



“Dels nostres actes d'avui, en depèn el futur del nostre planeta i la supervivència de la nostra espècie”

Autor: Nicolás Alejandro Bellés de Villa

Tutor: Professor David Cortés

3 desembre 2018

AGRAÏMENTS

Aquest treball de recerca no només és fruit del meu esforç personal i la meua motivació, sinó també de l'ajuda de moltes persones, tant en l'àmbit professional com en el personal. Amb les següents línies voldria mostrar el meu agraïment a totes elles.

Al meu tutor, el Professor David Cortés que m'ha ajudat i orientat durant la realització de totes les etapes d'aquest treball.

A l'enginyer Carlos Bellés, el meu avi, per resoldre els meus dubtes en el tema de la construcció, disseny i operativitat dels vaixells ... i a la meua àvia per aguantar les nostres converses.

A la meua tia Mònica, per assessorar-me en el disseny i estructura del treball, per vigilar la meua redacció i a més per guiar-me en l'ús del programa d'edició del vídeo (part d'aquest treball).

A la meua mare, per donar-me suport, motivar-me i guiar-me en la utilització del programa de disseny Illustrator d'Adobe, necessari per fer els gràfics que apporto en aquest treball.

Al professor John McGeehan, creador de l'enzim PETasa, a qui li vaig demanar una entrevista, però que va ser declinada degut a compromisos de feina importants.

A Boyant Slat, creador i promotor del projecte The Ocean Cleanup i als creadors del projecte Manta, per inspirar-me amb les seves idees i amb el seu esforç per solucionar el gran problema de la contaminació dels oceans. A organitzacions com Greenpeace i The Nature Conservancy per realitzar campanyes per canviar actituds i conductes, per protegir i conservar el medi ambient.

A tots aquells que d'una o altra manera col·laboren per a la descontaminació dels nostres oceans, que tenen cura del medi ambient i lluiten cada dia per un planeta més net.

ÍNDIX

RESUM / ABSTRACT.....	1
1. INTRODUCCIÓ.....	3
2. OBJECTIUS	4
3. HIPÒTESI	5
4. METODOLOGIA.....	6
4.1. Cerca d'informació	6
4.2. Realització del meu model experimental	6
4.3. Realització de la maqueta i el vídeo explicatiu	7
4.4. Anàlisi i interpretació dels resultats	8
5. LA CONTAMINACIÓ DELS MARS	9
5.1. Illes de plàstic	9
5.2. Conseqüències de la contaminació dels mars pel plàstic	13
5.2.1. Alteracions negatives en el sistema reproductiu dels animals marins	13
5.2.2. Creixement excessiu d'algues.....	13
5.2.3. Afectació de l'ecosistema	14
5.2.4. Malalties i mort d'animals aquàtics	15
6. SOLUCIONS ACTUALS. INICIATIVA DE RECOLLIDA DE PLÀSTIC DELS MARS	18
6.1. The Ocean Cleanup	18
6.2. Projecte Manta	19
6.3. Campanya #Mareslimpios	20
7. DESCOBRIMENTS RECENTS: BACTERI IDEONELLA SAKAIENSIS	21
8. EL MEU MODEL PER A LA RECOLLIDA I DESINTEGRACIÓ DEL PLÀSTIC ALS OCEANS	24
8.1. El meu vaixell	25
8.1.1. Característiques del meu vaixell.....	27
8.2. Captació de les escombraries en el meu model	33
8.2.1. Dos remolcadors d'altura	33
8.2.2. Xarxa de malla atapeïda metàl·lica.....	34
8.3. Màquina separadora o seleccionadora.....	35
8.4. Compactadores de residus.....	36
8.5. Vaixell auxiliar.....	36

8.6 La meva idea de tancs utilitzats per al meu projecte	37
8.7. Funcionament del meu model	40
8.7.1. Captura d'escombraries a l'oceà	41
8.7.2. Procediment dins del vaixell	45
8.7.3. El funcionament dins dels tancs de desintegració	45
8.7.4. Quantitats i temps en processos de recollida i desintegració del plàstic	48
8.7.5. Eficiència del meu model.....	52
9. CONCLUSIONS	55
10. BIBLIOGRAFIA	60
11. ANNEXOS	66
11.1. Vídeo	66
11.2. Maqueta de tanc desintegrador	68
11.3. Correu electrònic de científics i responsables de projectes	69
11.4. Dossier de premsa Greenpeace	72
11.5. Informe Yoshida	76

ABSTRACT

English

This work consists in the creation of an innovative project to fight against the pollution of oceans, based on the collection of plastic and its degradation in the same place, using technology and adequate infrastructures together with the enzyme that “eats” plastic, PETase, recently discovered.

As methodology I used the research of documents referring to quantities, locations and effects of the plastic in oceans, research on similar projects in progress, scientific studies on the PETase enzyme, and field work for the development of the model and its operation, with theoretical documentation, inspiration and advice from an engineer.

Synthesizing: Two tugboats with a special net will drag 4680 m³ of trash per catch, to transport a superbuoy. In this the plastic will be separated from other types of garbage in an automated way and each tank (total 16) will be filled with 3150 m³ of plastic. In each tank, more than 0,273 Kg of the PETase enzyme will be poured to proceed to the degradation of the plastic in 6 weeks.

I know that the scientific studies of the PETase enzyme continue to improve its performance, however I have shown in this project that its theoretical use is possible and that through the model presented here, 69,048 tons of plastic can be eliminated in approximately 84 days.

RESUM

Català

Aquest treball consisteix en la creació d'un projecte innovador per lluitar contra la contaminació dels oceans, basat en la recollida de plàstic i la seva degradació en el mateix lloc, utilitzant tecnologia i infraestructures adequades conjuntament amb el bacteri "menja plàstic", recentment descobert.

Com a metodologia, vaig investigar documents referent a quantitats, ubicacions i efectes del plàstic en els oceans, investigació sobre projectes similars en marxa, estudis científics sobre l'enzim PETasa, i treball de camp per al desenvolupament del model i el seu funcionament, amb documentació teòrica, d'inspiració i assessoria d'un enginyer.

Sintetitzant: Dos remolcadors amb una xarxa especial arrossegaran 4680 m³ d'escombraries per captura, que transportin a un superbuc. En aquest, se separarà el plàstic d'un altre tipus d'escombraries de forma automatitzada i s'omplirà cada tanc (total 16) amb 3150 m³ de plàstic. A cada tanc s'abocaran més de 0,273 kg de l'enzim PETasa per procedir a la degradació del plàstic en 6 setmanes.

Sé que els estudis científics de l'enzim PETasa continuen en l'actualitat per millorar el seu rendiment, però he demostrat en aquest projecte que la seva utilització teòrica és possible i que a través del model aquí presentat es poden eliminar 69.048 tones de plàstic en aproximadament 84 dies.

1. INTRODUCCIÓ

Pocs dies abans de decidir el tema d'aquest treball, vaig veure a Netflix un documental titulat "*A la recerca del corall*" [23], que descriu un projecte per salvar els coralls que estan morint a causa de la contaminació. El tema em va motivar, ja que quan era petit, solia anar a una illa al Carib, on bussejava i veia tota mena d'animals marins que em fascinaven. Adonar-me que totes aquestes espècies estan morint per culpa de la nostra espècie, em va generar molta pena.

Quan vaig començar aquesta investigació, vaig descobrir que la contaminació marina és un dels problemes ambientals més greus del planeta i vaig quedar impactat per les altes xifres que es manegen i com van augmentant, a més de la quantitat de projectes que intenten reduir aquest problema, als quals se'ls dona molt poca promoció o ajuda.

Mentre investigava, vaig recordar la notícia del recent descobriment del bacteri *Ideonella Sakaiensis*, que "menja" plàstic, i vaig pensar que potser unint els processos dels projectes ja existents amb el potencial de l'enzim, es podria crear un model eficient per a la neteja del plàstic dels oceans.

Amb aquest projecte, vull aportar una idea per reduir el problema de la contaminació per plàstic dels mars. He efectuat treball de camp, investigant en llibres, articles i notícies, realitzant alguns càlculs, contactant amb experts perquè aquest projecte pugui ser viable en algun moment. He realitzat a més una maqueta del tanc on es produeix la desintegració, perquè el model pugui ser explicat i visualitzat fàcilment i he editat un vídeo d'introducció al tema de la contaminació, que emetré en la presentació, per conscienciar sobre el problema.

Crec que és important que aquests projectes comencin a tenir oportunitats per dur-se a terme, de manera que penso que tots hauríem de participar, amb iniciatives i projectes de descontaminació i programes educatius o campanyes de conscienciació eficaces, perquè tots entenguem que d'avui en depèn el futur del nostre planeta i la supervivència de la nostra espècie. Revertir aquests problemes i frenar-los està a les nostres mans i en el nostre canvi d'hàbits.

2. OBJECTIUS

Els objectius que he de complir per a la realització d'aquest treball són:

- Conèixer els nivells de la contaminació per plàstic en els mars i la seva localització.
- Conèixer quins són els efectes negatius que tenen les illes de plàstic en relació a l'ecosistema, el canvi climàtic, als éssers humans i el seu impacte sobre el nostre sistema de vida.
- Investigar tota la informació disponible sobre el bacteri *Ideonella Sakaiensis* i l'enzim PETasa, en relació a la seva capacitat per digerir el plàstic.
- Conèixer quines són les principals iniciatives que s'estan duent a terme per a la descontaminació dels oceans, investigar sobre els seus mètodes i com ho estan fent.
- Idear de quina manera poden unir-se les tecnologies existents en les iniciatives de descontaminació que es troben operatives amb la utilització de l'enzim PETasa per augmentar la seva efectivitat.
- Investigar sobre l'estructura de vaixells i vaixells de càrrega poc contaminants i el seu funcionament, que serveixin de model per al projecte.
- Realitzar un disseny experimental de projecte i tots els elements que intervenen en el procés de desintegració del plàstic, que em permeti calcular allò necessari per posar en pràctica la hipòtesi.
- Realitzar una maqueta que permeti la visualització dels tancs de desintegració del plàstic per poder explicar físicament la idea del projecte.
- Analitzar i interpretar els resultats de la investigació i del disseny experimental per verificar la viabilitat del projecte.
- Producció d'un vídeo explicatiu sobre la necessitat de generar projectes eficaços que ajudin a reduir la quantitat de plàstic en els mars i el procés de desintegració del plàstic del bacteri, que acompanyarà la meva presentació.

3. HIPÒTESI

Amb la informació obtinguda de les diferents fonts bibliogràfiques, el treball de recerca de camp i el disseny experimental, podré comprovar les següents hipòtesis:

- La contaminació dels mars per plàstic està impactant en la nostra forma de vida i pot a curt termini causar molts problemes al planeta i a l'espècie humana. Per tant, requereix d'una solució ràpida i efectiva.
- L'enzim PETasa del bacteri *Ideonella Sakaiensis*, en combinació amb els sistemes actuals de recollida del plàstic dels oceans, pot ser utilitzat per a l'eliminació d'aquests últims.
- Els vaixells poc contaminants existents actualment poden ser adaptats per a la utilització de l'enzim PETasa del bacteri *Ideonella Sakaiensis* en el procés de desintegració del plàstic al mar.
- La utilització de l'enzim PETasa del bacteri *Ideonella Sakaiensis* per a la desintegració del plàstic al mar pot accelerar i fer molt més eficients els processos que es realitzen actualment per a la descontaminació dels oceans.

4. METODOLOGIA

4.1 Recerca d'informació

Per a la realització d'aquest treball, he consultat diverses fonts bibliogràfiques en llibres, revistes científiques, dossiers d'institucions com l'ONU o Greenpeace, diaris nacionals i internacionals, noticiaris, pàgines web informatives d'empreses de construcció i manuals de vaixells.

D'altra banda, he vist reportatges i documentals relacionats amb el tema de la contaminació oceànica i els projectes que s'estan duent a terme actualment de recollida de plàstic i residus dels mars.

He intentat contactar amb els científics que van millorar l'enzim PETasa del bacteri *Ideonella Sakaiensis* i amb els promotors del projecte The Ocean Cleanup, a través d'e-mail (formen part dels annexos) però no vaig obtenir resposta. Per tant, he hagut d'obtenir la informació a través de reportatges de diferents mitjans de comunicació, publicacions científiques i d'actualitat.

4.2 Realització del meu model experimental

Vaig començar pensant i unint tota la informació que tenia per imaginar com podria construir-se un sistema que permetés la recollida i la desintegració del plàstic en el mateix lloc per estalviar energia en el transport a terra i ser més ràpid i eficaç en la seva eliminació.

Quan vaig començar a fer els primers dibuixos del meu model, em vaig adonar que els models de sistemes que es fan servir actualment per a la recollida de plàstic dels oceans podien aportar una base valuosa per començar el meu projecte, però aquests necessitaven modificacions, ja que es requeria dissenyar un vaixell a mida i uns tancs que permetessin realitzar el procés biològic del bacteri en el propi vaixell i que per això també s'hauria de poder separar les escombraries recollides per seleccionar el plàstic de la resta de residus.

Per això, vaig contactar a un enginyer, amb experiència en el disseny de vaixells, el meu avi, perquè m'expliqués i assessorarés sobre quines modificacions i adaptacions eren les més convenientes per dissenyar el vaixell i el sistema que requeria perquè el meu projecte fos viable i eficaç, així com els càlculs del seu funcionament.

