

Treball de Fi de Grau/Màster

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Estudi de la implementació del dron aquàtic en l'actualitat per a la recollida de deixalles marines

MEMÒRIA

Autor: Pol Chalamanch Sans
Directors: Joaquín Fernández Sánchez
José M. Alsina Torrent
Convocatòria: Juny 2021



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

En aquesta memòria s'examinen mètodes de captació de deixalles marines basades en la implementació de drons aquàtics per combatre la problemàtica global que causen al medi ambient en l'actualitat. Per dur a terme aquest estudi, es presenten dissenys reals i es detallen les principals característiques de funcionament de cada un.

Per assolir aquest objectiu, es realitza en primer lloc una investigació d'iniciatives i projectes destinats a la preservació dels ecosistemes marins a partir de l'eliminació dels residus que s'hi acumulen. Addicionalment, s'analitza les causes d'arribada d'aquestes deixalles als mars, per així identificar les zones de major concentració i per tant aquelles on és necessari actuar.

Un cop definides les condicions d'aplicació òptimes d'aquesta nova tecnologia, es fa un recull de diferents mètodes i sistemes de captació de residus incorporats en drons aquàtics ja posats a la pràctica, sigui en situacions habituals o d'assaig. Per complimentar l'estudi es proposen certes modificacions o possibles millores per cada un dels sistemes, i es relacionen amb projectes ja establerts que funcionen a gran escala i eficaçment per combatre la contaminació dels residus marins.

S'observa una gran similitud en el procés de funcionament de tots els mètodes, indicant així una limitació actual per la falta de desenvolupament amb el qual compta el sector dels drons aquàtics.

Finalment, es mostren diverses possibilitats per ampliar l'àrea d'investigació d'aquesta tecnologia per tal d'aprofundir en altres possibles formes d'aplicació en què puguin ser d'utilitat.

Sumari

RESUM	3
SUMARI	4
SUMARI DE FIGURES	6
SUMARI DE TAULES	8
1. GLOSSARI	9
2. PREFACI	12
2.1. Origen del projecte.....	12
2.2. Motivació.....	13
3. INTRODUCCIÓ	14
3.1. Objectius del projecte	14
3.2. Abast del projecte	14
3.3. Limitacions del projecte	15
4. INICIATIVES ACTUALS. ESTAT DE L'ART	16
4.1. Projecte MARVIVA.....	16
4.2. Surfing for Science.....	17
4.3. Acció 'Netegem els ports'	18
5. ORIGEN DELS RESIDUS MARINS	20
6. PROJECTE THE OCEAN CLEANUP	24
6.1. Neteja d'oceans	24
6.1.1. Sistema de captació.....	26
6.1.2. Funcionament del System 002.....	26
6.2. Neteja de rius.....	28
6.2.1. Sistema de captació.....	28
6.2.2. Funcionament de l'Interceptor.....	29
7. MODELS DE DRON AMB SISTEMA DE CAPTACIÓ DE RESIDUS	32
7.1. Dron de neteja WasteShark.....	32
7.1.1. Zones d'actuació.....	34
7.1.2. Impacte ambiental.....	35
7.1.3. Possibles modificacions	35
7.2. Dron SB 100	36

7.2.1. Zones d'actuació	38
7.2.2. Possibles modificacions	39
7.3. Dron Jellyfishbot	40
7.3.1. Zones d'actuació	42
7.4. Sensor de microplàstics	42
8. ELABORACIÓ DEL PRESSUPOST	44
9. TREBALLS FUTURS	45
10. CONCLUSIONS	46
11. BIBLIOGRAFIA	47
11.1. Referències bibliogràfiques	47
11.2. Bibliografia complementària	47
12. ANNEXOS	50
12.1. Paràmetres del sistema de captació de residus oceànics del projecte The Ocean Cleanup (System 002)	50
12.2. Especificacions del sistema de captació de residus en rius: Interceptor.....	50
12.3. Especificacions tècniques del dron WasteShark.....	51
12.4. Especificacions tècniques del dron SB 100	51
12.5. Especificacions tècniques del dron Jellyfishbot.....	52

Sumari de figures

Figura 1: Distribució de ports participants del projecte	17
Figura 2: Recollida de microplàstics mitjançant una xarxa	18
Figura 3: Dron utilitzat per a la recollida de residus en la superfície de l'aigua.....	19
Figura 4: Circulació de les deixalles marines.....	21
Figura 5: Contribució de l'emissió de plàstics als oceans a través dels rius segons diferents estudis.....	22
Figura 6: Distribució dels cinc girs oceànics principals	25
Figura 7: Concentració de plàstics que formen la Great Pacific Garbage Patch	25
Figura 8: Sistema de captació de residus oceànics System 002.....	26
Figura 9: Esquema de l'entrada de plàstic al sistema	27
Figura 10: Zona de retenció de residus	27
Figura 11: Sistema Interceptor operatiu	29
Figura 12: Representació del posicionament del sistema al riu.....	30
Figura 13: Cinta transportadora de l'Interceptor	30
Figura 14: Model de dron WasteShark.....	33
Figura 15: Recollida de residus mitjançant la cistella	33
Figura 16: Vista frontal del dron WasteShark.....	36
Figura 17: Model de dron SB 100 PRO.....	37
Figura 18: Model de dron SB 100 Cleaner	38
Figura 19: Model de dron Jellyfishbot.....	40
Figura 20: Sistema de captació de residus mitjançant una xarxa.....	41
Figura 21: Incrementació de la capacitat de recollida per al sistema de captació de residus	

amb l'aplicació de dos drons i una barrera 41

Figura 22: Dron submarí que implementa la tecnologia de sensors de microplàstics de Draper 43

Sumari de taules

Taula 1: Comparació de xarxes de microplàstics	39
Taula 2: Cost del treball total.....	44
Taula 3: Paràmetres del sistema de captació de residus System 002	50
Taula 4: Paràmetres del dron WasteShark	51
Taula 5: Paràmetres del dron SB 100	52
Taula 6: Paràmetres del dron Jellyfishbot	52

1. Glossari

ASV: Autonomous Surface Vehicle (o Autonomous Surface Vessel). Es troba dins de la categoria de USV, i correspon a aquell que opera de forma totalment autònoma.

AUV: Autonomous Underwater Vehicle. Forma part del grup de sistemes submarins no tripulats (UUV), i per tant es tracta d'un robot capaç de viatjar sota l'aigua sense la intervenció d'un operador.

Bateria d'ió de liti: Tipus de pila o bateria recarregable.

Biomassa: Es defineix com la fracció biodegradable dels productes, residus i deixalles d'origen biològic. Per tant, és matèria orgànica que pot ser utilitzada com a font d'energia.

Calat: Profunditat que assoleix a l'aigua la part submergida d'un vaixell o embarcació.

Ciutat intel·ligent (smart city): Ciutat capaç d'utilitzar la tecnologia de la informació i comunicació (TIC) amb l'objectiu de crear millors infraestructures per als ciutadans i que garanteixin un desenvolupament sostenible i una major eficàcia dels recursos disponibles.

Dron: Vehicle aeri no tripulat. Tot i que els més comuns són aeris, hi ha diferents categories com per exemple els drons marins o aquàtics (USV) que són els que es tracten en aquest projecte.

Dynema: Fibra altament avançada feta a partir de polietilè d'alt pes molecular. És un material idoni per teixits d'altas prestacions tècniques gràcies a les seves propietats com l'alta resistència, la lleugeresa, la versatilitat i la resistència a agents químics i abrasius.

Economia circular: Model de producció i consum basat en l'aprofitament de recursos i la reducció de les matèries primeres mitjançant la reutilització, la reparació i el reciclatge.

Francbord: Altura sobre la cara de l'aigua de la coberta principal d'una embarcació.

Gir oceànic: Sistema de corrents marines rotatives de gran escala.

Hidrocarburs: Grup de compostos orgànics que formats únicament per àtoms de carboni i hidrogen. Es poden trobar en forma de líquid (petroli), gas (gas natural) i sòlid.

Hidrografia: Ciència que estudia les aigües existents sobre la superfície terrestre.

Llit fluvial (o del riu): Espai del riu per on s'escorren les aigües (fons del riu).

Microplàstics: Partícules sintètiques diminutes fetes de material plàstic que mesuren com a màxim 5 mm.

Sopa de plàstic: Coneguda també com a illa de plàstic. Grans aglomeracions de residus no biodegradables (principalment plàstics) que a causa de la influència dels girs oceànics formen extenses superfícies flotants de deixalles.

USV: Unmanned Surface Vehicle. Embarcació que opera a la superfície de l'aigua sense tripulació. Poden funcionar amb diferents nivells d'autonomia, des del control remot fins a la navegació autònoma.

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

Aquest projecte sorgeix de la preocupació de l'impacte negatiu en l'entorn que comporta la desmesurada quantitat de residus que es generen en l'actualitat. Una gran part d'aquests residus són alliberats de forma accidental o intencionada al medi ambient, i a causa de la seva composició a partir de materials sintètics amb velocitats de degradació molt baixes, la naturalesa no és capaç de gestionar uns nivells tan elevats al ritme que es produeixen. En definitiva, en les darreres dècades s'ha originat un procés global d'acumulació de residus sense precedents.

Mars i oceans són el principal destí de la major part dels residus abocats al medi ambient. En un estudi publicat a la revista *Science* (Jambeck et al., 2015), s'estima que cada any són abocats al mar un total de 8 milions de tones de residus plàstics, que formen majoritàriament el total de residus marins, ja que de mitjana entre un 60% i un 80% de les deixalles lliurades al mar són plàstics.

És de gran rellevància també, la mida, composició i grau de mobilitat de tots els diferents tipus de plàstics que es poden trobar. Precisament és aquesta gran diversitat la que facilita la localització de residus plàstics al llarg de tota la columna d'aigua, des de la superfície fins al fons marí. Recentment, s'està mostrant un gran interès en la problemàtica dels microplàstics, que són fragments inferiors a 5 mm, ja sigui perquè provenen de la ruptura de plàstics més grans o perquè són fabricats directament amb aquesta mida. En mars i oceans es poden trobar bilions d'aquests microplàstics flotant que causen un gran impacte inclús en les espècies més petites, com pot ser el plàncton, i que són la base de la cadena tròfica marina.

En conseqüència doncs, tant plàstics com microplàstics afecten significativament en la vida marina. Prop de 700 espècies ja estan afectades a causa dels contaminants químics que desprenen, principalment degut al risc d'enredar-se amb plàstics o la seva ingesta, i que fins i tot si s'incorporen a la cadena alimentària, poden arribar a ser consumits per nosaltres i tenir implicacions en la salut humana. En addició, més enllà de la degradació que produeixen els residus marins en l'ecosistema, també comporta àmplies conseqüències econòmiques, ja que per exemple s'estima que el cost de la neteja de costes i platges en la Unió Europea s'eleva fins als 630 milions anuals.

