

PROTOCOL DE MOSTREIG DE MICROPLÀSTICS I ALTRES CONTAMINANTS A PLATGES DE SORRA DEL LITORAL DE CATALUNYA

DISSENY I APLICACIÓ DE LA FASE PILOT

TREBALL DE FINAL DE GRAU

Grau de Biologia - Helena Vela García



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Facultat de Biologia

Fundació Mar

Tutor Extern: Miquel Ventura

Tutora UB: Carola Sampera

Gener 2021



Abstract

Micro marine debris has been recognized as an emerging pollutant of global concern. Its ubiquitous distribution and its direct impacts are detected on aquatic ecosystems, marine organisms, in the trophic chain and on health population, affecting world coastal local economies. This ecological problem has been recently pointed up by several scientific studies and public organizations around the world.

In this study, we have designed a beta phase protocol for monitoring and processing micro litter and pilot test it in two different sites of Catalonia's littoral (Mar Bella beach in Barcelona and Cala del Pi in Platja d'Aro). Glass fragments were the main litter item counted followed by microplastics (the most harmful item) and different types of organic matter. A possible relation between abundance of marine debris and level of beach urbanization and a linkage between organic matter concentration and the level of artificiality of the environment and human presence has been observed. Although the beta phase results are positive, a protocol modification and a later revaluation must be mandatory to use it as a main tool for assessing micro marine litter in the future.

Objectius pel desenvolupament sostenible (ODS) en el meu treball de final de grau

La contaminació en els mars i oceans està augmentant i una de les causes d'aquest increment és l'entrada de deixalles marines via el litoral. En la bibliografia manca un protocol de mostreig per a realitzar un seguiment de la quantitat de contaminació i dels tipus de residus presents a les platges de sorra del litoral que aquest treball pretén cobrir.

En conseqüència, en aquest projecte s'ha creat un protocol per mostrejar microplàstics i altres contaminants en zones litorals i aplicar-lo mitjançant proves pilot situades en dues àrees diferents del litoral català com són la ciutat de Barcelona i el municipi de Platja d'Aro. Tanmateix, la projecció final del meu treball final de grau, d'ara endavant, TFG, serà l'aplicació d'aquest protocol en totes les estacions que formen part del projecte SILMAR de la Fundació Mar on s'ha dut a terme la recerca. L'objectiu serà obtenir informació del nivell de contaminació de gran part del litoral català per poder determinar els impactes que aquesta contaminació genera en el medi marí, conscienciar a la població i aconseguir-ne una disminució.

Els resultats indiquen una possible relació entre el grau de proximitat a una zona urbanitzada i la quantitat de residus de les platges. Una major quantitat de matèria orgànica a una zona amb menor aflluència humana i més lluny d'un nucli urbà i una major quantificació de residus de tipus vidre que microplàstics. Finalment, mostren la necessitat de millorar protocols per implementar un seguiment de la Mar Bella, la Cala del Pi i de més zones litorals a llarg termini.

Per tot l'explicat anteriorment, es considera que són tres els ODS tractats en aquest TFG i aquests comprenen diversos àmbits. El primer objectiu treballat és el número 11 "Aconseguir que les ciutats siguin més inclusives, segures, amb major resiliència i sostenibles". Dins d'aquest objectiu hi destaquen la meta 11.6 "D'aquí al 2030, disminuir l'impacte ambiental negatiu per càpita de les ciutats, emfatitzant l'atenció en la qualitat de l'aire i la gestió dels residus municipals i d'altres tipus" i la meta 11.b "D'aquí al 2020, augmentar considerablement el nombre de ciutats i assentaments humans que adopten i implementen polítiques i plans integrats per a promoure la inclusió, l'ús eficient dels recursos, la mitigació i l'adaptació al canvi climàtic i la resiliència davant de catàstrofes". El segon OD tractat en aquest estudi és el número 12 "Garantir modalitats de consum i producció sostenibles". Concretament la meta 12.4 "D'aquí al 2020, aconseguir la gestió ecològicament racional dels productes químics i de tots els residus al llarg del seu cicle vital, reduir significativament la seva alliberació a l'atmosfera, l'aigua i al sol per a minimitzar els seus efectes adversos a la salut humana i al medi ambient". Finalment, el tercer objectiu fonamental en aquest TFG és el 14 "Conservar i utilitzar de manera sostenible els oceans, mars i els recursos marins" i concretament la meta 14.1 "D'aquí al 2025, preveure i reduir significativament la contaminació marina de tota mena, en particular, la produïda per les activitats realitzades a terra, inclosos els detritívors marins i la pol·lució per nutrients", ja que la creació d'aquest protocol pretén informar de l'estat de contaminació del litoral marí per reduir-la i així, disminuir una de les principals vies d'entrada de contaminació al mar.

Adaptació del treball de final de grau al confinament COVID-19

El confinament decretat el març del 2020 va afectar completament l'elaboració del meu TFG. En aquell moment estava començant el plantejament del treball, a planificar el tema i els mostrejos, de manera que l'obligació de quedar-se a casa va dificultar la comunicació amb el meu tutor extern i ens vam veure obligats a ajornar el seu inici. Vaig haver de posposar mig any l'entrega del TFG davant la impossibilitat de realitzar les pràctiques. La meva intenció inicial era entregar aquest treball el mes de juny del 2020, i a causa de la crisi sanitària de la COVID-19 l'entrego el gener del 2021. Tanmateix, la dificultat de moviment generada per les restriccions en la mobilitat un cop acabat el confinament han impedit realitzar el nombre de mostrejos planificats inicialment a les proves pilot. D'entrada estava previst realitzar un total de cinc mostrejos des del mes d'agost fins al mes de desembre a la platja de la Mar Bella de Barcelona i dos mostrejos a la Cala del Pi a Platja d'Aro, però només se n'han pogut fer tres a la Mar Bella i un a Platja d'Aro. A més, a causa de la dificultat de desplaçament, l'anàlisi de les mostres s'ha dut a terme a casa amb l'ús d'un microscopi USB i altres materials i no en un laboratori.

Malgrat tots aquests imprevistos, he aconseguit finalitzar el meu TFG dissenyant la fase pilot d'un protocol de mostreig i aplicant-lo mitjançant proves pilot suficients per avaluar el protocol creat.

Abreviatures

UNEP: United Nations Environment Program

UNEP/ MAP: UNEP Mediterranean Action Plan

MSDF (EU): Marine Strategy Framework Directive

GESAMP: Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection

NOWPAP: Northwest Pacific Action Plan

Índex

1. Introducció.....	1
1.1. Contextualització.....	1
1.2. Deixalles marines	2
1.3. Entrada de plàstics al medi marí.....	3
1.4. Distribució i abundància de deixalles marines en el litoral	4
1.5. Necessitat de monitoritzar els microplàstics	5
2. Objectius.....	6
3. Metodologia	7
3.1. Disseny del protocol	7
3.3. Aplicació del protocol	10
3.4. Anàlisi de les mostres.....	11
3.5. Tractament de les dades	12
4. Resultats.....	13
4.1 Prova pilot de la platja de la Mar Bella	13
4.2. Prova pilot de la Cala del Pi	18
4.3. Comparació de les dues zones de mostreig.....	21
5. Discussió	23
5.1. Proves pilot	23
5.2. Millores del protocol	26
6. Conclusions	28
7. Bibliografia	29
8. Annexos.....	33

1. Introducció

1.1. Contextualització

La contaminació als mars i oceans causada per l'activitat humana és actualment una problemàtica d'abast global. Els residus marins, sobretot els plàstics, tenen propietats com la flotabilitat i durabilitat que faciliten la seva distribució per tots els oceans (Kaandorp et al., 2020). S'estima que actualment la massa de plàstics flotants a l'oceà oscil·la entre 236 i 269 milions de tones (Kaandorp et al., 2020). A més, des de l'any 1950 la producció mundial de plàstics i d'altres contaminants ha augmentat considerablement. L'any 2019 es van produir 369 milions de tones de plàstic en tot el món i es preveu que aquesta producció segueixi creixent durant les dècades vinents (Cózar et al., 2014; PlasticsEurope, 2020).

Si ens centrem en l'abundància de residus a la mar Mediterrània, observem una tendència a l'alça. Les últimes dades mostren una quantitat estimada entre 2100 i 3400 tones de plàstics i altres contaminants (Kaandorp et al., 2020). L'Institut Francès de Recerca i Exploració del Mar (IFREMER) preveu que sense mesures de gestió la quantitat de plàstic en l'aigua de la mediterrània podria augmentar en un factor superior a dos abans del 2025 (IFREMER, 2021). Encara que en aquesta àrea no hi tenen lloc factors hidrodinàmics a gran escala que afavoreixin una acumulació de contaminants, com els girs oceànics (Deidun et al., 2018), les costes del mediterrani concentren un terç de la població total de la regió, aproximadament 143 milions d'habitants (GRID-Arendal, 2013). A més, la gran afluència de turisme amb l'estimació de 314 milions de visitants anuals (UNEP/MAP, 2017) i aproximadament el 30% del tràfic marí mundial fa que sigui una zona amb elevada contaminació. Paral·lelament, en ser un mar semi tancat, ja que només està connectat a l'oceà Atlàntic a través de l'estret de Gibraltar, té un intercanvi d'aigua limitat que afavoreix l'acumulació de deixalles marines (Consoli et al., 2018).

Tanmateix, si ens fixem en el litoral català, sobretot en la costa pròxima a la ciutat de Barcelona, veiem que també és una zona d'elevada contaminació. Segons el Fons Mundial per a la Natura (WWF) la costa de Barcelona és la segona zona costanera del mar Mediterrani més contaminada i acumula 26,1 quilograms de residus majoritàriament plàstics per quilòmetre (WWF, 2018). A la ciutat de Barcelona hi resideixen 1,63 milions de persones i a la província del Barcelonès aproximadament 5,6 milions, això suposa el 72,5% de la població total de Catalunya concentrada en un espai litoral molt reduït (Ventura et al., 2019). Aquesta elevada densitat demogràfica juntament amb un model de desenvolupament poc sostenible produeix un impacte mediambiental que es pot observar tant en el mar com en el litoral, que cada vegada presenten menor qualitat ecològica i són més vulnerables, limitant la seva capacitat de resiliència ecològica.

Les interaccions entre factors ambientals com ara la hidrodinàmica i geomorfologia i els factors antropogènics (les activitats humanes com pesca, turisme o navegació) influeixen la distribució dels residus en l'espai i el temps (Consoli et al., 2020). Els residus són una amenaça per als organismes marins i els seus hàbitats (D'Alessandro et al., 2018), però també tenen impactes negatius en l'economia i en la salut de les persones. La majoria dels residus que arriben a l'aigua són contaminants i afecten la cadena alimentària i finalment acaben arribant a les persones (Baini et al., 2017; Ventura et al., 2019).

1.2. Deixalles marines

Es defineix com a deixalles marines als residus sòlids d'origen humà que per diferents causes acaben abandonats en ambients marins o costaners (Frias & Nash, 2019; GESAMP, 2019; Sutton & Sedlak, 2017). Els residus marins estan formats per diferents materials com el vidre, el metall, la fusta, el paper o el plàstic i aquest últim n'és el principal component (Bergmann et al., 2015). A causa de les seves característiques com la durabilitat, versatilitat o l'elasticitat i al seu baix cost econòmic el fan un material molt utilitzat a tot el món (Eriksen et al., 2014).

1.2.1. Plàstics

Segons el Grup d'Experts sobre els Aspectes Científics de la Protecció del Medi Ambient Marí (GESAMP) el plàstic és un polímer orgànic d'origen sintètic o semisintètic format majoritàriament a partir d'hidrocarburs derivats del petroli. El plàstic és un material sintètic molt versàtil amb propietats d'elasticitat, duresa i flexibilitat que permeten la seva adaptació en forma de múltiples productes que cobreixen les necessitats de la societat. Els envasos d'un sol ús i els embalatges són el sector dominant en la utilització de plàstics, seguits de la construcció i la indústria tèxtil (Andrady & Neal, 2009; GESAMP, 2019; Sutton & Sedlak, 2017).

La mida del residu plàstic és un factor determinant a l'hora d'entendre com afecten aquests materials i com es distribueixen en el medi ambient. Com és un material universalment utilitzat per infinitat de productes, presenta un elevat rang de mides que poden ser des de micròmetres fins a metres.

Descriptor	Mida relativa	Rang de mides	Unitats de mesura	Referències
Mega	Molt gran	>1 m	Metres	GESAMP
Macro	Gran	25-1000 mm	Metres Centímetres Mil·límetres	MSDF
Meso	Mitjà	5-25 mm	Centímetres Mil·límetres	NOWPAP MESFD
Micro	Petit	<5 mm	Mil·límetres	
Nano	Molt petit	<1 µm	Nanòmetres	

Figura 1. Taula que mostra les diferents categories de plàstics contaminants al mar segons la seva mida, assumint una forma pràcticament esfèrica. Taula extreta de GESAMP (GESAMP, 2019).

1.2.1.1. Microplàstics

En el present treball s'ha dissenyat un protocol per estudiar l'abundància de microplàstics (plàstics de mida delimitada entre 1 i 5 mil·límetres (GESAMP, 2019) i s'han realitzat diverses proves pilot per valorar la funcionalitat, aplicabilitat i els resultats del sistema d'estudi emprat.

Els microplàstics poden derivar de dues fonts diferents:

- **Fonts primàries:** plàstics fabricats amb una mida microscòpica determinada per a dur a terme una funció específica. Per exemple, exfoliants en productes de bellesa o ingredients en pastes dentífriques (Sutton & Sedlak, 2017).
- **Fonts secundàries:** plàstics de mida més gran que es desintegren en el medi ambient per fragmentació física, fotodegradació o biodegradació (GESAMP, 2019).

Paral·lelament, els microplàstics es poden dividir en diferents categories. En aquest estudi s'ha diferenciat entre pellets i fragments. Els **pellets** són microplàstics que mesuren entre 2 i 5 mil·límetres i tenen una forma regular, mentre que els **fragments** són menors de 2 mil·límetres i es caracteritzen principalment per tenir una forma irregular (Galgani et al., 2013).

1.3. Entrada de plàstics al medi marí

Tot i que hi ha dades que mostren la producció mundial de plàstic, no es pot saber quina fracció d'aquest arriba a l'oceà (Ventura et al., 2019). Les vies d'entrada de plàstics al medi aquàtic són nombroses. Per exemple, els temporals amb forts vents, els règims de pluviometria o les aportacions d'aigües dels rius són tres factors importants que influencien l'entrada de plàstics al mar (Galgani et al., 2013). L'agricultura, l'aqüicultura o els residus generats d'activitats industrials, com per exemple indústries tèxtils amb restes de roba sintètica o de la construcció, poden arribar al mar mitjançant alguna de les vies mencionades anteriorment o, fins i tot, a partir de l'abocament il·legal (Ventura et al., 2019). Tanmateix, una mala gestió de les aigües residuals i dels residus urbans també afecten el nivell de contaminació del mar. Malgrat que la majoria de partícules queden retingudes a les depuradores (Murphy et al., 2016), els microplàstics es caracteritzen per una elevada flotabilitat i una baixa reactivitat que limiten la seva eliminació total, cosa que fa que s'alliberin al medi a través de les aigües residuals tractades (Browne et al., 2011; New York State Office of the Attorney General, 2015). Un bon exemple d'aquesta problemàtica és l'estació SILMAR de la Mar Bella de Barcelona, ja que en les seves proximitats hi ha un col·lector que quan plou molt s'obre i tota la brutícia acaba al mar, augmentant la contaminació de la zona, que ja de per si és elevada (Ventura et al., 2019). A més, les activitats en la proximitat de la costa o dins l'aigua com la navegació o la pesca també són responsables d'abocar contaminació al mar.