Amb les característiques dels vaixells que es fabriquen actualment a les empreses especialitzades vaig realitzar els meus dibuixos i vaig consultar a l'enginyer, per entendre quins altres aspectes havia de prendre en consideració per poder col·locar els tancs on es realitzaria el procés biològic del bacteri.

Igualment consultant els models que implementa The Ocean Cleanup, tant de la xarxa de recollida com dels vaixells remolcadors, per aprofitar i adaptar-les al meu projecte, tot col·locant mesures aproximades basades en la quantitat d'escombraries que hi ha als mars, per poder calcular les quantitats necessàries d'enzim i els temps de desintegració del plàstic i així mesurar l'eficiència del meu projecte.

Una vegada vaig tenir tota la informació i havia modificat els meus dibuixos preliminars amb les noves dades aportades per l'enginyer, vaig passar els meus dibuixos a net, utilitzant el programa Adobe Illustrator per realitzar els dissenys del vaixell, dels tancs i del funcionament de les xarxes que es mostren en el treball. Igualment, amb el mateix programa vaig poder elaborar el diagrama de funcionament per explicar els diferents passos del procés que he ideat. En aquest procés vaig comptar amb la col·laboració de la meva mare que em va anar guiant amb la seva experiència de dissenyadora a l'hora d'utilitzar el programa.

Així mateix, vaig consultar pàgines web i manuals de maquinària separadores d'escombraries, per realitzar el diagrama de flux dels processos que es realitzen en el vaixell.

4.3 Realització de la maqueta i el vídeo explicatiu

Amb l'objectiu que la meva idea pugui ser fàcilment compresa per tothom, vaig realitzar una maqueta d'un tanc on es realitzarà el procés biològic de desintegració del plàstic

per part del bacteri. Així es pot entendre per on ha d'entrar el plàstic, què passa dins els tancs i com s'extrauran els residus.

Aquesta maqueta va ser construïda amb materials reciclats, sense escala, només com a guia visual de les canonades necessàries per el funcionament i els processos que es duran a terme.

El vídeo explicatiu sobre el problema de la contaminació el vaig realitzar amb un programa d'edició anomenat Adobe Premiere Pro a partir de vídeos de YouTube, amb la col·laboració de la meva tia, qui em va guiar en l'ús del programari necessari.

Vaig utilitzar vídeos relacionats amb el tema del plàstic i l'enzim PETasa. La font són reportatges i documentals sobre investigacions i estudis recents que demostren que les illes de plàstic impacten negativament en els diferents ecosistemes i en conseqüència en la vida humana. També vaig incloure algunes notícies i reportatges sobre la creació del nou enzim i el seu funcionament en relació al plàstic.

4.4. Anàlisi i interpretació dels resultats

Un cop acabats els treballs de recerca bibliogràfics, les entrevistes de camp amb l'enginyer i el disseny del meu model experimental i els seus càlculs, he pogut analitzar la informació de què disposava per concloure si les meves hipòtesis eren o no viables i què es requereix per a què puguin dur-se a terme. Aquestes conclusions es presenten al final d'aquest treball.

5. LA CONTAMINACIÓ DELS MARS

5.1 Illes de plàstic

Un dels problemes més grans que té l'ésser humà és la contaminació del planeta en el qual vivim. Aquesta contaminació es pot donar de moltes maneres diferents, com, per exemple, a través dels residus que desprenen els cotxes i les fàbriques que fan malbé la capa d'ozó i provoquen, en part, l'escalfament global. Un altre tipus de contaminació molt important és la contaminació que realitzem quan llancem les nostres deixalles, sobre tot plàstics que no són biodegradables al mar.

Segons, un reportatge d'Euronews [17] publicat el 20 d'abril de 2018, la principal font de contaminació dels oceans són els embolcalls i envasos d'aliments (18%), els taps d'ampolles (16.7%), les ampolles (12 %) i les bosses de plàstic.



Fuente: International Coastal Cleanup 2017 / Ocean Conservancy

Font: Euronews. 20 Abril 2018. Better-Alternatives Now List (B.A.N. 2.0) 5 Gyres, Clean Production Action, Surfrider Foundation and UPSTREAM. Només per als Estats Units. [17]

Aquesta situació s'agreuja quan se sap, a través d'un reportatge de la BBC [8] de l'11 de desembre de 2017, que la producció global de PET s'ha incrementat en un 500% als últims 60 anys i que la nostra societat s'ha tornat dependent d'aquest material.

Botellas de bebidas

Una marea de plástico que crece



Font : BBC Mundo. 11 Diciembre 2017. Cinc gràfics per entendre per què el plàstic és una amenaça per al nostre planeta. [8]

Segons el dossier de premsa de Greenpeace de 2016 "*Plàstics en els oceans, dades, comparativa i impacte*" [26], és molt difícil estimar el temps en què el plàstic triga a degradar-se en els oceans, però segons les dades que es tenen fins ara, sembla que és molt més lent que el temps que triga a fer-ho en terra, a causa de la poca llum solar i oxigen en les profunditats.

Aquest mateix dossier recull informació de divulgacions realitzades per Ocean Conservancy el 2016, que ens explica, a través de la següent infografia, el temps que triguen a degradar-se els objectes que més comunament es troben als mars i oceans, per culpa de la contaminació humana.



Font: Dossier de premsa. Greenpace. 2016 [26]

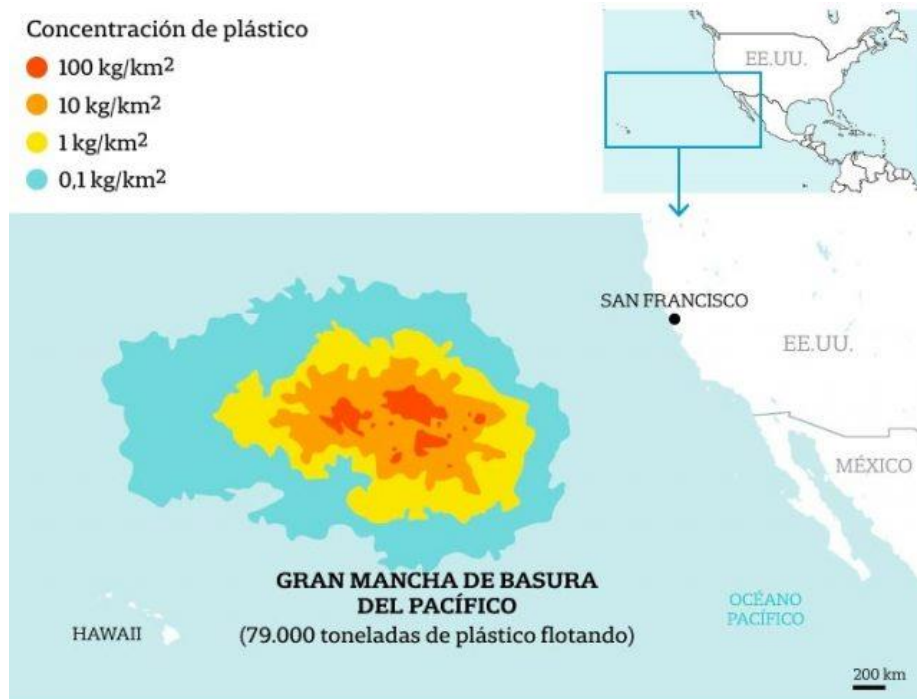
El Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient llança un advertiment sobre els efectes devastadors del plàstic i assegura que més de 8 milions de tones de plàstic acaben en els oceans cada any.

Segons un article publicat a la BBC per Helen Briggs [9], el 24 de març del 2018, que recull un estudi de The Ocean Cleanup Foundation a Delft, Holanda, realitzat per Laurent Lebreton, es calcula que un 99% de les escombraries que existeixen en els oceans és plàstic. Els objectes grans representen el 92% de la massa, mentre que els microplàstics, que habitualment formen l'anomenada "sopa de plàstic", suposen tan sols el 8% restant. Aquest plàstic tendeix a concentrar-se en 5 grans girs de corrent marí, formant unes illes gegants d'escombraries enmig dels oceans. Dos d'aquests girs es troben a l'Oceà Pacífic, dos més a l'Oceà Atlàntic i un més a l'Oceà Índic.



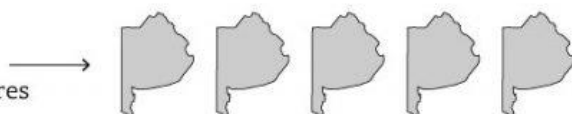
Font: Theoceancleanup.com [37]

L'illa d'escombraries més gran que existeix és la que es troba al Pacífic Nord entre Hawaii i Califòrnia. S'estima que aquesta illa, formada per plàstic (principalment) i altres residus llançats al mar, compta amb una superfície total de 1.600.000 km², el que seria una mida de tres vegades més gran a la de França.



1.600.000 km²

Su tamaño equivale a 5 provincias de Buenos Aires



Font: EuroNews. AFP (Agence France-Presse) 20 abril 2018. [17]

5.2. Conseqüències de la contaminació dels mars per plàstic

5.2.1 Alteracions negatives en el sistema reproductiu dels animals marins

La contaminació del mar provoca "l'enverinament" per a les espècies que viuen a l'oceà i que el tenen com el seu hàbitat. Avui dia, molts pescadors es troben peixos morts per malalties o perquè van omplir els seus estómacs de plàstic i altres deixalles confonent-los amb menjar. S'han arribat a trobar, també, a gavines i altres tipus d'aus que viuen a prop dels ecosistemes marins, i que mengen peixos, amb les seves panxes plenes de tacs d'ampolles i altres restes de plàstics.



Font: Chris Jordan/chrisjordan.com [32]

5.2.2 Creixement excessiu d'algues

La contaminació del mar incrementa el creixement de la població d'algues al mar. Les algues, fan que l'oxigen de la mar s'esgoti, i per això els peixos acaben morts sufocant-se per la falta d'oxigen o ofegats per tenir els bronquis plens d'algues. Els coralls també necessiten oxigen per sobreviure. Que aquests morin és molt greu, ja que els coralls són la llar de nombroses espècies de peixos d'interès alimentari. També són importants per tenir la seva funció d'escullera natural.



Fuente: Upsocl.com [34]

5.2.3 Afectació de l'ecosistema

La contaminació dels mars destrueix els diferents ecosistemes que aquests tenen, principalment pels canvis de temperatura a causa del canvi climàtic i a les escombraries que es troben en ells. S'estima que el 60% d'aquests ecosistemes estaran destruït d'aquí a 30 anys.



Font: ANSA. Agencia Italiana de Notícias [7]

5.2.4 Malalties i mort d'animals aquàtics

Les aigües contaminades són la principal causa de mort o d'alteració fisiològica d'éssers vius marins, causant alteracions en el fetge, en el sistema endocrí i fins i tot en el sistema reproductor dels diferents peixos i mamífers marins.



Font: Kieron Monks. CNN en espanyol. 18-06-2016 [10]

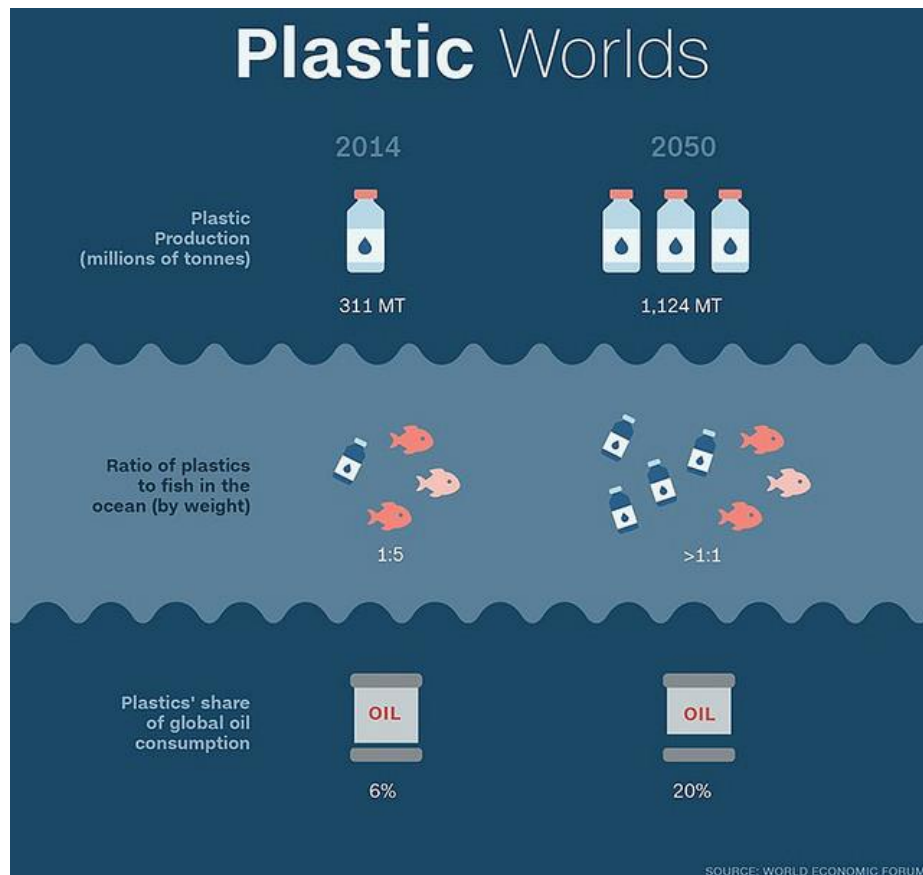
El 2 de juny del 2018, el diari El País va publicar un article sobre la contaminació del plàstic al mar. Aquest article es titula “2050: más plásticos que peces en los océanos”. * [15]



Font: Diari El País. Josu Lapresa. 2018 [15]

*[[15] DIARI EL PAÍS. Josu Lapresa. Col·lecció "L'estat del Planeta". [Diari de notícies i actualitat Imprès i digital, 2 juny 2018]. "2050: más plásticos que peces en los océanos".

