ser de 3 hores, després les mostres es transfereixen a un flascó per al seu posterior anàlisi.

Anàlisi de mostres i material:

El material utilitzat es compon de mostres de plàstic cedides pel COB (Centre Oceanogràfic Balear de l'Institut Espanyol d'Oceanografia) recollides a Port Adriano entre els mesos de maig i octubre de 2017 per Enrique Vaquer, guardades en bosses de plàstic i plaques de petri. Per a l'anàlisi es va utilitzar una lupa amb càmera integrada Leica, pinzells, pinces, punxó i placa negra de comptatge.

També es va fer un tractament amb or de 3 fragments de plàstic, de les mostres de dia 13/06/2017 (1 fragment) i 02/08/2017 (2 fragments), per observació amb el SEM, a càrrec del doctor Fernando Hierro de l'edifici Científicotècnic de la UIB.

Per a l'anàlisi de les mostres, es dipositaven els plàstics a la placa negra de comptatge i es van observar amb la lupa amb ajuda de pinces i punxó per moure els trossos de plàstic i indagar en tots els angles dels fragments plàstics. Els pinzells van servir també per a la recollida de foraminífers que es guardaven a part (si era possible) en placa numerada. Cada organisme observat es va fotografiar amb la càmera integrada a la lupa i amb un Samsung Galaxy S10, a pols directament des de l'objectiu, aconseguint la qualitat necessària per determinar l'organisme trobat.

Anàlisi de dades:

En els casos en que es van trobar foraminífers sobre els plàstics, es va calcular la superfície dels esmentats plàstics per poder fer una estima de la superfície plàstica que pot funcionar com a potencial vector de foraminífers. Es va calcular amb el programa informàtic "ImageJ", un programa de processament d'imatge digital de domini públic programat en Java i desenvolupat al National Institutes of Health. Es van fotografiar els fragments sobre la placa negra de comptatge, on es coneix l'escala d'1 cm², sobre un fons blanc per contrastar millor la superfície dels plàstics (exemple a l'Imatge 3 de l'annex). L'escala es va definir amb ImageJ, que compta els píxels que hi ha en 1 cm, i extrapola aquesta escala a la superfície que es selecciona amb el programa, tant sigui a mà alçada ("freehand selection") o en polígon ("polygon selection"), depenent de la morfologia del fragment plàstic. D'aquesta manera es va aconseguir la superfície dels plàstics on es van trobar foraminífers en cm² (Taula 1).

Es va decidir calcular només la superfície ja que els foraminífers s'acoblen només en una cara del plàstic. A totes les mostres s'ha trobat només un foraminífer per fragment de plàstic, excepte en la mostra PASB 09/05 on se'n troben dos, però estan en la mateixa cara superficial.

Les dades poden no ser significatives ja que molts dels individus que es van trobar s'havien desenganxat del plàstic, però poden donar informació sobre la seva abundància sobre els plàstics. També es té en compte la freqüència de foraminífers segons el nombre total de peces de plàstic trobats durant l'estudi anterior (Vaquer, E., 2017).

Resultats:

En aquest apartat només es farà menció dels mostrejos que van donar positiu en presència de foraminífers, ja que a ells va destinada la recerca d'aquest treball. Es van obtenir 18 mostrejos positius del total de 52 mostrejos analitzats.

Durant el mes de maig es van fer dues recollides de plàstic positives amb el Sea Bin, del 03/05/2017 al 09/05/2017 (144 hores de funcionament) i del 09/05/2017 al 20/05/2017 (264 hores de funcionament). Durant aquest temps es va trobar un

foraminífer bentònic del gènere *Quinqueloculina* sp. (Figura 2c) que no estava enganxat a cap plàstic, però la seva presència a la mostra podria evidenciar el moviment que sofreixen els plàstics en la columna d'aigua quan la seva composició varia i entren en un cicle de enfonsament i reflotament, poguent transportar organismes del fons marí cap a la superfície i viceversa (Masó et al., 2016). Aquest fet podria ser degut a les escorrenties donades per les tormentes primaverales que transportarien materials del fons marí cap a la superfície. A més d'aquest foraminífer, es van trobar dos individus més: *Elphidium* sp. i *Peneroplis pertusus* (Figura 2a i 2b), que estaven enganxats a un fragment de plàstic tipus film adhesiu, juntament amb grans d'arena i plàstics més petits, evidenciant un cop més el transport de plàstics des del fons cap a la superfície. A part de foraminífers també es van trobar serpúlids del gènere *Spirorbis* sp. (Figura 2d i 2e) enganxats a plàstic tipus Styrofoam, que sempre està flotant, i plàstic dur.

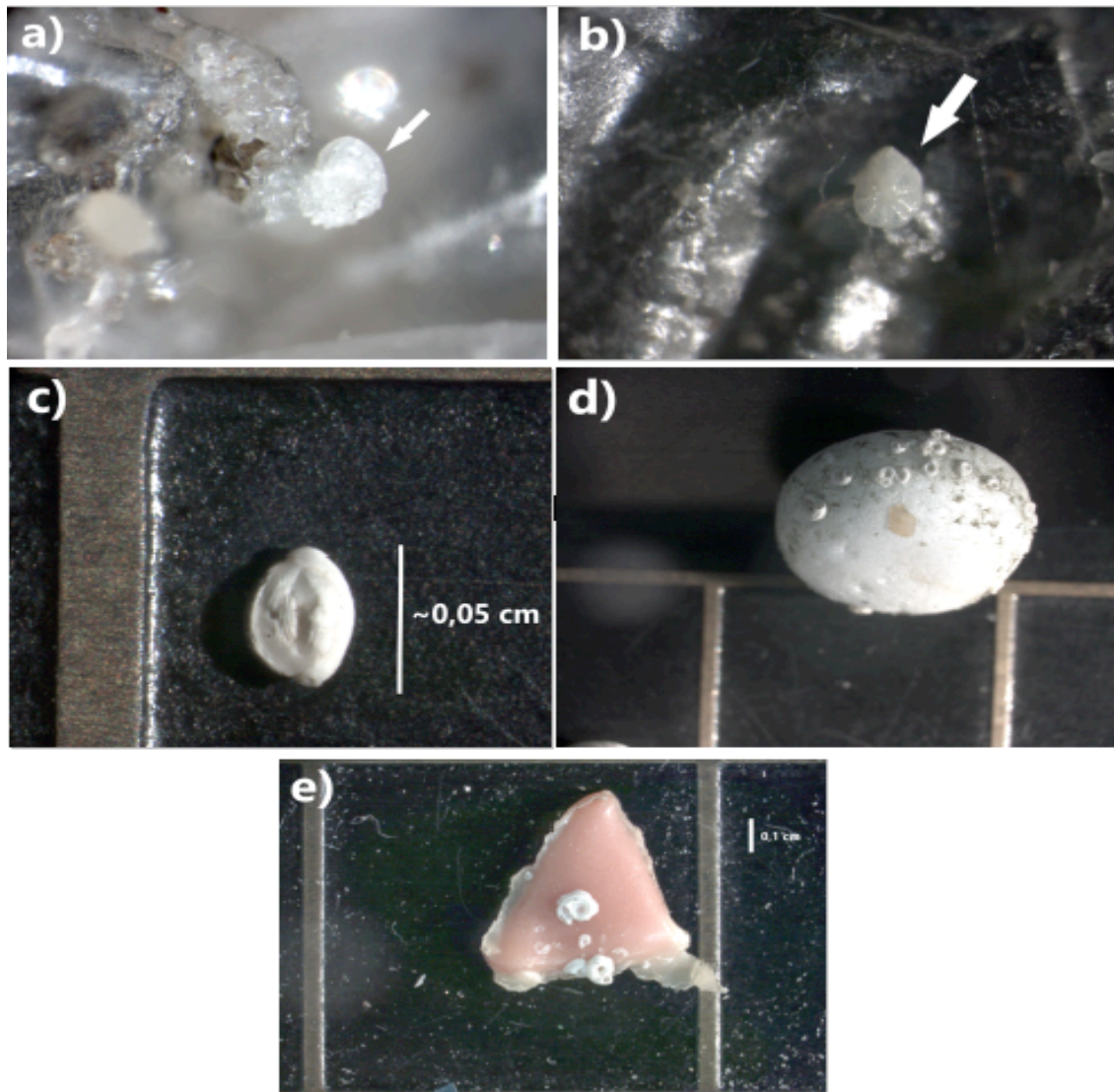


Figura 2: Fotografies de mostres de maig del 2017.

a) *Elphidium* sp. enganxat a plàstic adhesiu. b) *Peneroplis pertusus* enganxat a plàstic adhesiu. c) *Quinqueloculina* sp. d) Multitud de serpúlids *Spirorbis* sp. sobre Styrofoam. e) Més serpúlids *Spirorbis* sp. sobre plàstic dur.

El mes de juny hi va haver tres recollides, els dies 05, 13 i 18, però només s'hi va trobar pol·len de pi enganxat al plàstic, que en un principi es va confondre amb un foraminífer planctònic del gènere *Globigerinoides* sp., però les imatges preses amb el SEM van desmentir-ho (Figura 3a). També es va trobar un fragment de briozou incrustant, probablement *Plagioecia patina* (Figura 3c), enganxat a un plàstic tipus film i uns quants serpúlids de diferent mida (*Spirorbis* sp.) en plàstic dur (Figura 3d).