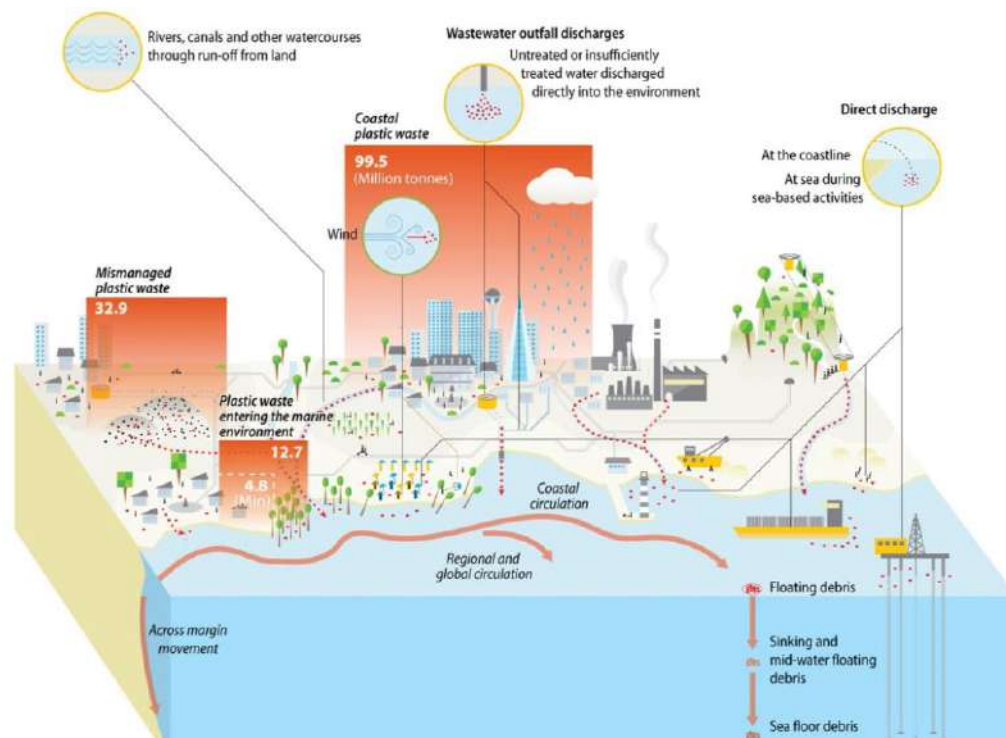


Figura 2. Representació esquemàtica de les diferents vies d'entrada de plàstics, microplàstics i altres contaminants al mar. Imatge extreta de Marine Litter Vital Graphics (GRID-Arendal, 2018).

1.4. Distribució i abundància de deixalles marines en el litoral

El litoral és l'àrea física de transició entre la terra i el mar. És una zona amb una elevada presència de deixalles marines degut a la proximitat de les seves fonts d'entrada a l'aigua, a més de ser fàcilment accessible. En conseqüència, sol ser la primera zona que es considera a l'hora de fer un estudi per a quantificar les deixalles marines.

La dinàmica i el perfil de les costes influencien la distribució i l'abundància de deixalles marines, que per l'acció del vent poden quedar àmpliament escampades, enterrades en la sorra o bé desenterrar-se. Tanmateix, la radiació ultraviolada o l'abrasió mecànica poden descompondre la brossa en fragments més petits que s'integren més fàcilment en el medi i en dificulta la seva gestió. Paral·lelament, les neteges de les platges eliminen selectivament deixalles de mida més gran, però el vent, les mareas i l'acció de les onades poden transportar les deixalles cap al mar o cap a la costa. En conjunt, tots aquests factors fan variar la distribució i l'abundància en el temps i l'espai de les deixalles marines situades al litoral (GESAMP, 2019).

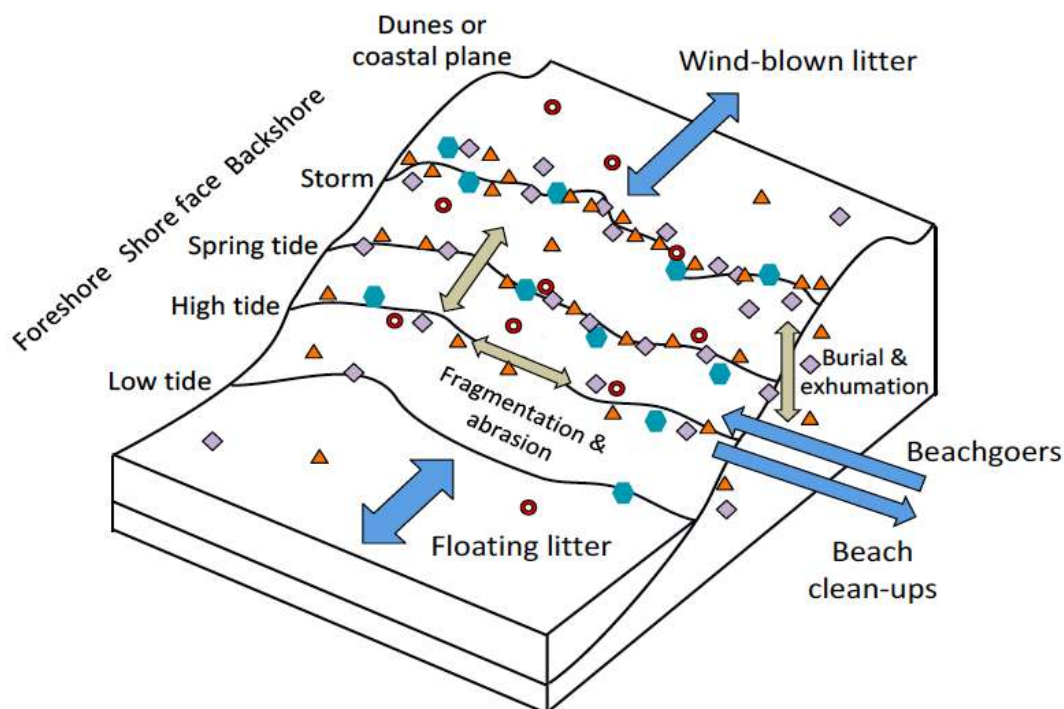


Figura 2. Imatge que mostra diferents factors que afecten la dinàmica de les deixalles marines en una platja de sorra. Els triangles de color taronja representen la fragmentació i abrasió de les deixalles marines. Els cercles vermells representen deixalles enterrades a la sorra per acció del vent. Els rombes de color lila mostren les deixalles desenterrades. Les fletxes grises expliquen el moviment de les deixalles marines per la sorra de la platja. I les fletxes vermelles representen les diferents vies d'entrada i de sortida de deixalles. Les mareas i tempestes modifiquen els perfils de les platges i l'abundància i distribució de deixalles marines (representades en general amb hexàgons de color verdós). Imatge extreta de GESAMP (GESAMP, 2019).

1.5. Necessitat de monitoritzar els microplàstics

L'augment en la producció de microplàstics, les múltiples i diversificades vies d'entrada d'aquests al medi ambient i els impactes que s'estan començant a observar actualment ha evidenciat la necessitat de monitorar-ne la presència a la costa, a la columna d'aigua i al fons de mars i oceans. De fet, la contaminació marina és un dels onze descriptors situats al pla d'acció a escala europea (MSFD) per avaluar l'estat ambiental del medi marí d'una manera coherent (European Commission, 2013; Ventura et al., 2019).

Realitzar estudis per quantificar la concentració de microplàstics és útil per determinar-ne els impactes. Basant-nos en tot el que s'ha exposat en aquest treball d'investigació, s'ha dissenyat i aplicat un protocol que ens ha de permetre quantificar en una fase pilot els microplàstics i altres contaminants presents al litoral de Catalunya.

2. Objectius

L'objectiu principal del present treball consisteix en dissenyar i redactar un protocol científic per a determinar la presència qualitativa de microplàstics i altres contaminants en zones marines litorals.

Per a dur a terme aquesta investigació, es formulen objectius més específics, que es poden resumir en els següents:

- Dissenyar un protocol de mostreig i aplicar-lo en la fase pilot per observar el seu funcionament.
- Obtenir resultats preliminars de les proves pilot realitzades a les estacions SILMAR de la Mar Bella de Barcelona i a la Cala del Pi a Platja d'Aro.

Tanmateix, es defineixen les següents hipòtesis sobre el resultat de les proves pilot:

- La platja de la Mar Bella de Barcelona tindrà un major grau de contaminació que la Cala del Pi.
- La majoria de residus seran del tipus microplàstics.
- La majoria de residus de matèria orgànica es concentraran a la Cala del Pi.

A partir dels resultats, es podrà inferir en el grau de contaminació de la sorra de les dues zones on s'ha localitzat l'estudi. En un futur s'espera adaptar el protocol de mostreig a totes les estacions de la xarxa SILMAR de seguiment del litoral ibèric marí.

3. Metodologia

3.1. Disseny del protocol

Per a determinar la presència qualitativa de microplàstics i altres contaminants en zones litorals calia realitzar mostrejos. Així doncs, per assegurar que les dades obtingudes no estaven alterades es va dissenyar un protocol estàndard, un pla d'estudi detallat on s'expliqués com obtenir, tractar i analitzar les dades per a finalment extreure resultats i poder comparar-los amb d'altres obtinguts en diferents zones litorals o al llarg del temps (GESAMP, 2019; Oakley et al., 2003).

El protocol d'aquest treball consta de les següents parts:

- a) **Introducció:** Conté tota la informació útil per a detectar factors que poden influir en la presència de contaminació. Està formada per la localització prèvia de la zona d'on tindrà lloc el mostreig i de les dades necessàries abans de mostrejar.
- b) **Procediments operatius estàndards:** Conté les instruccions detallades pas a pas de com s'ha de dur a terme el procediment del mostreig. A més, s'explica el material necessari per mostrejar, com és dur a terme la recollida de mostres i l'anàlisi d'aquestes (Oakley et al., 2003).

Es va dissenyar un protocol de mostreig format per dos transsectes de 100 metres i 5 rèpliques separades 25 metres cadascuna com es veu a la *Figura 3*, ja que és necessari un cert grau de replicació de les mostres per avaluar el nivell de variabilitat inherent del sistema.

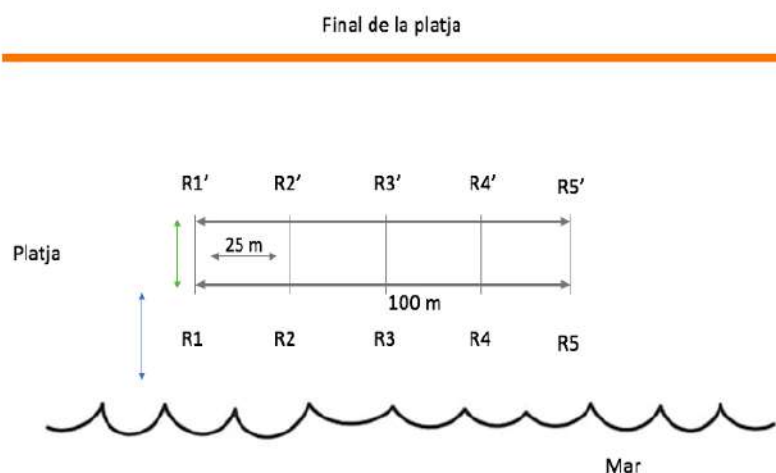


Figura 3. Imatge que senyala el mostreig de la sorra de la platja. S'hi mostren dos transsectes de 100 metres cadascun paral·lels a la costa. En cada transsecte hi ha 5 punts de mostreig separats 25 metres cadascun. La separació entre transsectes (fletxa verda) i entre la costa (fletxa blava) varia segons la platja. (Vela H. 2020.)

Una modificació d'aquest protocol de mostreig es va dur a terme a la segona prova pilot situada a la Cala del Pi a Platja d'Aro. Al ser una zona de platja més petita no es podia realitzar un transsecte de 100 metres. Així doncs, es va adaptar el protocol realitzant un mostreig de dos transsectes de 42 metres i 3 rèpliques, que són les mínimes a realitzar per obtenir resultats comparables en un mostreig (Frias et al., 2018).

3.2. Localització del estudi

La fase pilot del protocol va constar de mostrejos en dues zones litorals diferenciades. La primera prova pilot va tenir lloc a la platja de la Mar Bella de la ciutat de Barcelona, s'hi va fer un mostreig mensual des de l'octubre fins al desembre del 2020. L'altra zona litoral estudiada va ser la Cala del Pi a Platja d'Aro, s'hi va fer un mostreig el mes de desembre. Ambdues zones estan integrades dins la xarxa SILMAR, de manera que aquest estudi parteix amb informació prèvia sobre l'estat ecològic i els impactes presents en aquestes àrees.

Amb les coordenades obtingudes amb GPS durant els mostrejos i mitjançant l'ús d'R i Python, juntament amb el paquet Leaflet es van representar els mapes satèl·lit de les zones estudiades i es van marcar els punts de mostreig.

3.2.1. Mar Bella

Situada a llevant del litoral de Barcelona ($41^{\circ}23'57.9''N$ - $2^{\circ}12'46.5''E$) i amb una superfície aproximada de 18.460 m^2 , és una de les deu platges de la ciutat de Barcelona. Creada durant la remodelació del litoral amb motiu dels Jocs Olímpics. Limita amb l'espigó de la Mar Bella al sud i amb l'espigó de Bac de Roda al nord. És una zona de fàcil accés amb diversos equipaments d'oci, una base nàutica situada a l'extrem de ponent i amb activitat de pesca professional i esportiva (*Annex 1*). A més, està envoltada al nord pel riu Besòs i al sud pel Llobregat (Barcelona, 2020; Ventura et al., 2019).

Per a obtenir informació de tota la platja es van fer tres mostrejos un cop al mes, el 19 d'octubre, 19 de novembre i 19 de desembre del 2020 per així realitzar 4 transsectes de 100 metres de longitud cadascun, paral·lels a línia de costa i obtenir informació de tota la platja. Tant el transsecte A com el C estaven separats 50 metres del B i D respectivament. Cada transsecte estava dividit en cinc punts de mostreig separats 25 metres entre si, tal com es mostra a la *Figura 4*.



Figura 4. Mapa fet amb R que mostra els punts de mostreig de la Mar Bella. En el mapa es mostren quatre transsectes de 100 metres de longitud cadascun paral·lels a la costa. En cada transsecte hi ha 5 punts de mostreig (rèpliques) separats 25 metres cadascun. La separació entre els transsectes més pròxims a l'aigua i els més llunyans és de 50 metres tal com s'indica en aquesta figura.

A causa de la granulometria realitzada a la sorra de la platja es va determinar l'ús de tres mides diferents de tamís, de 0,5, 1 i 3 mil·límetres (Roman-Sierra et al., 2013) per al mostreig.

3.2.2. Cala del Pi

Situada aproximadament a un quilòmetre de la localitat de Platja d'Aro ($41^{\circ}49'25.1''N$ - $3^{\circ}04'39.8''E$), té una superfície aproximada de 660 m². El seu accés és limitat, ja que només s'hi pot arribar fent un tram del camí de Ronda (*Annex 2*). Malgrat això durant els mesos d'estiu l'afluència turística és molt elevada. La cala no té cap servei ni equipament d'oci, però hi ha activitat nàutica i també pesca professional i esportiva (Castells, 2020; Salvador et al., 2021).

Només va ser necessari fer un mostreig per a cobrir tota la zona de la cala. El 14 de desembre del 2020 es va realitzar un mostreig de dos transsectes de 43 metres paral·lels a l'aigua i separats 15 metres entre si. Aquests es van dividir en tres rèpliques per transsecte separades 21,5 metres cadascuna, tal com es mostra a la *Figura 5*.

Com que la mida de la sorra és major que la de la platja de la Mar Bella, només es van emprar els tamisos de 1 i 3 mil·límetres.

Amb aquest mostreig es pretenia adaptar i veure el funcionament del protocol en platges més petites. A més, de permetre conèixer l'estat de contaminació d'una platja amb un accés més difícil que la Mar Bella i pròxima a una població menor que la de la ciutat de Barcelona.



Figura 5. Mapa fet amb R que mostra els punts de mostreig de la Cala del Pi. En el mapa es mostren dos transsectes de 43 metres cadascun paral·lels a la costa. En cada transsecte hi ha 3 punts de mostreig separats 21,5 metres cadascun. La separació entre els transsectes és de 10 metres, tal com s'indica en aquesta figura.

3.3. Aplicació del protocol

3.3.1. Dades necessàries abans de mostrejar

En el marc dels paràmetres del protocol d'estudi és necessari enregistrar una sèrie de dades per a realitzar avaluacions confiables durant l'estudi (GESAMP, 2019). Les dades que es van agafar a l'hora de realitzar els mostrejos van ser el tipus de substrat on es va realitzar el mostreig. En aquest cas tots els substrats són de sorra, ja que el protocol està dissenyat només per a aquest tipus de platges. A continuació, es va enregistrar el dia del mostreig i l'hora d'inici i final d'aquest. La data de l'estudi és necessària, ja que l'abundància i distribució dels plàstics a l'aigua i a la sorra varia segons l'època de l'any. A l'estiu, a diferència de l'hivern, hi ha més presència antròpica a la platja i més probabilitat de contaminació d'aquesta. A més, en les platges on hi ha servei de neteja, de juny a agost, la neteja és diària, mentre que durant la tardor i l'hivern no. Tanmateix, a la tardor hi ha temporals en els quals predominen vents de llevant i pluges persistents, factors importants en la contaminació del litoral.