Aquesta notícia inclou estudis realitzats per l'organització FAO (Food and Agriculture Organization). S'estima que al voltant de l'any 2050 s'haurà contaminat tant el mar per les nostres deixalles que la població de peixos serà menor a la de plàstics que hi haurà al mar.



Font: Nina Hall. *World Economic Forum*. 09 Juny 2017 [20]

Ens assenyalen que l'aigua estarà totalment contaminada i en conseqüència no podrem alimentar-nos de cap animal marí o qualsevol altre que depengui de la mar per viure, principalment per tenir el seu organisme contaminat.

A més de tenir un impacte negatiu en els organismes i ecosistemes marins, el plàstic en descompondre's emet metà i etilè, dos potents gasos d'efecte hivernacle. Aquests plàstics acumulats al mar atrapen la calor del sol, contribuint a l'escalfament global.

Segons un article del diari la Vanguardia, del 17 d'agost del 2018, *“El plástico representa una fuente de gases climáticamente relevantes que se espera que*

*augmenten a medida que se produce y acumula más plástico en el ambiente”, apunta David Karl, autor principal del estudio. Los gases de efecto invernadero influyen directamente en el cambio climático y afectan al nivel del mar, las temperaturas globales y la salud de los ecosistemas terrestres y marinos, e influyen en las tormentas y aumentan las inundaciones, la sequía y la erosión.” **^[19]

En un article del diari ABC, publicat el 31 de juliol del 2017, es presenten els resultats d'un estudi publicat aquest mateix mes a Nature Climate Change, on s'explica que el pronòstic sobre el canvi climàtic és bastant descoratjador, ja que investigadors de la Universitat de Washington conclouen que hi ha un 90% de probabilitat que a finals d'aquest segle la temperatura mitjana del nostre planeta augmenti entre 2 i 4,9 graus centígrads i esmenten les greus conseqüències que això pot comportar per a la nostra espècie: *«Los daños por meteorología, sequías, temperaturas extremas y el aumento del nivel del mar serán mucho más severos si se permite que las temperaturas aumenten dos grados o más», «nuestros resultados muestran que es necesario hacer un drástico cambio de curso si se quieren conseguir los objetivos de solo aumentar la temperatura en 1,5 grados»*^[12]

^[19] **PERIODICO LA VANGUARDIA. FARRÀS PÉREZ, LORENA.** Agència espanyola de notícies. [En línia. Barcelona, Espanya. Agost 12 2018. Actualitzat 17 agost 2018]. *“La basura plástica es también culpable del cambio climático”*.

^[12] **DIARI ABC. LÓPEZ SÁNCHEZ, GONZALO. GLS** Agència espanyola de notícies. [en línia. Madrid, Espanya. juliol 31 2017. actualitzat] *“Empeoran los pronósticos: La temperatura de la Tierra subirá entre dos y cinco grados”*.

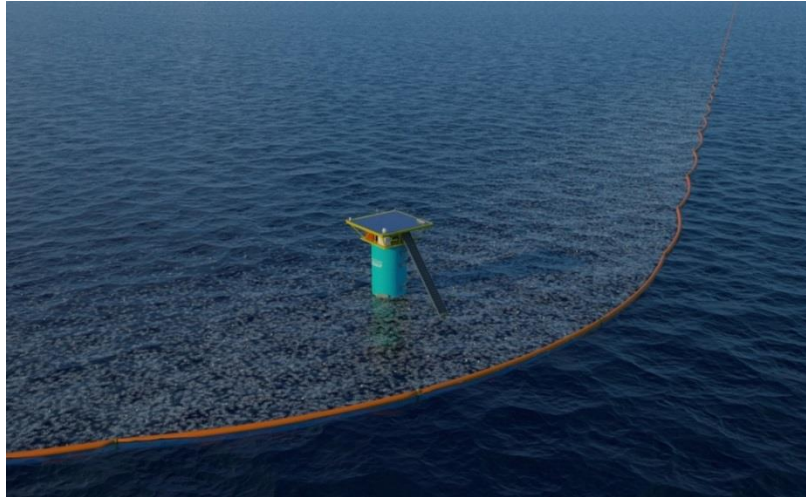
6. SOLUCIONS ACTUALS: INICIATIVES DE RECOLLIDA DE PLÀSTIC DELS MARS

Avui dia, hi ha molts projectes diferents, impulsats per organitzacions mediambientals públiques com Greenpeace o WWF per netejar l'oceà. Aquests projectes poden ser, des de persones en barques recollint les escombraries que es troben surant al mar, fins a barreres enormes ancorades al fons del mar que atrapen les escombraries que suren a l'oceà seguint els grans corrents marins. Molts d'aquests projectes també han estat creats per persones que volien contribuir a mantenir net l'oceà i van dissenyar la seva solució per combatre aquesta plaga.

Les iniciatives que han ajudat a inspirar el meu projecte són:

6.1 The Ocean Cleanup ^[37]:

Aquest projecte és el més desenvolupat al dia d'avui. De fet, a mitjans del 2018 ja s'havia posat en marxa. Aquest projecte va ser creat i dissenyat per Boyan Slat, un jove holandès. Es basa en la creació i el posicionament estratègic d'unes barreres gegants a l'oceà per aturar les escombraries que es mouen cap a un dels cinc girs de corrent del món. La barrera compta amb una xarxa ancorada al fons del mar, però amb un espai entre el fons del mar i la barrera, perquè les espècies marines puguin passar sense complicacions. Aquest projecte està pensat per netejar el 50% de les escombraries dels oceans en 5 anys. The Ocean Cleanup és l'únic projecte senzill a gran escala que ja es troba treballant en la neteja dels oceans.



Font: Projecte *The Ocean Cleanup* [37]

6.2 Projecte MANTA

Associació Theseacleaners [38] creada per Ivan Bourgnon: Un vaixell revolucionari per netejar els oceans. El MANTA és el primer vaixell per aigües profundes capaç de recollir grans quantitats de residus de plàstic del mar. El disseny del vaixell se centra en les tecnologies més innovadores en producció d'energia neta. És autònom i té una excel·lent maniobrabilitat, el que li permet intervenir ràpidament en les àrees més contaminades; en aigües profundes, al llarg de les costes o a les desembocadures dels deu grans rius, dels quals el 90% de tots els residus plàstics arriben als nostres oceans. A cada sortida, el MANTA podria recollir uns 600 metres cúbics de deixalles. En un any, Bourgnon creu que podria recuperar més de 5.000 tones.



Font: Theseacleaners. Veler Projecte Manta [38]

6.3 Campanya #Mareslimpios [25]

Cada vegada s'ideen més projectes per netejar els oceans perquè sempre es poden trobar solucions més fàcils, més ràpides i menys costoses. La majoria de països i d'empreses que donen suport als diferents projectes mediambientals se centren en el tema econòmic per determinar si un projecte és viable o no. És per aquesta raó que moltes idees per netejar els oceans no s'han dut a terme encara. No obstant això, a principis del 2017, l'Organització de les Nacions Unides va declarar la guerra al plàstic oceànic, llançant la campanya #Mareslimpios, durant la Cimera Mundial de l'Oceà organitzada a Bali per The Economist. Aquesta iniciativa insta els governs a aprovar polítiques contra la reducció del plàstic.



Font: ONU, Campanya #Mareslimpios [25]

7. DESCOBRIMENTS RECENTS: Nou enzim de Ideonella Sakaiensis (PETasa).

Un grup de científics liderats per John McGeehan i Gregg Beckham i coordinats per la Universitat de Portsmouth [40] i el Laboratori Nacional d'Energia Renovable del Departament d'Energia dels Estats Units han dissenyat un enzim que pot digerir molts dels nostres plàstics més contaminants.



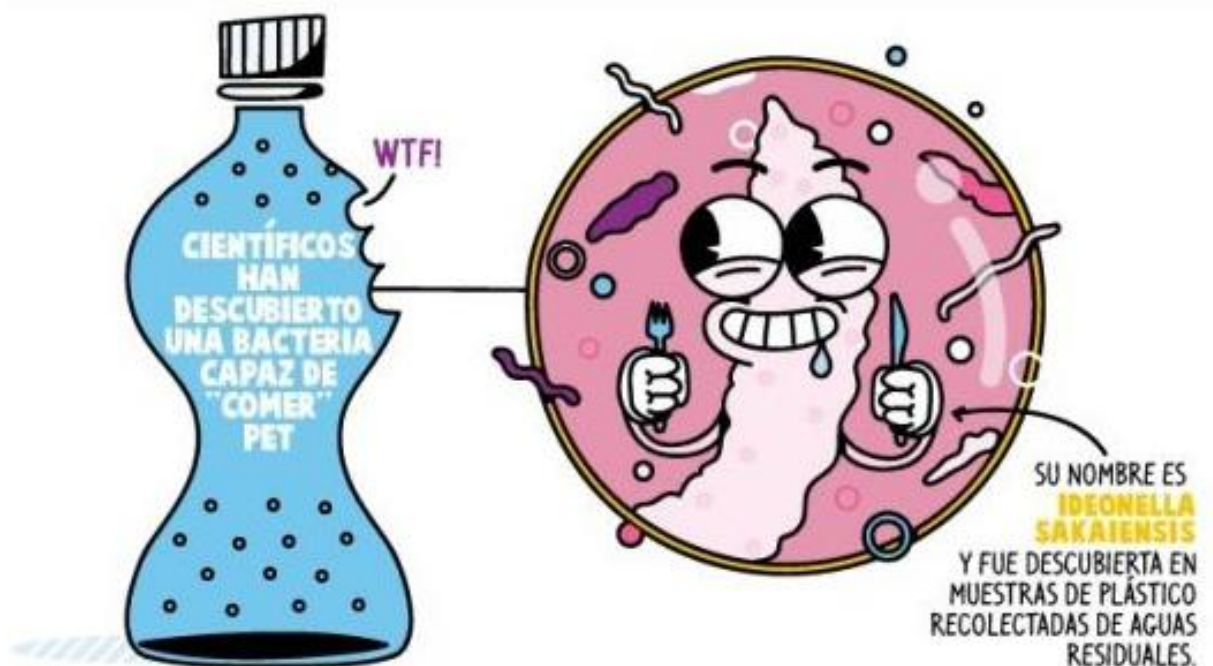
The image shows a screenshot of a news article from ABC CIENCIA. The article title is "Inventan una molécula que «se come» el plástico". Below the title, there is a sub-headline: "Han desarrollado una enzima que degrada algunos de los polimeros más usados, como el tereftalato de polietileno (PET)". The main image shows a scientist, John McGeehan, working in a laboratory with a microscope. A caption below the image identifies him as "John McGeehan, coautor del estudio e investigador en la Universidad de Portsmouth - UNIVERSITY OF PORTSMOUTH". To the right of the main image is a vertical advertisement for Honda, featuring the text "Publicidad HONDA The Power of Dreams" and "ARRANQUE EL FUTURO".

Font: GLS. Diari ABC. Article Secció Ciència. 17 abril 2018 [12]

Els experts de la Universitat de Portsmouth [40] estaven estudiant l'enzim PETasa que digereix el PET. Durant aquest estudi, van dissenyar, sense adonar-se'n, un enzim mutant de l'anterior, amb la mateixa funció però més eficaç que la que es va desenvolupar a la naturalesa produïda pel bacteri *Ideonella Sakaiensis*.

Segons un article del diari El País [14] publicat el 26 d'abril del 2018, el bacteri *Ideonella Sakaiensis* 201-F6 va ser descobert per uns científics al Japó que estaven provant diferents bacteris d'una planta de reciclatge d'ampolles. Es van adonar que aquest bacteri era capaç de digerir el plàstic emprat per a ampolles de begudes d'un

sol ús, el polietilè tereftalat (PET). El procés es porta a terme quan el bacteri segrega un enzim (un tipus de proteïna que accelera reaccions químiques) coneguda com PETasa. Aquest enzim divideix diversos enllaços químics (èsters) del PET, fent que les molècules siguin més petites i que els bacteris les puguin absorbir, usant el carboni que hi ha en elles com a font d'aliment.