És degut a tots aquests fets, que actualment existeix la necessitat de trobar solucions a curt termini per combatre la problemàtica que causen els residus marins en el medi ambient. La

millor manera d'aconseguir-ho és evitar l'abocament de més contaminants al mar, però també és imprescindible eliminar aquells que ja hi són.

En mars i oceans, el sistema més senzill i eficaç de recollida massiva de deixalles és mitjançant vaixells de grans dimensions. Així i tot, es poden trobar zones inaccessibles per aquestes embarcacions que impedeixen que aquest procediment sigui convenient. Per aquesta raó, en l'actualitat s'ha incorporat l'ús de noves tecnologies per dur a terme tasques de neteja de residus marins. És un exemple l'ús de drons que permeten realitzar un rastreig en zones costaneres o de difícil accés amb l'objectiu de detectar i remoure deixalles, i és precisament aquesta la raó d'origen del projecte.

2.2. Motivació

La temàtica d'aquest projecte va ser escollida d'acord amb poder estudiar l'ús d'una tecnologia en auge, com és el cas del dron. Aquest concepte consisteix en un vehicle no tripulat i controlat de forma remota. Més concretament, aquest treball se centra en l'anàlisi de drons aquàtics, que es poden dividir en drons marins pel cas en què són dissenyats per navegar per la superfície de l'aigua, i drons submergibles que són capaços de funcionar en diferents profunditats.

Per altra banda, la realització d'un projecte aplicable a la pràctica també va contribuir en l'elecció del tema. Així doncs, es busca estudiar quin ús pot tenir aquesta tecnologia en situacions reals i de quina forma es podria implementar.

En darrer lloc, hi havia interès també a tractar temes d'actualitat relacionats amb la consciència ambiental. Per aquesta raó, el projecte va dirigit essencialment a tasques per a la preservació del medi ambient.

3. Introducció

3.1. Objectius del projecte

Aquest projecte consisteix en la realització d'un estudi sobre la utilització de drons aquàtics per a la captació de residus marins. El principal objectiu del treball és presentar nous mètodes que s'han desenvolupat en l'actualitat amb la finalitat de netejar els mars i oceans de tota mena de deixalles creades pels humans.

Més enllà de l'objectiu principal, s'espera complir un seguit d'objectius secundaris. En quant al desenvolupament del projecte hi destaquen els següents:

- Analitzar l'origen dels residus i les principals vies d'entrada al mar amb la finalitat d'identificar les zones de màxima acumulació de deixalles.
- Diferenciar cada un dels models presentats en el treball en base a les possibles zones d'actuació.
- Documentar iniciatives independents de la utilització de drons per tal de relacionar i comparar sistemes de recollida de residus.
- Investigar nous mètodes per combatre la contaminació de residus plàstics als mars i oceans que es trobin en desenvolupament.

3.2. Abast del projecte

Aquest projecte es basa a documentar les accions que es duen a terme en l'actualitat per tal de combatre la desmesurada acumulació de residus que es troba als mars i oceans, amb la finalitat de reproduir-les a menor escala a través de la incorporació de drons.

En primer lloc, es fa una recerca sobre accions i projectes ja posats en marxa dedicats a la recollida de deixalles marines. D'aquesta manera, s'aconsegueix obtenir una àmplia visió del panorama actual relacionat amb la immersió de la tecnologia en tasques de neteja mediambiental, concretament en ecosistemes marins.

Seguidament, s'exposen models de drons ja implementats en situacions reals i es relacionen amb el possible ús que se'n pot fer segons la seva àrea d'aplicació. Així doncs, l'objectiu és presentar diferents mètodes per tal d'adequar cada model a una situació determinada.

3.3. Limitacions del projecte

A l'hora de constituir i organitzar un projecte, més enllà d'establir uns objectius concrets també és imprescindible comprendre les seves limitacions. D'aquesta manera, es defineix adequadament l'àmbit o les situacions en què el projecte creat és vàlid i útil.

Primerament, en aquest treball es realitza un estudi teòric de models ja existents, és a dir, que tots els dissenys de drons presentats han sigut elaborats per empreses externes. En tot cas, si apareix alguna modificació és degut a l'addició d'algun element que s'incorpora al dron amb la idea de millorar el procés de recollida de residus.

El projecte va orientat a mostrar models que siguin aplicables a la pràctica en situacions reals, tot i això en aquest treball no es tracten els processos de disseny i fabricació o possibles estratègies de comercialització del producte.

Finalment, tots els mètodes presentats s'apliquen a zones costaneres, principalment en platges, ports o rius, amb l'objectiu d'implementar aquestes tasques de neteja en zones inaccessibles per vaixells o instruments de grans dimensions. Addicionalment, les característiques dels drons estudiats no s'adeqüen a grans masses d'aigua com són mars i oceans, ja que a causa de la seva mida reduïda l'efecte que podria tenir la seva aplicació no seria gens eficient.

4. Iniciatives actuals. Estat de l'art

A l'hora d'iniciar el projecte, és important formar una primera imatge de les iniciatives que estan en marxa per combatre la problemàtica actual de l'abocament de deixalles al mar. Per tal de delimitar una cerca inicial, es fa un recull de les accions dutes a terme a la costa catalana. D'aquesta manera també s'aconsegueix prendre consciència de com de preocupant és la situació en el nostre territori.

El cas de la zona costanera de Barcelona, per exemple, es troba entre les cinc amb més concentracions de residus marins de tota la Mediterrània. Aquesta és la conclusió d'un estudi realitzat pel Grup de Recerca Consolidat en Geociències Marines de la UB (Camins et al., 2020), gràcies a les mostres obtingudes per voluntaris de l'organització Surfrider. Els resultats de l'estudi mostren que a les aigües de les platges de Barcelona s'acumulen, depenent del dia i la zona, una mitjana de 112.000 unitats de microplàstics per quilòmetre quadrat, i que pot arribar a un màxim de 330.000 unitats per quilòmetre quadrat. Cal remarcar també, que més d'un 80% d'aquests residus és plàstic d'un sol ús.

A causa de les dades tan alarmants amb les que es compta, actualment s'ha impulsat a Catalunya diverses iniciatives de recollida de deixalles marines amb la finalitat de mostrar i sensibilitzar sobre la problemàtica que comporten. Seguidament, es presenten algunes de les accions més esteses en la costa catalana, cada una destinada per operar en zones concretes. En les dues primeres no intervé l'actuació d'un dron, però així i tot seran útils per entendre com es pot incorporar aquesta tecnologia per dur a terme la mateixa funció.

4.1. Projecte MARVIVA

En primer lloc, el projecte MARVIVA és una iniciativa impulsada per l'Agència de Residus de Catalunya (ARC) juntament amb la Confraria de Pescadors de Barcelona i el Port de Barcelona, que es va engegar l'any 2015. Consisteix a recollir i caracteritzar les deixalles marines que extreuen els pescadors amb les xarxes durant la jornada de feina al mar. Posteriorment, els residus es pesen, quantifiquen, classifiquen i gestionen en una planta de selecció d'envasos.

Amb aquest procediment s'aconsegueix propiciar la retirada de deixalles acumulades al fons marí, on és difícil actuar, i permet obtenir dades sobre el tipus, les característiques i els orígens dels residus marins.

L'any 2017, gràcies a un conveni amb el projecte *Upcycling the Oceans*, s'hi van sumar 13 ports catalans més. Dos anys més tard, el 2019, es va arribar a extreure 58 tones

d'escombraries a la costa catalana, amb la participació de 235 vaixells pesquers i més d'un miler de pescadors.



Figura 1: Distribució de ports participants del projecte

Un altre incentiu amb què compta aquest projecte és que tota la brossa recollida es transforma en material per al sector tèxtil. D'aquesta forma, s'impulsa l'economia circular i dona valor als residus.

4.2. Surfing for Science

En segon lloc, Surfing for Science és un projecte de ciència ciutadana, és a dir de recerca científica duta a terme per no científics, dedicat a avaluar la contaminació per microplàstics a la zona costanera mitjançant la col·laboració de ciutadans que recullen mostres fent paddle surf. El projecte neix de la necessitat d'adquirir informació en zones properes a la costa, on els investigadors i oceanògrafs no poden actuar, ja que són inaccessibles pels vaixells i instruments de gran superfície utilitzats per a la recerca, a causa de la poca profunditat i la presència de banyistes d'aquestes zones.



Figura 2: Recollida de microplàstics mitjançant una xarxa

Els participants remen per les platges alhora que arrosseguen una xarxa de pesca que recull els microplàstics flotants d'una mida superior a 0,3 mm. Més tard, els residus acumulats s'utilitzen per calcular la concentració de microplàstics en cada punt de recollida i per caracteritzar les seves propietats amb la finalitat d'analitzar la seva procedència.

Actualment es compta amb 10 xarxes de pesca distribuïdes al llarg de la costa catalana, que recullen mostres de microplàstics cada quinze dies. Aquest projecte també permet rastrejar en temps real tot traçat que es recorre a través d'un mapa que situa cada transsecte de recollida on s'actua. A més, comparteixen les imatges i dades científiques obtingudes per via de xarxes socials, la qual aconsegueix mantenir al ciutadà informat en tot moment.

4.3. Acció 'Netegem els ports'

Per últim, el Port de Badalona ha estat el primer port català en posar en marxa un nou sistema de recollida de residus a través de drons aquàtics. L'acció 'Netegem els ports' ha estat impulsada pel Clúster Nàutic Català, amb el suport de l'Ajuntament de Badalona, i té com a objectiu netejar la superfície de l'aigua de la totalitat dels ports de Catalunya en un període de quatre anys. Per assolir aquest termini, es preveu fer tasques de neteja a 12 ports catalans cada any durant els mesos de maig i juny.

Aquesta iniciativa es va engegar el juliol de 2021 i s'ha dut a terme mitjançant un dron aquàtic fabricat per l'empresa Ona Safe and Clean. En la següent figura es mostra el dron utilitzat.



Figura 3: Dron utilitzat per a la recollida de residus en la superfície de l'aigua

El dron consisteix en una embarcació amb estructura de catamarà que funciona amb un motor elèctric amb bateries i un comandament a distància. Algunes de les principals característiques són les següents:

- Dimensions exteriors: 1,9 m d'eslora (longitud); 1,1 m de mànega (amplada) i 0,7 m de puntal (alçada).
- Càmera a la part davantera.
- Cistella de recollida amb capacitat de 250 litres.
- Pes del conjunt igual a 75 kg.
- Velocitat de càrrega de sòlids de 1250 kg/hora.
- Superfície de treball de 3700 m²/hora.
- Velocitat de treball de 0,8 a 1,5 nusos/hora.
- Autonomia màxima de 8 hores.
- Permet recollir microplàstics fins a una mida de 4 mm.

El seu ús encara és prou limitat, ja que només s'aplica aquest mètode en ports, que no representen les zones amb major concentració de residus marins a la costa. A més, es proposa una sola acció de recollida en cada port, i per tant la neteja de la zona no és gaire significativa. Tot i així, ja que aquesta iniciativa es troba en clar desenvolupament, pot contribuir molt favorablement a la introducció de l'ús de drons aquàtics en tasques de recollida de deixalles marines.