També es va enregistrar la temperatura de l'aigua i les condicions oceanogràfiques i atmosfèriques mitjançant sèries temporals de dues setmanes abans de dur a terme el mostreig. És sabut, que a l'hora de realitzar un mostreig, les condicions atmosfèriques ideals són les d'un dia assolellat amb poc vent. S'ha de procurar evitar mostrejar quan hi hagi forts temporals i les condicions siguin perilloses o després que hi hagi hagut fortes pluges, ja que la sorra estarà molt mullada i això dificultaria l'activitat. Les partícules contaminants i la sorra quan estan mullades tendeixen a estar més enganxades i aquest fet dificulta el tamisat (GESAMP, 2019).

Finalment, s'ha d'anotar l'ús de la platja, si es urbà, turístic o si és una platja verge i les zones de proximitat a aquesta com la població més propera, rius, ports, bases nàutiques, plantes depuradores, etc.

3.3.2. Material necessari per mostrejar

- GPS per poder delimitar la zona de 100 metres i les 5 rèpliques al llarg d'aquests.
- Quadrant de mostreig o si no es poden utilitzar cordes i claus per delimitar una superfície de 50 x 50 centímetres.
- Pala adequada per mostrejar la superfície de sorra.
- Tamís de 0,5 a 3 mil·límetres. S'ha de tenir en compte que la mida del tamís varia en funció del tipus de sorra (Roman-Sierra et al., 2013).
- Recipient net de vidre o d'altres materials, que tinguin la boca ampla perquè hi entri el plàstic i una tapa hermètica.
- Retolador per poder marcar el recipient.

3.3.3. Recollida de mostres

Primerament, es va determinar la distància del transsecte, delimitant una zona de 100 metres de longitud paral·lela a la costa, mitjançant l'ús de cinta mètrica. A continuació, es van establir els cinc punts de mostreig separats 25 metres en el transsecte de 100 metres. Després, vigilant de no contaminar la mostra, es van retirar tots els fragments vegetals, petxines, altres restes orgàniques o naturals situades dins de la parcel·la de mostreig i es va procedir a recollir la capa

de sorra més superficial. Inicialment, es va tamisar la capa d'1 centímetre de gruix aproximat de tota la superfície del quadrant, amb el tamís de mida més petita (0,5 mil·límetres), analitzant aproximadament 2,5 litres de sorra. A continuació, es va deixar passar la sorra pel tamís i es va recollir la mostra de partícules menors a 0,5 mil·límetres en una bossa retolada on s'indicava el número de transsecte, el número de rèplica, la mida del tamís emprat (en aquest cas 0,5 mm) i el temps que es va trigar a tamisar. Seguidament, es va repetir l'operació amb els tamisos de mides més grans, primer amb el de 1 mm i, per últim, amb el de 3 mm. Finalment, es va repetir la mateixa operació en els quatre punts de mostreig restants repartits al llarg del transsecte.

3.4. Anàlisi de les mostres

Un cop obtingudes les mostres, es va iniciar el seu anàlisi. Durant aquest procediment es va separar la sorra dels residus i es van comptabilitzar i classificar per permetre l'obtenció de dades i el posterior tractament d'aquestes.

Primer de tot, es van deixar assecar completament les mostres, per evitar alterar els resultats a l'hora de pesar-les, ja que les partícules mullades i seques tenen diferent massa (GESAMP, 2019). Un cop seques, es van pesar les bosses amb la sorra i els residus a analitzar. Seguidament, es van separar les partícules contaminants de la sorra i es van pesar només les partícules sense sorra, obtenint la massa total de partícules contaminants. Després, es van classificar les diferents partícules segons tipus de microplàstics (pellet o fragment), vidre, metall, paper i matèria orgànica (organismes, pals, fulles, fibres vegetals, llavors, pèls). També es van comptabilitzar i mesurar la llargada i l'amplada màxima de cada partícula mitjançant l'ús d'un programa fet amb Python que tracta les imatges de les partícules i permet comparar-les amb una imatge de referència. En aquest cas la referència correspon al quadrat que mesura 1 x 1 centímetres que es mostra en la *Figura 6*. Aquest programa permet informatitzar el càlcul de les dimensions de les partícules a partir de fotografies.

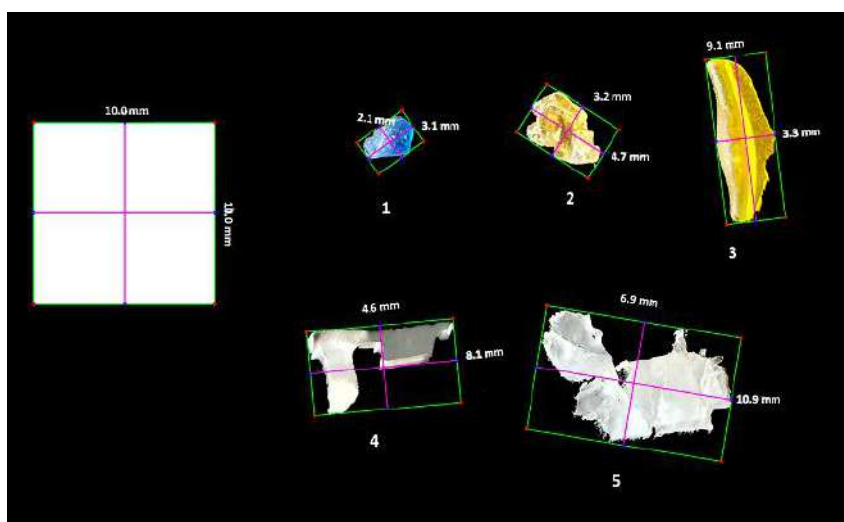


Figura 6. Imatge que mostra diferents partícules contaminants i la seva dimensió. Els números 1, 3 i 5 són partícules plàstiques. El número 2 és un fragment de vidre i el número 4 és un metall. El quadrat blanc de 1 centímetre per 1 centímetre serveix de referència per a calcular les dimensions. Totes les partícules formen part del primer transsecte de la rèplica 2 del mostreig realitzat a la platja de la Mar Bella el 19 d'octubre del 2020.

3.5. Tractament de les dades

Per a una anàlisi descriptiva de les dades obtingudes es van utilitzar els programes Microsoft Office Excel 2019 i RStudio (versió 1.2.1335). Es van realitzar diferents càlculs i gràfics, com el percentatge per cada tipus de residu i el total d'aquests, el nombre de residus per transsecte i diagrames de caixes per la quantitat individual de residu en cada transsecte en les dues zones d'estudi.

Finalment, la significació estadística dels factors quantitat de residus, mida del tamís, tipus de transsecte i la comparació d'aquests entre les dues zones d'estudi s'ha avaluat a $P \leq 0,05$ mitjançant la funció ANOVA i el test TUKEY. Tanmateix, per a tots els models ANOVA s'ha demostrat gràficament que es compleixen les hipòtesis de normalitat i d'homogeneïtat de variàncies (*Veure Annexos*).

4. Resultats

4.1 Prova pilot de la platja de la Mar Bella

El total de residus que es van trobar en els quatre transsectes de la platja de la Mar Bella són 8897. D'aquests el 70% correspon a vidres i només el 22% són microplàstics, dins dels quals s'hi pot distingir un 12% de pellets i un 10% de fragments. Un 7% dels residus estan formats per diferents tipus de matèria orgànica i finalment l'1% restant correspon a residus de tipus metàl·lic (Figura 7).

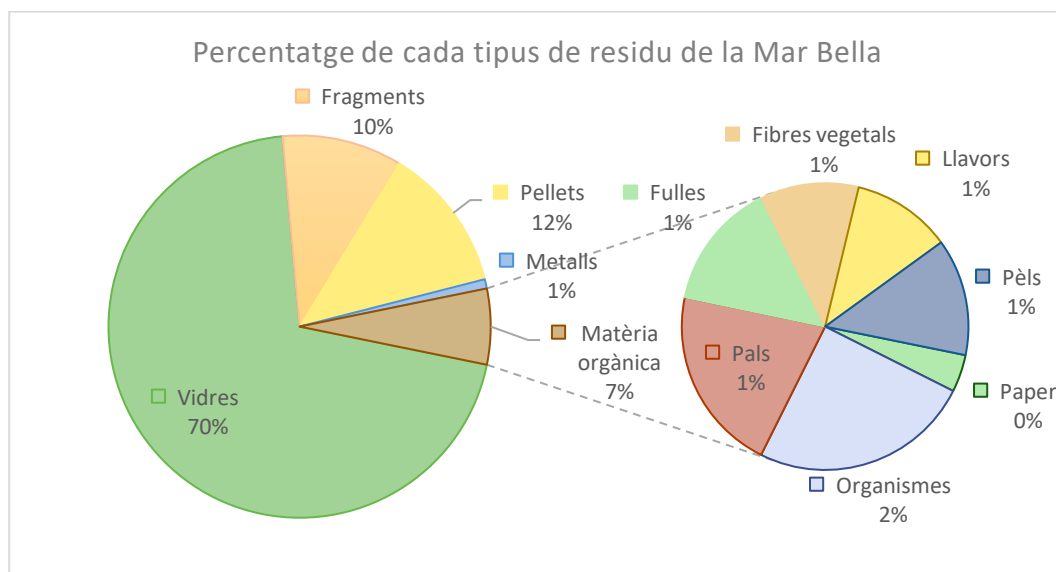


Figura 7. Gràfica que mostra el percentatge de cada tipus de residu trobat en la prova pilot de la platja de la Mar Bella.

Paral·lelament, es va inferir el nombre de residus per metre quadrat de la Mar Bella que són 1779,4 residus/m². D'aquests la majoria són fragments de vidre amb 1252,2 vidres/m², seguits de residus d'origen plàstic amb 399,4 microplàstics/m² (218,6 pellets/ m² i 180,8 fragments/ m²) i finalment 113,4 residus de matèria orgànica/m².

4.1.1. Quantitat de residus en cada transsecte

L'ordre dels transsectes de major a menor nombre de residus és el següent A > C > D > B. A la platja de la Mar Bella, els transsectes més pròxims al final de la platja (A i C) tenen un nombre major de residus amb 2439 i 2501 respectivament. En canvi, els transsectes més pròxims a l'aigua (B i D) tenen un nombre menor de residus, 1684 i 2273 respectivament.

Així i tot, es va realitzar un test ANOVA amb el nivell de significació de 0,05 per a la quantitat de residus en cada transsecte. Amb un nivell de confiança del 95% es pot afirmar que la quantitat de residus en els transsectes C i B difereix significativament. Malgrat tot, no es poden demostrar diferències significatives entre A i B. Però com el P valor és molt proper a 0,05 si l'ANOVA tingués un nivell de significació del 90% si es podria afirmar una diferència significativa entre aquests dos transsectes. Finalment, no hi ha diferències significatives en la quantitat de residus trobat entre els transsectes D i C i en D i B (Annex 6, Annex 7 i Annex 8).

4.1.2. Diferència entre quantitat de residus per el tipus de mida del tamís

La majoria de residus de la Mar Bella tenen una mida $\leq$ a 1 mil·límetre. Ja que el tamís que va retenir el nombre més gran de residus durant els mostrejos va ser el d'1 mm de diàmetre. Tant els vidres com els microplàstics i la matèria orgànica, excepte les llavors, tenen una mida majoritària $\leq$ a 1 mm. En canvi, els residus de tipus metàl·lics tenen una mida majoritària més petita, ja que hi ha lleugerament més residus que són $\leq$ a 0,5 mm. Cal destacar que en el mostreig no es van trobar llavors ni fragment de papers de mides $\leq$ a 0,5 mm (Figura 8).

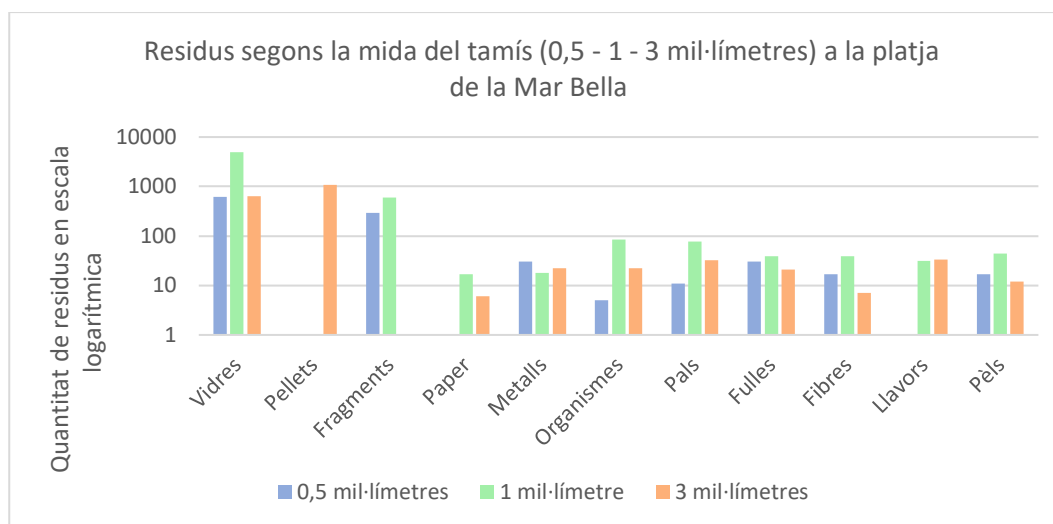


Figura 8. Gràfica que mostra la quantitat de cada tipus de residu en escala logarítmica segons la seva mida ($\leq$ a 0,5 mil·límetres, $\leq$ 1 mil·límetre o $\leq$ a 3 mil·límetres) a la platja de la Mar Bella.

Els residus comptabilitzats mostren que els transsectes A i C, més pròxims al final de la platja (Figura 4), tenen la majoria de residus de mides $\leq$ a 0,5 i 1 mm. En canvi, els transsectes B i D, més pròxims a l'aigua tenen menys residus, però aquests són de mida més gran ($\leq$ 3 mm).

Es va realitzar una ANOVA amb nivell de significació de 0,05 per a quantitat de residus trobats en cada mida de tamís diferent. Així doncs, en el tamís de 0,5 mil·límetres no es pot afirmar una diferència significativa entre la quantitat de residus trobats cada transsecte. En canvi, en el tamís d'1 mil·límetre sí que hi ha diferència significativa entre la quantitat de residus, però només entre els transsectes A i B. Sent el transsecte B, el què té un nombre major de residus de mida $\leq$ 1 mm que l'A. Finalment, no tampoc es pot afirmar cap diferència significativa en la quantitat de residus trobats en cada transsecte per la mida del tamís de 3 mil·límetres (Annex 6, Annex 7 i Annex 8).

4.1.3. Diagrama de caixes per la quantitat de residus en cada transsecte

Els diagrames de caixes indiquen la quantitat de cada tipus de residus per transsecte. En el cas dels vidres (Figura 9), la mitjana de la quantitat de vidres varia en tots els transsectes, encara que és més elevada en el transsecte A i menor en el B. A més, en la distribució de tots els transsectes hi ha asimetria. En el transsecte D s'observa un valor mínim atípic que correspon a la quantificació de residus en la rèplica 3 i un valor màxim atípic que correspon a la rèplica 5.

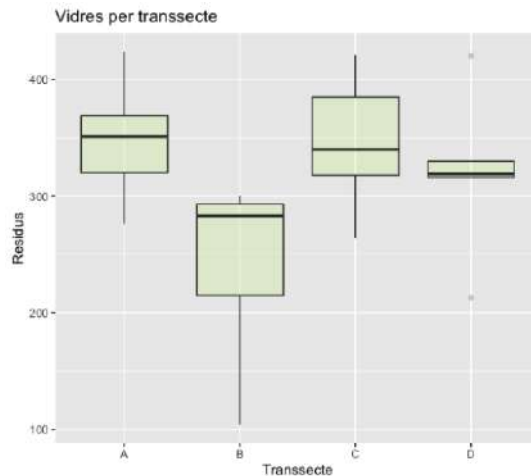


Figura 9. Diagrama de caixes per al nombre de residus del tipus vidre en cada transsecte de la platja de la Mar Bella.