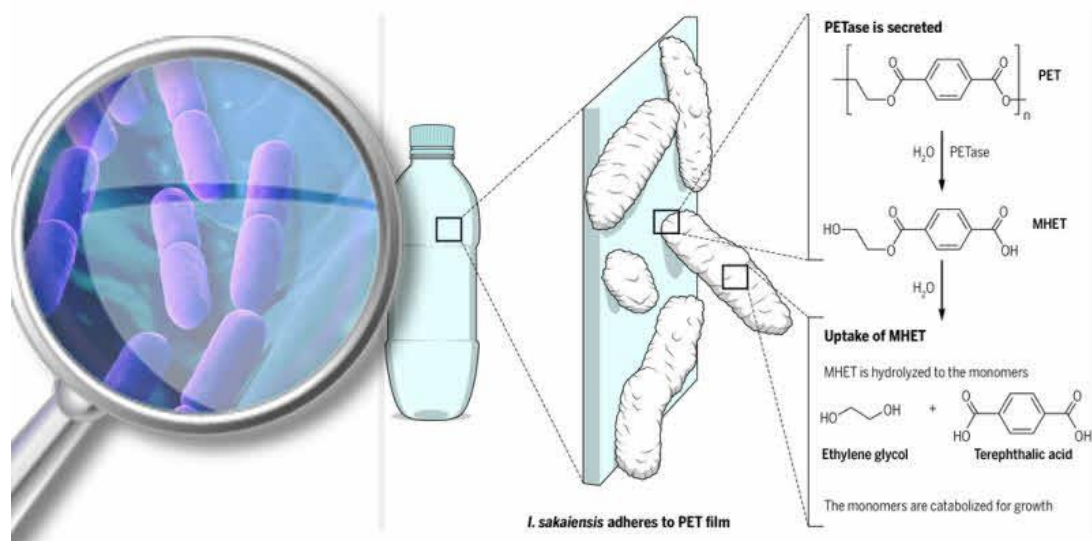


Font: Pictoline.com. [36]

L'article també assenyala que tot i que ja es coneixia que altres enzims bacterians i algunes espècies de fongs digereixen lentament el PET, no es tenia coneixement sobre un bacteri que s'alimentés del carboni del que està compost el polímer del PET, a més que sembla que el nou enzim va evolucionar específicament per a aquesta tasca, el que indica que podria ser més ràpida i eficient, per la qual cosa seria possible utilitzar-la en el bio-reciclatge.

Quan els científics de diverses universitats estaven realitzant investigacions sobre aquesta enzim per entendre per què l'enzim PETasa "s'alimenta" de plàstic, van alentir alguns dels seus processos per poder estudiar-los, però en lloc de fer-la més lenta, van aconseguir per accident activar-la i fer-la més ràpida.

Els estudis que van realitzar aquest equip de científics van donar com a resultat algunes dades molt encoratjadores pel que fa a solucions per a la contaminació per plàstics dels nostres oceans. Per exemple, van descobrir que utilitzant 0,13 mil·ligrams de bacteri a una temperatura de 30° centígrads, es degrada completament 1 cm² de PET. Ara per ara, se sap que el bacteri és capaç de degradar de forma gairebé completa una pel·lícula de PET en només sis setmanes a la temperatura anteriorment esmentada, produint CO₂ i aigua.



Font: Bornscheuer Uwe T. Science. "Feeding on plastic" [29]

Per als objectius d'aquest treball i com a exercici, he realitzat alguns càlculs sobre la base de les dades anteriorment esmentades, que aclareixen si l'enzim pot contribuir a una solució al problema del plàstic d'una manera eficaç:

Exemple 1: Una ampolla de plàstic d'1 litre d'aigua de 6,2 cm x 19,7 cm té una àrea de 122,14 cm². Per degradar aquesta ampolla en 6 setmanes es necessitarien 15,87 mil·ligrams de bacteri.

Exemple 2: Una bossa de plàstic de supermercat de 25 cm x 30 cm té una àrea de 750 cm². Per tant per degradar-la en 6 setmanes es necessitarien 97,5 mil·ligrams de bacteri.

8. EL MEU MODEL PER A LA RECOLLIDA I DESINTEGRACIÓ DEL PLÀSTIC EN ELS OCEANS

Aquest treball es basa en un projecte ideat per mi per lluitar contra el gran problema de la contaminació, d'una manera el més ecològica i àgil possible, reduint el temps i els esforços de recollida i eliminació de plàstic dels mars, facilitant també el reciclatge d'altres materials dipositats en els oceans.

La idea del model sorgeix després de la investigació teòrica sobre la contaminació dels oceans, les actuals solucions que s'estan implementant en el camp de la descontaminació dels mars i les moltes notícies sobre l'enzim PETasa, que em va fer pensar que unint els projectes actuals de recollida de plàstic marí a l'acció de l'enzim "menja plàstic", en un vaixell estacionat prop de les illes de plàstic, es podrien reduir els temps en què es realitza la descontaminació del mar.

La idea consisteix en estacionar al mar un vaixell el més ecològic possible construït amb un sistema híbrid de propulsió neta, que es pugui operar a prop d'una de les diferents illes d'escombraries que hi ha als oceans. Aquest vaixell tindrà diferents magatzems, en alguns d'ells es trobaria el bacteri *Ideonella Sakaiensis*, portador de l'enzim PETasa.

Hi afegirem uns vaixells remolcadors també construïts i operats de la manera menys contaminant que es pugui, que comptaran igualment amb sistemes híbrids de propulsió per a aquest fi, que s'encarregarien d'anar empenyent les escombraries que es troben a les zones marines contaminades, i les posicionés a una distància apropiada i propera al vaixell, que en conjunt amb aquests remolcadors s'encarregarà de succionar-la i treure-la fora del mar directament al vaixell. Més tard, aquestes escombraries seran classificades a través d'unes màquines separadores de plàstic i altres materials, per enviar el primer a uns contenidors amb el bacteri i els altres a compactar.

Les màquines seleccionadores estan formades per una cinta transportadora i uns sensors que determinen de quin material es tracta i en detectar la seva composició la màquina l'empeny a un magatzem o un altre.

Un cop separats els elements, el plàstic passarà als contenidors en els quals s'abocarà el bacteri amb l'enzim i es mantindrà a una temperatura de 30° centígrads per ser reduïts i eliminats, mentre que les llaunes i altres elements seran comprimits i emmagatzemats a l'espera de la seva recollida per vaixells, per a ser portats a plantes de reciclatge a terra ferma, i donar-li un nou ús.

Amb l'assessoria de l'enginyer expert en vaixells, el meu avi, qui em va explicar com havia de fer els càlculs i amb qui vaig discutir sobre com havien de ser tots els elements d'aquest projecte, vaig poder dissenyar cadascun dels elements que el componen, així com el funcionament del mateix.

8.1. El meu vaixell

Per desenvolupar aquest projecte es podria emprar un vaixell molt semblant al vaixell Auriga Leader, construït l'any 2008 i dotat amb panells solars per proporcionar al vaixell energia fotovoltaica. Segons la revista naviliera Marine Insight, en el seu article sobre el vaixell Auriga Leader, que va guanyar els premis mediambientals de l'any 2009 com a vaixell de l'any, comptava amb 328 panells solars sobre la coberta. No obstant això, després de 3 anys de proves es va demostrar que el sistema no era viable, així que en l'any 2011 es van instal·lar en ell un sistema híbrid de propulsió amb generadors dièsel i bateries de níquel-hidrogen que regulen el subministrament d'energia solar del vaixell, i es carreguen i descarreguen depenent de la demanda de potència del vaixell.

Per fer que el vaixell del meu projecte sigui el més ecològic possible, he pensat en l'ús de motoritzacions híbrides, que en l'àmbit marítim és una cosa de molta importància tant per reduir les emissions contaminants com per aconseguir importants xifres d'estalvi en el consum de combustible, com s'explica a dalt sobre l'Auriga Leader. No obstant això, he introduït certs canvis en la motorització del vaixell a utilitzar en el projecte:

La innovació en el meu vaixell, en comparació amb l'Auriga Leader, és el sistema de propulsió basat en què l'aigua de la mar, a través de les turbines del vaixell, generi l'electricitat necessària per a totes les seves operacions.

El seu funcionament serà el següent:

1. Per a l'arrencada del vaixell es comptarà amb uns dipòsits de gas necessaris per a encendre els motors de combustió interna, en el moment de salpar, però que a diferència del hidrocarburs líquids tradicionals, no tenen emissions nocives.
2. Un cop encesos, aquests motors activaran dues preses d'aigua dotades de flaps i per a més seguretat, també de tancament mecànic, que es troben al casc del vaixell, per sobre de la quilla, que succionaran aigua del mar que serà dessalinitzada a través d'uns filtres i passarà a les turbines.
3. El moviment de les turbines ocasionat per l'aigua generarà electricitat que anirà a uns acumuladors i d'allà al tauler elèctric que alimentarà les màquines principals del vaixell i distribuirà l'energia necessària per al funcionament de tota maquinària auxiliar.



Font: Hiteshk. Revista Naviera Marine Insight [31]

8.1.1. Característiques del meu vaixell

Són similars a les de l'Auriga Leader pel que fa a les mesures i a la velocitat, però he adaptat la capacitat i la inclusió dels tancs necessaris per al procés biològic:

- Eslora total: 199,99 metres.
- Mànega: 32,26 metres.
- Puntal: 34,52 metres.
- Velocitat: 20 nusos.
- Capacitat: tindrà una capacitat per a emmagatzemar 69.048 tones de plàstic capturades en diverses etapes alternades.
- Els tancs i el casc es construiran amb acer naval perquè aquest material és el comunament usat en la construcció de vaixells i és el més resistent davant possibles deformacions o trencaments produïts per la càrrega o tempestes.

No obstant això el meu vaixell serà més ecològic gràcies al seu sistema de propulsió net explicat a dalt i perquè comptarà amb:

- Un sistema de reciclatge d'aigües residuals que permet que només l'aigua neta sigui abocada fora de la borda.
- Un casc lliure de pintura contaminant, sense estany i coure.
- Refrigeració i aire acondicionat d'aigua freda, no contaminant, que no afavoreixi el canvi climàtic i disminueixi la capa d'ozó.

A més del sistema de propulsió més ecològic explicat anteriorment, també he introduït en el disseny del vaixell algunes variacions necessàries dissenyades especialment per al meu projecte com són els tancs i el sistema de desintegració del plàstic en el mateix vaixell, les màquines de selecció de materials recollits, les màquines de premsat, el laboratori i tots els elements que tenen a veure amb el procés biològic i el seu control sobre el vaixell.

Nivells del vaixell segons les diferents necessitats del projecte:

a).- Sobre el nivell de coberta es trobaran:

- Pont de comandament superior.
- Oficines.
- Laboratori.
- Camarots.
- Menjadors - cuina - Cellar.
- Sales d'oci.
- Heliport.
- Grua mòbil, muntacàrregues.
- Mànegues de succió de materials de rebuig provinents del mar.
- Bombes d'absorció.
- Bombes d'expulsió.
- Contenedor receptor de les escombraries provinent de la succió a l'oceà.
- Altres estructures i equips necessaris per a la tasca a realitzar.
- Zona de separació de materials.
- Zona de bandes transportadores.
- Zona de comprimit de la resta de materials per a ser transportats per vaixells auxiliars (metalls, sòlids) i de residus del propi plàstic també comprimits en dos contenidors iguals que els altres.

b).- Sota el nivell de la coberta es trobaran:

- Sala de màquines.
- 16 tancs amb característiques apropiades, com a receptors del plàstic, destinats al procés de desintegració.
- 2 contenidors d'iguals dimensions als anteriors per contenir el bacteri amb l'enzim desintegrador.
- 2 contenidors per a gas com a reserva per a propulsió i maquinària de bord, de menor grandària que els altres.
- 2 contenidors iguals als altres per a material comprimit.

- Zona per a la propulsió del vaixell:
 - ✓ Bombes per a la presa d'aigua de mar i els seus productes amb tancaments hidràulics.
 - ✓ Central dessalinitzadora de l'aigua de mar amb filtres i disposició de residus.
 - ✓ Turbina per a generació de força (electricitat).
 - ✓ Central elèctrica amb taulers de distribució.
 - ✓ Maquinària d'impulsió de la nau.
 - ✓ Distribució elèctrica a taulers per a maquinària auxiliar i tancs.