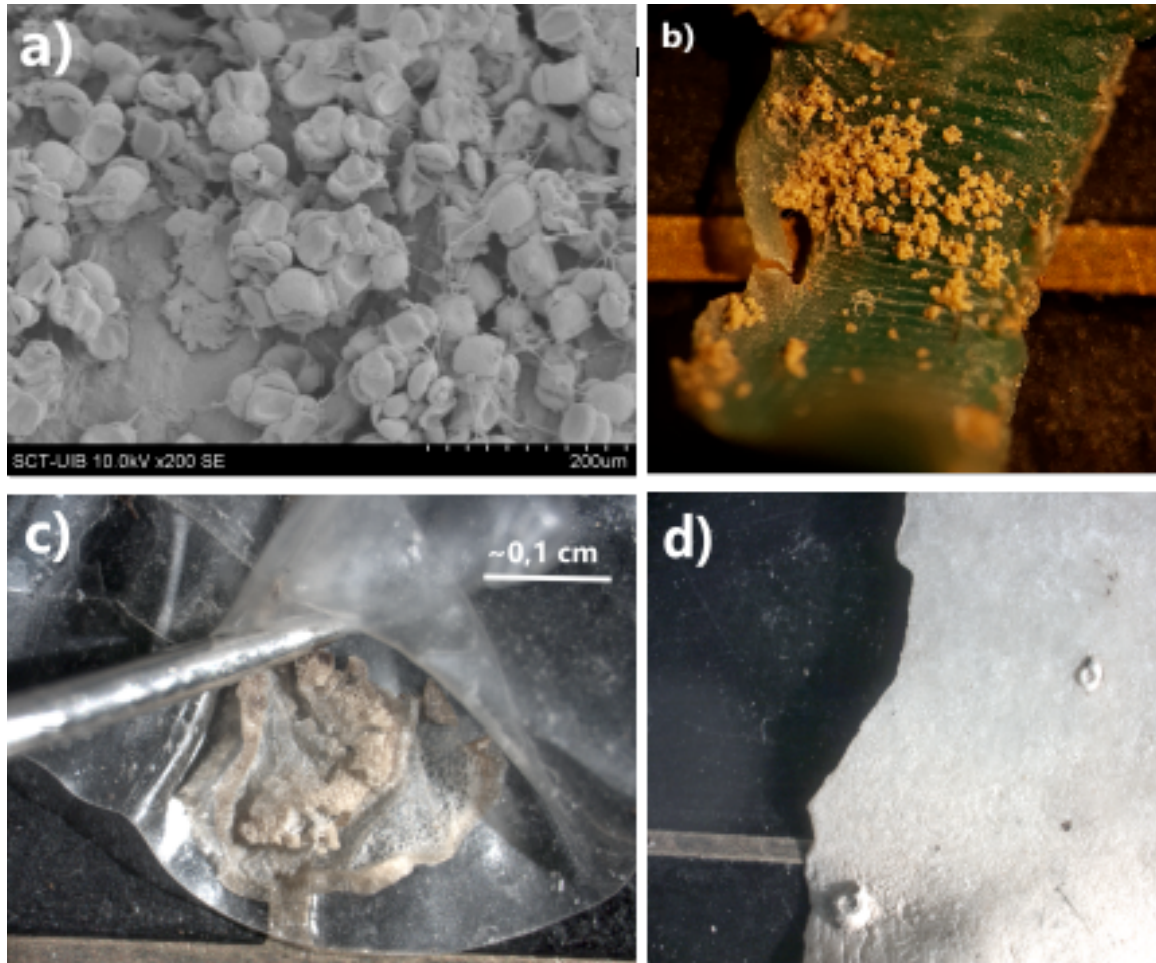


Figura 3: Fotografies de mostres de juny del 2017. a) Acumulació de pol·len de pi observat amb el SEM. b) Acumulació de pol·len vist a través de la lupa. c) *Plagioecia patina* sobre plàstic tipus film. d) *Spirorbis* sp. sobre plàstic dur.

Al juliol, que també s'hi van fer dues tandes de recollides que portaven foraminífers, des del 05/07/2017 al 11/07/2017 (144 hores de funcionament) amb el Sea Bin i el 27/07/2017 mitjançant la tècnica de la xarxa Manta durant 10 minuts en un transecte d'1 km dins del port. En total, a les dues mostres es van trobar dos foraminífers respectivament: el que va parèixer ser un *Trilobatus* sp. (Figura 4a), tan petit que no es va poder determinar amb exactitud amb la lupa, i una *Rosalina globularis* (Figura 4b). També s'hi van trobar altres organismes enganxats als plàstics, tal com serpúlids del gènere *Spirorbis* sp. i el briozou incrustant *Plagioecia patina*.

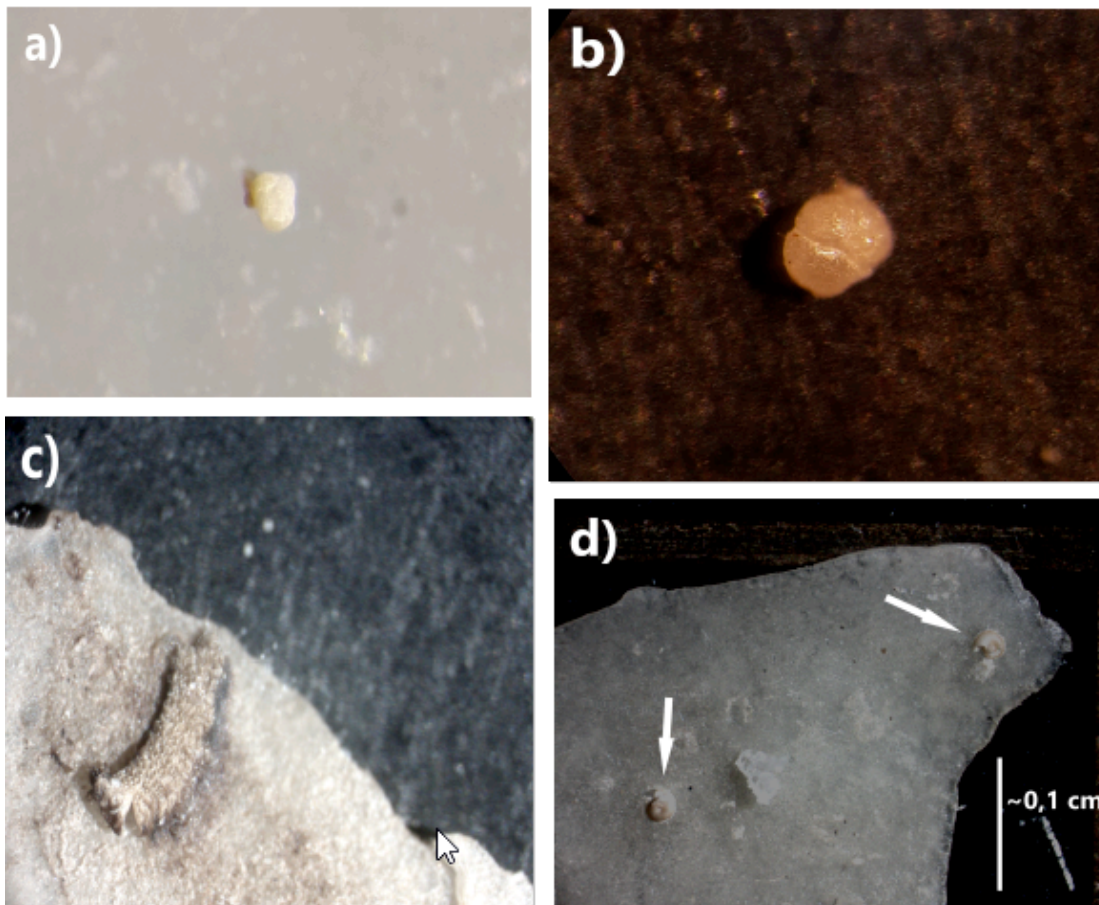


Figura 4: Fotografies del mostreig de juliol del 2017. a) *Trilobatus* sp. b) *Rosalina globularis* c) *Plagioecia patina* sobre plàstic dur. d) *Spiroorbis* sp. sobre plàstic dur.

El mes d'agost va ser el més estudiat amb sis mostrejos positius i diversos mètodes de captura de plàstics. El dia 02/08/2017 es va usar la xarxa Manta durant 12 minuts en un transecte d'1,14 Km dins del port trobant 0.939 ítems per m³, trobant un foraminífer molt petit enganxat al plàstic (Annex); aquest mateix dia es va usar el Sea Bin modificat amb la xarxa Manta durant 3:25 hores, capturant 6.302 ítems de plàstic per m³ capturant tres *Tretomphalus* sp.. Dia 17/08/2017 es van usar els dos mateixos mètodes descrits abans, la xarxa Manta va ser usada durant 15 minuts en un transecte de 1,06 km dins del port trobant 0.622 ítems per m³, amb la qual es va trobar un fragment de foraminífer, i el Sea Bin modificat amb la xarxa Manta, que va estar en ús durant 3:46 hores capturant 2,34 ítems de plàstics per m³, capturant dos *Tretomphalus* sp.. Per últim, els dies 24 (dos fragments de foraminífers) i 31 (dos *Tretomphalus* sp. i dos fragments de foraminífers) d'agost de 2017 es van trobar resultats en el Sea Bin modificat amb la xarxa Manta, on tots dos van estar en funcionament 3 hores i trobant 2,4 i 1,307 ítems de plàstics per m³, respectivament.