En el cas dels pellets (*Figura 10*), les mitjanes són similars en tots els transsectes i la distribució més uniforme de la quantitat de pellets es troba en el transsecte C. Mentre que en els transsectes A i C és asimètrica. Tanmateix, s'observen dos valors màxims atípics que corresponen els dos a les rèpliques 5 dels transsectes A i C. En els fragments de microplàstics (*Figura 11*), la mitjana varia en tots els transsectes, tot i que és més elevada en el transsecte C i més baixa en el B. La distribució més uniforme de residus es troba en el transsecte B, els altres tenen una distribució asimètrica. S'observa un valor màxim atípic en el transsecte B que correspon a la rèplica 5.

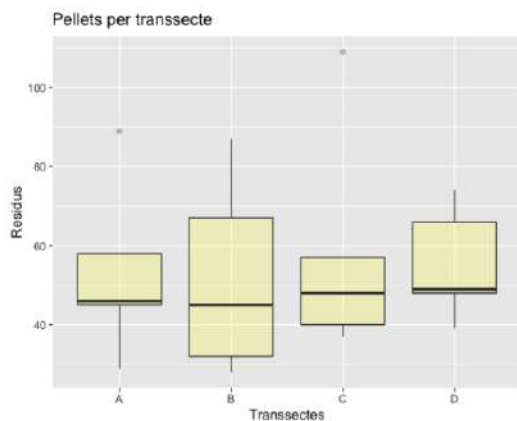


Figura 10. Diagrama de caixes per al nombre de residus del tipus pellet en cada transsecte de la platja de la Mar Bella.

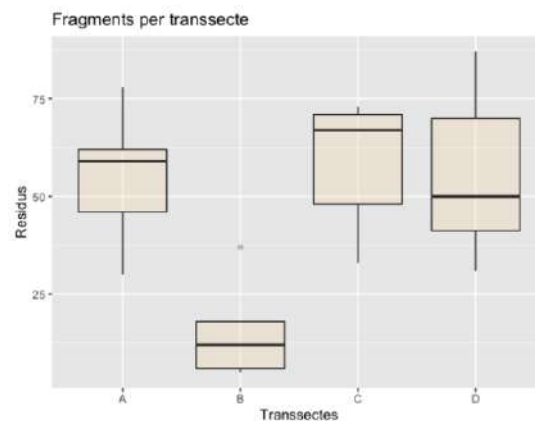


Figura 11. Diagrama de caixes per al nombre de residus del tipus fragment microplàstic en cada transsecte de la platja de la Mar Bella.

Finalment, en el cas dels residus de tipus matèria orgànica (*Figura 12*), s'observa com les fibres tenen una mitjana molt similar en tots els transsectes, en canvi la mitjana de la quantitat de fulles varia en cada transsecte, però és major en el C. Si ens fixem en les llavors, la mitjana és més elevada en el D i pràcticament 0 en el C. No hi ha cap valor en el transsecte A. En els organismes veiem com la mitjana també varia en cada transsecte. En el B s'observen dos valors

atípics un màxim que correspon al valor de la rèplica 2 i un mínim en la rèplica 5. En el cas dels pals les mitjanes de la quantitat d'aquests residus varien entre transsectes sent el D el que té la mitjana més gran. Els tres valors atípics màxims que s'observen en els transsectes A, C i D corresponen a les rèpliques 1 de cada transsecte. Finalment, els residus del tipus pèls tenen una mitjana que varia en cada transsecte, sent major a la C i 0 en el D on s'observen dos valors atípics, un màxim que correspon a la rèplica 2 i un mínim en la rèplica 3.

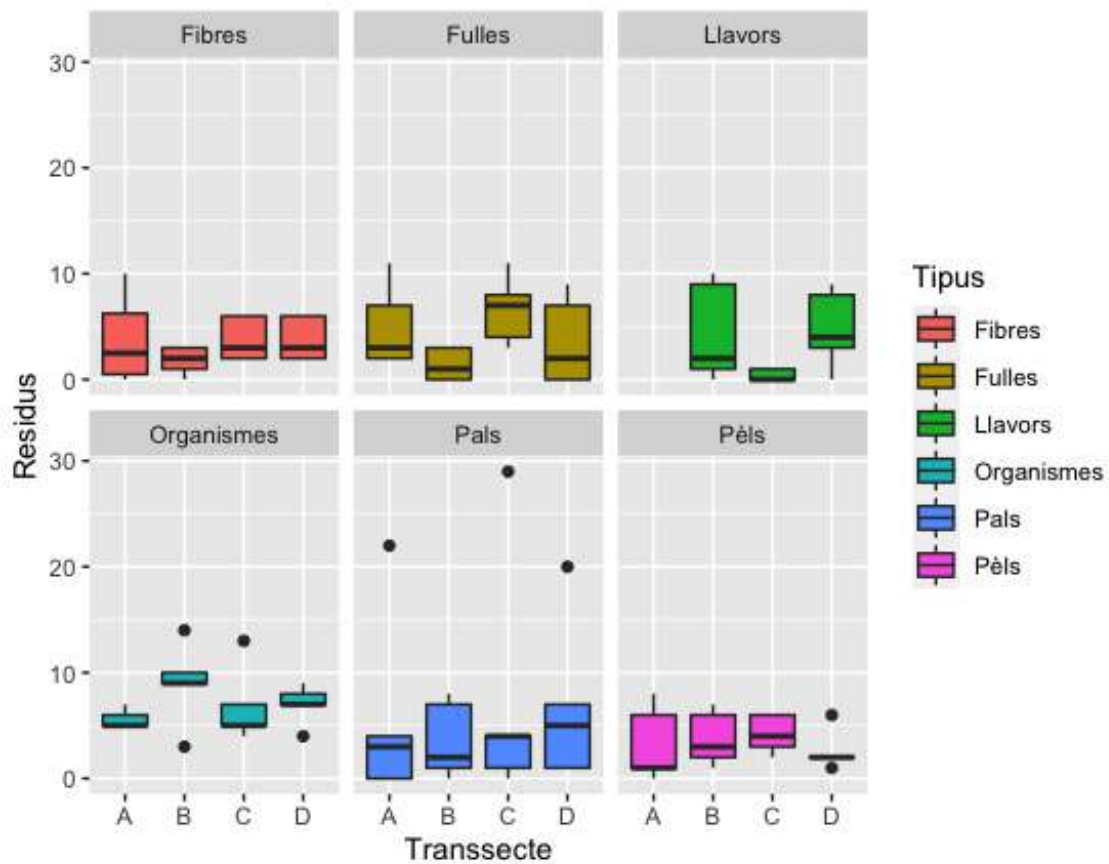


Figura 12. Diagrames de caixes per al nombre de residus del tipus matèria orgànica (Fibres vegetals, Fulles, Llavors, Organismes, Pals, Paper i Pèls) i també per a residus de tipus metàl·lic en cada transsecte de la Mar Bella.

4.1.4. Comparació entre rèpliques

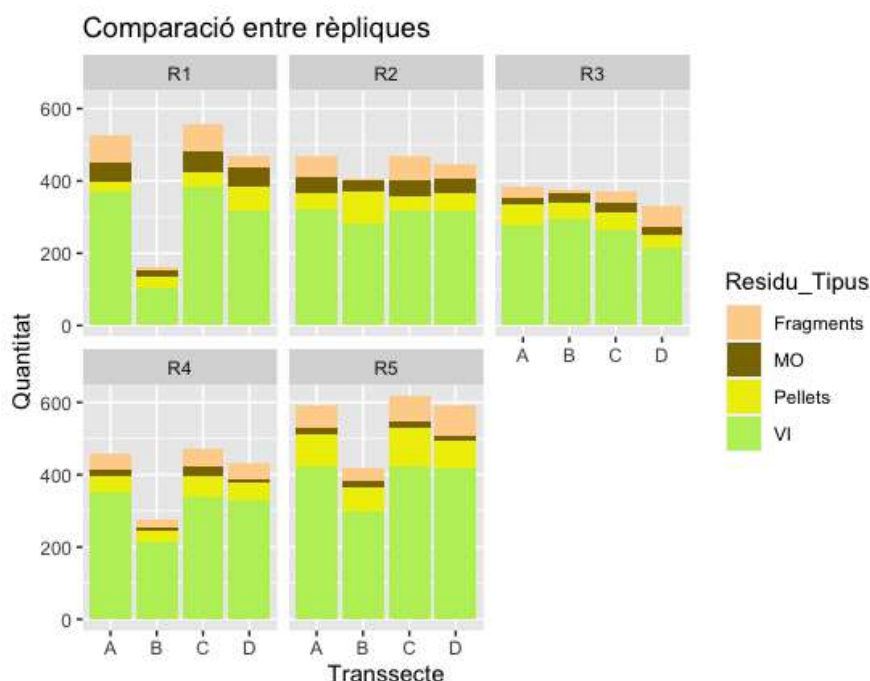


Figura 13. Gràfic de columnes apilades per els residus fragments microplàstics, matèria orgànica (MO), pellets i vidres (VI) en cada rèplica i per cada transsecte de la platja de la Mar Bella.

L'ordre de rèpliques de major a menor quantitat de residus és la següent: R5 > R1 > R2 > R4 > R3. La quantitat de residus en cada rèplica és més uniforme en R2 i R3.

Segons la distribució de les rèpliques en la platja es van comparar les R1 i les R5 de tots els transsectes i en tots els casos es va observar que la R5 té una major quantitat de residus que la R1. A més, el transsecte C és el que té més quantitat i el B el que en té menys. Tot i això, es van comparar la quantitat i el tipus de residus presents en la R1 del transsecte C amb la present en la R5 del transsecte A, tots dos situats a la part final de la platja de la Mar Bella (*Figura 4*). Es va observar que la R5 té una major quantitat de residus que la R1. Els vidres i els pellets són majoritaris a la R5 del transsecte A, en canvi, els fragments i la matèria orgànica són majoritaris a la R1 del transsecte C.

També es va comparar la quantitat i el tipus de residus en la R1 del transsecte D amb la R5 del transsecte B, tots dos situats a la part més pròxima a l'aigua de la platja. En contraposició amb les altres comparacions, en aquest cas és la R1 la que té una major quantitat de residus. Els vidres, la matèria orgànica i els pellets són majoritaris en R1 del transsecte D, en canvi els fragments són majoritaris en la R5 del transsecte B.

Es va observar que en totes les rèpliques la quantitat de pellets i fragments és inversament proporcional, és a dir, quan hi ha una major quantitat de pellets hi ha una menor quantitat de fragments i al revés.

4.2. Prova pilot de la Cala del Pi

El total de residus que es van trobar en els dos transsectes de la Cala del Pi són 1647. D'aquests el 58% correspon a vidres i només el 19% són residus microplàstics de tipus pellet i no hi ha cap fragment microplàstic. El 23% restant correspon a residus formats per matèria orgànica de diferents tipus *Figura 14*. Gràfica que mostra el percentatge de cada tipus de residu trobats en la prova pilot de la cala del Pi. (*Figura 14*).

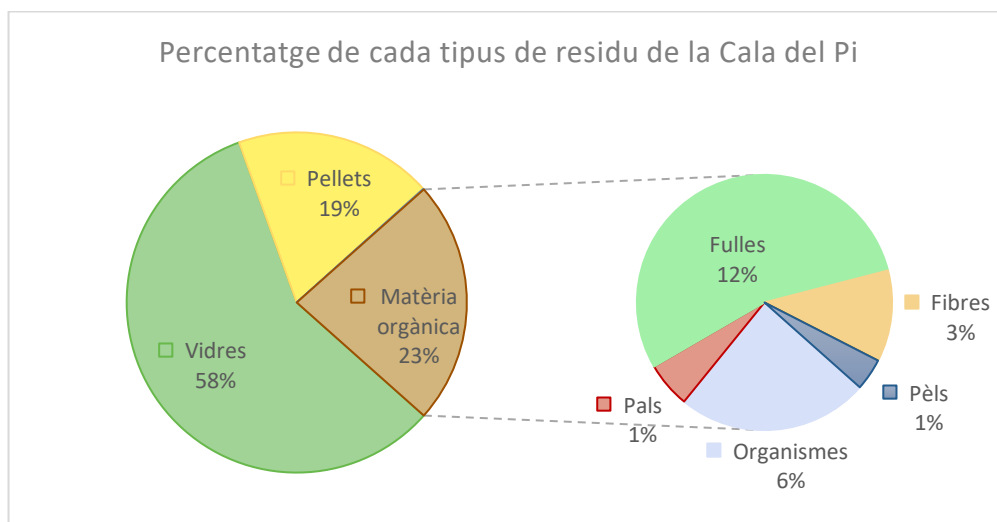


Figura 14. Gràfica que mostra el percentatge de cada tipus de residu trobats en la prova pilot de la cala del Pi.

Paral·lelament, mitjançant les mostres obtingudes es va inferir el nombre de residus presents en un metre quadrat de la cala que són 996 residus/m². D'aquests la majoria són fragments de vidre amb 577,3 vidres/m², seguits de residus formats per matèria orgànica amb 230,66 residus/m² i finalment residus de tipus microplàstics amb 188 pellets/m².

4.2.1. Quantitat de residus en cada transsecte

L'ordre de transsectes de major a menor nombre de residus és el següent A > B. El transsecte més pròxim a l'aigua (B) té un nombre major de residus (1026) en comparació amb el transsecte més pròxim al final de la cala (A) que té 621 residus. Per tant, la majoria de residus de la Cala del Pi estan situats més pròxims a l'aigua que a la línia final de la cala (*Figura 5*).

Es va realitzar un test ANOVA amb el nivell de significació de 0,05 per a la quantitat de residus en els dos transsectes. El P valor entre els dos transsectes és de 0,05 per tant amb un nivell de confiança de 95% s'accepta que hi ha una diferència significativa entre la quantitat de residus en els dos transsectes (A i B) (*Annex 9, Annex 10 i Annex 11*).

4.2.2. Diferència entre quantitat de residus per el tipus de mida del tamís

La majoria de residus de la Cala del Pi tenen una mida $\leq$ a 3 mil·límetres, ja que el tamís que va retenir el nombre més gran de residus durant els mostrejos va ser aquest, retenint 989 residus respecte als 668 obtinguts amb el tamís d'1 mil·límetre de diàmetre. Tots els tipus de residus excepte els pals són majoritàriament de mida $\leq$ a 3 mil·límetres (*Figura 15*).

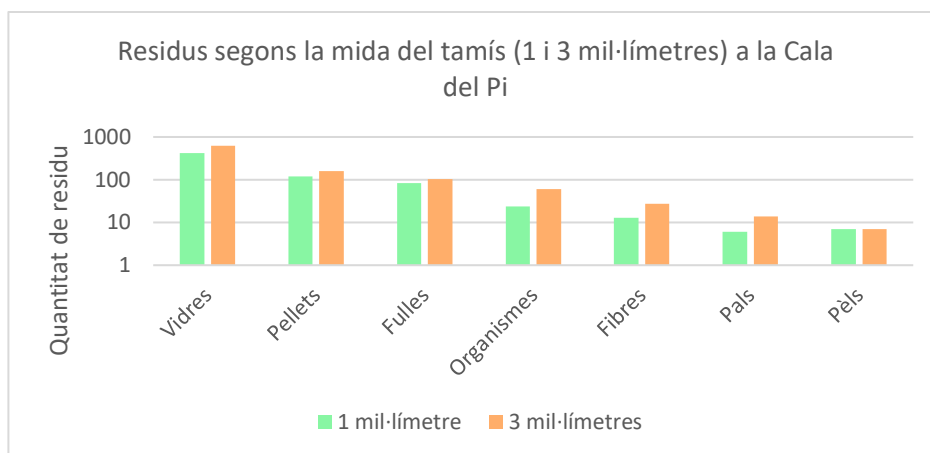


Figura 15. Gràfica que mostra la quantitat de cada tipus de residu en escala logarítmica segons la seva mida ($\leq$ a 1 mil·límetre o $\leq$ a 3 mil·límetres) a la Cala del Pi.

Tant el transecte A com el B tenen la majoria de residus de mida $\leq$ a 3 mil·límetres. Malgrat això, no es pot demostrar que la quantitat de residus difereixi de manera significativa entre els dos tipus de mida de tamís. Per tant, no hi ha diferència significativa entre la quantitat de residus trobats de mida $\leq$ 1 mm ni els residus de mida $\leq$ 3 mm entre els transectes A i B (*Annex 9*, *Annex 10* i *Annex 11*).