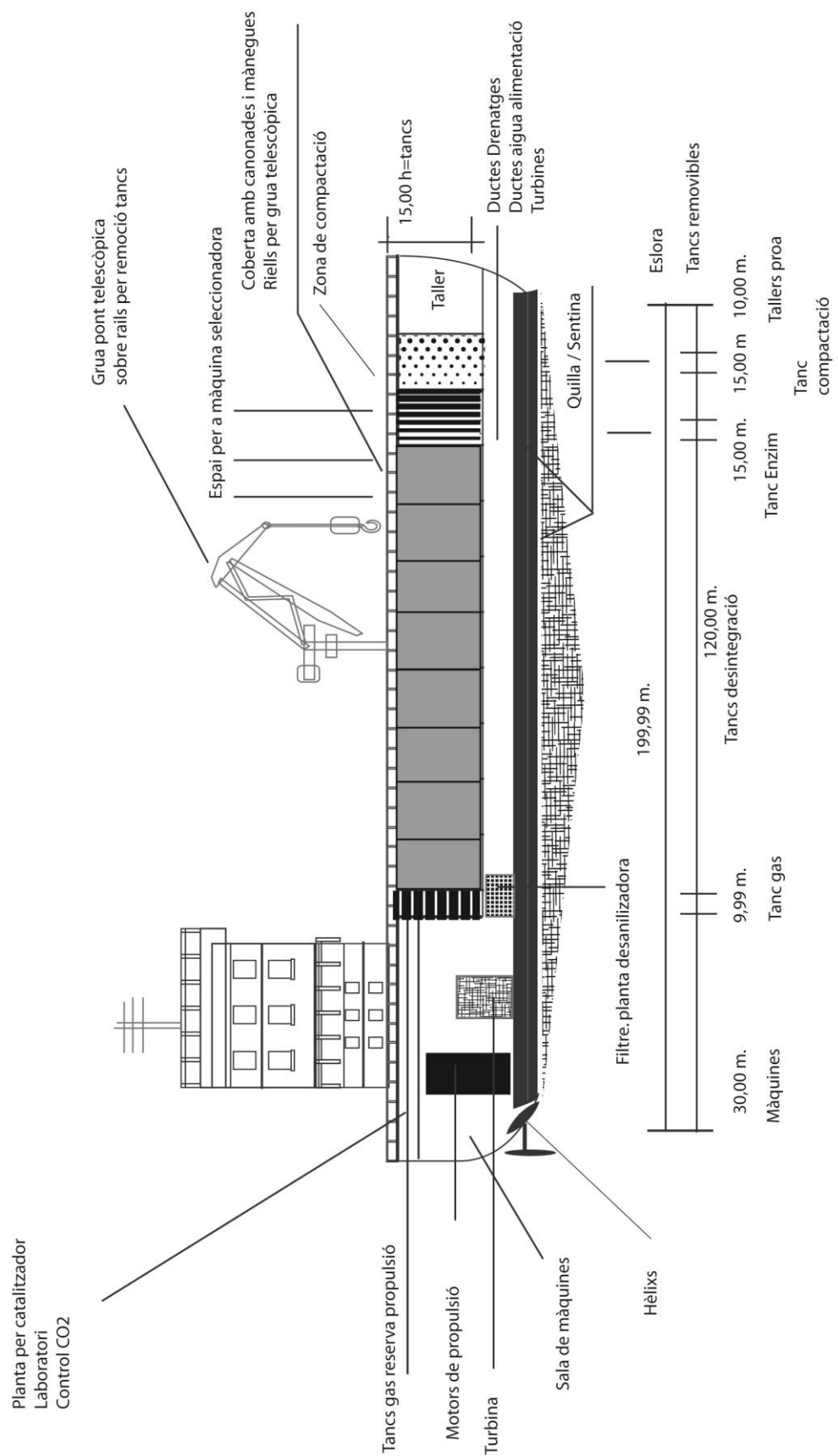


Figura 1 Perfil vaixell d'abastament (tall sense escala)

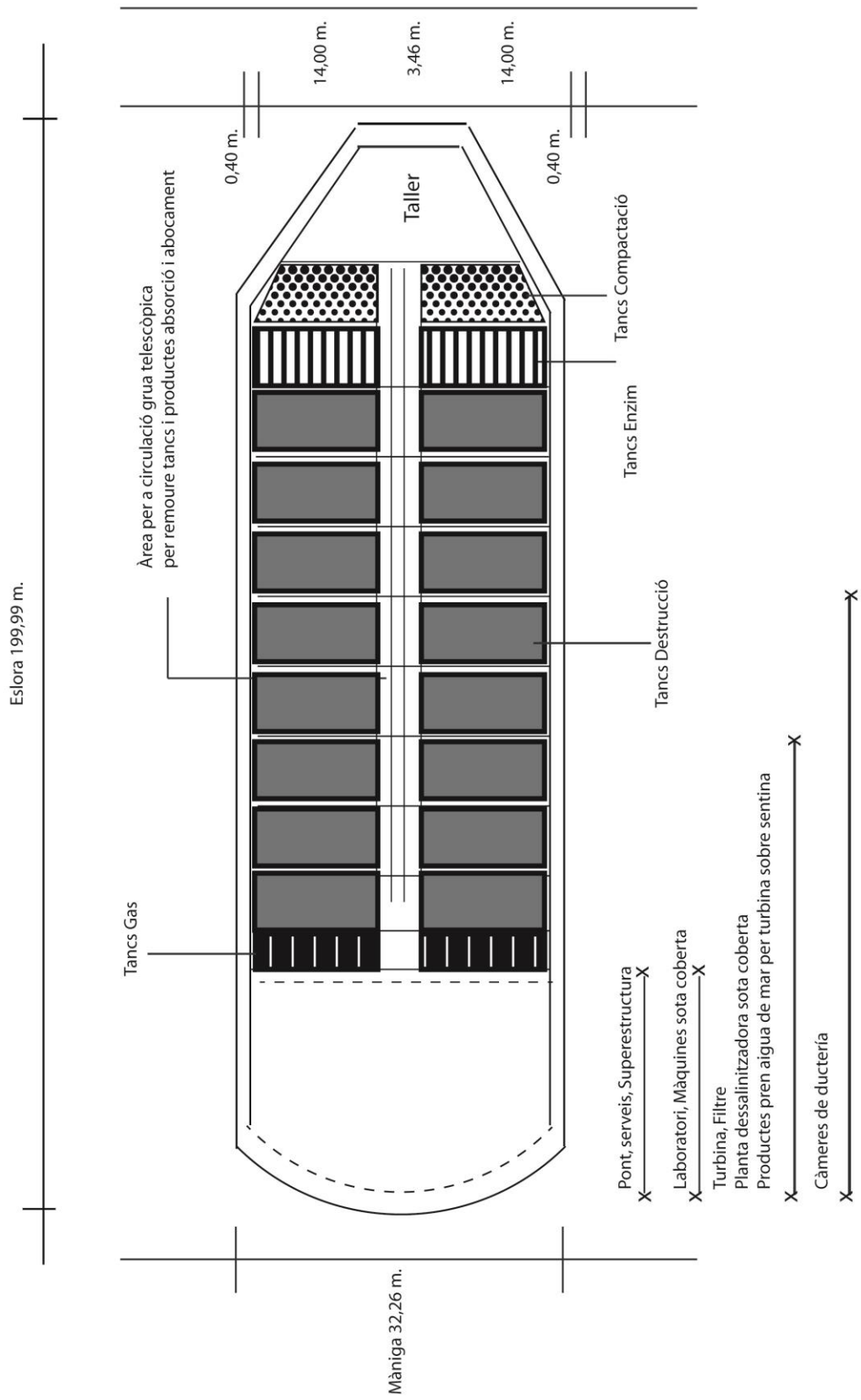


Figura 2. Planta del vaixell d'abastament (sense escala)

Remoció dels tancs per descarregar grua hidràulica telescòpica i mòbil

Grua telescòpica, hidràulica, extensible per aixecar, col·locar i descarregar els tancs

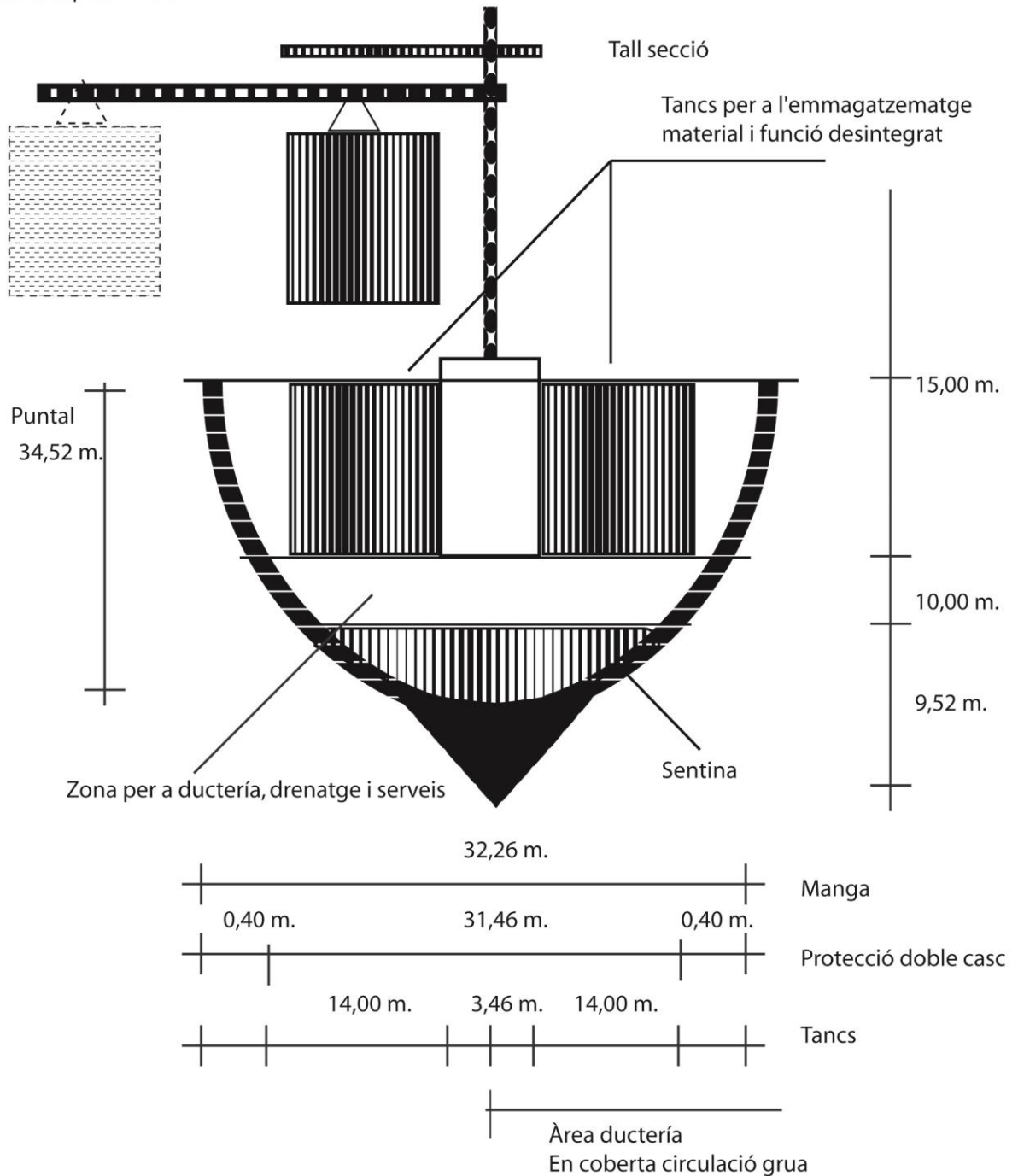


Figura 3. Tall del vaixell d'abastament (sense escala)

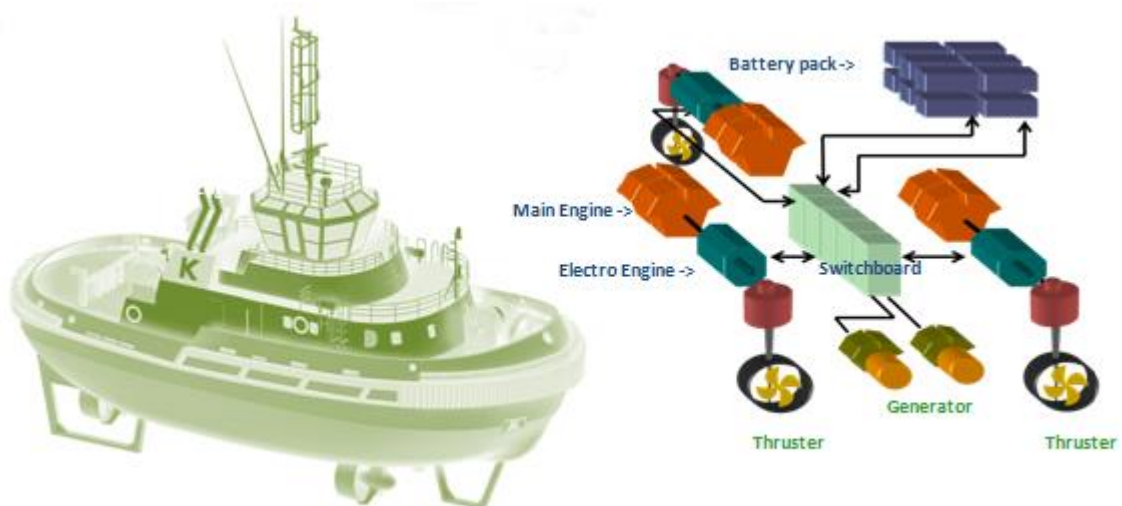
8.2. Captació de les escombraries en el meu model

8.2.1. Dos remolcadors d'altura

Una de les funcions d'aquest tipus de vaixell és la de transportar objectes flotants d'un lloc a l'altre, així que crec que poden ser els vaixells apropiats per a la tasca d'arrossegament de grans quantitats de material de les illes de plàstic cap al vaixell, per a què quedin a una distància apropiada i puguin ser succionades sense fer mal a l'ecosistema ni afectar a la població d'espècies marines.

Per dur a terme la meva idea, es necessitaran dos remolcadors operatius per a l'arrossegament dels materials. Aquests remolcadors, igual que el vaixell principal, seran el més ecològics possibles, per a això com ja s'explica anteriorment en l'apartat del vaixell, faran servir sistemes híbrids de propulsió. He pres com a model de remolcadors per al meu projecte els que descriuen l'empresa Kotug, en els seus manuals, proveïdora de remolcs marítims sostenibles. Aquests remolcadors estaran equipats amb el necessari per al desenvolupament del meu projecte:

- Bombes d'absorció i abocament al vaixell i mànegues.
- Xarxa auxiliar.
- Resta de les estructures i equips propis d'aquest tipus de vaixells.