5. Origen dels residus marins

Un cop s'ha fet la recerca de projectes actuals dedicats a la recollida de residus marins, sigui mitjançant la utilització de drons o no, i tal com es capta en el recull presentat, és remarcable la zona d'actuació de cada una de les iniciatives. Malgrat ser diversa, tots els projectes es basen a actuar quan els residus ja són al mar.

Addicionalment, però, pot ser interessant seguir una nova estratègia dedicada a la investigació de la provenença d'aquests residus, és a dir com hi arriben. D'aquesta manera, si s'actua més a prop de l'origen del problema es pot aconseguir disminuir l'entrada de residus al mar i reduir així el nivell de contaminació que poden ocasionar.

L'organització Surfrider Foundation Europe, ja mencionada anteriorment i que compta amb un gran reconeixement en els àmbits de les escombraries marines, la qualitat de l'aigua i el canvi climàtic, estima que l'origen dels residus marins es reparteix en tres grans blocs:

- Origen terrestre (80%): aquestes deixalles són transportades mitjançant el cicle de l'aigua fins a arribar als oceans. Principalment es formen en activitats industrials, comercials, agrícoles, en zones urbanes i en abocadors descontrolats. El vent i les precipitacions són paràmetres importants en el seu transport, i majoritàriament a través de rius o clavegueres desemboquen finalment al mar.
- Abandonats a les costes (10%): es llencen a la vora de la costa, sigui en platges o en infraestructures properes al mar.
- Abocats directament al mar (10%): aquesta fracció de residus prové d'activitats marítimes com poden ser la pesca, el transport marítim o embarcacions d'esbarjo.

La gran part de les deixalles que es troben a mars i oceans doncs, provenen d'activitats terrestres i són transportades en grans quantitats fins a arribar al seu destí, tal com es mostra en la *Figura 4*. Per tant, és important no només eliminar tota la brossa acumulada actualment als mars, ja que és una tasca impossible d'assolir, sinó que també és de gran interès intervenir prèviament.

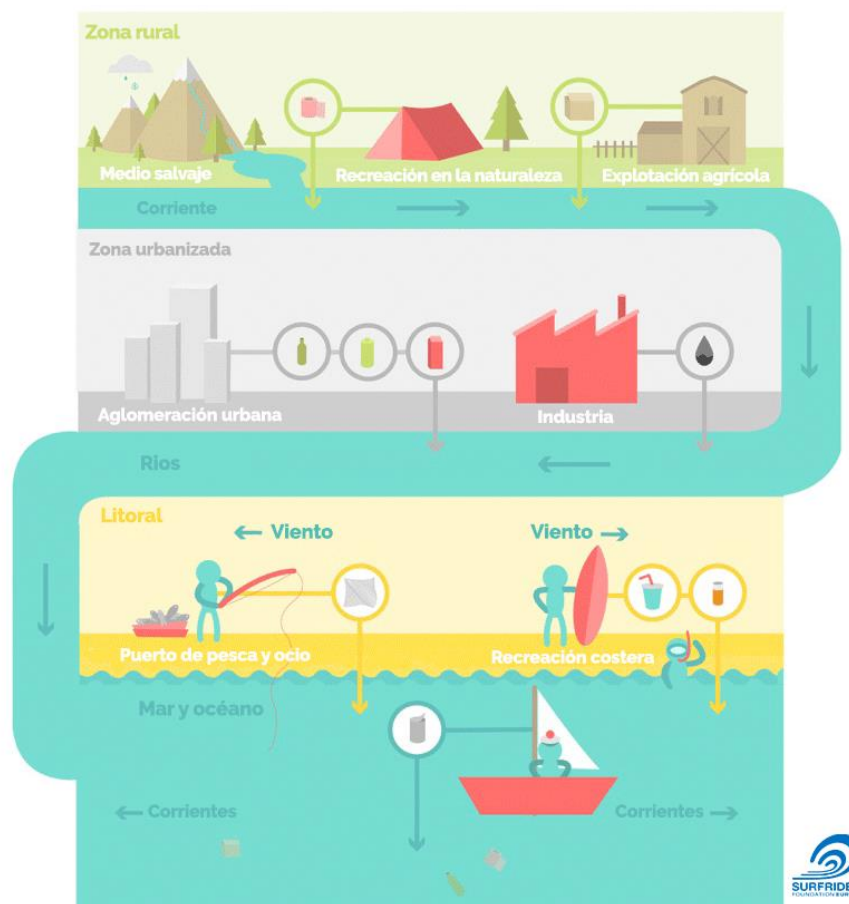


Figura 4: Circulació de les deixalles marines

Basant-se en aquestes dades es pot observar que els rius prenen un valor important en el transport de deixalles fins al mar. No obstant, els estudis amb relació al nivell de contaminació per residus s'ha centrat principalment en ecosistemes marins, causant així un cert desconeixement de l'afectació en ecosistemes d'aigua dolça com poden ser els rius. Així i tot, la seva influència en la recollida i transport de residus terrestres és evident.

Per tal de quantificar aquesta intervenció dels rius en la problemàtica dels residus marins s'ha analitzat diferents estudis dedicats a la temàtica. En primer lloc, un estudi publicat a la revista *Nature* (Lebreton et al., 2017) estima que entre 1,15 i 2,41 milions de tones de plàstic entren a l'oceà cada any a través dels rius. Aquest mateix estudi també anunciava que els primers 20 rius amb major càrrega de residus plàstics al món, situats principalment a l'Àsia, eren els responsables del 67% de l'entrada global de plàstic al mar, afirmant així que actuant sobre aquest reduït nombre de rius és possible controlar en gran part el pas de residus als oceans.

Paral·lelament, un estudi del mateix any (Schmidt et al., 2017) concentrava en major mesura la càrrega de residus plàstics en un menor nombre de rius, afirmant que només 10 sistemes fluvials eren els responsables d'aproximadament el 90% de l'entrada global de plàstic als mars i oceans. Ambdós estudis coincidien per això en què la càrrega contaminant de deixalles augmenta desproporcionadament amb l'ampliació de mida del riu.

En canvi, una nova investigació publicada més endavant a la revista *Science Advances* (Meijer et al., 2021) diferia completament de la primera visió. En aquest cas, s'ha descobert que el 80% de l'entrada de residus plàstics al mar es distribueix en més de 1.000 rius (1% del total dels rius del món), en contraposició als 10 o 20 que es mencionaven anteriorment. A més, s'atribueix una gran importància a petits rius que creuen zones urbanes densament poblades, i es resta a rius de gran volum.

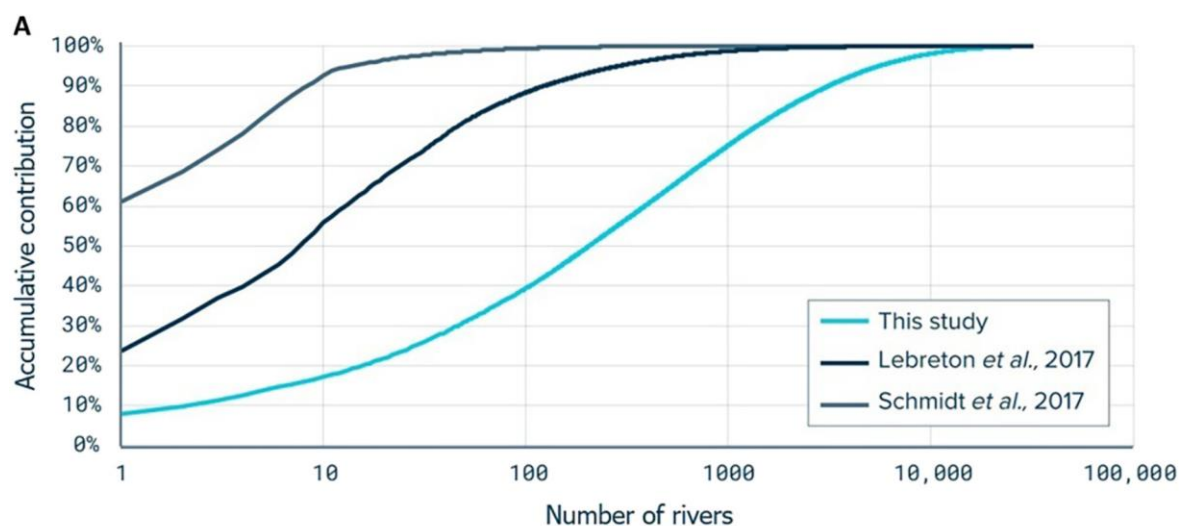


Figura 5: Contribució de l'emissió de plàstics als oceans a través dels rius segons diferents estudis

Per poder verificar les estimacions i dissenyar mètodes de gestió eficaços basats en evidències científiques, és necessari incrementar el nombre d'estudis realitzats en sistemes fluvials, ja que tal com s'ha observat, actualment encara s'evidencien nous resultats sobre la distribució de residus plàstics en aquests ecosistemes.

Malgrat tot, les noves investigacions plantegen dues qüestions importants a l'hora de comprendre i resoldre la problemàtica de l'abocament de residus als oceans. En primer lloc es destaca la propagació i la influència d'aquestes deixalles a tots els racons del planeta, fet que suscita un gran repte per tal de trobar solucions d'actuació més complexes logísticament. En segon lloc, es recolza per tant la idea que la solució definitiva per protegir els mars i oceans recau en contenir els residus allà on s'originen, és a dir a terra.

Finalment, demostrada la transcendència dels ecosistemes d'aigua dolça en el transport de residus fins al mar, es pot fixar els rius com una de les zones d'actuació possibles per l'aplicació de drons aquàtics per la recollida de deixalles. Així doncs, en aquest projecte es plantegen models de captació adreçats a zones costaneres, com poden ser platges o ports, i rius, sempre tenint en compte certes condicions de profunditat o onatge que es comenten en cada un dels models presentats més endavant.

6. Projecte The Ocean Cleanup

The Ocean Cleanup és una organització sense ànim de lucre amb seu als Països Baixos que desenvolupa tecnologies avançades per eliminar els plàstics dels oceans. Per assolir aquest objectiu, treballen en la neteja de tots els residus que ja s'han acumulat als oceans i addicionalment, interceptar aquells que hi arriben a través dels rius, que tal com s'ha comentat anteriorment són la via principal d'entrada.

L'objectiu marcat consisteix a eliminar el 90% del plàstic oceànic flotant, cosa que requereix una iniciativa global. Gràcies a l'ajut de persones, corporacions i governs de tot el món s'està duent a terme aquest projecte, que definitivament es pot considerar un dels més estesos globalment en l'àmbit de la neteja a gran escala d'ecosistemes marins.

El projecte actualment es divideix en dos àmbits d'actuació: els oceans i els rius. El desenvolupament d'ambdós procediments es mostra a continuació i s'utilitzarà més endavant com a comparativa de la implementació dels drons aquàtics en similars tasques de neteja marina.