Del dia 02/08/2017 es van agafar dos fragments de plàstic recollits amb la xarxa Manta per analitzar al SEM, on es van poder observar una notable varietat de diatomees enganxades al plàstic, així com cocolits d'algues haptofícies, com *Umbilicosphaera foliosa*, *Emiliania huxleyi* i *Syracosphaera* sp., i també diatomees com *Cocconeis* sp., *Navicula* sp., *Achnanthes* sp. i *Amphora* sp.. Fins i tot la forma juvenil d'un foraminífer observat a 4.500 augments de l'ordre *Miliolida*, que no s'haguessin pogut veure si no fos per aquest mètode d'observació (Imatges disponibles a la Figura 9 de l'annex).

A través de la lupa es van poder observar a les mostres dels dies 02, 17 i 31 gran quantitat de foraminífers del gènere *Tretomphalus* sp. (set individus confirmats en total), i fragments de foraminífers que no es van poder determinar per el seu mal estat de conservació, però es poden observar els característics porus “foramina” que proven que son parts d’un foraminífer (podrien ser de l’ordre *Rosalina*, degut a la seva presència en les mostres anteriors). També es van observar serpúlids dels gèneres *Spirorbis* i *Spirobranchus* sp..

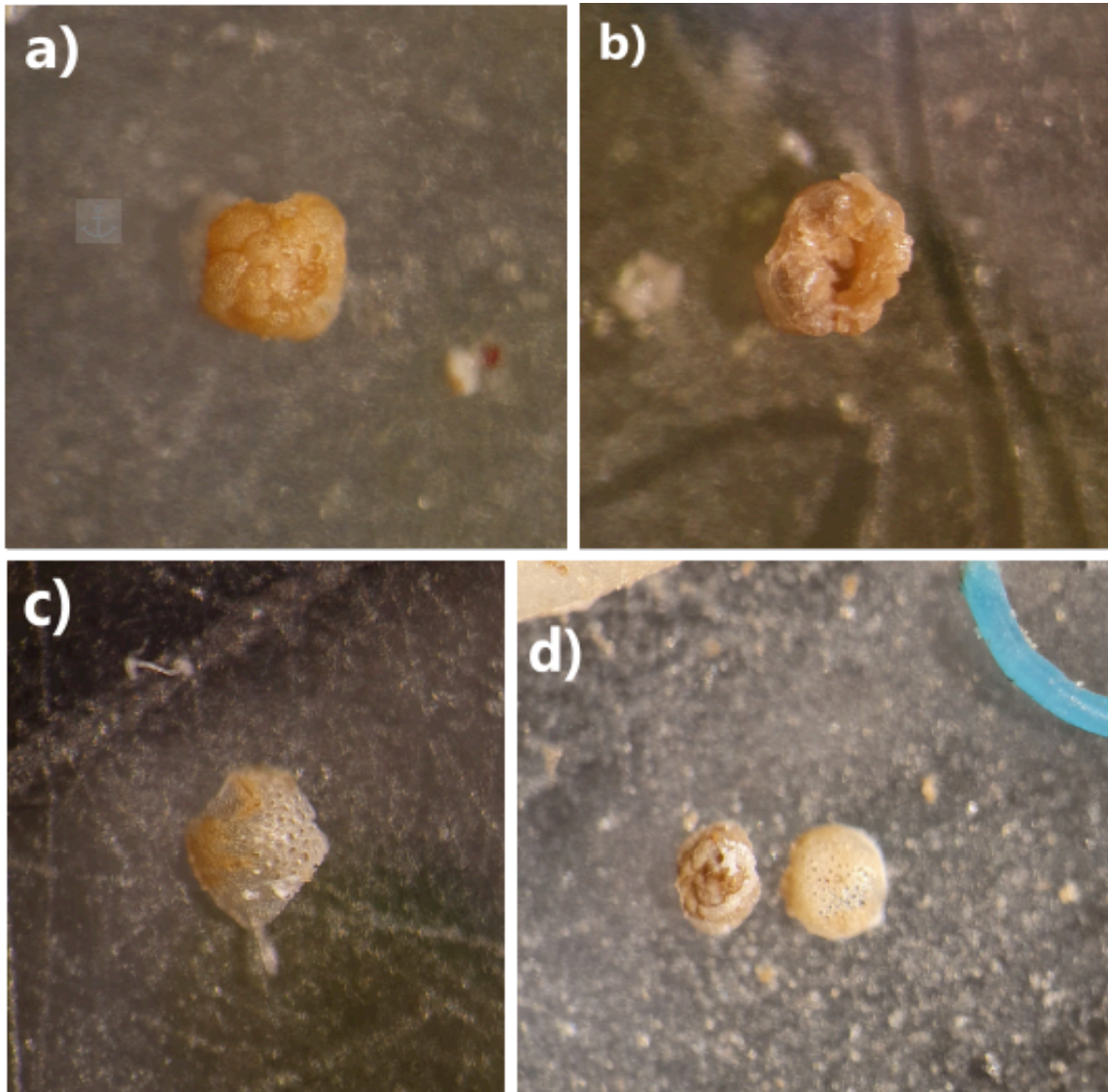


Figura 5: Fotografies de foraminífers de l’agost del 2017. a) Vista apical de *Tretomphalus* sp.. b) Vista dorsal de *Tretomphalus* sp.. c) Càpsula flotadora de *Tretomphalus* sp.. d) vista apical de *Tretomphalus* sp. a l’esquerra i a la dreta la càpsula flotadora, que tapa la zona dorsal (b).

Durant el mes de setembre també es van trobar foraminífers en quatre mostrejors. Dia 07/09/2017, amb el Sea Bin modificat amb la xarxa Manta, es van capturar aproximadament 0.16 ítems per m³, trobant dos foraminífers; dia 14/09/2017 es va usar només la xarxa Manta, capturant 0.62 ítems per m³ i es van trobar deu foraminífers i un fragment; dia 21/09/2017 i el 29/09/2017 es va usar un altre cop el Sea Bin modificat amb xarxa Manta, capturant 0.49 i 0.74 ítems per m³, respectivament, i trobant un fragment i un foraminífer.

El dia 07/09 es van trobar dos foraminífers: *Planogypsina acervalis* i *Rosalina globularis*, ambdós enganxats a plàstics (Figura 6a i 6c). Dia 14/09 es va fer una observació important, ja que es va trobar un *Planogypsina acervalis* enganxat a una llosca de cigarret (Figura 6b). També es van trobar en aquesta mostra nou individus de *Tretomphalus* sp. (Figura 6d). Durant els dos dies restants es va observar un altre *Tretomphalus* sp. i un fragment de foraminífer no determinable. Es van determinar també serpúlids del gènere *Spirorbis* sp., una *Plagioecia patina* i cinc copèpodes de l'ordre Harpacticoida (Figura 10 de l'annex).