Esquema de funcionament del remolcador híbrid.

Font: Empresa [Kotug](#). Proveïdora de remolcs marítims sostenibles [33]

8.2.2. Xarxa de malla atapeïda metàl·lica

Per a l'arrossegament de tots els materials de deixalles que suren en les grans illes de plàstic, he dissenyat una xarxa de malla atapeïda metàl·lica amb contrapès a diferents nivells inferiors per evitar fugues de materials, que remolcada pels vaixells, empenyerà els materials de rebuig flotants cap al vaixell principal.

Característiques de la xarxa:

- Longitud: 1000 m.
- Alçada 1,50 m en cada costat (150 metres de llarg)
- En la meitat d'ella tindrà 3 metres (700 metres de longitud) on s'acumularà la major quantitat d'escombraries.
- La xarxa serà d'acer inoxidable, mateix material de les emprades al projecte The Ocean Cleanup amb flotadors en el cable superior per evitar enfonsaments parcials.
- La xarxa estarà dotada, cada 25 metres, d'un cable amb contrapès a la part inferior, de manera que el propi corrent per la velocitat dels vaixells o l'acumulació d'escombraries no l'aixequi, sinó que es mantingui sempre en gairebé en posició vertical. El pes dels llasts serà determinat per mantenir la verticalitat de la mateixa xarxa.
- Tota l'estructura estarà construïda amb carcasses metàl·liques flexibles (cables d'acer) i la xarxa en si ha de ser de teixit atapeït de manera que no hi hagi elements que puguin passar a través d'ella. Si arrossega algun animal marí (difícil per les escombraries al seu voltant) podrà sortir per sota de la xarxa.
- Aquesta xarxa serà construïda per seccions de 25 metres de longitud per poder ser transportades en el vaixell i s'uniran entre si una vegada col·locades en l'aigua del mar amb uns passadors.

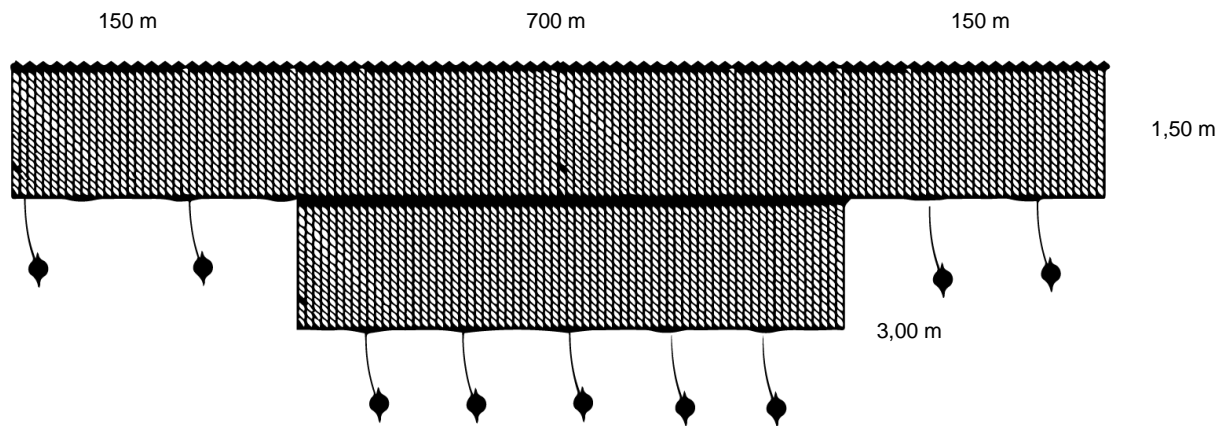


Figura 4 Model de xarxa de malla atapeïda metàl·lica

8.3 Màquina separadora o seleccionadora

Aquesta màquina és necessària per dur a terme el procés de separat automàtic del plàstic d'altres tipus d'escombraries com les llaunes, les ampolles de vidre, paper, etc., recollides de l'oceà. Les més apropiades són les fabricades per la marca Tomra Sorting Solutions [39], que ofereix tecnologia de detecció avançada per identificar i separar varietat de materials. Treballa amb sensors d'alta resolució que funcionen a una gran velocitat detectant fins al més petit dels objectes.

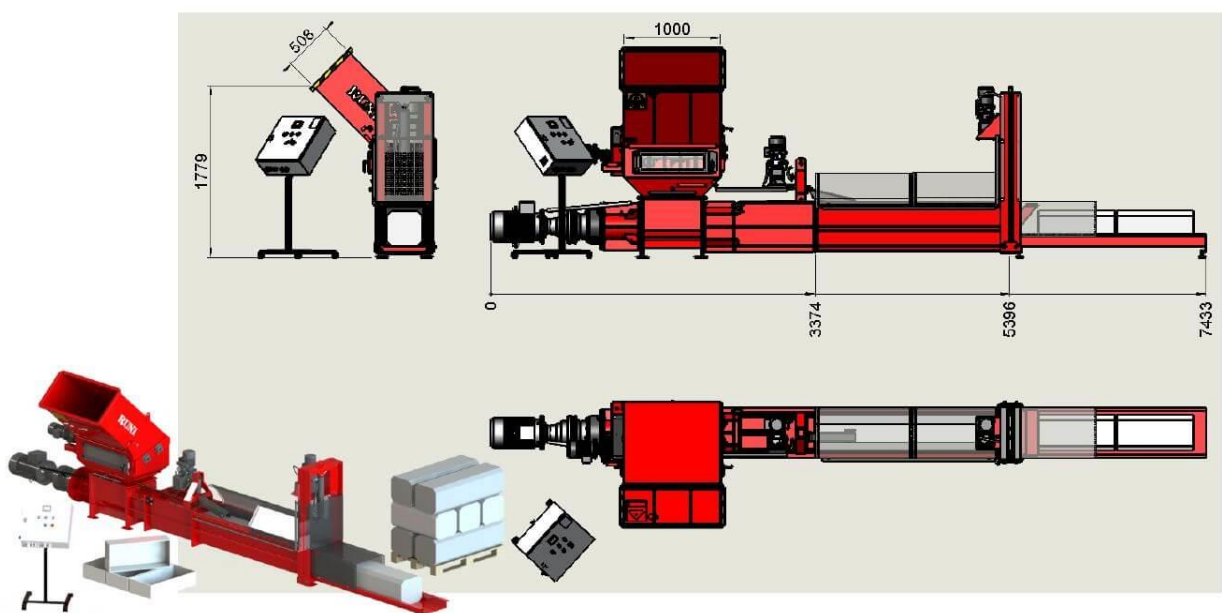


Font: Tomra. Exemple màquina separadora. [39]

8.4. Compactadores de residus

Aquestes màquines seran necessàries per compactar els materials que no passaran a la zona de desintegració i també per compactar els residus del plàstic si n'hi ha. Aquestes s'encarreguen de reduir el volum de les deixalles sòlides per tal de poder manejar-se més fàcilment i contribuir a conservar el medi ambient.

He seleccionat la màquina de Benza Recycling [28], com a exemple de màquina compactadora, però podria utilitzar qualsevol amb les mateixes característiques, que s'adapti tant als materials com a les mesures del vaixell del projecte.



Font: Web empresa Benza Recycling. Exemple de màquina compactadora. [28]

8.5. Vaixell auxiliar

Es necessitarà un vaixell auxiliar per al transport de material de rebuig (metalls, sòlids, etc.) ja compactat cap a terra per al seu reciclatge o destrucció.

Igual que el vaixell principal i els remolcadors, aquest vaixell auxiliar serà propulsat per un sistema híbrid per ser el més ecològic possible. A més, haurà de comptar amb diversos contenidors per transportar el material. Per això, es poden utilitzar vaixells

plataforma amb les bales compactades en coberta com els portacontenidors que existeixen actualment.



Juan A Oliveira . Vadebarcos.net. Crowley Maritime. Vaixell "El Coquí" (portacontenidors i de càrrega rodada) propulsat per gas natural. [35]

8.6. La meua idea de tancs utilitzats per al meu projecte

He previst que el vaixell principal comptarà amb 20 tancs, distribuïts en dues files de 10 cadascun al nucli, més dos tancs més petits per contenir gas per propulsió auxiliar.

Els tancs han d'estar encaixats en les seves guies, per poder remoure'ls amb la grua situada a la coberta que circularà al llarg de la coberta del vaixell.

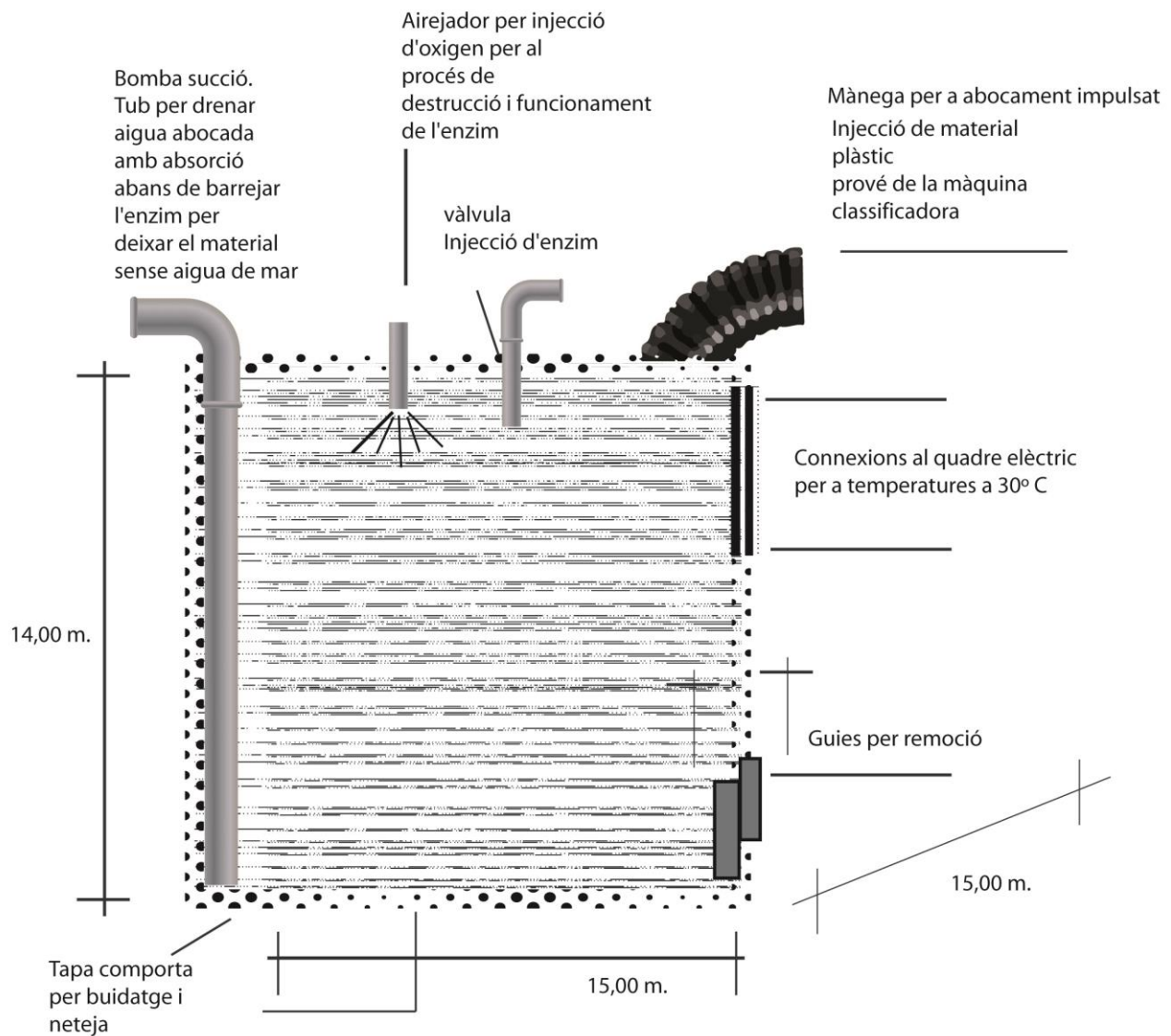
Les seves dimensions seran de 14,00 m x 15,00 m x 15,00 m, el que donarà un volum de 3150 m³ a cadascun d'ells, o sigui que els 20 tancs podran emmagatzemar 63.000 m³ (3.150 m³ x 20 unitats).

Si tots ells es carreguessin de plàstic, aconseguirien 86.310 tones (63.000 m³ x 1,37 gr / cm³ de densitat), però, només 16 tancstaran operatius per al procés de desintegració, ja que dos d'ells s'utilitzaran per transportar el bacteri amb l'enzim de reserva, i altres

dues per a la compactació. Per tant, tindrem capacitat per a desintegrar 50.400 m³ de plàstic en cada procés (16 tancs x 3.150 m³ de capacitat cadascun).

Cada tanc utilitzat per a l'operació tindrà incorporada una mànega de 0,50 metres de diàmetre per injecció del plàstic recollit i ja seleccionat per la màquina classificadora, un tub rígid amb bomba de succió per extreure l'aigua que pugui dipositar-se al fons en el moment l'ompliment, i un tub rígid mòbil per a la injecció del bacteri un cop emplenat el tanc i segellat amb vàlvules de seguretat; a més d'una vàlvula superior perquè un cop segellat el tanc, s'introdueixi oxigen, element indispensable per al bon funcionament de l'enzim en el seu procediment de desintegració del PET.