6.1. Neteja d'oceans

Des de la seva fundació l'any 2013, aquesta organització ha centrat principalment tots els seus esforços en desenvolupar nous sistemes de neteja capaços d'aplegar el màxim nombre possible de plàstics flotant als oceans. Concretament, les zones de major interès han estat les anomenades sopes de plàstic (o illes de plàstic), que són acumulacions de residus no biodegradables que acaben creant grans superfícies de deixalles flotants. El terme d'illa per això, no és del tot encertat, ja que són àrees formades principalment per microplàstics i tant la seva localització com la seva forma canvien contínuament a causa dels corrents d'aigua i del vent.

La formació de les sopes de plàstic és deguda a l'acció dels girs oceànics, que arrossegueu els plàstics flotants a través dels corrents marins fins a acumular-los en una zona determinada on s'acaba creant aquestes agrupacions de deixalles. Aquestes mateixes corrents impedeixen que els residus abandonin la zona d'acumulació fins que es degraden a microplàstics amb el pas del temps, i per aquesta raó a mesura que cada vegada arriben més plàstics als oceans, les sopes de plàstic només fan que augmentar.

Es destaquen cinc girs oceànics principals ubicats en els oceans Pacífic, Atlàntic i Índic, tal com es mostra en la següent figura.

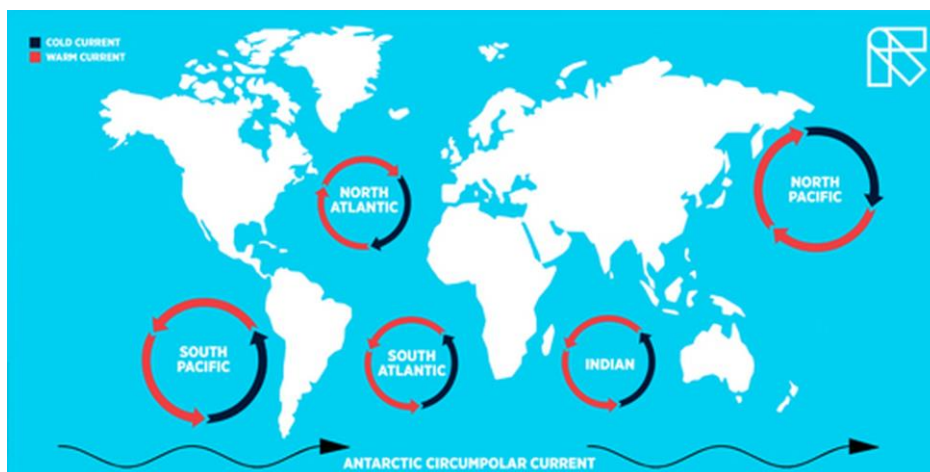


Figura 6: Distribució dels cinc girs oceànics principals

La ubicació d'aquests girs oceànics coincideix precisament amb les cinc sopes de plàstic conegudes fins al moment, en particular dues situades a l'oceà Pacífic, dues a l'Atlàntic i la darrera a l'oceà Índic. És un exemple l'anomenada Great Pacific Garbage Patch, que està situada a l'oceà Pacífic entre Califòrnia i Hawaii, i és considerada la més gran del planeta, ja que cobreix una superfície estimada d'1,6 milions de quilòmetres quadrats, que equival a tres vegades l'àrea de França (Lebreton et al., 2018). S'hi va estudiar també la quantitat de plàstics que formaven aquesta illa, obtenint una estimació de més d'1,8 trilions de peces de plàstic que comporten una massa de 80.000 tones. És remarcable també que els microplàstics representen un 8% de la massa total de la sopa de plàstic, però conformen el 94% del total de plàstics que hi ha a la zona (Lebreton et al., 2018).

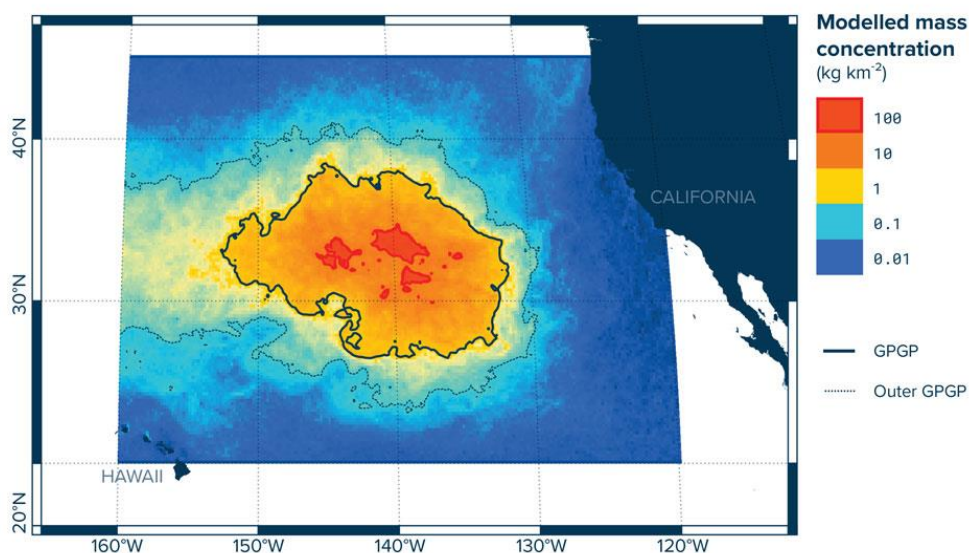


Figura 7: Concentració de plàstics que formen la Great Pacific Garbage Patch

En aquest indret d'acumulació immensa de residus plàstics és on es basa el projecte The Ocean Cleanup. El darrer disseny desenvolupat per l'organització, anomenat System 002, és un sistema experimental a gran escala que actualment s'està provant al Great Pacific Garbage Patch. D'aquesta manera, es pretén actuar sobre la zona amb major contaminació de residus plàstics als oceans de tot el planeta.

6.1.1. Sistema de captació

El vigent sistema de captació de residus plàstics està format per una barrera en forma de U amb una longitud total d'uns 800 metres, arrossegada per dues embarcacions, amb la funció d'atrapar tota classe de residus plàstics flotants que finalment s'acumulen en una zona de retenció formada per una xarxa i situada a l'extrem de la barrera.

La següent figura mostra una imatge del funcionament d'aquest sistema, i a l'annex 1 es poden trobar detalls més concrets sobre els seus paràmetres.

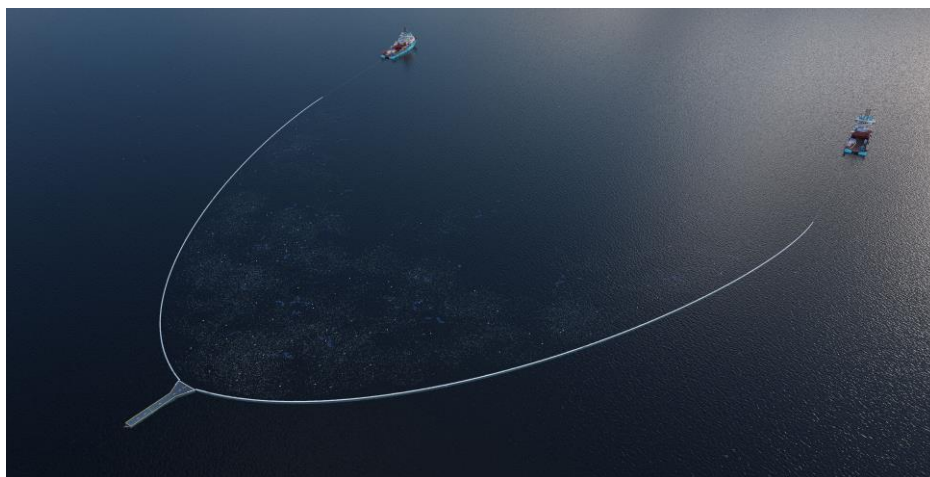


Figura 8: Sistema de captació de residus oceànics System 002

6.1.2. Funcionament del System 002

El gran repte que comporta la neteja de les deixalles oceàniques és que la contaminació per plàstics està molt diluïda i abasta milions de quilòmetres quadrats. Per aquesta raó, la solució plantejada per The Ocean Cleanup consisteix en primer lloc en concentrar el plàstic per després ser capaços de recollir i eliminar eficaçment grans quantitats de residus. A continuació es descriu el procediment utilitzat.

1. **Acumulació de residus:** Els corrents marins que hi ha en aquesta zona provoquen un moviment continu del plàstic flotant, creant focus de major concentració de residus. És important per tant, que el sistema de neteja es posi i dirigeixi en la mateixa direcció que el moviment dels plàstics, però en sentit contrari. Així doncs,

creant una diferència de velocitat relativa, el sistema és capaç d'acumular els residus entrants. A més, gràcies a la llarga barrera s'aconsegueix crear una costa artificial per tal que el plàstic no hi pugui sortir.

- 2. Captura de residus:** Una vegada ja s'ha posicionat el sistema, aquest es navega entre les zones de major concentració de brossa a través d'una propulsió activa amb la qual es manté una velocitat lenta, aproximadament de 0,75 m/s, però que ja és suficient per crear una diferència de velocitats amb el plàstic. Amb aquest procediment, el sistema es dedica a capturar i retenir el plàstic a la zona de retenció mentre que l'envergadura, la direcció i la velocitat del sistema són corregides i mantingudes en tot moment per les embarcacions davanteres.

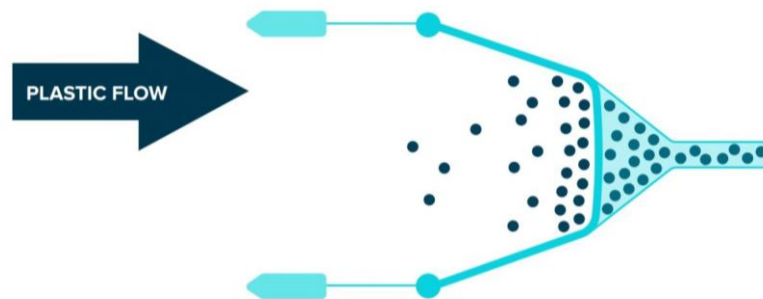


Figura 9: Esquema de l'entrada de plàstic al sistema

- 3. Extracció:** Una vegada el sistema ja és ple, la part posterior de la zona de retenció es puja a bord del vaixell on és buidada. Seguidament, es torna a col·locar la xarxa al seu lloc per tal de continuar amb el procediment de neteja.