4.2.3. Diagrama de caixes per la quantitat de residus en cada transecte

Els diagrames de caixes indiquen la quantitat de cada tipus de residus per transecte. En el cas dels vidres (*Figura 16*) la mitjana de la quantitat de vidres és major en el transecte B que en el A, la distribució és asimètrica en els dos transectes. En el cas dels pellets (*Figura 17*), la mitjana és més elevada en el transecte B que en el A. En canvi, és el transecte A, el que té una distribució més simètrica.

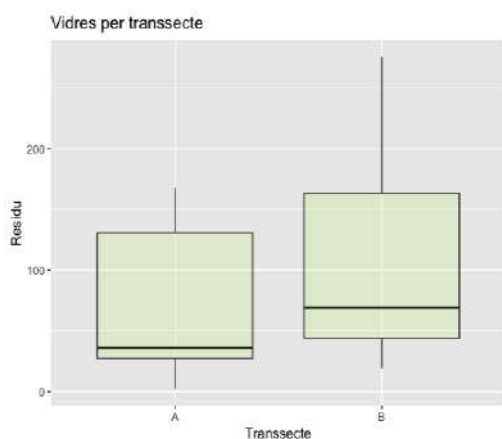


Figura 16. Diagrama de caixes per al nombre de residus del tipus vidre en cada transecte de la Cala del Pi.

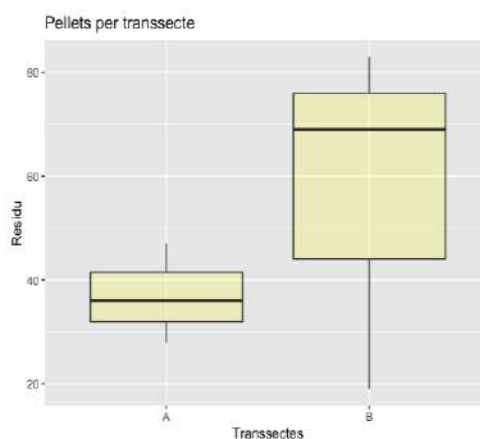


Figura 17. Diagrama de caixes per al nombre de residus del tipus pellet en cada transecte de la Cala del Pi.

En el cas dels residus de tipus matèria orgànica (*Figura 18*), s'observa com les fibres tenen una mitjana similar en els dos transectes. En canvi, la mitjana de la quantitat de fulles varia molt i és major en el transecte B. Si ens fixem en els organismes la mitjana és major i més uniforme

en el transecte B. En canvi en el A la mitjana és més petita i la distribució asimètrica. Finalment tant en els residus de tipus pals i en els de tipus pèls la mitjana és molt pròxima a 0 però una mica més elevada en el transecte B que en el A.

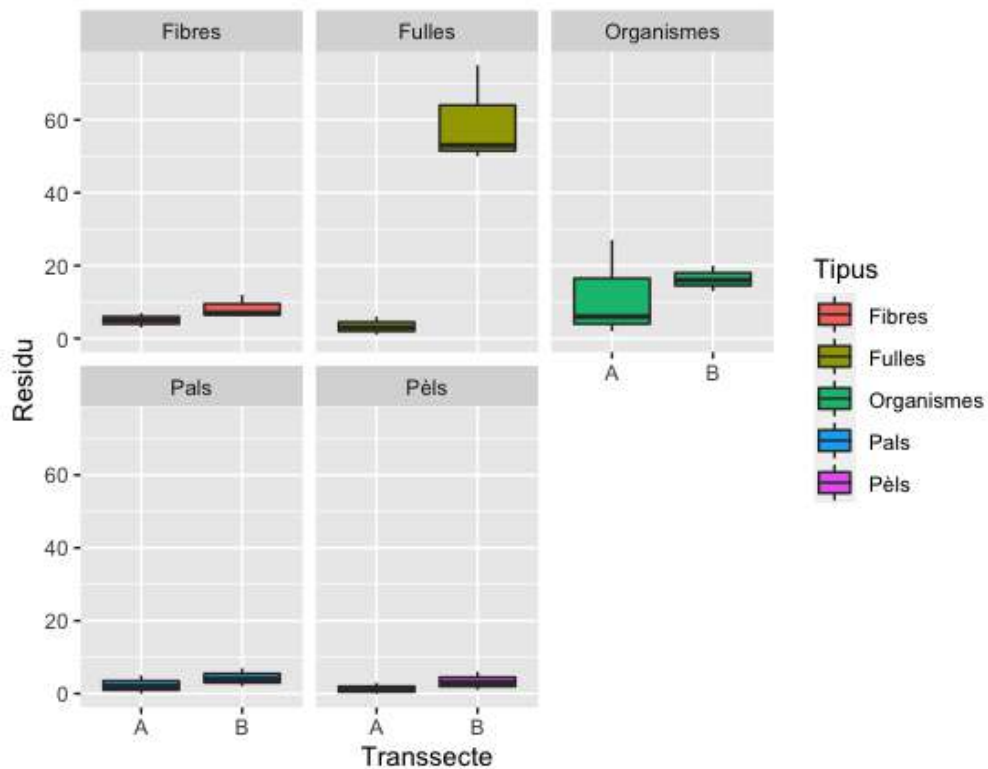


Figura 18. Diagrames de caixes per al nombre de residus del tipus matèria orgànica (Fibres vegetals, Fulles, Llavors, Organismes, Pals, Paper i Pèls) i en cada transecte de la Cala del Pi.

4.2.4. Comparació entre rèpliques

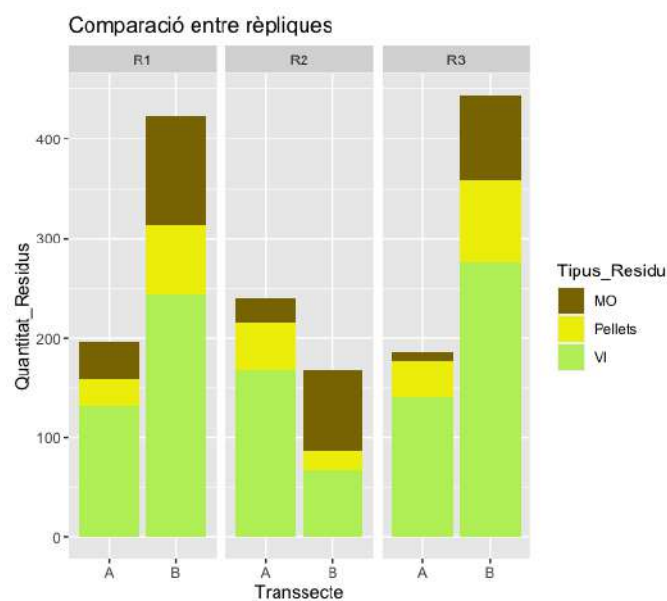


Figura 19. Gràfic de columnes apilades per els residus fragments microplàstics, matèria orgànica (MO), pellets i vidres (VI) en cada rèplica i en cada transecte de la cala del Pi.

L'ordre de rèpliques de major a menor quantitat de residus és la següent: $R3 > R1 > R2$. La quantitat de residus en cada rèplica és més uniforme en R2. El residu majoritari de les cinc rèpliques és el vidre seguit de matèria orgànica i finalment pellets.

Segons la distribució de les rèpliques en la platja s'ha realitzat les següents comparacions: les R1 i les R3 dels dos transsectes. En el transsecte B és R3 la que té una lleugera major quantitat de residus en comparació amb R1. En canvi, en el transsecte A és la rèplica R1 la que és lleugerament superior en quantitat de residus que la R3.

4.3. Comparació de les dues zones de mostreig

El nombre total de residus és major a la platja de la Mar Bella de Barcelona que a la Cala del Pi de Platja d'Aro. En les dues zones de mostreig el residu que més predomina és el vidre. A la Mar Bella després del vidre hi trobem pellets (microplàstics de mida compresa entre 2 i 5 mm), fragments microplàstics i finalment matèria orgànica, on hi predominen organismes seguits de pals, fulles, pèls, llavors i finalment fibres. En canvi, a la Cala del Pi després de vidres hi ha residus del tipus matèria orgànica i finalment microplàstics però només pellets. No hi ha cap fragment microplàstic en aquesta zona ja que no es van trobar partícules de 0.5 mil·límetres. La matèria orgànica per ordre de major a menor a la cala és la següent: fragments de fulles, organismes, fibres vegetals, pèls i pals. A la Cala del Pi no es va comptabilitzar cap residu metàl·lic en canvi a al Mar Bella abunden (*Figura 7, Figura 8, Figura 14, i Figura 15*).

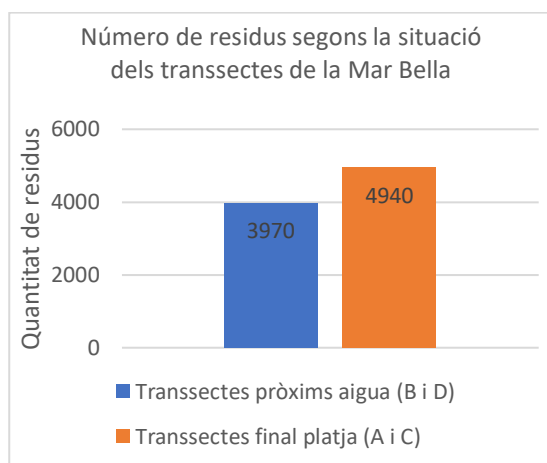


Figura 20. Gràfica que mostra el número de residus trobats en els transsectes situats més pròxims a l'aigua (B i D) i els transsectes situats a la part final de la platja (A i C) de la Mar Bella.

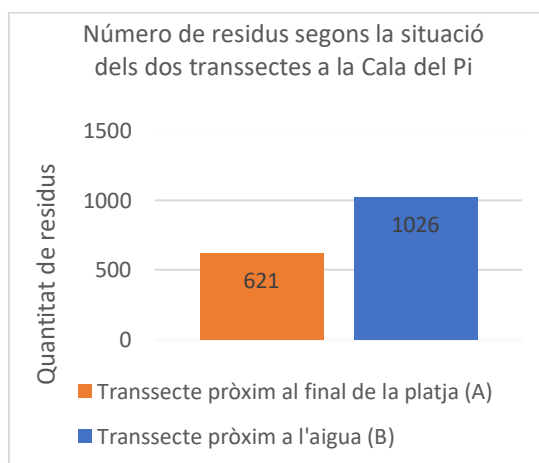


Figura 21. Gràfica que mostra el número de residus trobats en el transsecte més pròxim al final de la cala (A) i el transsecte més pròxim a l'aigua (B) de la Cala del Pi.

Comparant les dues zones estudiades, es va observar que els transsectes amb major quantitat de residus de la Mar Bella corresponen als de la part final de la platja (A i C). Per contra, a la Cala del Pi, la zona que més residus té correspon al transsecte més pròxim a l'aigua (B) (*Figura 20 i Figura 21*). No obstant això, no es pot demostrar una diferència significativa entre la quantitat total de residus trobats en cada zona d'estudi. A més, la hipòtesi de normalitat i homogeneïtat de variàncies és dubtosa una possible explicació seria la baixa quantitat de mostres (*Annex 12, Annex 13 i Annex 14*).

Es va realitzar un test ANOVA amb un nivell de significació 0,05 per a la quantitat de cada tipus de residu en les dues zones d'estudi. Així doncs, amb un nivell de confiança del 95% es pot afirmar que la quantitat de residus del tipus matèria orgànica quantificats a la platja de la Mar Bella i els quantificats a la Cala del Pi difereixen significativament i que és la cala la que té un major nombre d'aquests (*Annex 21, Annex 22 i Annex 23*). Tanmateix, es pot afirmar amb un nivell de confiança del 95% que la quantitat de vidres de les dues zones és significativament diferent, sent la platja de la Mar Bella la que té una major concentració (*Annex 15, Annex 16 i Annex 17*). Finalment, en el cas dels residus tipus pellet no es pot demostrar que hi hagi una diferència significativa entre la quantitat d'aquests residus entre les dues zones de mostreig (*Annex 18, Annex 19 i Annex 20*). No es van comparar els residus de tipus fragments microplàstics ni metàl·lics ja que durant el mostreig a la Cala del Pi no se'n van comptabilitzar.

5. Discussió

5.1. Proves pilot

En les proves pilot per testar el protocol de mostreig de microplàstics i altres residus a la sorra, no s'han observat diferències significatives en la quantitat total de residus presents a les dues zones d'estudi. Les dades obtingues mostren una possible relació entre l'abundància de residus i el nivell d'urbanització de la zona de mostreig. La platja de la Mar Bella, pròxima a la ciutat de Barcelona, té un nombre major de residus per metre quadrat respecte la Cala del Pi, situada a un quilòmetre del municipi de Platja d'Aro. Aquesta relació s'ha demostrat en forma de correlació positiva en altres indrets del mar Mediterrani i el mar Bàltic (Asensio-Montesinos et al., 2019), mostrant així que les platges pròximes a zones més urbanitzades presenten un nombre major de residus i per tant, són hàbitats on la contaminació, al ser més elevada, afecta a l'ecosistema i a les xarxes tròfiques que perden la seva qualitat biològica i es tornen més vulnerables.

Una altra dada interessant, fruit de l'anàlisi de les dades de les proves pilot, és que a la platja de la Mar Bella s'ha observat una relació entre la quantitat de residus comptabilitzats en els quatre transsectes i la distància d'aquests de la línia de l'aigua. Els transsectes més pròxims al final de la platja (A i C) tenen un nombre de residus major que els transsectes més pròxims a l'aigua (B i D) (*Figura 4*). Però a nivell estadístic, els resultats mostren una diferència poc significativa entre la quantitat de residus trobats entre A i C i entre A i B. Tot i així, entre aquests dos últims transsectes amb un nivell de significació del 95%, el resultat del P valor és molt proper a 0,05. De manera, que amb un nivell de significació de 90% si que es podrien arribar a acceptar diferències entre la quantitat de residus dels dos transsectes. El transsecte A, pròxim al final de la platja i situat al costat de l'espigó de Bac de Roda, té una major quantitat de residus, possiblement per la dificultat en netejar aquesta zona de la platja. En canvi, el transsecte B, més pròxim a l'aigua, té el menor nombre de residus respecte la resta de transsectes. Entre els transsectes C i D no hi ha una diferència significativa en la quantitat de residus però les dades mostren una major quantitat de residus en el C, probablement per ser una zona més pròxima al final de la platja i amb major afluència de gent. Finalment, els transsectes que més difereixen en quantitat de residus són C i B ja que estan molt separats entre si i el C es troba en una zona de major afluència de gent i per tant s'hi troben més residus respecte el B, que està pròxim a l'aigua (*Figura 4, Annex 1*).

La segona zona d'estudi, la Cala del Pi, només té dos transsectes (A i B) a causa de la seva menor amplada. Malgrat que el transsecte més pròxim a l'aigua (B) té un major nombre de residus respecte el transsecte més proper al final de la cala (A), no es poden demostrar diferències significatives en la quantitat de residus presents els dos transsectes. Aquest fet, probablement sigui a causa de la poca distància entre transsectes, per ser una cala molt estreta on només hi ha una separació de 10 metres entre A i B i 21,5 metres entre rèpliques. (*Figura 5, Annex 2*).

5.1.1. Origen dels residus

La Cala del Pi és una platja de difícil accés i amb una baixa afluència de públic durant l'hivern. El mostreig en aquesta zona es va realitzar el mes de desembre. Així doncs, probablement l'origen

de la majoria dels residus trobats en aquesta zona siguin aportats pel mar i també de diverses fonts antropogèniques. En canvi, la platja de la Mar Bella és una platja urbana de la ciutat de Barcelona i de fàcil accés, per tant, té una gran aflluència de gent durant tot l'any. Aquesta zona té una elevada presència de residus al fons marí en àrees pròximes a la platja com a conseqüència dels efluents que s'aboquen directament des de l'espigó de Bac de Roda en episodis de fortes pluges. (Ventura et al., 2019) (*Annex 3*). Els residus romanen al fons del mar i quan hi ha mar de fons de llevant o forts temporals es dipositen sobre la sorra de la platja de la Mar Bella (*Annex 4*). La localització majoritària dels residus en els transsectes de la part final de la platja fa pensar que probablement la majoria de residus siguin d'origen terrestre i hagin arribat transportats pel vent, per la gestió ineficaç dels residus generats a la ciutat de Barcelona (Browne et al., 2011; Ventura et al., 2019) o siguin deixalles abandonades a la platja que es desintegren en el medi ambient per fragmentació física, fotodegradació o biodegradació (GESAMP, 2019).