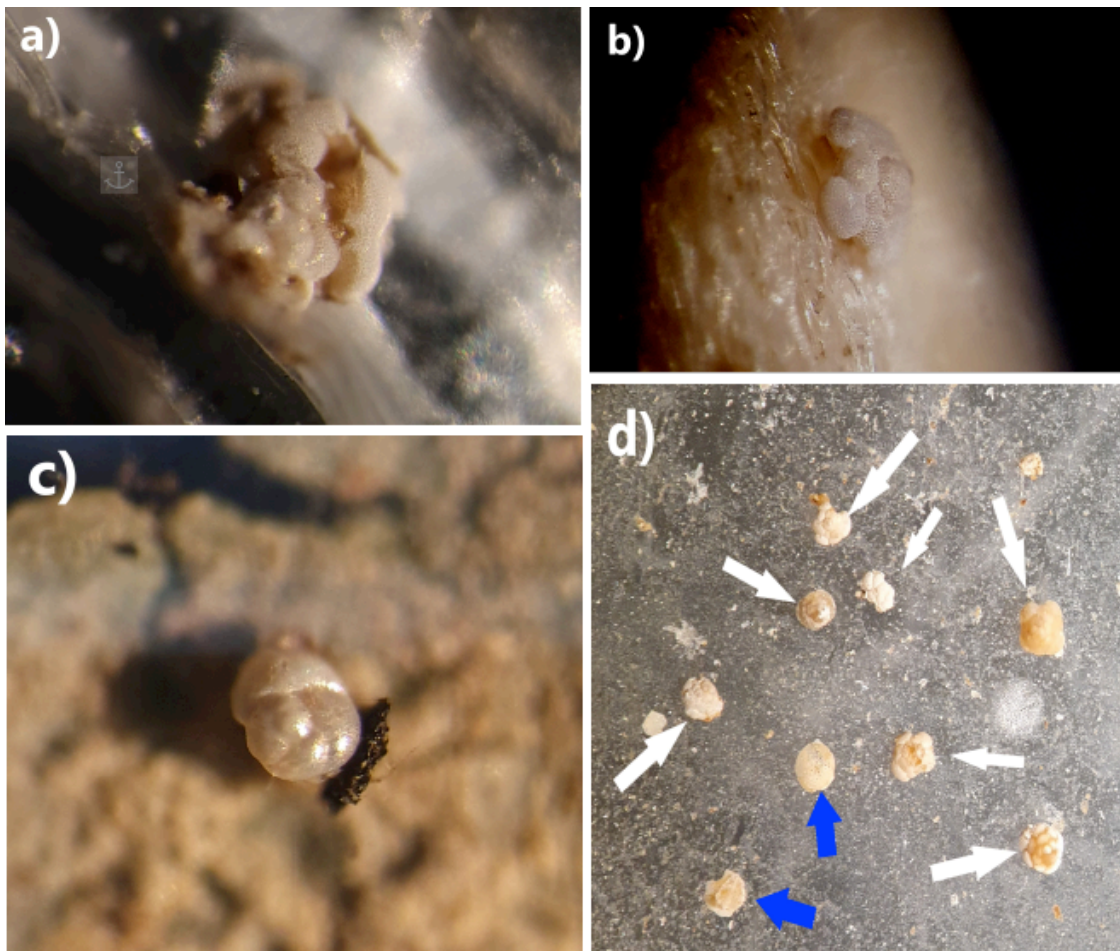


Figura 6: Fotografies de foraminífers del setembre de 2017. a) *Planogypsina acervalis* enganxat a plàstic. b) *Planogypsina acervalis* enganxat a filtre de tabac c) *Rosalina globularis* sobre plàstic dur. d) *Tretomphalus* sp. (fletxes blanques: part apical de *Tretomphalus* sp.; fletxes blaves: càpsules flotants dorsals de *Tretomphalus* sp.).

Finalment, durant el mes d'octubre es van fer tres recol·leccions positives el mateix dia (06/10/2017) amb els tres mètodes utilitzats. Amb el Sea Bin, on es van capturar aproximadament 0.01 ítems per m³, es van identificar dos foraminífers del gènere *Rosalina* sp., un dels quals es va trobar sobre plàstic tipus Styrofoam (Figura 7b), l'únic trobat sobre aquesta superfície.

Usant el mètode amb la xarxa Manta, amb la qual es van capturar 0.16 ítems per m³ aproximadament, es va identificar un fragment de foraminífer, possiblement de *Tretomphalus* sp., però no es va poder confirmar. Per últim, amb el Sea Bin modificat amb la xarxa Manta, que va capturar 1.62 ítems per m³ aproximadament, es van identificar fins a sis *Tretomphalus* sp. (Figura 7a), un dels quals estava semi-complet.

Sobre Styrofoam s'hi van trobar també serpúlids del gènere *Spirorbis* sp. (Figura 7c) i també es van poder observar un altre cop un copèpode de l'ordre Harpacticoida (Figura 7d) sobre plàstic dur.

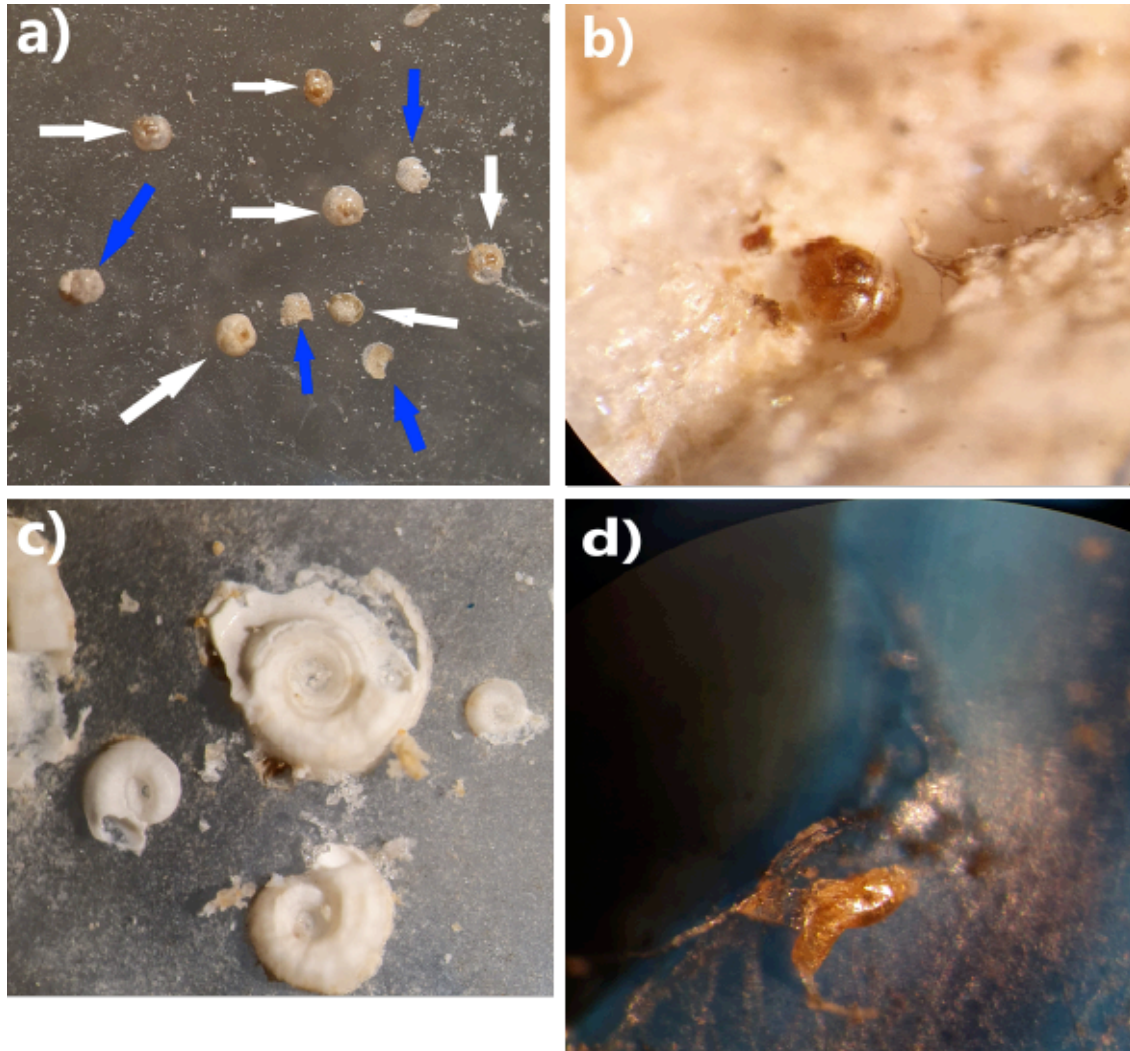


Figura 7: Fotografies de les mostres de octubre de 2017. a) *Tretomphalus* sp. (fletxes blanques: part apical de *Tretomphalus* sp.; fletxes blaves: càpsules flotants dorsals de *Tretomphalus* sp.). b) *Rosalina* sp. sobre Styrofoam. c) *Spirorbis* sp. d) Copèpode de l'ordre Harpacticoida.

Mostres	Tipus de plàstic	Espècie/s trobada/es	Superfície plàstica (cm ²)
SB 09/05/2017	Film adhesiu	<i>Elphidium</i> sp. i <i>Peneroplis pertusus</i>	1,926
SB335 07/09/2017	Film adhesiu	<i>Planogypsina acervalis</i>	2,062
SB335 07/09/2017	Plàstic dur	<i>Rosalina globularis</i>	0,170
M 14/09/2017	Filtre tabac	<i>Planogypsina acervalis</i>	2,066
SB 06/10/2017	Styrofoam	<i>Rosalina globularis</i>	0,609
SB 06/10/2017	Plàstic dur	<i>Rosalina globularis</i>	0,819

Taula 1: Superfície i tipus de plàstic colonitzats per foraminífers. “SB”= Sea Bin; “SB335”= Sea Bin modificat amb xarxa Manta de 0,335 mm de diàmetre de porus; “M”= xarxa Manta.

Discussió:

La presència de plàstics, tant en la superfície com al fons marí, posa en perill la vida de nombroses espècies que els confonen amb el menjar, queden enredats a ells, afecten en la seva estratègia vital o dispersen organismes a zones on entren en conflicte amb espècies autòctones i/o endèmiques (Gregory, 2009). Aquest estudi pretén donar evidències de que els plàstics poden funcionar com a vectors de foraminífers cap a noves zones, ja que encara no existeix una comprensió global d'aquest procés i només es poden imaginar els seus impactes. Malgrat això, ja s'han començat a fer els primers estudis sobre les espècies invasores acoblades a plàstics, com Reich et al. (2016, 2018) a les costes cantàbriques i Mediterrànies, i Masó et al. (2016) al Mediterrani, entre d'altres, però Reich es centra més en macroorganismes com cirrípedes, ostres i serpúlids, mentre que Masó s'enfoca en microorganismes com diatomees i dinoflagelats, donant poca atenció als foraminífers.