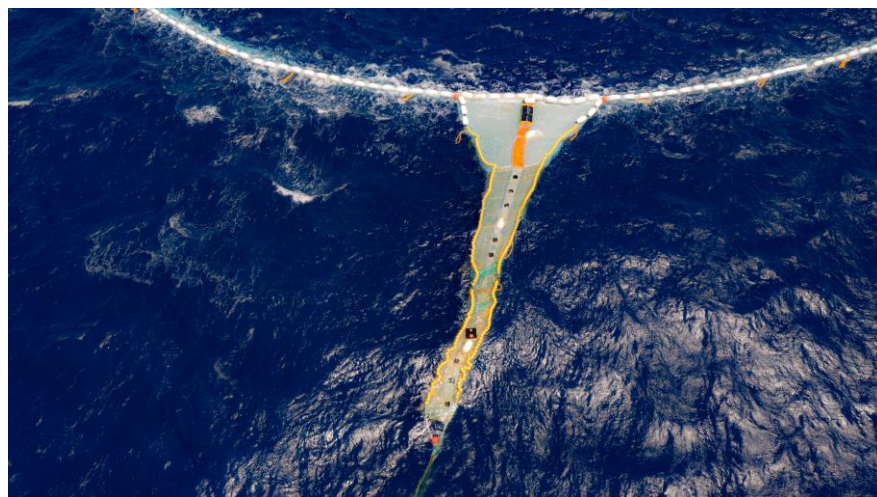


Figura 10: Zona de retenció de residus

4. **Reciclatge:** Quan els contenidors dels vaixells ja són plens de deixalles, es tornen a la costa per reciclar la màxima quantitat de plàstics possible. Aquest projecte té la iniciativa de fabricar ulleres de sol a partir de tots els plàstics recollits, per tal d'invertir tots els ingressos obtinguts per a la continuació del projecte de neteja marina.

The Ocean Cleanup es troba en continu desenvolupament amb la finalitat de seguir progressant per trobar la millor solució possible per a la recollida de residus plàstics als oceans. Per exemple, hi ha un gran interès en l'addició del modelatge computacional que pot ajudar en la detecció de les zones amb major concentració de contaminants, millorant així l'eficiència del procediment de neteja.

Per altra banda, la gestió de l'impacte ambiental ha estat un possible obstacle per aquest projecte, ja que ha estat criticat en alguna ocasió per entitats ecologistes o biòlegs marins, que alerten que no només s'escombren plàstics sinó que també es pot perjudicar part de la vida marina. En contraposició, ja que precisament l'objectiu d'aquest projecte és protegir els oceans i la vida que alberguen, The Ocean Cleanup treballa en tot moment per garantir que es limiten el mínim possible els afectes adversos de les operacions dutes a terme.

6.2. Neteja de rius

Per alliberar tots els mars i oceans de plàstic, no només cal extreure totes les deixalles que ja s'hi acumulen, sinó que també és imprescindible impedir-hi l'entrada de nous residus. Per complir aquest objectiu, l'organització The Ocean Cleanup es basa en les mateixes conclusions extretes de l'estudi comentat anteriorment, en l'apartat dirigit a estudiar l'arribada de deixalles al mar i el seu origen, en què s'afirma que els rius són la principal font de contaminació de plàstics als oceans, i més concretament que al voltant d'un miler de rius són els responsables d'aproximadament el 80% de la contaminació fluvial.

Amb el projecte anomenat Interceptor, introduït per primera vegada l'any 2019, l'organització pretén fer front a aquests 1000 rius més contaminants del planeta en 5 anys, és a dir abans d'acabar l'any 2025. Aquesta és la primera solució expansible per evitar que el plàstic entri als oceans del món.

6.2.1. Sistema de captació

El sistema Interceptor consisteix en una mena d'embarcació que està ancorat al llit del riu, i per tant és fix, per així aprofitar el cabal natural del riu per atrapar el plàstic que hi circula. És un sistema ecològic i alimentat completament amb energia solar, a través de bateries d'ió liti que li permeten funcionar dia i nit sense soroll ni gasos d'escapament. A més, ha estat dissenyat per mantenir un funcionament autònom les 24 hores del dia, eliminant la

necessitat de treballs manuals perillosos.

Està compost addicionalment, per una barrera flotant que s'utilitza per dirigir les escombraries cap al sistema. Tanmateix, aquesta no abasta la totalitat del riu, sinó que deixa lliure una part suficient per no interferir en la navegació d'altres vaixells, ni perjudicar o impedir la seguretat i la mobilitat de la fauna del riu.

Per acabar, un detall important és la col·locació del sistema als rius, i per aquest motiu l'organització ha realitzat investigacions sobre la posició òptima per a la recollida de residus. Aquesta condició, però es determina cas per cas en funció de variables del riu com per exemple la velocitat del flux, la seva amplada o el trànsit. Un cop analitzat i fixats aquests paràmetres, s'ha demostrat que en condicions òptimes el sistema pot extreure fins a 50.000 quilograms de plàstic cada dia. En la *Figura 11* es mostra una imatge del sistema presentat.



Figura 11: Sistema Interceptor operatiu

6.2.2. Funcionament de l'Interceptor

El procediment que s'utilitza per captar residus plàstics flotants a través del sistema dissenyat, es basa en els següents passos.

- 1. Posicionament del sistema i la barrera:** Per davant de l'Interceptor es posiciona una barrera que guia els residus que flueixen amb el corrent d'aigua del riu fins a l'obertura davantera de l'Interceptor. Tal com s'ha comentat, tant el sistema de captació com la barrera estan fixats al llit del riu, aprofitant en tot moment el moviment de l'aigua.

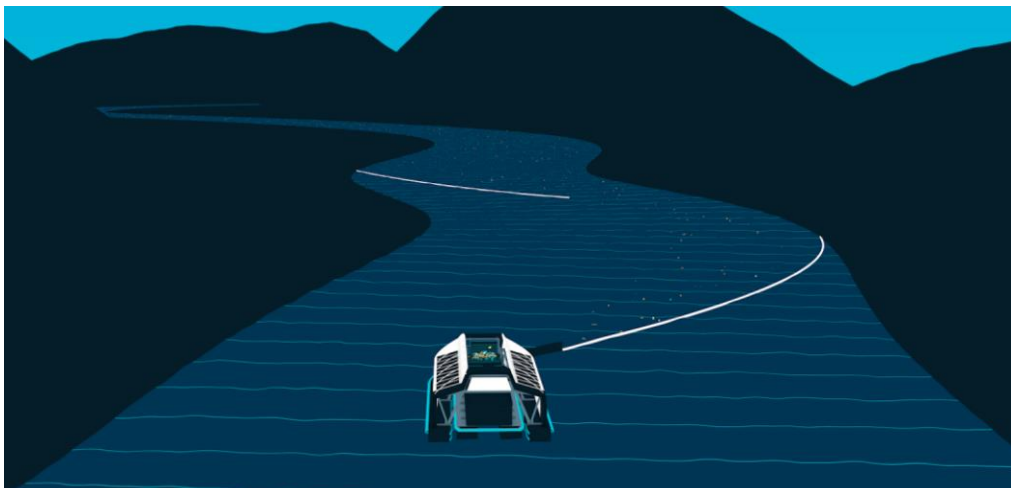


Figura 12: Representació del posicionament del sistema al riu

- 2. Recollida dels residus mitjançant una cinta transportadora:** A l'obertura d'entrada del sistema hi ha una cinta transportadora que extreu els residus de l'aigua que hi arriben i els trasllada a l'interior de l'Interceptor, on són acumulats.



Figura 13: Cinta transportadora de l'Interceptor

- 3. Emmagatzematge en contenidors:** L'interior de l'embarcació està format per un conjunt de contenidors on s'aboquen tots els residus captats i transportats per la cinta des del riu. El sistema detecta de forma completament autònoma quan s'omple cada un dels contenidors per tal de fer el canvi per un que estigui buit i poder continuar amb la recollida de residus. En total, l'Interceptor té la capacitat d'emmagatzemar fins a 50 m³ d'escombraries abans d'haver de ser buidat.
- 4. Buidar i reciclar:** Finalment, quan el sistema està gairebé ple, s'envia automàticament un missatge als operadors locals per tal que buidin tots els residus

acumulats. Totes les deixalles capturades són enviades a instal·lacions de gestió de residus per tal de ser reciclades i transformades en nous productes, de la mateixa forma que succeïa amb el projecte de neteja d'oceans.

Actualment, hi ha en actiu un total de 3 sistemes de captació de residus Interceptor. Estan situats en rius d'Indonèsia, Malàisia i República Dominicana, mentre que es treballa per desplegar aquest projecte als rius més contaminants d'arreu del món.

En aquest apartat s'ha desenvolupat àmpliament l'ús i les característiques d'aquest sistema, però addicionalment a l'annex 2 es presenten altres especificacions del mètode per aprofundir més en el seu funcionament.

7. Models de dron amb sistema de captació de residus

Una vegada analitzada la problemàtica de l'acumulació de residus acotada en els apartats 2 i 5, i s'han definit les principals zones d'actuació per dur a terme les tasques de neteja mitjançant drons aquàtics, es procedeix a estudiar possibles models reals d'aquests sistemes de recollida de residus.

Principalment, l'estudi se centra a mostrar models ja existents per tal d'analitzar la seva funcionalitat i les condicions amb les quals treballen. Per fer-ho, s'ha escollit dissenys ja testats i amb els que s'hagi demostrat el seu bon funcionament. Un dels casos, per exemple, és el model presentat anteriorment en el tercer apartat del projecte, amb el que ja s'ha assajat al port de Badalona.

Així i tot, en l'actualitat aquesta tecnologia encara no està del tot implementada per realitzar les tasques de neteja plantejades en aquest estudi, i per tant no existeix una gran diversitat de models que ja siguin utilitzats en situacions habituals. Per aquesta raó, també s'introdueixen modificacions per aquests models, a través de la incorporació de noves eines o complements, basades en projectes reals de gran magnitud que puguin ser reproduïts a menor escala mitjançant la tecnologia dels drons. És el cas del projecte de l'organització The Ocean Cleanup presentat anteriorment. Ja que aquest és un dels més estesos globalment per a tasques de neteja de residus marins, es prenen com a referència els mètodes utilitzats.

Altres aspectes importants que cal tractar són les especificacions del producte, l'operativitat, el cost destinat al seu consum i l'impacte ambiental que comporta. Seguidament doncs, s'exposen les diferents alternatives.

7.1. Dron de neteja WasteShark

L'anomenat WasteShark és un dels exemples més populars d'ús de tecnologia dron per combatre la contaminació de residus plàstics en masses d'aigua, i dels pocs que ha sigut implementat com a eina habitual en situacions reals. Va ser desenvolupat per l'empresa holandesa RanMarine i modelat simulant l'estructura del peix més gran del planeta, el tauró balena (d'aquí la raó del seu nom). És per tant, un vaixell de superfície autònom (ASV en anglès) utilitzat per la recollida de dades i residus en aigües d'entorns urbans, rurals o industrials.

Aquest dron està específicament dissenyat per captar deixalles i biomassa flotants en zones costaneres. El principal avantatge que presenta és el seu fàcil desplegament i mobilitat a

l'aigua, ja que les seves dimensions faciliten navegar per espais reduïts alhora que compta amb la capacitat per recollir volums significatius de residus, que poden arribar fins als 500 kg diaris de deixalles. A continuació es mostra una imatge del dron (*Figura 14*), mentre que a l'annex 1 es comenten les principals especificacions del producte.