A continuació presento el disseny que he realitzat dels tancs per al procés biològic de desintegració i el seu funcionament:



Tanc tipus
Capacitat 1 tanc
 $15,00 \text{ m.} \times 15,00 \text{ m.} \times 14,00 \text{ m} = 3.150,00 \text{ m}^3$ de material humit
 Capacitat total celler a degradar
 $3.150,00 \text{ m}^3 \times 16 = 50600 \text{ m}^3$
 Acer tipus naval
 Comportes acer inoxidable
 Lliscants sobre carrils d'acer INOC
 Suports per a grua

Total 20 tancs: 16 per a desintegrar
 2 per a premsar
 2 per a emmagatzemar enzim
 2 petits (forma part del casc del
 vaixell) gas

Figura 5. Model de Tanc on es desintegrés el plàstic (sense escales)

8.7. Funcionament del meu model:

El funcionament del meu model serà el que es demostra en el següent diagrama de flux que he dissenyat per a una millor comprensió del mateix:

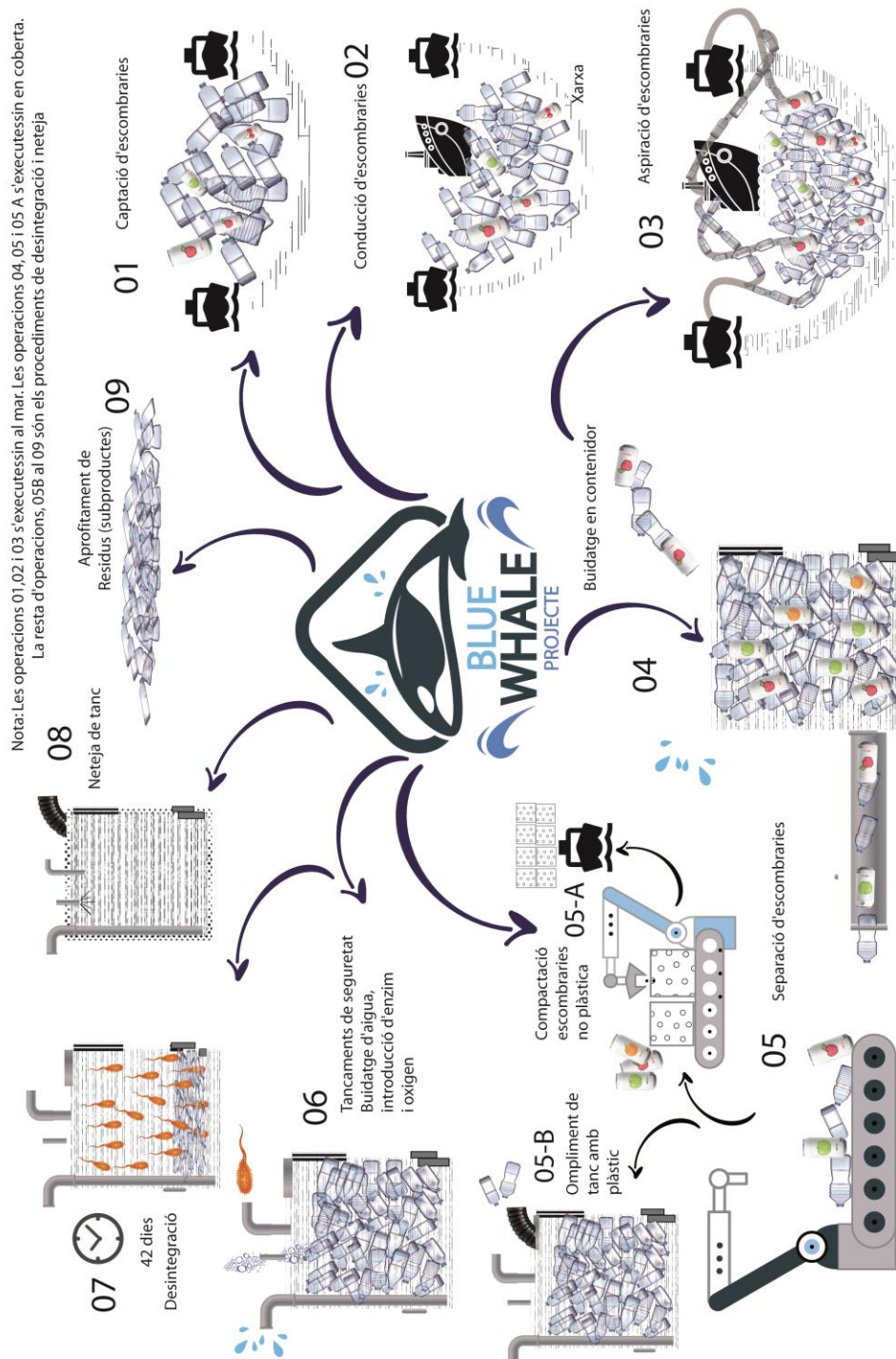
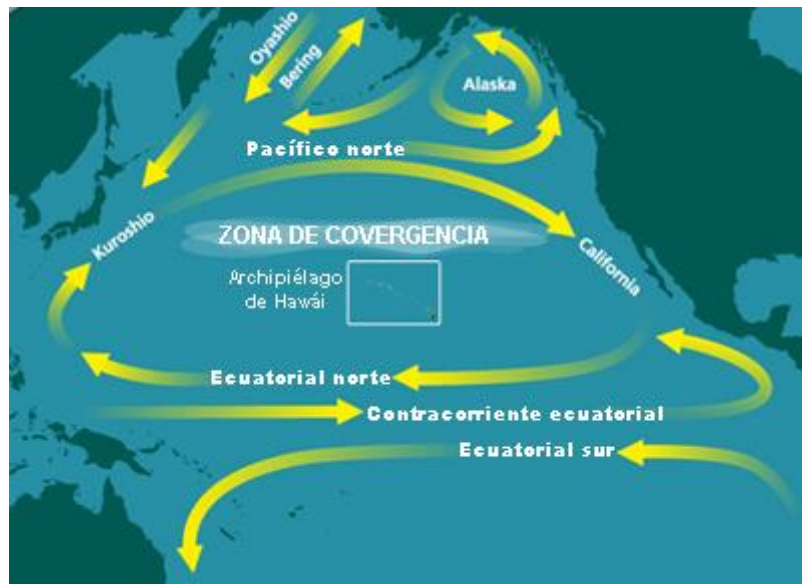


Figura 6. Diagrama de flux del procés. sense escales

Tot seguit, explico cadascun dels passos del diagrama:

8.7.1 Captura d'escombraries a l'oceà

Per començar les operacions, el vaixell principal estarà ancorat en un punt clau en l'oceà Pacífic Nord. És aquí on, segons l'article del 24 de març de 2018 de la BBC escrit per Helen Briggs [9], es troba l'illa d'escombraries més gran, que s'ha format a poc a poc en els últims temps per la contaminació marina a causa de l'acció dels corrents. Segons aquest mateix article, la mida de la zona afectada es creu que és de 1,6 milions de km² i pot contenir prop de 80.000 tones de plàstic, el que representa 1,8 bilions de fragments de plàstic.



Font: Wikipedia 2018. [41]

El vaixell del meu projecte estarà acompanyat en aquesta zona pels remolcadors ja descrits anteriorment, que seran els primers a posar-se a treballar. (Realment l'operació pot efectuar-se en qualsevol de les cinc grans illes d'escombraries conegudes).

Aquests vaixells remolcadors han d'estar separats a una distància necessària per mantenir la malla de xarxa metàl·lica tibada (1000 metres + longitud cadenes d'unió) que, com ja s'ha dit anteriorment, té una longitud de 1.000 metres. A cada popa de

cada vaixell remolcador es col·locarà un tub metàl·lic que sostindrà la xarxa, perquè es mantingui vertical i pugui complir la seva funció d'arrossegament.

Començaran a navegar cap al vaixell principal, i seran els encarregats d'anar arrossegant amb la malla les grans quantitats de material flotant, i una vegada a prop d'aquest, s'aniran acostant al vaixell per empènyer el plàstic prop d'aquest.

Quan els remolcadors estiguin a poca distància del vaixell, tant aquests com el vaixell aniran succionant els residus a través de les mànegues succionadores, operades per bombes d'absorció i abocament, des del mar fins al contenidor receptor col·locat a la coberta del vaixell principal. Per evitar la succió de peixos dels tubs no baixaran més de 40 cm sota la superfície. A més, les pròpies mànegues expulsaran l'aigua que es succioni quan les escombraries arribi al contenidor de residus.

El següent gràfic l'he fet per mostrar l'àrea de captura d'escombraries aproximada. Vaig pensar que els remolcadors en empènyer les escombraries farien que aquesta s'acumulés al centre de la xarxa generant una corba. Per tant, per calcular la superfície de la xarxa he dibuixat un quadrat de 100 x 100 m i dos triangles de 100 metres de costat x 50 m de base, però em queda una àrea sobrant de la corba i la seva àrea l'he calculada novament amb un rectangle i restant els triangles dels costats.

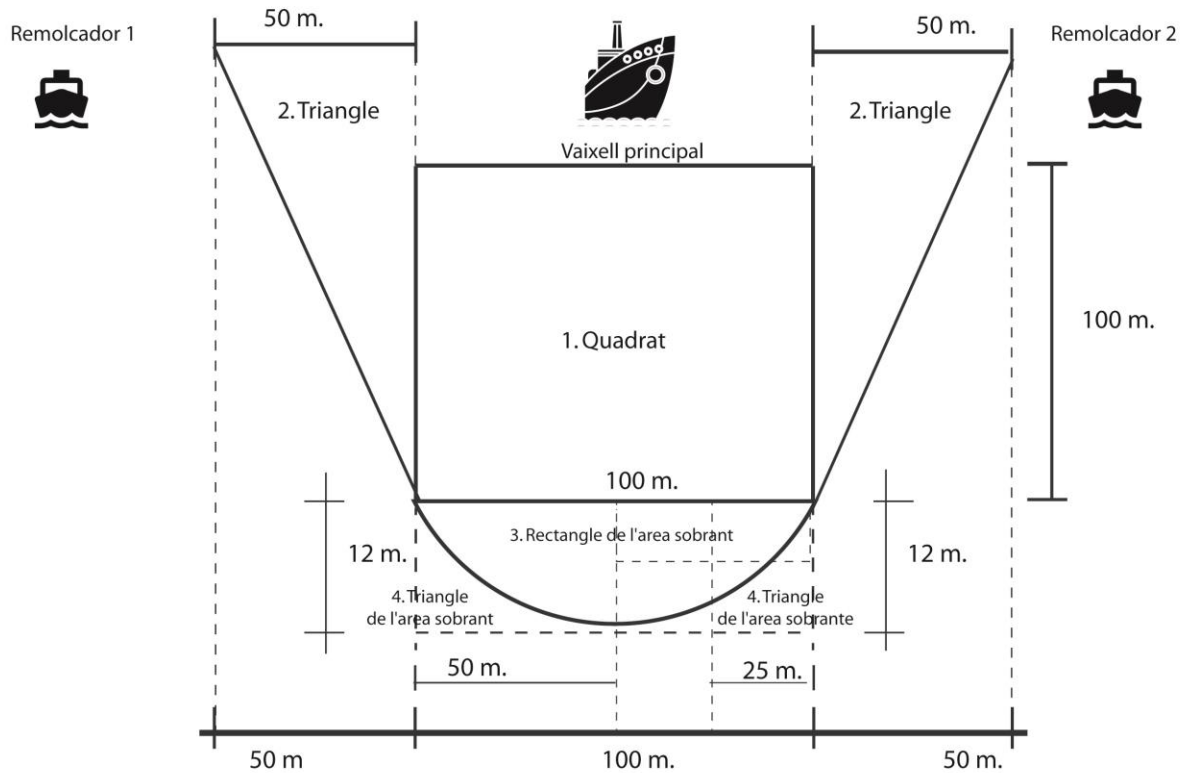


Figura 7. Àrea de captura sense escala

Àrea de captura d'escombraries.

1. Càlcul de l'àrea del quadrat:

$$\text{Quadrat } 100 \text{ m alçada} \times 100 \text{ m base} = \mathbf{10.000 \text{ m}^2}.$$

2. Càlcul de les àrees dels dos triangles als costats:

$$\text{Triangle } (100 \text{ m alçada} \times 25 \text{ m (meitat de la base)} \times 2 \text{ costats} = \mathbf{5000 \text{ m}^2}$$

3. Càlcul del rectangle de l'espai sobrante:

$$100 \text{ m} \times 12 \text{ m} = 1200 \text{ m}^2$$

$$25 \text{ m} \times 12 \text{ m} \times 2 \text{ costats} = 600 \text{ m}^2$$

$$1200 \text{ m}^2 - 600 \text{ m}^2 = \mathbf{600 \text{ m}^2}$$

Càlcul de l'àrea total de la xarxa:

$$10.000 \text{ m}^2 + 5.000 \text{ m}^2 + 600 \text{ m}^2 = 15.600 \text{ m}^2$$

Per poder calcular els m³ de plàstic recollits, necessito la profunditat de la xarxes, a la qual he donat 30 cm per evitar l'arrossegament de peixos per protegir els ecosistemes.