Ja hi ha nombrosos estudis que confirmen que els residus antropogènics flotants proporcionen un nou hàbitat a una comunitat diversa d'organismes marins. Kiessling (2015) va realitzar una revisió de 82 publicacions sobre aquest fet i va revelar un total de 387 tàxons que es desplaçaven sobre plàstics, incloent microorganismes procariotes i eucariotes, algues marines i invertebrats, a totes les principals regions oceàniques. La composició dels tàxons adherits a plàstics recuperats a platges tendeix a estar esbiaixada cap a organismes sèssils amb estructures dures (calcificades) com els briozous, foraminífers, cucs i cirrípedes (Gregory, 2009), i donat que les mostres d'aquest estudi han estat recollides a un port, que de manera similar a la platja, és un dels destins finals on s'acumulen els plàstics, els resultats obtinguts són anàlegs. Les diatomees (29 tàxons), els dinoflagel·lats (5 tàxons) i els foraminífers (7 tàxons) semblen ser més habituals, encara que de la mateixa manera, molts pocs tàxons es van informar més d'una vegada, probablement a causa del baix nombre d'estudis centrats en microorganismes. La revisió va obtenir 7 tàxons de foraminífers, inclosos *Rosalina* sp. i *Planogypsina acervalis* en estudis a l'oceà Atlàntic, que també han estat descrits en el present estudi. També es van trobar microorganismes potencialment nocius sobre els plàstics flotants, incloent potencials patògens humans i animals del gènere *Vibrio* (Zettler et al., 2013), i els dinoflagel·lats *Ostreopsis* sp., *Coolia* sp. i *Alexandrium taylori*, coneguts per formar blooms d'algues nocives en condicions favorables (Masó et al., 2003). A més, recentment Masó et al. (2016) també va descobrir que el 73% dels 26 fragments de plàstic de superfície analitzats al SEM portaven *Ceratoneis closterium*, una espècie d'alga nociva associada a blooms de mucíl·lag al Mediterrani.

Una de les troballes més destacables durant aquest estudi és que s'han trobat foraminífers bentònics en mostres de plàstics pelàgics. Aquest fet lliga amb els resultats de Masó et al. (2016), on van observar amb el SEM els microorganismes incrustats en plàstics recollits a les costes del mar Mediterrani i també es van trobar organismes bentònics en plàstics recollits a la superfície. En el seu estudi expliquen aquest fet en que els plàstics pelàgics podrien haver estat colonitzats en el fons marí de la zona costanera propera i reubicats a la columna d'aigua fins a la superfície a causa de les condicions meteorològiques o per l'activitat de pastureig d'altres organismes, com peixos o crustacis,

que s'alimenten en el fons marí. D'aquesta manera, sota la influència de corrents i vents, els residus marins poden transportar aquests organismes associats a grans distàncies. A causa de la gran persistència (sobretot dels plàstics) i de les grans quantitats de deixalles dels oceans del món, la dispersió ha estat més freqüent al medi marí, cosa que facilita la propagació d'espècies invasores. A més, Murray (2006) relata també al llibre "Ecology and Applications of Benthic Foraminifera" que un dels mètodes passius de dispersió de foraminífers impliquen que els sediments o els mateixos plàstics colonitzats quedin en suspensió per ones, corrents o activitat biòtica, ja que en un experiment de colonització al mar Bàltic, els nous hàbitats col·locats per els experimentadors suspesos a 1.5-5.0 m sobre el fons del mar van ser colonitzats per individus massa grans per a ser considerats com juvenils, pel que poden haver estat dispersats per resuspensió. També hi ha alguns registres de foraminífers bentònics vius en mostres de plàncton d'aigües superficials, de manera que aquest pot ser un mecanisme verídic. En el cas dels foraminífers bentònics *Rosalina* sp. i del miliòlid *Quinqueloculina* sp. trobats sobre plàstics, aquesta és l'explicació més raonable per provar la seva presència en les mostres. No obstant això, alguns foraminífers bentònics han desenvolupat una fase planctònica temporal i tenen càmeres flotants especials (*Tretomphalus*, *Tretomphaloides*, *Millettiana*, *Cymbaloporetta*, *Rosalina*), per el que també es poden confondre.

D'aquesta manera, el resultat més destacat d'aquest estudi ha estat la abundant presència de la fase planctònica de *Rosalina* sp., anomenada *Tretomphalus* sp., a partir d'agost fins octubre, que s'ajusta amb el cicle reproductiu sexual d'aquesta espècie, que només pot exercir quan la temperatura de l'aigua supera els 18°C (Jorissen, 2014). Ja que s'han trobat molts individus (vint-i-dos), podem dir que els plàstics poden actuar com a vectors de dispersió d'aquesta espècie. Com que els integrants del gènere són organismes omnívors (Murray, 2006) la seva zona vital està restringida a la zona eufòtica (0-100 m de profunditat), on s'alimenten de diatomees, cloròfits i bacteris, que semblen ser un requisit essencial de la seva dieta. *Rosalina* sp. viu com a epifauna, adherent o adjunt al substrat que colonitza, i és activa quan el menjar és escàs i passiva quan és abundant. D'aquesta manera, es pot especular amb que la fase planctònica *Tretomphalus* sp. es pot veure atreta cap als plàstics pelàgics cercant menjar activament, ja que és on hi prolifera el seu aliment (diatomees i algues) i una vegada allà, amb aliment abundant, s'hi queda al voltant alimentant-se passivament i aprofitant que els plàstics suposen protecció pels rajos UV, perillosos als primers centímetres de la superfície. Una altra explicació podria ser que arribessin a la costa i ports accidentalment degut a condicions meteorològiques.

A part d'això, es van observar enganxats a un plàstic adhesiu un *Peneroplis pertusus* (mixòtrof gràcies a algues simbiotes) i un *Elphidium* sp. (herbívor amb capacitat de menjar partícules en suspensió que són enganxades pels seus pseudopodis), juntament amb grans d'arena, micro plàstics i altres fragments orgànics i inorgànics. Ambdós foraminífers són epifaunals que poden viure sobre substrats durs, arena o plantes marines (Murray, 2006), per això són considerats bentònics, així que la seva presència als plàstics flotants es pot explicar com s'ha fet anteriorment (Masó et al., 2016). El cas més probable per explicar la seva presència al plàstic adhesiu és que la part adhesiva enganxés aquests organismes accidentalment mentre es trobaven sobre l'arena superficial del fons marí.

Es va trobar entre els fragments de plàstic capturats amb la xarxa Manta del mes de juliol un integrant de la família *Globigerinidae*, que va ser determinat com *Trilobatus* sp., que té un mode de vida planctònic (alguns amb simbionts) de distribució latitudinal cosmopolita, preferentment tropical-subtropical i són habitants pelàgics d'aigües superficials i intermèdies (Spezzaferri et al., 2018). Ha estat l'únic foraminífer estrictament planctònic trobat en aquest estudi, cosa que es pot pensar que és un fet inusual, donat que les mostres han estat agafades a la superfície on desenvolupen el seu cicle vital, però la seva absència en les mostres podria tenir una fàcil explicació. Com que les mostres han estat agafades amb tècniques de recol·lecció de plàstic amb xarxes de 0,335 mm de diàmetre de porus (xarxa Manta), i aquests foraminífers planctònics solen tenir una mida de entre 0,6 - 0,05mm (Molina, 2004), una gran quantitat poden no haver estat agafats mitjançant aquestes tècniques. Per altra banda, es solen desenganxar quan moren i són organismes que viuen lliurement en la columna d'aigua i són sensibles als canvis de temperatura i qualitat de l'aigua, per això es podria donar el fet de que els foraminífers planctònics es desenganxin dels plàstics a mesura que s'acosten a les aigües càlides de la costa i ports.

En el cas del foraminífer *Planogypsina acervalis*, es pot evidenciar en aquest treball que pot viatjar enganxat als plàstics, ja que els dos individus s'han trobat enganxats sobre aquests. Al ser un organisme immòbil i que utilitza glicosaminoglicans que extreu dels seus pseudopodis per a enganxar-se al substrat i per a donar menjar a bacteris de les quals s'alimentarà, es dona per suposat que va arribar als plàstics mitjançant la dispersió dels seus gàmetes o de petits esquizonts al medi marí i que un zigot/esquizont va anar a parar sobre el plàstic, ja fós al fons marí com a la superfície. En aquest cas sí que es pot afirmar que els plàstics poden suposar un vector de dispersió per aquesta espècie.

També s'han trobat en abundància serpulíds del gènere *Spirorbis* sp. i alguns *Spirobranchus* sp.. La seva presència està justificada ja que la seva reproducció és externa i generen larves planctòniques que es poden enganxar a qualsevol superfície, inclosos els plàstics pelàgics, o enganxar-se als plàstics bentònics del fons marí i reflotar per circumstàncies meteorològiques o biòtiques. A més, són organismes que es troben comunament sobre closques de mol·luscs, cossos de crustacis i enganxats a les quilles de vaixells, així que la seva capacitat de dispersió i colonització és evident. Un altre organisme trobat en plàstics tipus film ha estat el briozou *Plagioecia patina*, que com al cas anterior, també es poden trobar a les quilles de vaixells i sobre altres organismes, a més dels ja esmentats plàstics.

A més, destaca la presència de copèpodes de l'ordre *Harpacticoida*, un grup molt divers tant en morfologia com amb riquesa d'espècies d'algunes de les seves famílies. Es consideren organismes epibentònics primaris, habitant les capes superficials del sediment d'ambients marins, però també existeixen espècies planctòniques, demostrant que aquest ordre ha aconseguit explotar gran diversitat d'hàbitats, des de mar obert fins a ambients salobres o aigües dolces. La seva alimentació es compon de bacteris, microalgues, teixits de metazous i inclús poden recurrir al parasitisme (Camarujo, 2015). Malgrat això, la fauna ibèrica d'aquest ordre no s'ha estudiat en detall, pel que la seva presència sobre els plàstics és un factor més que s'ha de tenir en compte per el seu estudi.