Figura 14: Model de dron WasteShark

Amb aquest model, s'introdueix una solució de captura i entrega de residus basada en dades i robòtica avançada. A més, està equipat amb sensors que permeten analitzar la profunditat, la temperatura, la qualitat i altres paràmetres de l'aigua, i emmagatzemar aquesta informació per poder examinar-la.

El seu mètode de captació de residus es basa en la cistella que conté sota la coberta, on s'acumula tota la brossa recollida (*Figura 15*), fins que un algorisme que porta incorporat detecta quan la cistella està plena i provoca que l'embarcació retorni al punt d'inici per tal de ser buidada (de forma automatitzada o mitjançant un operador). Aquest procediment autònom és idèntic per a la recàrrega de la bateria, detectant en quin moment és necessària. Per altra banda, el moviment del dron segueix en tot moment rutes predeterminades que pot implementar l'usuari per tal d'assegurar que es cobreixi tota la regió desitjada.



Figura 15: Recollida de residus mitjançant la cistella

Així i tot, el seu funcionament pot variar depenent del format amb el qual es vol controlar el dron:

- WasteShark classe A (autònom): Es tracta del funcionament autònom que ja s'ha comentat, basat en una unitat de dades i sensors amb la capacitat de planificar missions i rutes per tal que el dron sigui capaç de gestionar una àrea determinada per a la neteja.
- WasteShark classe M (manual): En aquest cas, el dron és guiat en tot moment de forma remota per un operador.

Ambdós formats duen a terme les mateixes funcions de captació de residus, tot i que cada vegada es busca indagar més en l'automatització del producte per tal de desenvolupar mètodes més eficients per eliminar les deixalles. Això es pretén aconseguir mitjançant la recopilació de dades en els entorns d'aplicació per així crear nous models predictius de certs fenòmens com la proliferació d'algues, la mort de peixos o la toxicitat perillosa de l'aigua.

7.1.1. Zones d'actuació

L'objectiu principal pel qual va ser dissenyat aquest dron és evitar que les deixalles arribin a aigües obertes com mars i oceans. Aquesta finalitat consisteix a abordar l'origen dels residus marins, tal com s'ha comentat anteriorment en el projecte.

Per tant, el model de dron WasteShark és adient per a l'aplicació en les zones comentades a continuació, on ja ha estat incorporat en cada una d'elles.

- Masses d'aigua naturals: Principalment rius, llacs i estanys, així com preses i embassaments artificials. Tal com s'ha comentat anteriorment poden ser acumuladors de grans quantitats de residus, especialment si es troben en zones urbanes.
- Ports comercials: Pel fet que són els conductes del transport marítim mundial i compten amb nivells d'activitat comercial molt elevats, poden ser un focus important de contaminació i entrada de residus al mar.
- Ports pesquers: Tot i no tenir la mateixa activitat que un port comercial, els ports pesquers són propensos a la filtració de residus plàstics al mar, com poden ser xarxes de pesca o deixalles dels mateixos vaixells. Ja que sovint són exposats a marees a causa de la seva proximitat a la costa, els residus poden arribar ràpidament al mar. A més, els intents de neteja d'aquests ports també es veuen dificultat per l'espai limitat que hi ha, i per tant l'ús d'aquest dron és ideal per assolir aquestes zones de difícil accés entre embarcacions.

- Ciutats intel·ligents: No només s'actua per a la neteja de residus en canals i vies fluvials, sinó que també es dona una gran importància en la recollida de dades respecte a la qualitat de l'aigua en les ciutats.

Totes aquestes zones mencionades tenen punts en comú, com pot ser la dificultat d'actuar-hi mitjançant vaixells o embarcacions de grans dimensions, i per aquesta raó, l'aplicació de drons per a la seva neteja és adient.

Per altra banda, tot i que els drons aquàtics han de ser robustos perquè estan dissenyats per funcionar en entorns difícils, l'estructura del model a estudiar no li permet treballar en condicions gaire desfavorables. És a dir, que el dron és difícilment aplicable en masses d'aigua amb onatges o corrents d'aigua significatius, i per aquesta raó, no es posa en pràctica en platges o en zones de mar obert.

7.1.2. Impacte ambiental

Un altre detall de gran rellevància a l'hora d'analitzar la utilització d'un dron en ecosistemes aquàtics del nostre entorn és l'impacte ambiental que hi produeix. Ja que el model estudiat té com a finalitat la preservació i neteja del medi ambient, és imprescindible que aquest no produeixi cap efecte negatiu.

En aquest cas, un dels requisits del disseny del WasteShark és zero emissions de carboni durant el seu funcionament. El dron s'alimenta mitjançant bateries elèctriques que es poden carregar des de la xarxa local, o a través de sistemes d'emmagatzematge d'energia solar. Altrament, la seva navegació per la superfície sense la necessitat de grans motors o propulsors, intenta ser el màxim discret en el seu pas per l'aigua per tal d'alterar el mínim possible l'ecosistema en què treballa.

En conclusió, aquesta tecnologia neta permet recollir de manera segura biomassa i residus nocius en entorns on pot haver-hi fauna salvatge i mantenint un mínim impacte negatiu sobre l'entorn on actua.

7.1.3. Possibles modificacions

Un cop s'ha documentat els principals aspectes i propietats del disseny i funcionament del model de dron estudiat, es proposa alguna possible modificació per intentar millorar el sistema de captació de residus usat.

S'ha demostrat, gràcies a tota la informació presentada, que aquest model és adient per la recollida de deixalles abans que arribin al mar i en les zones d'actuació comentades anteriorment. Així i tot, es pot destacar un detall de la cistella utilitzada com a eina de recollida.



Figura 16: Vista frontal del dron WasteShark

La cistella, tal com s'observa en la *Figura 16*, està formada per una mena de reixa amb obertures per tal que pugui circular l'aigua entre elles, però en canvi els residus arrossegats puguin quedar encastats.

Al llarg de tot el projecte, s'ha comentat la gran problemàtica que ha sorgit en els darrers anys referent als microplàstics. Per tant, seria de gran interès poder incorporar una solució en aquest mateix model. La proposta doncs, es basa a modificar la reixa de la cistella actual, per una xarxa amb orificis més petits de tal manera que el dron fos capaç d'acumular microplàstics. Aquest canvi tampoc hauria d'afectar en l'ús actual, ja que els residus de major mida seguirien quedant atrapats a la cistella.

7.2. Dron SB 100

El model de dron aquàtic SB 100 (*Figura 17*) ha estat dissenyat i fabricat per l'empresa catalana GPA Seabots i consisteix en un vehicle autònom de superfície aquàtica (USV) que permet l'automatització de tasques d'inspecció i neteja marina. A diferència del model presentat anteriorment, aquest dron encara no s'aplica en situacions reals, tot i que sí que ha estat posat en pràctica per demostrar la seva eficàcia. Per exemple, en el port de Barcelona s'han realitzat diverses proves amb la intenció d'implementar-hi aquesta tecnologia per proporcionar tasques de manteniment.



Figura 17: Model de dron SB 100 PRO

Alguns dels avantatges que ofereix aquest model respecte a les embarcacions convencionals són la seva rapidesa en desplaçaments, el respecte pel medi ambient en el seu ús, la possibilitat d'accedir en zones d'alt risc i la capacitat de proporcionar les dades que recull a temps real des de terra. Aquesta última característica sobretot, és la que permet que la utilització del dron sigui eficaç en una gran varietat d'aplicacions diverses, com poden ser la hidrografia, l'anàlisi de paràmetres de l'aigua on actua, la inspecció de zones submergides, el salvament i rescat per situacions d'emergència, i finalment tasques de neteja.

Per cobrir totes aquestes aplicacions, el dron disposa d'un llarg nombre d'instrumentacions que poden complementar-lo. Es pot destacar principalment un pilot automàtic, que permet automatitzar les operacions i moviments del dron aconseguint fixar rutes totalment guiades. Altrament, l'equipament amb càmera dual a la part frontal del model, permet veure tot el que succeeix davant seu, sigui submergit o fora de l'aigua. A l'annex 2 es descriuen les especificacions tècniques restants del producte.

L'aplicació de major interès d'aquest projecte, però, és el sistema de neteja de superfícies d'aigua que pot dur a terme aquest dron. Tal com s'observava en la *Figura 17*, el model mostrat no conté cap eina de recollida de residus. La raó és que existeix una variació d'aquest dedicat principalment a les tasques de neteja, mentre que l'anterior es destina a les aplicacions d'inspecció i recollida de dades. Aquesta modificació del model s'anomena SB 100 Cleaner (*Figura 18*).



Figura 18: Model de dron SB 100 Cleaner

El disseny del sistema de captació de residus incorporat en aquest dron és molt similar al del model WasteShark, ja que es basa també en l'addició d'una cistella encarregada d'acumular els residus que recull en el seu pas. Les principals prestacions d'aquest sistema de neteja integrat són les següents:

- Permet la recollida de sòlids suspesos (incloent-hi macro i microplàstics), així com hidrocarburs i olis.
- Sistema d'aspiració motoritzat
- Xarxa de recollida de residus extraïble

La gran diferència respecte al dron presentat anteriorment és que el buidatge de residus recollits ha de ser manual, i per tant és imprescindible la intervenció d'un operari, a diferència del model WasteShark que tenia la capacitat de buidar-ho de forma autònoma.

7.2.1. Zones d'actuació

La finalitat principal del disseny d'aquest model de dron és l'automatització dels treballs de camp i aprofundir en el coneixement de l'entorn marí. Concretament, però, la seva aplicació va principalment dirigida a les activitats portuàries. És a dir, la raó d'implementació del dron en situacions reals és la neteja i inspecció de les aigües dels ports.



Així i tot, gràcies a les seves característiques d'àmplia maniobrabilitat i rapidesa, el model també és capaç de treballar en aigües costaneres, aigües poc profundes, rius i llacs. No obstant, una dificultat que es pot trobar en la seva aplicació és en condicions de gran onatge o moviment de l'aigua, ja que no ha estat testat en aquestes condicions i per tant és difícil preveure la seva funcionalitat en aquests casos. Aquest aspecte sol ser una de les principals incògnites a solucionar a l'hora d'implementar sistemes de drons en zones marines.

7.2.2. Possibles modificacions

Per una banda, el model especialitzat en la recollida de residus (SB 100 Cleaner) ja disposa d'un sistema de captació determinat basat en la cistella que porta incorporada. A diferència del dron WasteShark, aquest model ja serveix per a la neteja de microplàstics i macroplàstics, i per tant es fa difícil aportar alguna millora en un sistema d'aquesta simplicitat.

Per altra banda, però, a partir de l'altre model presentat (SB 100 PRO), ja que no té incorporada cap eina de recollida, es proposa un sistema alternatiu basat en el projecte a gran escala de The Ocean Cleanup, format a partir d'una xarxa de retenció de residus.