5.1.2. Tipus de residus

En les dues zones d'estudi, el tipus de residu majoritari és el vidre (*Figura 7, Figura 14*), un material que es pot considerar indicador de presència humana. L'elevada quantitat trobada en els mostrejos, probablement deriva de la fragmentació d'aquest material per l'acció de factors físics i biològics de vidres més grans presents en les poblacions de l'entorn de les platges. Anys d'abocament de residus com ampolles o altres objectes formats per vidres a l'aigua són responsables de l'elevada concentració d'aquest material a les platges. Les peces de vidre quan arriben a l'aigua, es van trencant per l'acció de les onades i l'aigua salada i la fricció amb altres materials va desgastant els fragments fins a deixar-los arrodonits i amb una forma similar a un gra de sorra. A més, de tots els residus estudiats en aquest treball, el vidre és el que té un major pes i una composició química i mineral més similar a la sorra. Això fa que sigui un residu present a les platges i no perjudicial, ja que no allibera productes químics nocius al medi ambient com el plàstic (D'Alessandro et al., 2018). La seva estructura química, morfologia i color facilita que s'integri més fàcilment a l'entorn i que en alguns indrets es trobi en una quantitat molt elevada que, fins i tot, arribi a cobrir algunes platges.

Encara que en aquest treball, amb estudi preliminar de camp, els resultats indiquen que el residu predominant és el vidre, globalment els estudis mostren que són els plàstics i sobretot són els de mida microscòpica (microplàstics) els residus més comuns al mar i al litoral (Asensio-Montesinos et al., 2019; Consoli et al., 2018; Frias & Nash, 2019; GESAMP, 2019) i també els més perjudicials. Si ens centrem en els microplàstics, dels dos tipus quantificats en aquest treball, els pellets són els més comuns a la natura (Karlsson et al., 2018) i els predominants en les dues zones d'estudi (*Figura 13, Figura 19*). Malgrat això, hi ha pocs estudis sobre la seva distribució i els seus efectes en el medi ambient (Karlsson et al., 2018). A part de les pèrdues econòmiques derivades del cost de netejar de forma superficial les platges contaminades amb microplàstics (Ariza et al., 2008), els pellets i els fragments, l'altre tipus de microplàstic quantificat en aquest treball, són ingerits per organismes i introduïts a la cadena alimentària (Setälä et al., 2016). L'absorció dels microplàstics pot tenir lloc en els processos normals de ventilació (Watts et al., 2016) o poden ser directament ingerits per organismes en confondre'ls amb partícules alimentàries a causa de la seva mida, forma, olor i color. El dany causat per pellets i fragments ingerits poden ser de tipus mecànic, per l'obstrucció del tracte digestiu o que dificultin la

mobilitat de l'organisme al quedar-se enganxats a la superfície del seu cos i per contaminació química i metabòlica. (Setälä et al., 2016). La toxicitat dels materials que els formen és molt perjudicial i pot generar canvis en el metabolisme, en el comportament i, fins i tot, desencadenar la mort dels organismes (Nobre et al., 2015). A més, els microplàstics també poden acumular substàncies hidròfobes nocives de l'aigua que els envolta i les conseqüències per als organismes d'aquest fer, ara per ara, són desconegudes.

La platja de la Mar Bella té una concentració major de microplàstics que de matèria orgànica (fragments vegetals, fragments de fulles, llavors, pèls, papers). En canvi, la Cala del Pi presenta una major concentració de matèria orgànica que de microplàstics. S'ha demostrat la relació entre una major afluència humana i una major presència de residus (Asensio-Montesinos et al., 2019) però no de quin tipus de residus. Els resultats de les proves pilot mostren una major quantitat de vidres i plàstics a major afluència humana però no dels residus de matèria orgànica. Encara que les dades no són significatives per afirmar una relació, la matèria orgànica quantificada durant els mostrejos és més gran a la Cala del Pi que a la platja de la Mar Bella. És a dir, la zona amb menys afluència humana i més allunyada d'un nucli urbà té més quantitat de matèria orgànica (*Figura 18*). Tanmateix, a la Cala del Pi la matèria orgànica està formada principalment per fragments de fulles de l'espècie *Posidonia oceanica*. El fons marí pròxim a la cala és sorrenc i ple de praderes de posidònia (Santiago et al., 2021). Aquesta s'acumula després de temporals a la sorra de la platja, sobretot en platges semitancades com és el cas de la Cala del Pi. L'acumulació de fragments de posidònia protegeix la platja i ofereix una resistència considerable a l'erosió, com ja s'ha demostrat en altres platges d'Austràlia, Sud-àfrica o Holanda (Gómez-Pujol et al., 2013). Per contraposició, dels fragments de fulles i de les llavors trobades a la Mar Bella, s'han identificat espècies d'arbres plantats al passeig marítim o a la platja com el *Celtis australis* o *Washingtonia robusta*. Així doncs, s'han distingit dos orígens diferents dels fragments de fulles segons la zona d'estudi. A la Cala del Pi els fragments tenen origen en el fons marí, mentre que la platja de la Mar Bella els fragments de fulles provenen dels arbres pròxims a la platja, i per tant, de terra.

5.1.3. Localització de les rèpliques

Les rèpliques número 1 dels transectes A i B de la platja de la Mar Bella estan situades a l'extrem nord de la platja, pròximes a l'espigó Bac de Roda, una zona rocosa i difícil de netejar de la platja per tant, s'esperaria que en les R1 d'aquests dos transectes hi hagi més quantitat de residus. Els resultats mostren que les R1 en tots els transectes excepte el B tenen una quantitat de residus major en comparació amb les R2, R3 i R4, però no amb les R5 (*Figura 13*).

La quantitat elevada de residus en la R1 del transecte A es podria explicar per què és una zona difícil de netejar, on el garbellament no es pot fer mecànicament i s'ha de fer amb un model de màquina més petit i autopropulsat (Àrea Metropolitana Barcelona, 2020) que probablement no és tan efectiu com la màquina de garbellament mecànica. En canvi, en el transecte B la quantitat de residus és molt baixa, probablement per la proximitat de la R1 a l'aigua (*Figura 4*) i de les roques, que dificulta que els residus que arriben es quedin dipositats i que l'acció de les onades amb les roques possiblement arrossegui els residus d'aquesta zona cap al mar. En canvi, la R1 del transecte C es troba a la part final de la platja i és pròxima a una passarel·la de fusta que condueix a les dutxes (*Annex 1*). Per aquesta zona tampoc hi pot passar la garbelladora gran

i la neteja s'ha de fer amb la màquina més petita i aquesta és l'explicació de per què la majoria de residus de la R1 es concentren en aquest transsecte (*Figura 13*). Finalment, el transsecte D situat a prop de l'aigua té una quantitat de residus similar a les R2.

Les R2 tenen una quantitat similar de residus, sent el transsecte B el que té la menor concentració. Així mateix, les R3 tenen també una menor quantitat de residus, igual que la R4, que encara que tingui una major variabilitat entre transsectes la quantitat de residus no és tant elevada com a les R1 i R5. Aquest fet, sigui probablement per què la neteja de la zona es realitza amb la màquina automàtica de garbellament.

En el cas de les R5, són les rèpliques amb una quantitat de residus similars entre transsecte excepte el B que és molt menor. En el transsecte A, la rèplica 5 es troba pròxima a la passarel·la de fusta que condueix a les dutxes, on no hi pot passar la garbelladora automàtica. Però el transsecte C és el que té una major concentració de residus i probablement sigui per la proximitat amb el final de la platja i a una altra zona de dutxes (*Figura 4, Annex 1*).

Els resultats mostren una possible relació entre la quantitat de residus i el mètode de neteja que s'utilitza en cada zona de la platja de la Mar Bella, però no es disposa de suficients dades per comprovar-la. Així doncs, en el futur quan s'hagi realitzat un seguiment de la Mar Bella i es tinguin més dades, es podria comprovar aquesta relació per així tenir en compte el tipus de neteja i la seva efectivitat.

La segona zona d'estudi, la Cala del Pi, només es neteja manualment durant els mesos d'estiu (Santiago et al., 2021). Tot i això, la quantitat total de residus no difereix estadísticament de la quantitat de residus de la Mar Bella (*Annex 12*). Les rèpliques 1 i 3, situades una a cada extrem de la cala (*Figura 5*), són les que tenen una major quantitat de residus, sobretot en el transsecte B (*Figura 18*). Els laterals de la Cala del Pi són rocosos i semitancats per la forma de la platja (*Annex 2*), probablement la morfologia és responsable de la retenció de residus en les zones laterals de la cala. En canvi, les rèpliques 2 tenen una quantitat menor de residus en general i el transsecte A, tant de la rèplica 2 com de la 3, concentren una baixa quantitat de residus de tipus matèria orgànica i una elevada quantitat de vidres i de pellets (*Figura 19*). Aquest fet es podria explicar per què al costat de la rèplica 2 i pròxim a la rèplica 3 del transsecte A s'acaba la platja i comencen unes escales amb elevat pendent que condueixen fins a una urbanització i probablement en aquesta zona es produeixi una major acumulació de residus (*Annex 2*).

En general, en les dues zones de mostreig s'observa una major quantitat de residus en les rèpliques dels extrems en comparació amb les rèpliques del mig, probablement per què els laterals de les dues àrees d'estudi són zones rocoses, on és més fàcil que s'acumulin els residus.

5.2. Millores del protocol

La quantitat de residus per metre quadrat és una mesura informativa per inferir en el grau de contaminació d'una platja i que permet realitzar comparatives entre platges (Asensio-Montesinos et al., 2019). Tot i això, hi ha moltes partícules enterrades a la sorra i només mostrejant la capa més superficial no es poden detectar, ja que a les platges més contaminades la part més superficial (5-10 centímetres) suporta menys del 10 % de residus totals de la platja (GESAMP, 2019). En el protocol dissenyat en aquest treball es va agafar una capa d'1 centímetre

de gruix que és insuficient per extreure conclusions sobre les partícules enterrades i la distribució vertical dels residus a les zones d'estudi (Turra et al., 2014). Així doncs, en un futur es planteja tenir en compte la distribució vertical dels residus en el protocol afegint directrius per mostrejar verticalment la sorra.

La millora en el coneixement del comportament dels residus en sediments és útil per adequar i millorar les estratègies de mostreig. A més, la identificació del tipus de polímer que forma els microplàstics és útil per inferir l'origen de les partícules (GESAMP, 2019) i la seva perillositat. Així doncs, l'estudi de les fonts de les deixalles marines és necessari per obtenir informació del tipus de residus, de les seves vies d'entrada per així establir mesures correctores i minimitzar-los. Assignar una font específica a les partícules de microscòpiques un cop han arribat a la platja és complicat, de manera que es busquen altres camins per inferir l'origen de les partícules, com avaluar els tipus de residus i les concentracions en possibles fonts puntuals com col·lectors (Ventura et al., 2019) o rius. Aquest fet pot ajudar a tenir un millor coneixement de les tendències d'entrada de residus al mar o a la platja (Veiga et al., 2016; Vlachogianni et al., 2013). Estudiar les fonts dels residus des de les platges també pot ajudar a disminuir-ne la quantitat per implementar mesures i reglaments per gestionar les possibles fonts de contaminació i així, disminuir els residus de mida microscòpica, sobretot dels residus que es puguin prevenir en l'origen com els microplàstics primaris. Tot i que també s'ha d'abordar l'alliberament d'objectes de mida més gran a la terra i al mar que es puguin fragmentar en trossos més petits, no quantificables ni identificables com els residus d'aquest estudi (*Figura 6*). El futur protocol pretén inferir més en les fonts potencials d'aportació de residus a les zones estudiades, com ara el riu Besòs i Llobregat que envolten la Mar Bella o el port de Barcelona i el port de Platja d'Aro pròxim a la Cala del Pi. També pretén estudiar l'acumulació dels residus a la columna d'aigua marina establint transsectes de control mitjançant l'ús de xarxes de plàncton adaptades per capturar microplàstics i micro-fibres.

És important incidir en la necessitat que la gestió del mar i de les zones costaneres es faci de manera integrada i compromesa, però la realitat és que només a Catalunya cada nivell de govern (central, regional i local) té diferents jurisdiccions i, per tant, regulen diferents activitats en diferents parts de la costa i no hi ha una estratègia de gestió conjunta que dificulta treballar en la disminució dels residus (Ariza et al., 2008).

Aquest treball es el primer pas per a donar una solució a la necessitat de consensuar metodologies de mostreig per a poder fer comparatives de dades obtingudes en diferents estudis, en aquest cas de dades obtingudes en diferents estacions SILMAR del litoral català i balear. Ja que el disseny del protocol s'ha de poder adaptar a les platges, però també s'ha de poder comparar entre les diferents zones d'estudi (Asensio-Montesinos et al., 2019).

Un cop realitzades les millores del protocol esmentades anteriorment i es pugui iniciar el mostreig en totes les estacions de la xarxa SILMAR s'obtindrà una base de dades amb el nivell de contaminació de les zones litorals i de les platges, amb l'objectiu final d'impulsar estratègies efectives per disminuir els nivells de contaminació i avaluar l'eficàcia dels processos analitzant les tendències a les canvis i finalment millorar la qualitat ecològica de les zones litorals.

6. Conclusions

A partir del disseny i el test preliminar del protocol d'estudi de la presència de residus a les zones litorals podem extreure les següents conclusions:

- Els resultats preliminars mostren l'elevada quantitat de residus present en dos punts litorals d'estudi testats que formen part de les estacions de la Mar Bella de Barcelona i de la Cima de Castell-Platja d'Aro dins de la xarxa d'estacions SILMAR.
- Es demostra la necessitat d'incorporar millores al protocol dissenyat en aquest estudi per seguir quantificant el nivell de contaminació del litoral, com proposar l'estudi vertical de les platges, identificar el tipus de polímer que forma el plàstics i estudiar les fonts de les deixalles marines
- Amb el protocol ajustat i operatiu hi haurà la necessitat d'estandarditzar el protocol de mostreig i l'anàlisi de les mostres per poder comparar les dades de diferents estudis i de treballar conjuntament per conèixer i disminuir el nivell de contaminació del litoral.

Derivat de les proves pilot, s'extreuen les següents conclusions:

- La platja de la Mar Bella té una major concentració de residus per metre quadrat en comparació a la Cala del Pi, per tant, s'intueix una relació directe entre el grau d'artificialització del medi i la presència humana a la quantitat de residus de les platges i la seva composició.
- La majoria de matèria orgànica d'origen natural es concentra a la Cala del Pi, una zona ecològicament més natural, amb menor aflluència humana i més lluny d'un nucli urbà.
- En contraposició a les hipòtesis inicials plantejades en aquest estudi, el vidre és el residu més abundant, el qual podem considerar menys contaminant i està directament relacionat amb la presència humana. Finalment, el protocol fins ara no ha estat capaç de detectar la presència massiva de microplàstics en zones litorals humanitzades en contraposició al que expressa la bibliografia de referència.