Respecte a les microalgues trobades, altres estudis també van trobar diatomees i cocolits en mostres de plàstic pelàgic i bentònic analitzats al SEM (Kiessling et al., 2015; Masó et al., 2016). En el present estudi també es va fer una observació de 3 fragments de plàstic al SEM amb resultats similars, trobant gèneres de diatomees tals com *Navicula* sp., *Achnanthes* sp. i *Anchora* sp., i cocolits de cocolitòfors com *Umbilicosphaera foliosa*, *Emiliana huxleyi* i *Syracosphaera* sp., evidenciant que els plàstics poden actuar com a potencials nous hàbitats de dispersió per a algunes espècies de fitoplàncton, dels quals es poden alimentar els foraminífers.

Mida dels plàstics colonitzats:

La superfície mitjana dels plàstics colonitzats per foraminífers va ser de 1,275 cm², amb un màxim de 2,066 cm² i un mínim de 0,170 cm². Llevat de la primera mostra, on es troben dos foraminífers (*Peneroplis pertusus* i *Elphidium* sp.) enganxats accidentalment en plàstic adhesiu, les altres mostres contenen foraminífers enganxats facultativament, i es pot observar que en aquest estudi només es van trobar dues espècies (*Planogypsina acervalis* i *Rosalina* sp.) amb capacitat incrustant més o menys permanent, atenent a que pertanyen al morfotipus A (*Planogypsina acervalis*, sèssil) i B (*Rosalina* sp., temporalment mòbil) d'acord amb la classificació de Langer (1993) i posterior modificació de Mateu-Vicens et al. (2014).

Els dos *Planogypsina acervalis*, van ser trobats en superfícies superiors a 2 cm² (una llosca de cigarret i un tap de plàstic tipus film), mentre que els *Rosalina* sp. van ser trobats en superfícies de menys d'1 cm² (màxim: 0,819 cm²; mínim: 0,170 cm²). Això podria ser degut a que *Planogypsina acervalis*, com que és un organisme epifaunal i totalment sèssil, necessita una superfície major per poder créixer sense limitacions, mentre que *Rosalina* sp. només necessita una petita superfície per enganxar-se i alimentar-se, poguent-se desenganxar quan les circumstàncies no son favorables.

Abundància:

Es van recollir 5433 ítems de plàstic usant el mètode de Sea Bin, 2875 ítems amb el Sea Bins modificat amb xarxa Manta, i 3803 ítems amb la xarxa Manta. Entre tots els mètodes de mostreig, es van recollir un total de 12111 ítems de totes les mides, des de maig fins a octubre de 2017, i es van identificar un total de 33 foraminífers complets (no s'han comptat els fragments). Això dona una abundància de 0,0027 foraminífers per ítem de plàstic a Port Adriano, una proporció bastant pobre per poder afirmar que els plàstics actuen com a vectors d'aquests organismes. Tot i així, aquest tema no ha estat investigat a fons i es requereixen més estudis en altres zones, com a alta mar, vora la costa o al fons marí, per poder afirmar la relació entre els plàstics i foraminífers, ja que aquestes mostres no es van recollir per a tal finalitat i la zona d'estudi tampoc és l'adequada per a observar foraminífers. Tot i així, aquests resultats animen a que es continuï la recerca, ja que si s'han trobat foraminífers en condicions i mètodes no adequats, millors resultats poden sortir en futures investigacions dedicades exclusivament als foraminífers.

Conclusió:

En aquest estudi s'han donat evidències de que els plàstics són capaços d'actuar com a vectors de foraminífers, a més de moltes altres espècies. Malgrat que molts dels foraminífers no s'han trobat enganxats als plàstics (molt probablement perquè es desenganxen quan moren), la seva presència a les mostres recollides i en altres estudis (Kiessling et al., 2015) donen peu a pensar que els plàstics dispersen aquests petits individus per tots els mars i oceans del món. S'ha observat que els plàstics poden desplaçar espècies de foraminífers bentònics, com el cas de *Planogypsina acervalis* o *Rosalina* sp., a la columna d'aigua fins a la superfície (Masó et al., 2016), allunyant-los del seu mode de vida òptim, però augmentant la seva dispersió. A més, sembla que l'espècie *Tretomphalus* sp. (fase planctònica de *Rosalina* sp.) sent atracció per els plàstics pelàgics, possiblement perquè hi creixen les bactèries, diatomees i haptofícies que formen part del seu aliment, ja que s'han trobat un total de vint-i-dos individus d'aquest gènere entre agost i octubre de 2017.

Per donar firmesa a aquests resultats serà convenient que es facin més estudis sobre aquest tema i a diferents zones, com a platges o mar obert, i tant en plàstics pelàgics com bentònics, per a confirmar que els plàstics poden dispersar els foraminífers. En quant als mètodes per a recollir mostres, la xarxa Manta ha donat bons resultats per a capturar foraminífers i pot ser una bona eina per aquest tipus d'estudi; el Sea Bin només pot ser utilitzat als ports, així que està descartat per altres zones. De totes maneres, sembla millor utilitzar un mètode actiu (xarxa Manta) que un automàtic (Sea Bin).

Agraïments:

Aquest treball pioner en el seu àmbit va ser possible gràcies a Guillem Mateu Vicens, un dels professors del grau de Biologia que més m'han agradat durant els anys que he cursat a la Facultat de Ciències i que, després de treballar amb ell i haver estat vora el seu entorn de treball, puc dir que és un dels docents més carismàtics i propers que he conegut. També agrair a la doctora Maria de la Salud Deudero i a Montserrat Compa, de l'Institut Espanyol d'Oceanografia, per cedir-me les mostres que s'han utilitzat en aquest treball i per el bon tracte rebut dins del Centre Oceanogràfic Balear. Una menció especial es mereix també el doctor Fernando Hierro per preparar algunes de les mostres per a la seva observació al SEM, per poder veure com funciona l'aparell i per l'amabilitat mostrada en persona.

Bibliografía:

- Alomar, C., Estarellas, F., & Deudero, S. (2016). Microplastics in the Mediterranean Sea: Deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Marine Environmental Research*, 115, 1–10. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.01.005>
- Andrady, A. L., & Neal, M. A. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364, 1977–84.
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Barnes, D. K. A. (2002). Biodiversity: Invasions by marine life on plastic debris. *Nature*, 416, 808–809.
- Barnes, D. K. A. & Milner, P. (2005). Drifting plastic and its consequences for sessile organism dispersal in the Atlantic Ocean. *Marine Biology*, 146, 815–825.
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364, 1985–1998. Disponible a: <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Bellier, J.-P., Mathieu, R. & Granier, B. (2010). Short Treatise on Foraminiferology (Essential on modern and fossil Foraminifera) Département. J.-P. Bellier & R. Mathieu, eds., France: Université de Bretagne Occidentale.
- Calonge, A., Caus, E. & García, J. (2001). Los Foraminíferos: Presente Y Pasado. *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*, 9(2), 144–150.
- Caramujo, M. J. (2015). Orden Harpacticoida. *Revista IDE@-SEA*, 91A, 12 pp.. Disponible a: http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_91A.pdf
- Cózar, A., Sanz-Martín, M., Martí, E., González-Gordillo, J. I., Ubeda, B., Gálvez, J. Á., . . . & Duarte, C. M. (2015). Plastic Accumulation in the Mediterranean Sea. *PLOS ONE*, 10(4).
- Demestre, M., Masó, M., Fortuño, J. M., & De Juan, S. (2016). Microfouling communities from pelagic and benthic marine plastic debris sampled across Mediterranean coastal waters. *Scientia Marina*, 80(S1), 117–127. Disponible a: <https://doi.org/10.3989/scimar.04281.10a>
- Derraik, J. G. B. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44, 842–852.