El concepte principal doncs, consistiria a incorporar una xarxa a la part posterior del dron, el qual l'arrossegaria. És evident que les dimensions molt reduïdes del dron no permeten que s'hi pugui unir una xarxa de grans mesures i que pugui carregar un gran nombre de residus, però sí que és adequat per incloure-hi una xarxa de captació de microplàstics. Aquest principi era aplicat d'igual forma en la iniciativa Surfing for Science, on la xarxa era remolcada per la taula de surf. Dues opcions d'elevada eficàcia en el mercat de les xarxes de microplàstics són les següents:

Xarxa manta	Xarxa Neuston
	
Dimensions: 60 x 25 cm	Dimensions: 80 x 30 cm
Ambdós xarxes són utilitzades pel mostreig de plàncton o microplàstics situats en els primers centímetres de la columna d'aigua.	

Taula 1: Comparació de xarxes de microplàstics

Un dels avantatges d'utilitzar aquestes xarxes en lloc de les cistelles en els drons, és l'estabilitat amb què compten. Les cistelles són fixes al dron, i en condicions d'onatge com seria habitual en aplicacions marines, és possible que aquest pateixi cert moviment descontrolat, impedit doncs que els residus es puguin captar i retenir amb total eficàcia dins

la cistella. En canvi, gràcies als flotadors incorporats a la xarxa i, ja que aquesta no és fixa al dron, la seva obertura es pot mantenir paral·lela a la superfície en tot moment. Per altra banda, la seva llargada permet també una millor retenció dels residus capturats.

En contraposició, el problema amb el qual compta aquest sistema és la incapacitat de recollir un nombre elevat de residus marins. Degut a les dimensions d'aquesta xarxa, és poc útil a l'hora de captar macroplàstics. Així i tot, seria adient per compondre un sistema de mostreig de microplàstics en zones de difícil accés per altres embarcacions.

7.3. Dron Jellyfishbot

Seguint en l'àmbit de la recollida de residus que floten a la superfície de l'aigua, apareix el dron anomenat Jellyfishbot. Aquest model és producte de la companyia francesa IADYS (Interactive Autonomous Dynamic Systems), va ser posat en funcionament per primera vegada l'any 2018 i en l'actualitat ja ha estat implementat en nombroses ciutats franceses, així com en l'àmbit internacional.

El dron consta d'una estructura de catamarà formada per alumini, amb boies de plàstic que el doten d'una bona estabilitat, i és propulsat per bateries elèctriques. I a diferència dels dos models presentats anteriorment, està equipat amb una xarxa situada a la popa (part posterior) que actua com a sistema de recollida de residus, en lloc de la cistella habitual. A més, aquesta xarxa compta amb l'afegit d'una tela repel·lent d'aigua, anomenada tela hidrofòbica, que és capaç de captar hidrocarburs, és a dir petroli que es pugui trobar a l'aigua. A l'annex 5 es caracteritzen més concretament les especificacions tècniques del model.

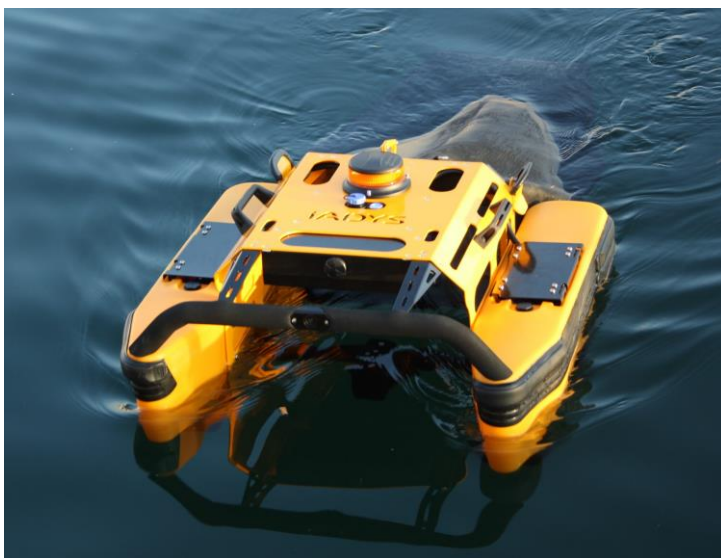


Figura 19: Model de dron Jellyfishbot

D'aquesta manera, el sistema de captació de residus incorporat permet la recollida de deixalles flotants, principalment plàstics, amb una mida d'entre 5 mm i 25 cm de llarg, a part dels hidrocarburs. Així doncs, desavantatge amb el qual compta és la impossibilitat de capturar microplàstics. Malgrat això, la seva capacitat de recollida per cada expedició és de 80 litres en cas de residus, i de 30 litres per als hidrocarburs.

Inicialment, el dron es va dissenyar per ser pilotat de forma remota a través d'un comandament a distància, però des dels inicis de l'any 2021 ja s'ofereix una versió totalment autònoma capaç de netejar una àrea predeterminada sense necessitat de cap operador. Addicionalment, també s'ha incorporat un nou mètode per incrementar la capacitat de recollida de residus. Aquesta solució és anàloga al procediment efectuat en el projecte The Ocean Cleanup per a la neteja dels oceans. Així doncs, consta d'una barrera remolcada per dos drons Jellyfishbot que guien els residus fins a una xarxa de 3 m d'amplitud amb una capacitat de 150 litres. A continuació es mostren els dos sistemes de captació aplicats en aquest model.



Figura 20: Sistema de captació de residus mitjançant una xarxa



Figura 21: Incrementació de la capacitat de recollida per al sistema de captació de residus amb l'aplicació de dos drons i una barrera

7.3.1. Zones d'actuació

De la mateixa forma que els altres models de dron analitzats, les principals virtuts d'aquest sistema són la possibilitat d'actuació en zones de risc o en zones impossibles d'assolir per altres embarcacions, gràcies a les seves reduïdes dimensions. Per tant, les principals zones d'aplicació del model Jellyfishbot actualment solen ser ports, llacs i canals.

7.4. Sensor de microplàstics

Finalment, després d'haver presentat i analitzat tres models de drons aquàtics de superfície dedicats a la neteja de residus flotants en masses d'aigua, cal mencionar una nova tecnologia en desenvolupament que és totalment diferent. Mentre els altres sistemes tenien molts punts en comú en referència al seu funcionament i la seva funcionalitat, aquest model difereix en diverses qüestions.

L'empresa nord-americana Draper ha dissenyat un vehicle submarí autònom (AUV), és a dir un dron submarí equipat amb nombrosos sensors i filtres que pretén combatre la invisibilitat dels microplàstics. El seu funcionament és senzill, ja que compta amb una obertura frontal que s'encarrega de filtrar l'aigua que hi passa i determinar la seva concentració de microplàstics. Aquest procés és completament autònom i basat en el Sistema de Posicionament Global (GPS) per tal de ser localitzable en qualsevol moment.

Actualment aquest sistema només comptaria amb funcions d'inspecció i anàlisi de l'aigua, però tot i així comportaria un gran avanç en l'àmbit de la detecció de microplàstics amb la capacitat d'establir globalment les zones de màxima contaminació per aplicar-hi accions de neteja a gran escala. Per dur a terme aquest objectiu, els seus sensors estan dissenyats per comptar, mesurar la mida i determinar la composició de totes les partícules de microplàstics en temps real.

A continuació es mostra una imatge del disseny d'aquest dron.



Figura 22: Dron submarí que implementa la tecnologia de sensors de microplàstics de Draper

Per afegir, una altra funció en ment per aquesta aplicació és el desplegament de boies amb la funció d'estacions de càrrega, tal com apareix a la figura, i que utilitzarien energia eòlica per carregar les bateries del dron.

Tot i que aquest sistema encara es troba en desenvolupament, ja ha estat posat en pràctica en els mars propers a les illes de Hawaii. L'objectiu principal és, que a llarg termini, la col·lecció de dades i la seva classificació permeti avaluar la influència dels corrents oceànics i els fenòmens meteorològics en la distribució de microplàstics als oceans. D'aquesta manera, un sistema que proporcioni dades a l'instant ajudarà a comprendre com realment afecten aquestes partícules al medi ambient, la vida marina i fins i tot als humans.

8. Elaboració del pressupost

Per realitzar el pressupost total del projecte es tenen en compte dues partides diferents. Per una banda hi ha el cost humà, relacionat amb la investigació i redacció de la memòria, tenint en compte un possible sou base d'un enginyer industrial. El nombre d'hores destinades en aquest procés s'ha calculat a partir de la duració total del projecte, aproximadament de dos mesos i mig, i de l'equivalència amb les hores de dedicació per cada crèdit ECTS del Treball de Final de Grau, que s'estima de 25 hores per crèdit. Amb un total de 12 crèdits doncs, el nombre total d'hores és de 300.

Per altra banda, s'afegeix el cost de la llicència de Microsoft Office 2019, que és l'editor de text utilitzat per al redactat de la memòria. Ja que aquest projecte només analitza tots els punts tractats de forma teòrica, no ha estat necessari utilitzar cap altre programa de pagament.

Per concloure, el cost final del projecte aproximat es resumeix en la següent taula:

COST HUMÀ			
Concepte	Hores (h)	Preu unitari (€/h)	Preu total (€)
Autoaprenentatge i recerca d'informació	120	20	2.400
Redacció de la memòria	200	20	4.000
COST LLICÈNCIES			
Concepte	Tipus de programa	Preu unitari	Preu total (€)
Microsoft Office 2019	Editor de text	149	149
COST TOTAL			6.549 €

Taula 2: Cost del treball total

9. Treballs futurs

Aquest projecte inicia un procés d'anàlisi en el tractament de drons aquàtics per a finalitats de preservació mediambiental, en aquest cas per a la recollida de residus marins. En ell s'estudia de manera teòrica quin és el panorama actual d'aquesta nova tecnologia en l'àmbit comentat. D'aquesta manera, pot servir d'introducció i permet la seva continuació per diferents sectors ja il·lustrats en el mateix treball.

En primer lloc, una opció seria aprofundir en la formació dels possibles sistemes de captació. Una forma podria ser posar en pràctica algun procediment presentat, és a dir, ser capaç de reproduir i fabricar un sistema de recollida, amb un previ disseny d'aquest, per posar-lo en funcionament en situacions reals i així comprovar la seva eficiència.

Per altra banda, també es podria optar seguir per l'àmbit del dron aquàtic i la seva tecnologia. Seria de gran interès poder aprendre quins són els seus components principals i el seu funcionament. Una bona opció doncs seria plantejar un nou model de dron aquàtic inspirat en altres models ja existents, però afegint modificacions que puguin incrementar la seva eficàcia. Com és evident, aquesta tecnologia es troba en clar desenvolupament i per tant, pot haver-hi molt marge d'innovació.

Per últim, es podria fins i tot tractar més densament el procediment de detecció dels residus. Aquest treball s'ha centrat únicament en l'eliminació de les deixalles, però anteriorment a aquest procés cal realitzar un seguit de tasques de detecció que són de gran complexitat a causa de la desmesurada quantitat d'aigua que es troba afectada per la problemàtica dels plàstics.