7. Bibliografia

- Andrady, A. L., & Neal, M. A. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1977–1984. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304>
- Àrea Metropolitana Barcelona. (2020). *Territori - Gestió i Serveis*. <https://www.amb.cat/web/territori/espai-public/platges/gestio-i-serveis>
- Ariza, E., Jiménez, J. A., & Sardá, R. (2008). A critical assessment of beach management on the Catalan coast. *Ocean and Coastal Management*, 51(2), 141–160. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2007.02.009>
- Asensio-Montesinos, F., Anfuso, G., & Williams, A. T. (2019). Beach litter distribution along the western Mediterranean coast of Spain. *Marine Pollution Bulletin*, 141(November 2018), 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.031>
- Baini, M., Pedà, C., Panti, C., Caliani, I., Casini, S., Leonzio, C., & Fossi, M. C. (2017). Bioindicator selection in the strategies for monitoring marine litter in the Mediterranean Sea; Plastic Busters. *UN-SDSN Med*, 2017.
- Barcelona, A. de. (2020). *Platja de la Mar Bella*.
- Bergmann, M., Gutow, L., & Klages, M. (2015). Marine Anthropogenic Litter. In *Springer* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01360>
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science and Technology*, 45(21), 9175–9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>
- Castells, A. P. d'Aro-. (2020). *Guia de Platjes*. <https://www.platjadaro.com/serveis/guiaplages>
- Consoli, P., Andaloro, F., Altobelli, C., Battaglia, P., Campagnuolo, S., Canese, S., Castriota, L., Cillari, T., Falautano, M., Pedà, C., Perzia, P., Sinopoli, M., Vivona, P., Scotti, G., Esposito, V., Galgani, F., & Romeo, T. (2018). Marine litter in an EBSA (Ecologically or Biologically Significant Area) of the central Mediterranean Sea: Abundance, composition, impact on benthic species and basis for monitoring entanglement. *Environmental Pollution*, 236, 405–415. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.097>
- Consoli, P., Scotti, G., Romeo, T., Fossi, M. C., Esposito, V., D'Alessandro, M., Battaglia, P., Galgani, F., Figurella, F., Pragnell-Raasch, H., & Andaloro, F. (2020). Characterization of seafloor litter on Mediterranean shallow coastal waters: Evidence from Dive Against Debris®, a citizen science monitoring approach. *Marine Pollution Bulletin*, 150(November 2019), 110763. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110763>
- Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., Palma, Á. T., Navarro, S., García-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernández-de-Puelles, M. L., & Duarte, C. M. (2014). Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(28), 10239–10244. <https://doi.org/10.1073/pnas.1314705111>
- D'Alessandro, M., Esposito, V., Porporato, E. M. D., Berto, D., Renzi, M., Giacobbe, S., Scotti, G., Consoli, P., Valastro, G., Andaloro, F., & Romeo, T. (2018). Relationships between plastic litter and chemical

- pollutants on benthic biodiversity. *Environmental Pollution*, 242(2018), 1546–1556. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.002>
- Deidun, A., Gauci, A., Lagorio, S., & Galgani, F. (2018). Optimising beached litter monitoring protocols through aerial imagery. *Marine Pollution Bulletin*, 131(April), 212–217. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.033>
- Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., & Reisser, J. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE*, 9(12), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- European Commission. (2013). *MSDF Guidance on Monitoring Marine Litter*. <https://doi.org/10.2788/99475>
- Frias, J. P. G. L., & Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138(September 2018), 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
- Frias, J., Pagter, E., Nash, R., O'Connor, I., Carretero, O., Filgueiras, A., Viñas, L., Gago, J., Antunes, J., Bessa, F., Sobral, P., Goruppi, A., Tirelli, V., Pedrotti, M. L., Suaria, G., Aliani, S., Lopes, C., Raimundo, J., Caetano, M., ... Gerdt, G. (2018). Standardised protocol for monitoring microplastics in sediments. *JPI-Oceans BASEMAN Project, May*, 33. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36256.89601/1>
- Galgani, F., Hanke, G., Werner, S., & de Vrees, L. (2013). Framework Directive. *ICES Journal of Marine Science*, 70(2013), 1055–1064.
- GESAMP. (2019). *Examples of factors affecting the dynamics of litter on a sandy beach* [Image]. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/Examples-of-factors-affecting-the-dynamics-of-litter-on-a-sandy-beach_fig10_332303489
- GESAMP. (2019). Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean. *GESAMP Reports & Studies Series*, 99, 130. <http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for-the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean>
- GESAMP. (2019). *Size categories of plastic marine litter, assuming near-spherical form* [Table].
- Gómez-Pujol, L., Orfila, A., Álvarez-Ellacuría, A., Terrados, J., & Tintoré, J. (2013). Posidonia oceanica beach-cast litter in Mediterranean beaches: a coastal videomonitoring study. *Journal of Coastal Research*, 165(65), 1768–1773. <https://doi.org/10.2112/si65-299.1>
- GRID-Arendal. (2018). *Pathways and fluxes of plastics into the ocean* [Image]. Retrieved from <https://www.grida.no/resources/6933>
- GRID-Arendal. (2013). *State of the Mediterranean Marine and Coastal Environment*.
- IFREMER. (2021). *Sixth International Marine Debris Conference*. <http://internationalmarinedebrisconference.org/index.php/marine-litter-in-the-mediterranean-sea/>
- Kaandorp, M. L. A., Dijkstra, H. A., & van Sebille, E. (2020). Closing the Mediterranean Marine Floating Plastic Mass Budget: Inverse Modeling of Sources and Sinks. *Environmental Science and Technology*, 54(19), 11980–11989. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c01984>

- Karlsson, T. M., Arneborg, L., Broström, G., Almroth, B. C., Gipperth, L., & Hassellöv, M. (2018). The unaccountability case of plastic pellet pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 129(1), 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.041>
- Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (2016). Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environmental Science and Technology*, 50(11), 5800–5808. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05416>
- New York State Office of the Attorney General. (2015). *Discharging Microbeads to Our Waters: An Examination of Wastewater Treatment Plants in New York*. April, 11. http://www.ag.ny.gov/pdfs/2015_Microbeads_Report_FINAL.pdf
- Oakley, K. L., Thomas, L. P., & Fancy, S. G. (2003). Guidelines for long-term monitoring protocols. *Wildlife Society Bulletin*, 31(4), 1000–1003.
- PlasticsEurope. (2020). Plastics – the Facts 2020. *PlasticEurope*, 1–64.
- Roman-Sierra, J., Navarro-Pons, M., Gomez-Pina, G., & Muñoz-Pérez, J. J. (2013). Optimización del análisis del tamaño de grano de arenas costeras. *Jornadas Españolas de Costas y Puertos, April 2015*, 13.
- Santiago, D., Ventura, M., Lázaro, J., & Vela García, H. (2021). *Estación Silmar de la “Cima.”*
- Setälä, O., Norkko, J., & Lehtiniemi, M. (2016). Feeding type affects microplastic ingestion in a coastal invertebrate community. *Marine Pollution Bulletin*, 102(1), 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.11.053>
- Sutton, R., & Sedlak, M. (2017). *Microplastic Monitoring and Science Strategy for San Francisco Bay*. February, 34.
- Turra, A., Manzano, A. B., Dias, R. J. S., Mahiques, M. M., Barbosa, L., Balthazar-Silva, D., & Moreira, F. T. (2014). Three-dimensional distribution of plastic pellets in sandy beaches: Shifting paradigms. *Scientific Reports*, 4, 1–7. <https://doi.org/10.1038/srep04435>
- UNEP/MAP. (2017). *Mediterranean 2017 Quality Status Report*. <https://www.medqsr.org/tourism>
- Veiga, J. M., Fleet, D., Kinsey, S., Nilsson, P., Vlachogianni, T., Werner, S., Galgani, F., Thompson, R. C., Dagevos, J., Gago, J., Sobral, P., & Cronin, R. (2016). Identifying sources of marine litter. In *JRC Technical Report* (Issue January 2017). <https://doi.org/10.2788/018068>
- Ventura, M., Vela García, H., Homedes, P., Oliver, A., Massone, S., Carles, P., Pastor, C., Alsina, C., Sánchez, O., Bermúdez, O., Ribera, P., & Tewes, E. (2019). *Estación Silmar de la Mar Bella*.
- Vlachogianni, T. (2019). *Assessing Marine Litter on Mediterranean Beaches*.
- Vlachogianni, T., Kalampokis, V., Rubic, U., & Mačić, V. (2013). *Methodology for Monitoring Marine Litter on the Seafloor (Shallow coastal waters) Visual surveys with SCUBA/snorkeling*. 1–10. www.defishgear.net
- Watts, A. J. R., Urbina, M. A., Goodhead, R., Moger, J., Lewis, C., & Galloway, T. S. (2016). Effect of Microplastic on the Gills of the Shore Crab *Carcinus maenas*. *Environmental Science and Technology*, 50(10), 5364–5369. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b0118>
- WWF. (2018). *Out of The Plastic Trap*. <https://wwf.fi/mediabank/11094.pdf>

Agraïments

En primer lloc vull donar les gràcies al meu tutor extern de la Fundació RAED en Miquel Ventura per acceptar-me dins del projecte SILMAR i fer-me sentir part de l'equip des del primer dia. Ha sigut un plaer treballar en aquest projecte i em sento molt afortunada per l'oportunitat brindada. També, m'agradaria agrair al centre comercial Diagonal Mar pel seu compromís i el finançament dels materials i l'estació SILMAR de Barcelona. A més, agrair-li a la meva tutora UB, Carola Sampera, que m'hagi guiat durant la realització d'aquest treball.

A la meva família, en especial al meu pare, a la meva mare i al meu germà per animar-me i ajudar-me sempre.

A la Silvia per acompanyar-me a mostrejar la platja de la Mar Bella. A l'Alba per passar part de les seves vacances ensenyant-me la part divertida de l'estadística i a la Júlia per ser la millor assessora de totes.

Finalment a tothom que m'hagi ajudat i donat ànims durant la realització d'aquest treball.

Moltes gràcies a tots i totes.

8. Annexos

PROTOCOL DE MOSTREIG DE MICROPLÀSTICS I ALTRES CONTAMINANTS

Observadors:	Data:
Municipi:	Hora inicial:
Nom de la platja:	
Substrat: ☐ Sorra ☐ Pedra	Temperatura de l'aigua:
Condicions atmosfèriques:	Ús de la platja: ☐ Urbana ☐ Verge ☐ Altres
Vent:	
Estat de la mar	

Característiques de la zona:	
Riu més pròxim:	
Ciutat més pròxima:	
Població de la ciutat	
Característiques de la ciutat	☐ Turística ☐ Residencial
Port més pròxim:	
Mida del port en capacitat	
Tipus de port	☐ Comercial ☐ Esportiu
Planta depuradora més pròxima:	
És una zona de pesca?	
Pesqueria més pròxima	

Latitud inicial:	Latitud final:
Hora inicial:	Hora final:

Altres:

Material necessari per mostrejar:

- GPS per poder delimitar la zona de 100 metres i les 5 rèpliques al llarg d'aquests.
- Cinta mètrica de mínim 100 metres.
- Quadrant de mostreig o si no es poden utilitzar cordes i claus per delimitar una superfície de 50 x 50 centímetres.
- Pala adequada per mostrejar la superfície de sorra.
- Tamís de 0,5 a 3 mil·límetres. S'ha de tenir en compte que la mida del tamís varia en funció del tipus de sorra (Roman-Sierra et al., 2013).
- Recipient net de vidre o d'altres materials, que tinguin la boca ampla perquè hi entri el plàstic i una tapa hermètica.
- Retolador per poder marcar el recipient.

Recollida de mostres

1. Determinar la distància del transsecte, delimitar una zona entre el marge de l'aigua fins a la part posterior de la platja d'una longitud de 100 metres mitjançant l'ús de GPS, cinta mètrica o altres eines de mesura.
2. Establir 5 punts de mostreig en els 100 metres. Per així obtenir 5 rèpliques de la zona mostrejada.
3. Agafar la sorra amb cura de no contaminar la mostra, retirar tots els fragments vegetals, petxines, altres restes orgàniques o naturals que estiguin dins de la parcel·la de mostreig.
4. Recollir amb cura la capa de sorra més superficial, d'1 centímetre de gruix i situar-la sobre el tamís de la mida més petita (0,5 mil·límetres).
5. Deixar passar la sorra pel tamís i recollir la mostra de partícules menors a 0,5 mil·límetres en un recipient net o una bossa retolada indicant el número de transsecte, la rèplica, la mida del tamís utilitzat (en aquest cas 0,5 mil·límetres) i el temps emprat en tamisar.
6. Repetir l'operació amb els tamisos de mides més grans, primer amb el de 1 mil·límetres i, per últim, amb el de 3 mil·límetres.

PROTOCOL D'ANÀLISI DE MICROPLÀSTICS I ALTRES CONTAMINANTS

Material necessari

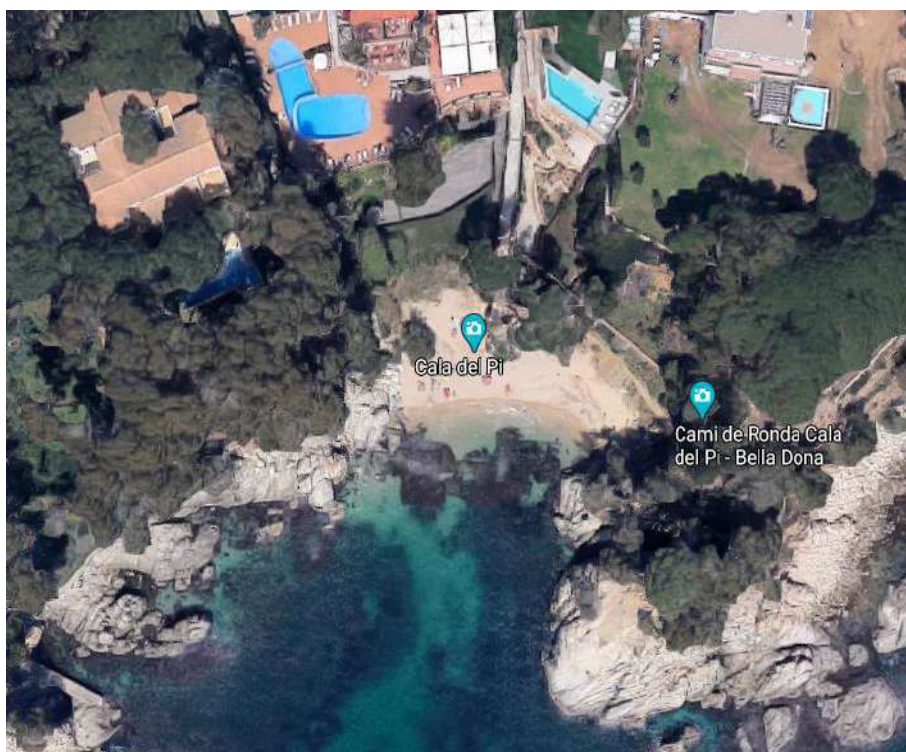
- Balança per pesar les mostres un cop obtingudes.
- Microscopi USB.
- Pinces.
- Programari Python d'anàlisi d'imatges
- Fulla d'Excel.

Procediment d'anàlisi

1. Deixar assecar completament les mostres.
2. Pesar les bosses que contenen la sorra i els residus.
3. Amb l'ajuda d'un microscopi, pinces i pinzells separar les partícules contaminants de la sorra.
4. Pesar només les partícules, sense la sorra.
5. Classificar les diferents partícules contaminants segons el tipus microplàstics (pellet o fragment), vidre, metalls, papers i matèria orgànica (organismes, pals, fulles, fibres vegetals, llavors, pèls).
6. Comptabilitzar i mesurar les partícules
7. Fotografiar les partícules de cada mostra.
8. Pujar les imatges obtingudes al programa d'anàlisi d'imatges per a calcular les dimensions de les partícules.
9. Afegir la informació a la taula Excel per facilitar l'anàlisi estadística de les dades.



Annex 1. Imatge satèl·lit extreta de Google Maps de l'estació SILMAR de la platja de la Mar Bella de Barcelona.



Annex 2. Imatge satèl·lit extreta de Google Maps de l'estació SILMAR de la Cala del Pi.



Annex 3. Imatge de l'acumulació de residus al fons marí de l'estació SILMAR a la platja de la Mar Bella de Barcelona. Ventura M. (2020).



Annex 4. Imatge de l'acumulació de residus a la sorra de la platja de la Mar Bella després d'un fort temporal de llevant del dia 11/1/2021. Vela H. (2020).