- Domènech, F., Aznar, F., Raga, J., & Tomás, J. (2019a). Two decades of monitoring in marine debris ingestion in loggerhead sea turtle, *Caretta caretta*, from the western Mediterranean. *Environmental Pollution*, 244, 367–378. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.047>
- Engler, R. E. (2012). The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in the ocean. *Environ. Sci. Technol*, 46, 12302–12315.
- Galgani, F., Leaute, J.P., Moguedet, P., Souplet, A., Verin, Y., Carpentier, A., ... & Nerisson, P. (2000). Litter on the seafloor along European coasts. *Marine Pollution Bulletin*, 40, 516-27.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3.
- GOIB. (2017). El Turisme a les Illes Balears. Anuari 2017.
- Goldberg, E. D. (1994). Diamonds and plastics are forever?. *Marine Pollution Bulletin*, 28(8), 466. Disponible a: [https://doi.org/10.1016/0025-326x\(94\)90511-8](https://doi.org/10.1016/0025-326x(94)90511-8)
- Goldstein, S.T. (1999). Foraminifera: A biological overview. En: Sen Gupta & K. Barun, eds. *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers, pp. 37-55.
- Goldstein, M. C., Carson, H. S., & Eriksen, M. (2014). Relationship of diversity and habitat area in North Pacific plastic-associated rafting communities. *Marine Biology*, 161, 1441–1453.
- Gregory, M. R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2013–2025. Disponible a: <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0265>
- Gündoğdu, S., Çevik, C., & Karaca, S. (2017). Fouling assemblage of benthic plastic debris collected from Mersin Bay, NE Levantine coast of Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 1–8. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.023>
- Harrison, J. P., Sapp, M., Schratzberger, M., & Osborn, A. M. (2011). Interactions Between Microorganisms and Marine Microplastics: A Call for Research. *Marine Technology Society Journal*, 45(2), 12–20. Disponible a: <https://doi.org/10.4031/mtsj.45.2.2>
- Jorissen, F. J. (2014). Colonization by the benthic foraminifer *Rosalina (Tretomphalus) concinna* of Mediterranean drifting plastics. Conferència: *Marine Litter in the Mediterranean and Black Seas*, Tirana (Albania). CIESM Workshop Monographs, 46, 7-20. Disponible a:

http://ciesm.org/online/monographs/46/CIESM_Monograph_46_Marine_Plastic_Litter_87_95.pdf

- Kane, I.A. & Clare, M.A. (2019). Dispersion, accumulation, and the ultimate fate of microplastics in deep-marine environments: a review and future directions. *Frontiers in Earth Science*, 7. Disponible a: <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00080>
- Katsanevakis, S. & Crocetta, F. (2014). Pathways of introduction of marine alien species in European waters and the Mediterranean – a possible undermined role of marine litter. Conferència: *Marine Litter in the Mediterranean and Black Seas*, Tirana (Albania). CIESM Workshop Monographs, 46, pp. 61-68.
- Kiessling, T., Gutow, L., & Thiel, M. (2015). Marine Litter as Habitat and Dispersal Vector. En: Bergmann M., Gutow L., Klages M. (eds) *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham. pp. 141-181. Disponible a: https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_6
- Kooi, M., Reisser, J., Slat, B., Ferrari, F. F., Schmid, M. S., Cunsolo, S., . . . & Koelmans, A. A. (2016). The effect of particle properties on the depth profile of buoyant plastics in the ocean. *Scientific Reports*, 6(1). Disponible a: <https://doi.org/10.1038/srep33882>
- Koutsodendris, A., Papatheodorou, G., Kougiourouki, O., & Georgiadis, M. (2008). Benthic marine litter in four Gulfs in Greece, Eastern Mediterranean; abundance, composition and source identification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 77(3), 501–512. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.10.011>
- Langer, M.R., 1993. Epiphytic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, 20(3-4), 235–265. Disponible a: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037783989390035V>
- Martinez-Ribes, L., Basterretxea, G., Arqueros, L., Jordi, A., Estrany, T., Aguil J. M., & Tinto, J. (2006). Influence of wind on floating debris distribution in the Balearic Islands. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 99, 553–562. Disponible a: <https://doi.org/10.2495/RAV060541>
- Martinez-Ribes, L., Basterretxea, G., Palmer, M., & Tintoré, J. (2007). Origin and abundance of beach debris in the Balearic Islands. *Scientia Marina*, 71(2), 305–314. Disponible a: <https://doi.org/10.3989/scimar.2007.71n2305>
- Masó, M., Garcés, E., Pagès, F., & Camp, J. (2003). Drifting plastic debris as a potential vector for dispersing Harmful Algal Bloom (HAB) species. *Scientia Marina*, 67, 107–111.
- Mateu-Vicens, G., Khokhlova, A. & Sebastian-Pastor, T., 2014. Epiphytic Foraminiferal Indices As Bioindicators in Mediterranean Seagrass Meadows.

Journal of Foraminiferal Research, 44(3), 325–339. Disponible a: <Go to ISI>://WOS:000339932700007.

- Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., & Kaminuma, T. (2001). Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment. *Environmental Science & Technology*, 35(2), 318–324.
- Moore, C. J., Moore, S. L., Leecaster, M. K., & Weisberg, S. B. (2001). A comparison of plastic and plankton in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 42, 1297–1300. Disponible a: [https://doi.org/10.1016/s0025-326x\(01\)00114-x](https://doi.org/10.1016/s0025-326x(01)00114-x)
- Molina, E. (2004). Capítulo 6, Foraminíferos planctónicos: Globigerinina. En: Molina, E. (Ed.), *Micropaleontología* (3ª ed., pp. 127–158). Zaragoza, España.
- Murray, J.W. (2006). *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*, Cambridge University Press. Disponible a: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84929719744&partnerID=tZOtx3y1>
- Nadal, M., Alomar, C., & Deudero, S. (2016). High levels of microplastic ingestion by the semipelagic fish bogue Boops boops (L.) around the Balearic Islands. *Environmental Pollution*, 214, 517–523. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.054>
- Pawar, P. R., Shirgaonkar, S. S., & Patil, R. B. (2016). Plastic marine debris: Sources, distribution and impacts on coastal and ocean biodiversity. *Oceanography*, 3(1), 40–54.
- Pham C. K., Ramirez-Llodra E., Alt C. H. S., Amaro T., Bergmann M., Canals M., et al. (2014). Marine Litter Distribution and Density in European Seas, from the Shelves to Deep Basins. *PLoS ONE*, 9(4). Disponible a: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095839>
- Pham, C. K., Rodríguez, Y., Dauphin, A., Carriço, R., Frias, J. P. G. L., Vandeperre, F., Bjorndal, K. A. (2017). Plastic ingestion in oceanic-stage loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) off the North Atlantic subtropical gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 121(1–2), 222–229. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.008>
- Pierdomenico, M., Casalbore, D., & Chiocci, F. L. (2019). Massive benthic litter funnelled to deep sea by flash-flood generated hyperpycnal flows. *Scientific Reports*, 9(1). Disponible a: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41816-8>
- Rech, S., Borrell, Y., & García-Vazquez, E. (2016). Marine litter as a vector for non-native species: What we need to know. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1-2), 40–43. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.032>

- Rech, S., Borrell Pichs, Y. J., & García-Vazquez, E. (2018). Anthropogenic marine litter composition in coastal areas may be a predictor of potentially invasive rafting fauna. *PLOS ONE*, 13(1). Disponible a: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191859>
- Roy, H. E., Bacher, S., Essl, F., Adriaens, T., Aldridge, D. C., Bishop, J. D. D., . . . & Rabitsch, W. (2018). Developing a list of invasive alien species likely to threaten biodiversity and ecosystems in the European Union. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.14527>
- Ryan, P. G., Moore, C. J., Franeker, J. A. Van, & Moloney, C. L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364, 1999–2012. Disponible a: <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0207>
- Sen Gupta & Barun, K., (1999). Systematics of modern Foraminifera. En: Sen Gupta & K. Barun, eds. *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers, pp. 7-36.
- Suaria, G., & Aliani, S. (2014). Floating debris in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 86(1-2), 494–504. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.025>
- Spezzaferri, S.; Olsson, R.K. & Hemleben, C. (2018). Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of Oligocene to Lower Miocene *Globigerinoides* and *Trilobatus*. En: Wade, B.S., Olsson, R.K., Pearson, P.N., Huber, B.T. & Berggren, W.A. (Editors). *Atlas of Oligocene Planktonic Foraminifera*. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special Publication. pp. 269-307.
- Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R. U., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., . . . & Takada, H. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2027–2045.
- Vaquer, E. (2017). *Evaluation of plastic pollution in a Western Mediterranean port and comparison of methodologies* (treball de fi de Màster). Universitat de Barcelona, Espanya.
- Winston, J. E., Gregory, M. R., & Stevens, L. M. (1997). Encrusters, epibionts, and other biota associated with pelagic plastics: A review of biogeographical, environmental, and conservation issues. En: J. M. Coe & D. B. Rogers (Eds.), *Marine Debris* (pp. 81–97). New York: Springer.
- Winston, J. E. (2012). Dispersal in marine organisms without a pelagic larval phase. *Integrative and Comparative Biology*, 52, 447–457.
- Zettler, E. R., Mincer, T. J., & Amaral-Zettler, L. A. (2013). Life in the “Plastisphere”: Microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science and Technology*, 47, 7137–7146.