Tots aquests possibles enfocaments de la temàtica poden ser l'inici d'un nou punt d'investigació, i per tant el projecte elaborat és un bon punt de partida per iniciar un nou TFG o TFM, per exemple.

10. Conclusions

Per dur a terme un balanç del projecte és necessari avaluar el compliment dels objectius fixats a l'inici. Al llarg del treball, s'ha documentat una sèrie de mètodes desenvolupats i aplicats en l'actualitat amb la finalitat de netejar els mars i oceans de deixalles. S'ha fet una clara distinció entre els sistemes que incorporen la utilització de drons aquàtics i els que no ho fan, i s'ha buscat possibles semblances en els seus funcionaments. D'aquesta manera, s'ha pogut estudiar la implementació de la tecnologia presentada en accions de neteja de residus marins, i per tant afirmar que s'ha complert l'objectiu principal del projecte.

Per altra banda, l'anàlisi de l'origen de les deixalles i les principals vies d'entrada al mar ha aconseguit situar les zones de major influència per als sistemes de captació mostrats. Així doncs, tot el treball s'ha enfocat a tractar aquestes zones on l'aplicació d'aquests mètodes té un impacte significatiu.

No obstant això, s'ha comprovat que existeix una certa limitació en l'ús d'aquesta tecnologia per a situacions habituals. En diverses ocasions, la implementació de drons aquàtics en tasques de neteja és genuïnament experimental, a causa de la falta de desenvolupament de la tecnologia, que ha esdevingut fa pocs anys. Per aquest motiu, es troba que l'acció principal de gairebé tots els mètodes es limita a zones de poca activitat com poden ser els ports, que tot i no ser les regions amb major conflicte de contaminació, destaquen per les condicions favorables de navegació, com per exemple el poc onatge.

De la mateixa forma, els sistemes estudiats que ja han estat posats en pràctica es basen tots en l'eliminació de residus superficials, mentre que a la resta de columna d'aigua i fins al fons marí, actualment encara és una incògnita la funció que poden realitzar aquests tipus de mètodes.

Tot això demostra doncs que encara hi ha molts àmbits de gran potencial per aprofundir i ampliar la investigació en aquest tipus d'aplicacions, que compten amb un ampli marge de desenvolupament en un futur pròxim.

11. Bibliografia

11.1. Referències bibliogràfiques

- [1] Camins, E., De Haan, W.P., Salvo, V.S., Canals, M., Raffard, A. i Sànchez-Vidal, A. (2020), "Paddle surfing for science on microplastic pollution". *Science of total Environment*, 709. Disponible a: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719361741?via%3Dihub> [Consultat: 20-07-2021]
- [2] Jambeck, J.R., et al. (2015), "Plastic waste inputs from land into the ocean". *Science*, 347(6223), pp. 768-771. Disponible a: <https://jambeck.engr.uga.edu/landplasticinput> [Consultat: 20-07-2021]
- [3] Lebreton, L.C.M., et al. (2018), "Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic". *Scientific Reports*, 8(4666). Disponible a: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-22939-w> [Consultat: 05-09-2021]
- [4] Lebreton, L.C.M., van der Zwet, J., Damsteeg, J., Slat, B., Andrady, A. i Reisser, J. (2017), "River plastic emissions to the world's oceans". *Nature Communications*, 8, pp. 1-10. Disponible a: <https://www.nature.com/articles/ncomms15611> [Consultat: 09-08-2021]
- [5] Meijer, L.J.J., Emmerik, T., van der Ent, R., Schmidt, C. i Lebreton, L. (2021), "More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean". *Science Advances*, 7. Disponible a: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aaz5803> [Consultat: 09-08-2021]
- [6] Schmidt, C., Krauth, T. i Wagner, S. (2017), "Export of plastic debris by rivers into the sea". *Environmental Science and Technology*, 51. Disponible a: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.7b02368> [Consultat: 09-08-2021]

11.2. Bibliografia complementària

- [1] Abril, M. (2021). El papel de los ríos en el transporte de los residuos plásticos al mar. Disponible a: <https://www.iaqua.es/blogs/meritxell-abril/papel-rios-transporte-residuos-plasticos-al-mar> [Consultat: 09-08-2021]
- [2] Agència de Residus de Catalunya (2020). *Projecte MARVIVA*. Disponible a:

- http://residus.gencat.cat/ca/ambits_dactuacio/tipus_de_residu/deixalles-marines/projecte_marviva/ [Consultat: 20-07-2021]
- [3] Aquatic BioTechnology (2021). Red Manta. Disponible a: <https://aquaticbiotechnology.com/redes-de-plancton/red-manta> [Consultat: 05-09-2021]
- [4] Aquatic BioTechnology (2021). Red Neuston. Disponible a: <https://aquaticbiotechnology.com/redes-de-plancton/red-neuston> [Consultat: 05-09-2021]
- [5] Clúster Nàutic Català (2021). Netegem els ports. Disponible a: <https://netegemelsports.clusternautic.cat/> [Consultat: 20-07-2021]
- [6] CORDIS (2019). Marine Litter Prevention with Autonomous Water Drones. Disponible a: <https://cordis.europa.eu/article/id/254172-aquadrones-remove-deliver-and-safely-empty-marine-litter/es> [Consultat: 20-08-2021]
- [7] Draper (2021). Microplastics Sensor. Disponible a: <https://www.draper.com/explore-solutions/microplastics-sensor> [Consultat: 09-09-2021]
- [8] González, I. (2020). "Draper, el dron submarino que acaba con los microplásticos". *El espanyol*, 8 de febrer. Disponible a: https://www.elespanol.com/omicrono/20200208/draper-dron-submarino-acaba-microplasticos/465204408_0.html [Consultat: 09-09-2021]
- [9] GPA Seabots (2021). SB 100 PRO. Disponible a: <https://www.gpaseabots.com/sb100-surveyor> [Consultat: 04-09-2021]
- [10] IADYS (2020). The Jellyfishbot. Disponible a: <https://www.iadys.com/en/jellyfishbot-2/> [Consultat: 07-09-2021]
- [11] Ona Safe & Clean (2020). Seadron Cleaner. Disponible a: <http://www.onasafeandclean.com/es/seadron-cleaner/> [Consultat: 09-08-2021]
- [12] Plastics le mag (2021). Jellyfishbot, un robot para la recogida de basura marina. Disponible a: <https://plasticslemag.es/Jellyfishbot-un-robot-para-la-recogida-de-basura-marina> [Consultat: 07-09-2021]
- [13] RanMarine Technology (2021). The WasteShark: Cleaning plastic waste and unwanted biomass from our waters. Disponible a: <https://www.ranmarine.io/products/wasteshark/> [Consultat: 20-08-2021]
- [14] Surfing for Science (2021). Surfing for Science. Disponible a:

<https://www.asensiocom.com/surfingforscience/ca/> [Consultat: 20-07-2021]

[15] The Ocean Cleanup (2021). Oceans: Cleaning up the garbage patches. Disponible a: <https://theoceancleanup.com/oceans/> [Consultat: 05-09-2021]

[16] The Ocean Cleanup (2021). How it works: The Intercpetor. Disponible a: <https://theoceancleanup.com/rivers/> [Consultat: 05-09-2021]

12. Annexos

12.1. Paràmetres del sistema de captació de residus oceànics del projecte The Ocean Cleanup (System 002)

Paràmetre	Valor
Envergadura nominal	520 m
Velocitat nominal	0,75 m/s (1,5 nusos)
Llargada del sistema	800 m
Volum de la zona de retenció de residus	103 - 183 m ³
Profunditat	3 m
Francbord	45 cm
Material	Dyneema

Taula 3: Paràmetres del sistema de captació de residus System 002

12.2. Especificacions del sistema de captació de residus en rius: Interceptor

Els següents punts corresponen a les característiques materials del sistema complet:

- Mesures del sistema: 8 x 24 x 5 metres
- Capacitat total d'emmagatzematge de residus: 50 m³
- Mida total dels contenidors d'emmagatzematge de residus: 4,5 x 14 x 0,77 metres
- Nombre de contenidors del sistema: 6 contenidors
- Capacitat de cada contenidor: 8,3 m³

Seguidament es llisten els atributs del sistema en referència a l'energia i el processament de dades:

- Generació d'energia sense connexió a la xarxa
- Capacitat solar: 5,6 kWp
- Capacitat de les bateries: 20 kWp Li-ion
- Comunicació 4G
- Mesurament directe dels residus extrets
- Mesurament de les condicions meteorològiques locals
- Tauler de control remot

- Control d'extracció de residus automatitzat

Finalment, es mostren les característiques d'operació de la cinta transportadora i l'extracció de residus:

- Velocitat màxima d'extracció de la cinta transportadora: 24 kg/s (assumint que la cinta s'omple al 100% de deixalles)
- Temps nominal per omplir l'embarcació del sistema: 1 hora (suposant un 15% de les condicions d'ompliment mitjà de la cinta)
- Possibilitat de múltiples intercanvis de l'embarcació per dia
- Els Interceptors completament operatius poden extreure fins a 50.000 kg al dia. Amb una eficiència òptima, aquesta capacitat teòricament es podria elevar fins als 100.000 kg al dia.

12.3. Especificacions tècniques del dron WasteShark

Paràmetre	Valor
Abast de guia per control remot	3 km
Rendiment de neteja	1000 m ² /h (a 1 nus = 0,5 m/s)
Dimensions	157 x 52 x 109 cm
Pes	72 kg
Propulsió	2 propulsors elèctrics (4,1 kgf / 9,0 lbf per cada propulsor)
Velocitat màxima	0,83 m/s
Autonomia	6 hores (en mode autònom)
Capacitat de recollida de residus	Fins a 160 litres per desplegament (equivalent de fins a 60 kg de deixalles)

Taula 4: Paràmetres del dron WasteShark

12.4. Especificacions tècniques del dron SB 100

Paràmetre	Valor
Dimensions	103 x 55 x 75 cm
Calat	14 cm
Pes	31 kg

Motorització	Doble motor amb 9 Kgf
Velocitat màxima	2 m/s
Velocitat de treball	1 m/s
Capacitat de càrrega	15 kg
Autonomia	Fins a 3 hores (bateries reemplaçables)
Capacitat de les bateries	30 Ah @ 12 V
Càrrega de les bateries	Menys de 2 hores
Evitació d'obstacles	Frontal fins a 40 m
Comunicació	Mitjançant Wifi o 4G
Material	Composite d'altres prestacions

Taula 5: Paràmetres del dron SB 100

12.5. Especificacions tècniques del dron Jellyfishbot

Paràmetre	Valor
Abast de guia per control remot	400 m
Rendiment de neteja	1000 m ² /h (a 1 nus = 0,5 m/s)
Dimensions	70 x 70 x 50 cm
Pes	18 kg
Propulsió	3 propulsors elèctrics de 250 W
Velocitat màxima	1 m/s
Autonomia	6-8 hores

Taula 6: Paràmetres del dron Jellyfishbot