Platja	Trans	R	Diam	Vidres	Pellets	Fragments	Paper	Metalls	Organismes	Pals	Fules	Fibres	Llavors	Pèls
MB	A	R1	0,5	15	0	13	0	0	1	0	2	1	0	0
MB	A	R1	1	332	0	65	0	0	4	15	3	3	4	1
MB	A	R1	3	22	29	0	0	2	0	7	6	0	5	0
MB	A	R2	0,5	11	0	15	0	0	0	0	0	3	0	3
MB	A	R2	1	265	0	44	4	0	4	3	1	7	2	4
MB	A	R2	3	44	45	0	0	1	3	0	2	0	8	0
MB	A	R3	0,5	25	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0
MB	A	R3	1	234	0	30	0	0	5	0	2	0	2	3
MB	A	R3	3	17	58	0	0	0	0	1	0	1	0	0
MB	A	R4	0,5	44	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
MB	A	R4	1	286	0	40	2	0	2	0	2	0	1	0
MB	A	R4	3	21	46	0	0	2	3	0	0	0	0	6
MB	A	R5	0,5	99	0	6	0	0	0	0	3	0	0	0
MB	A	R5	1	305	0	56	1	1	0	0	4	2	0	2
MB	A	R5	3	20	89	0	0	0	6	0	0	0	0	0
MB	B	R1	0,5	6	0	6	1	4	0	0	0	0	0	3
MB	B	R1	1	70	0	0	0	0	9	1	0	0	0	2
MB	B	R1	3	28	32	0	1	1	1	0	0	0	0	1
MB	B	R2	0,5	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
MB	B	R2	1	188	0	2	0	5	6	5	0	1	0	3
MB	B	R2	3	92	87	0	0	0	8	2	3	2	0	0
MB	B	R3	0,5	7	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0
MB	B	R3	1	256	0	4	0	2	5	2	3	2	0	4
MB	B	R3	3	30	45	0	0	0	4	6	0	0	1	0
MB	B	R4	0,5	12	0	12	0	11	0	1	0	0	0	3
MB	B	R4	1	172	0	6	0	1	2	1	0	1	0	3
MB	B	R4	3	31	28	0	0	0	1	0	0	0	1	0
MB	B	R5	0,5	32	0	34	0	15	0	0	0	3	0	0
MB	B	R5	1	191	0	3	0	1	0	0	0	0	0	2
MB	B	R5	3	77	67	0	0	8	9	0	1	0	0	0
MB	C	R1	0,5	20	0	17	0	0	3	0	6	2	0	0
MB	C	R1	1	332	0	56	0	0	2	22	2	3	5	2
MB	C	R1	3	33	37	0	0	2	0	7	3	1	4	0
MB	C	R2	0,5	11	0	15	0	0	0	0	2	3	0	3
MB	C	R2	1	256	0	52	3	0	3	4	1	3	2	6
MB	C	R2	3	51	40	0	0	4	4	0	5	0	6	0
MB	C	R3	0,5	25	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
MB	C	R3	1	224	0	33	0	3	5	1	4	2	4	2
MB	C	R3	3	15	48	0	4	0	0	1	0	1	0	0
MB	C	R4	0,5	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB	C	R4	1	278	0	42	2	0	8	0	3	2	3	1
MB	C	R4	3	24	57	6	0	2	5	0	0	0	0	4
MB	C	R5	0,5	99	0	6	0	0	0	0	4	0	0	2
MB	C	R5	1	304	0	65	0	1	0	1	3	2	0	0
MB	C	R5	3	18	109	0	1	0	4	0	0	0	0	0
MB	D	R1	0,5	9	0	14	0	0	0	2	1	1	0	0
MB	D	R1	1	286	0	17	1	1	6	12	8	4	4	1
MB	D	R1	3	21	66	0	0	0	1	6	0	2	4	1
MB	D	R2	0,5	13	0	14	0	0	0	0	0	1	0	3
MB	D	R2	1	265	0	27	0	0	5	5	1	6	2	3
MB	D	R2	3	41	49	0	0	0	4	2	1	0	4	0
MB	D	R3	0,5	36	0	32	0	0	1	2	2	1	0	0
MB	D	R3	1	157	0	26	3	0	7	3	0	1	1	1
MB	D	R3	3	20	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB	D	R4	0,5	34	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0
MB	D	R4	1	284	0	19	1	3	4	1	2	0	0	2
MB	D	R4	3	12	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB	D	R5	0,5	80	0	68	0	0	0	1	2	0	0	0
MB	D	R5	1	316	0	19	0	0	7	0	0	0	1	2
MB	D	R5	3	24	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CP	A	R1	1	49	10	0	0	0	3	0	0	5	0	0
CP	A	R1	3	82	18	0	0	0	24	0	3	2	0	1
CP	A	R2	1	76	14	0	0	0	2	0	2	0	0	0
CP	A	R2	3	92	33	0	0	0	4	5	4	5	0	3
CP	A	R3	1	67	15	0	0	0	0	2	1	0	0	0
CP	A	R3	3	74	21	0	0	0	2	0	0	3	0	0
CP	B	R1	1	93	32	0	0	0	9	0	42	0	0	3
CP	B	R1	3	151	37	0	0	0	11	4	33	7	0	0
CP	B	R2	1	16	10	0	0	0	3	0	15	8	0	0
CP	B	R2	3	52	9	0	0	1	10	2	38	4	0	1
CP	B	R3	1	114	39	0	0	0	7	4	23	0	0	4
CP	B	R3	3	162	44	0	0	0	9	3	27	6	0	2

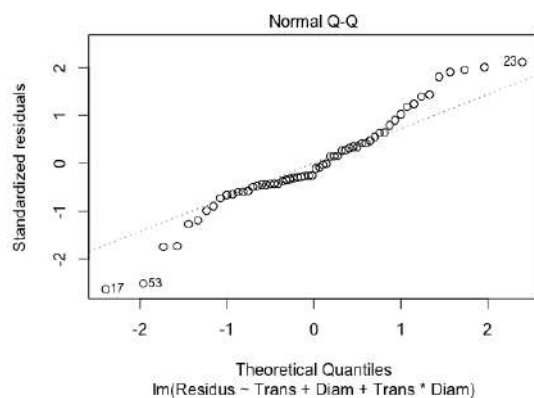
Annex 5. Dades dels mostrejos de les dues zones estudiades.

```
> TUKEY <- TukeyHSD(x=ANOVA, conf.level=0.95)
> TUKEY
Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level
```

```
Fit: aov(formula = MB)
```

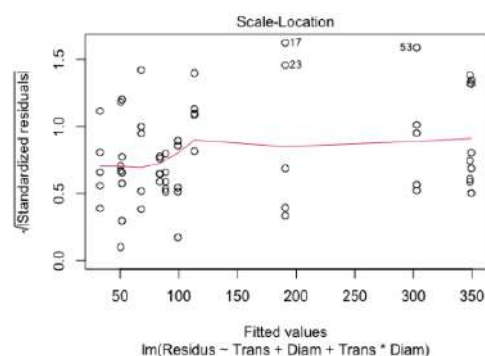
```
$Trans
      diff      lwr      upr    p adj
B-A -50.200000 -94.960840 -5.43916 0.0223510
C-A  4.266667 -40.494174 49.02751 0.9941952
D-A -10.933333 -55.694174 33.82751 0.9150133
C-B  54.466667  9.705826 99.22751 0.0113419
D-B  39.266667 -5.494174 84.02751 0.1043630
D-C -15.200000 -59.960840 29.56084 0.8028851
```

```
$Diam
      diff      lwr      upr    p adj
1-0.5 247.05 211.82369 282.27631 0.0000000
3-0.5  45.60  10.37369  80.82631 0.0081946
3-1 -201.45 -236.67631 -166.22369 0.0000000
```



Annex 7. Gràfica que mostra la normalitat de les dades de la Mar Bella.

Annex 6. RStudio test TUKEY per a comparar la quantitat de residus segons els diàmetres dels tamisos i els transectes a la Mar Bella.



Annex 8. Gràfica que mostra l'homogeneïtat de variàncies a les dades de la Mar Bella.

```
> ANOVA2<-aov(CP)
> TUKEY2 <- TukeyHSD(x=ANOVA2, conf.level=0.95)
> TUKEY2
Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level
```

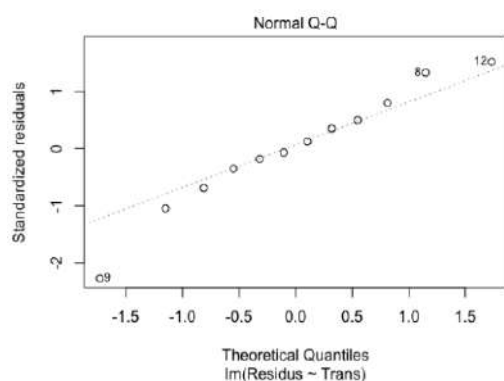
```
Fit: aov(formula = CP)
```

```
$Trans
      diff      lwr      upr    p adj
B-A 68.83333 -5.330188 142.9969 0.0647492
```

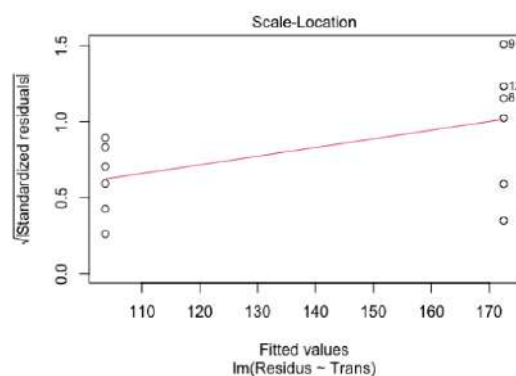
```
$Diam
      diff      lwr      upr    p adj
3-1 53.5 -20.66352 127.6635 0.134782
```

```
$`Trans:Diam`
      diff      lwr      upr    p adj
B:1-A:1  58.66667 -86.98462 204.3180 0.5933658
A:3-A:1  43.33333 -102.31795 188.9846 0.7786434
B:3-A:1 122.33333 -23.31795 267.9846 0.1030695
A:3-B:1 -15.33333 -160.98462 130.3180 0.9858367
B:3-B:1  63.66667 -81.98462 209.3180 0.5329987
B:3-A:3  79.00000 -66.65129 224.6513 0.3666079
```

Annex 9. RStudio test TUKEY per a comparar la quantitat de residus segons els diàmetres dels tamisos i els transectes a la Cala del Pi.



Annex 10. Gràfica que mostra la normalitat de les dades de la Cala del Pi.



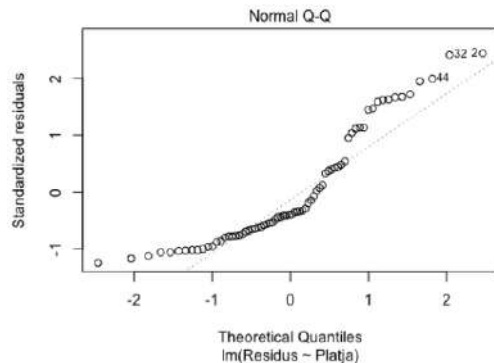
Annex 11. Gràfica que mostra l'homogeneïtat de variàncies de les dades de la Cala del Pi

```
> TUKEY3
Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level

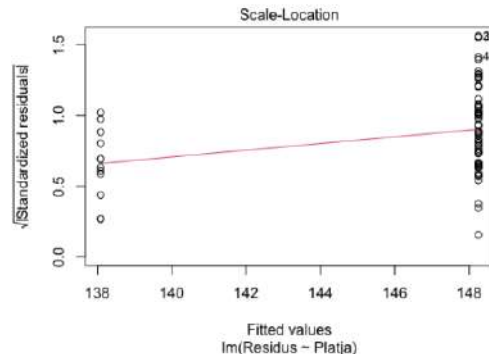
Fit: aov(formula = MBiCP)

$Piatja
      diff      lwr      upr    p adj
MB-CP 10.16667 -62.54285 82.87619 0.7811639
```

Annex 12. RStudio test TUKEY per a comparar la quantitat de residus segons els diàmetres dels tamisos i els transectes entre la Mar Bella i la Cala del Pi



Annex 13. Gràfica que mostra la normalitat de la comparació de dades de la Mar Bella i la Cala del Pi.



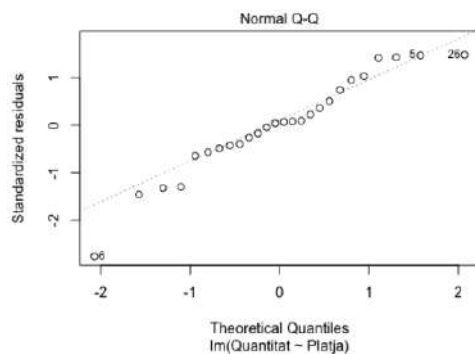
Annex 14. Gràfica que mostra l'homogeneïtat de variàncies de la comparació de dades de la Mar Bella i la Cala del Pi.

```
> ANOVAVI<-aov(Model_VI)
> TUKEY_vi <- TukeyHSD(x=ANOVAVI, conf.level=0.95)
> TUKEY_vi
Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level

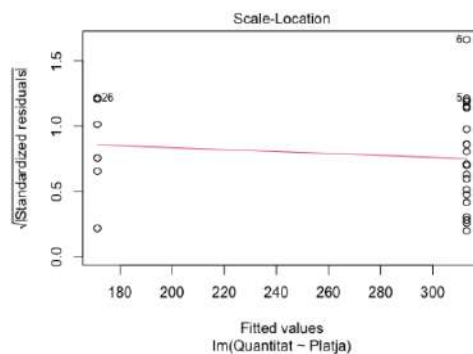
Fit: aov(formula = Model_VI)

$Piatja
      diff      lwr      upr    p adj
MB-CP 141.7167 67.21646 216.2169 0.0006351
```

Annex 15. RStudio test TUKEY per a comparar la quantitat de vidres entre la Mar Bella i la Cala del Pi.



Annex 16. Gràfica que mostra la normalitat de la comparació de les dades de la quantitat de vidres entre la Mar Bella i la Cala del Pi.



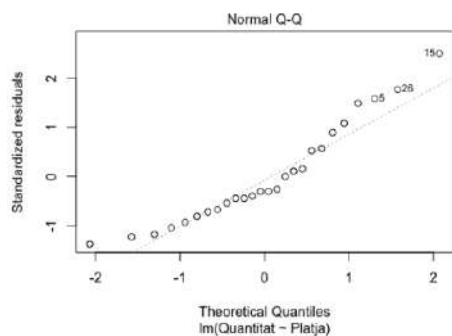
Annex 17. Gràfica que mostra l'homogeneïtat de variàncies de la comparació de les dades de la quantitat de vidres entre la Mar Bella i la Cala del Pi.

```
> ANOVAPellets<-aov(Model_Pellets)
> TUKEY_pe <- TukeyHSD(x=ANOVAPellets, conf.level=0.95)
> TUKEY_pe
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

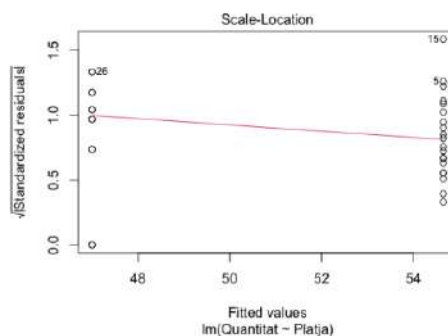
Fit: aov(formula = Model_Pellets)

$Platja
      diff       lwr       upr    p adj
MB-CP 7.65 -13.77128 29.07128 0.4682292
```

Annex 18. RStudio test TUKEY per a comparar la quantitat de pellets entre la Mar Bella i la Cala del Pi.



Annex 19. Gràfica que mostra la normalitat de la comparació de les dades de la quantitat de pellets entre la Mar Bella i la Cala del Pi.



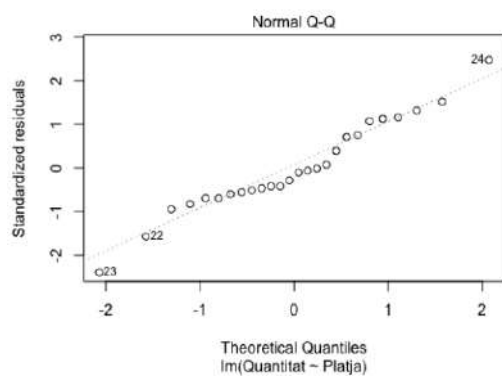
Annex 20. Gràfica que mostra l'homogeneïtat de variàncies de la comparació de les dades de la quantitat de pellets entre la Mar Bella i la Cala del Pi.

```
> ANOVA3<-aov(Model_M0)
> TUKEY_mo <- TukeyHSD(x=ANOVA3, conf.level=0.95)
> TUKEY_mo
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

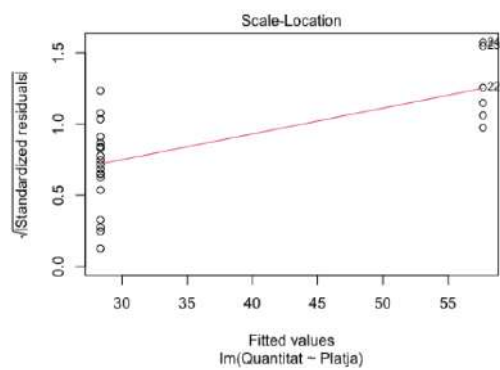
Fit: aov(formula = Model_M0)

$Platja
      diff       lwr       upr    p adj
MB-CP -29.31667 -51.14811 -7.485224 0.0106066
```

Annex 21. RStudio test TUKEY per a comparar la quantitat de matèria orgànica entre la Mar Bella i la Cala del Pi.



Annex 22. Gràfica que mostra la normalitat de la comparació de les dades de la quantitat de matèria orgànica entre la Mar Bella i la Cala del Pi.



Annex 23. Gràfica que mostra l'homogeneïtat de variàncies de la comparació de les dades de la quantitat de matèria orgànica entre la Mar Bella i la Cala del Pi.