ANNEX:

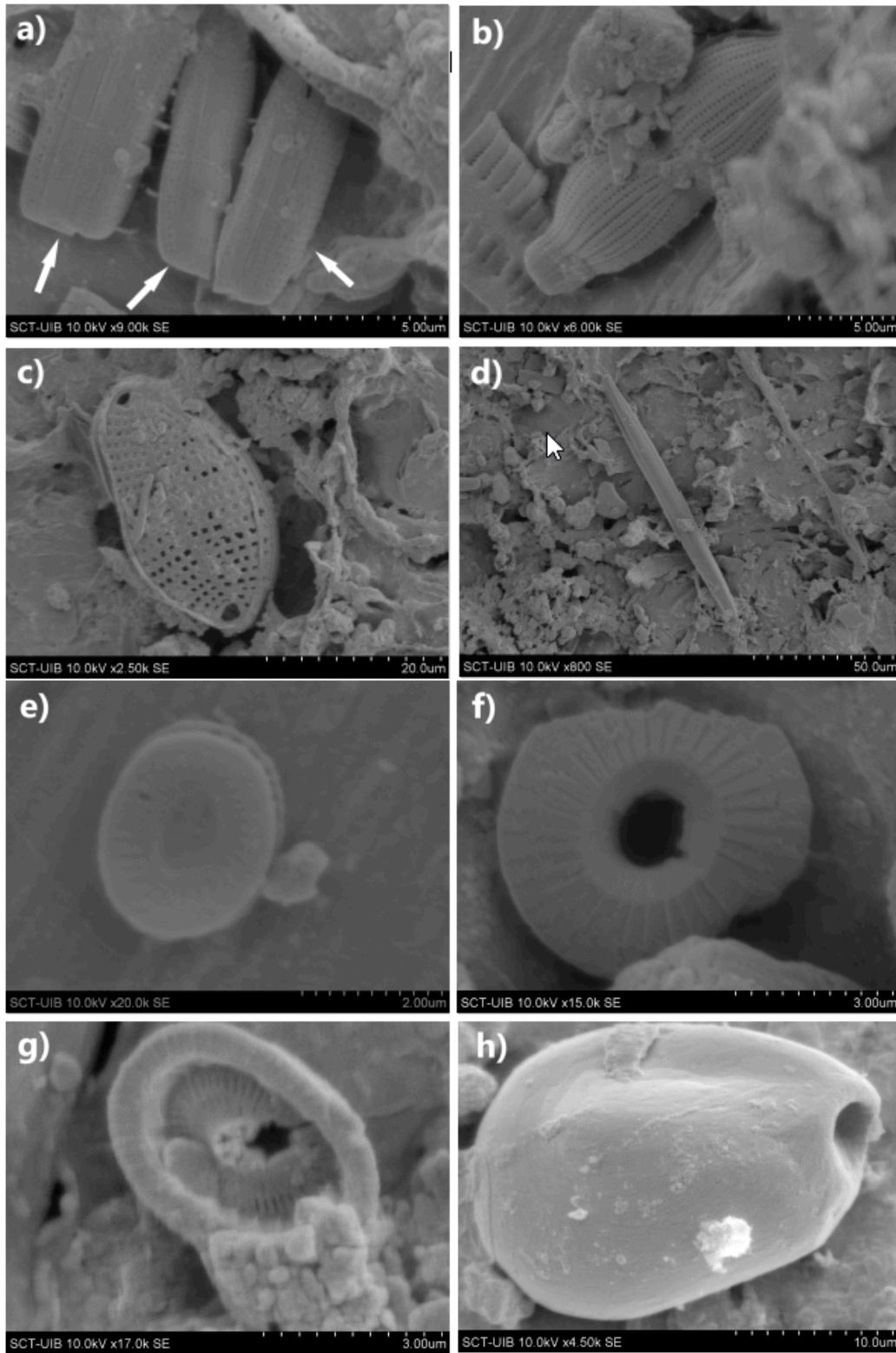


Figura 9: Fotografies de mostres plàstiques d'agost del 2017 analitzades al SEM. a) *Achnanthes* sp. (diatomea). b) *Amphora* sp. (diatomea). c) *Cocconeis* sp. (diatomea). d) *Navicula* sp. (diatomea). e) Cocolit d'*Emiliana huxleyi* (cocolitòfor). f) *Umbilicosphaera foliosa* (cocolitòfor). g) *Syracosphaera* sp. (cocolitòfor). h) Fase juvenil d'un foraminífer de l'ordre Miliolida.

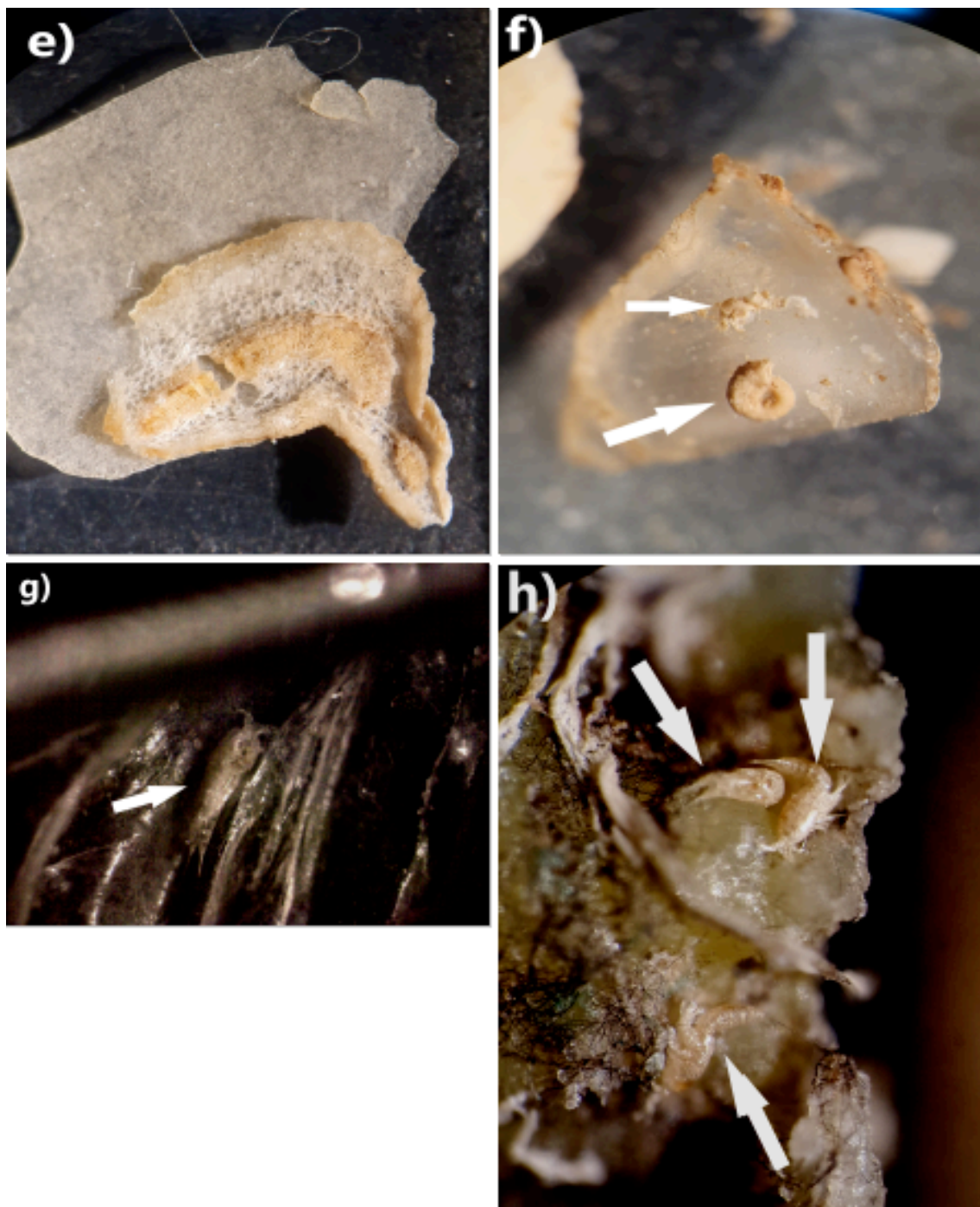
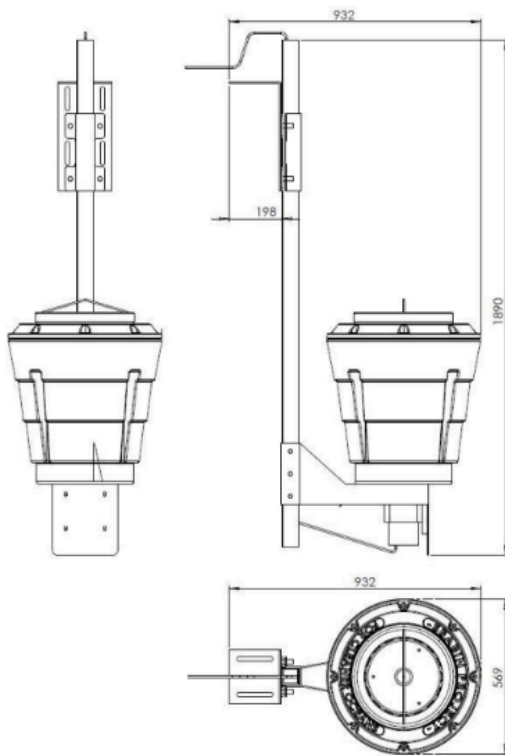


Figura 10: Fotografies de les mostres de setembre de 2017. a) *Plagioecia patina* sobre plàstic. b) *Spirorbis* sp. sobre plàstic dur. c) i d) Copèpodes de l'ordre Harpacticoida (fletxes blanques) sobre plàstics.



Imatge 1: Especificacions tècniques del “Sea Bin” PTY LTD. Extret de <https://seabinproject.com/the-seabin-v5/technical-specs/>



Imatge 2: Esquerra: xarxa Manta de HydroBios GmbH (extret de <https://www.hydrobios.de/de/produkt/manta-fur-mikroplastik/>). Dreta: xarxa Manta en funcionament (extret del video “Manta Trawl on the Bahama Banks for the 5 Gyers Trawlshare Program” publicat el 8 de gener de 2018 al canal de YouTube “Sailing Swains”, disponible a <https://www.youtube.com/watch?v=SIGj2tMLPAg>).