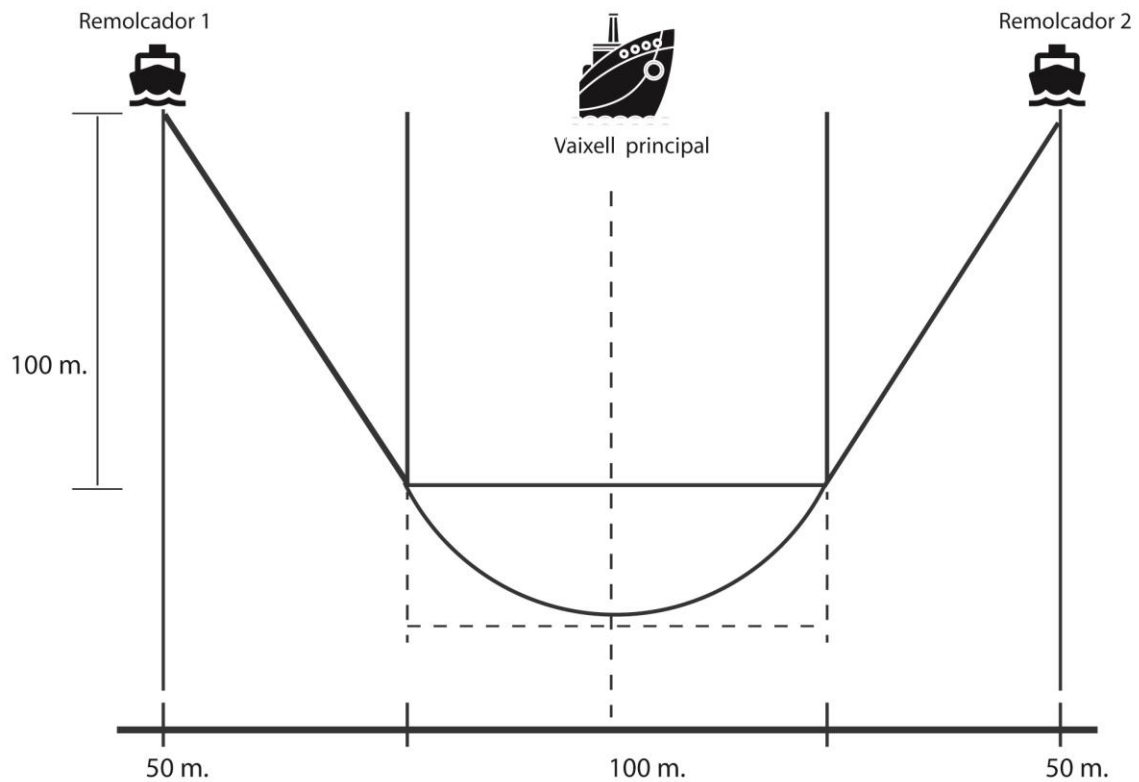


Figura 8. Àrea de captura 2

Àrea de captura: 15600 m²

Longitud de la xarxa: 1000 m

Gruix de la capa suposada: 30 cm

Volum capturat: 4680 m³

Temps per a captura aproximat: 1 dia

Temps d'embarcament: 1 dia

Temps entre selecció i distribució: 1 dia

Nota: Durant el temps de selecció i distribució en els tancs, es procedeix a una nova captura de manera que cada 3 dies aproximadament s'ompli un tanc i comença un altre interval. (Veure temps de destrucció de la matèria).

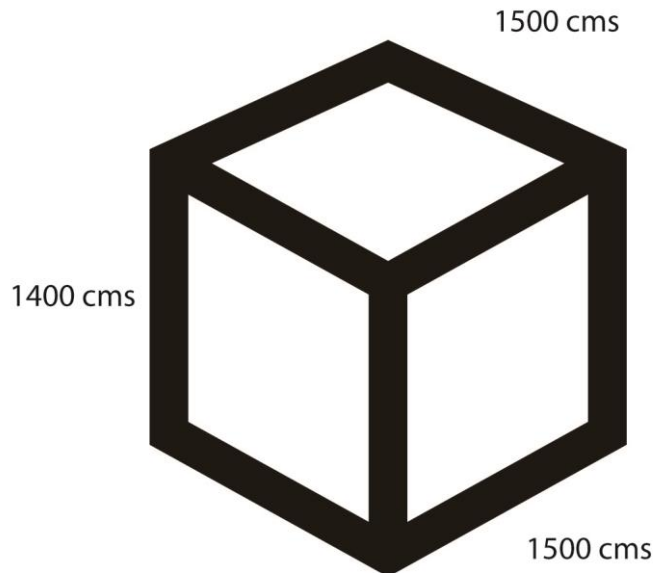
8.7.2. Procediment dins del vaixell

- La primera tasca a realitzar estant el material dins del contenidor receptor és conduir-lo a través d'una mànega adequada a la màquina de separació dels diferents tipus de materials ja descrita anteriorment, encarregada del separat automàtic del plàstic d'altres tipus de materials, a través de la zona de sensors, on es processen electrònicament, i els expulsen selectivament, mitjançant dolls d'aire d'alta precisió.
- Un cop separats els elements, els altres materials que no siguin plàstic passaran a través de conductes a la màquina de comprimit per obtenir bales de mida adequada, i seran emmagatzemats a l'espera de ser recollides pel vaixell auxiliar, per a ser portades a plantes de reciclatge en terra ferma i donar-ne un nou ús, mogudes les bales per la grua per formar l'"estoc" per a reciclatge.
- El plàstic passarà a través d'uns conductes especials dotats d'aire a pressió o absorció al tanc de desintegració que es desitgi.

8.7.3. El funcionament dins dels tancs de desintegració

- Si ja el tanc seleccionat ha esgotat la seva capacitat, llavors es procedirà al seu segellat amb totes les mesures de seguretat que el procés requereix i començarà l'expulsió de qualsevol resta d'aigua que existeixi.
- Els tancs estaran connectats a la central elèctrica amb la qual explica el vaixell per proporcionar la calor necessària (30 graus centígrads) perquè l'enzim actuï correctament en el procés de desintegració.
- Un cop verificat el compliment de totes les mesures tècniques i de seguretat a través de les pantalles i equips disposats a la zona de control d'operacions de desintegració, es procedeix a través de les canonades disposades per a això a buidar la quantitat de bacteri necessari segons el plàstic contingut en el tanc i la injecció d'oxigen necessària per al procés.

- Si ja se sap que per un cm^2 de plàstic es requereixen 0,13 mg d'enzim, segons la informació que aporten les investigacions esmentades anteriorment sobre l'enzim PETasa, calculo que els meus tancs tenen el següent volum:



Volum 1 tanc $15 \times 14 \times 15 = 3150 \text{ m}^3$
 Sup. 1 tanc

Figura 9. Superfície del tanc en cm sense escales.

- Superfície en cm^2 d'un tanc: $14 \text{ m} \times 100 = 1400 \text{ cm}$ alt i $15 \text{ m} \times 100 = 1500 \text{ cm}$ ample. O sigui, un tanc té 1400 cm alt \times 1500 cm ample = $2.100.000 \text{ cm}^2$ d'àrea. Tot i que sé que el tanc hauria de ser mesurat en una unitat de volum (cm^3), l'he de calcular d'aquesta manera ja que la informació que dispo de l'enzim "menja" plàstic només apareix en cm^2 . Per tant, sabent que tinc aquesta limitació faré els càlculs aproximats:
- Si per destruir 1 cm^2 de plàstic necessito 0,13 mg d'enzim PETasa, segons s'indica en la informació que tinc del bacteri i que ja he esmentat anteriorment, aplicant regles senzilles de proporcionalitat, sé que per destruir el contingut d'un tanc necessito més de 273.000 mil·ligrams d'enzim, que són més de 0,273 kg ($273.000 \text{ mg} / 1.000.000$) d'enzim i 45 dies (3 dies entre captura, absorció,

selecció i distribució i 42 dies que són les 6 setmanes que indica l'informe de l'enzim per a la desintegració).

- Posteriorment, i seguint totes les mesures de seguretat necessàries, es verificarà que s'hagin complert els objectius proposats i el plàstic s'hagi desintegrat en gran part, ja que sempre quedaran residus d'ell.
- Passades les sis setmanes requerides per al procés, s'executarà dins del tanc l'esterilització per eliminar el bacteri i poder treure els residus del plàstic desintegrat i passar a comprimir-lo, perquè juntament amb els altres materials ja comprimits, portar-lo a terra ferma per al seu reciclatge o processar-lo per obtenir el subproducte resultant: CO₂.
- Per determinar la capacitat dels tancs he tingut en compte les dades de densitats per tipus de plàstic que s'indiquen al llarg del llibre *Indústria del plàstic. Plàstic industrial*. Richardson & Lokensgar A.K. [3].

Taula de densitats de materials:

- ✓ Polietilè d'alta densitat: 0,95 g / cm³
- ✓ Polietilè baixa densitat (de les bosses): 0,92 g / cm³
- ✓ Polipropilè densitat: 0,90 g / cm³
- ✓ Poliestirè densitat 1,05 g / cm³
- ✓ Poliestirè expandit densitat 0,02 g / cm³ (unicel, telgopor)
- ✓ ABS densitat 1,07 g / cm³
- ✓ PVC rígid densitat 1,34 g / cm³
- ✓ PVC flexible densitat 1,25 g / cm³
- ✓ PET 1,37 (1,3699) g / cm³ (de les ampolles)
- ✓ Niló densitat 1,14 g / cm³

- També he pres com a dada certa que la major part del plàstic abocat a les escombraries és, com s'indica en el capítol de la contaminació, el provinent del consum humà més comú, les ampolles i bosses. Per realitzar els càlculs del meu projecte, he pres com a referència el PET que té una densitat de $1,37 \text{ g / cm}^3$. L'he seleccionat perquè és el material utilitzat per fer les ampolles d'aigua i refrescos, que són uns dels principals elements que es recullen a les platges.
- A més, gràcies als projectes d'arrossegament existents actualment com The Ocean Cleanup, sé que hi ha un percentatge d'altres possibles materials que poden ser arrossegats juntament amb el plàstic. Per tant, per a tots els càlculs de quantitats de recollida de plàstic he determinat una proporció de 80 % de plàstic i un 20% d'altres productes.
- Sé que la fórmula per a la conversió de m^3 a kg és $\text{m}^3 \times \text{densitat}$, per tant 1 m^3 d'escombraries de plàstic = $(1,37 \text{ g / cm}^3 \text{ de densitat} \times 1.000) 1.370 \text{ Kg / m}^3$ de densitat.
- Per tant, si la capacitat de tots els tancs en m^3 és de: $15 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 14 \text{ m}$ (de capacitat cada tanc) $\times 16$ unitats = $50.400 \text{ m}^3 \times 1.370 \text{ kg / m}^3$ (densitat del PET) = $69.048.000 \text{ kg}$ el divideixo entre 1.000 per calcular quantes tones pesen aquests metres cúbics: $69.048.000 \text{ Kg / 1000} = 69.048 \text{ Ton}$.

8.7.4. Quantitats i temps en processos de recollida i desintegració del plàstic

El meu projecte presenta una solució teòrica que aporta agilitat a l'eliminació del plàstic dels mars. A continuació mostro el meu plantejament i els càlculs que he fet, que inclouen les quantitats recollides en cada batuda i temps estimats en el procés, per valorar l'efectivitat i l'eficàcia:

- Durada de la batuda o recollida d'escombraries pels dos remolcadors: **1 dia**
- Durada de l'absorció de les escombraries cap al vaixell: **1 dia**
- Temps estimat per separació i distribució del material i omplert de tancs: **1 dia**

- Metres cúbics recollits en 1 batuda: $15.600 \text{ m}^2 \times 0,30 \text{ m}$ gruix d'escombraries estimada segons he descrit anteriorment = 4.680 m^3 .
- Per calcular el plàstic recollit en cada batuda, apliquem la fórmula: Volum total batuda $4.680 \text{ m}^3 \times 0,80$ part de plàstic = $3.744 \text{ m}^3 \times 1.370$ de densitat (Kg / m^3) = $5.129.280 \text{ Kg} / 1000 = 5.129,28$ Ton. de plàstic recollit en cada batuda. Recordem que he calculat un 20% d'altres materials en cada batuda, per tant 936 m^3 estaran compostos per altres materials, no plàstics, que seran detectats en la màquina separadora i enviats a l'àrea de compactació per a ser traslladats posteriorment a terra.
- Capacitat de cada tanc: $3.150 \text{ m}^3 \times 16$ tancs = 50.400 m^3 , aquesta és la capacitat total dels 16 tancs.
- Per tot plegat, per omplir els 16 tancs es necessitaran 13,46 batudes, és a dir cal realitzar 14 batudes per omplir els 16 tancs (50.400 m^3 de la capacitat dels tancs / 3.744 m^3 recollits en cada batuda = 13,46 batudes necessàries).
- Per tant, 1 tanc s'omple amb una batuda (3.744 m^3 de sol PET) i ens sobren per a un altre tanc 594 m^3 de plàstic recollit.
- Cada 3 dies s'emplena 1 tanc, ja que mentre s'efectua el procés de pesca (1 dia), absorció (1 dia), selecció i distribució (1 dia) de la primera captura que en total dura 3 dies, es procedirà a la segona captura a l'oceà i així successivament fins omplir els 16 tancs.
- El procés per a la destrucció del PET en 1 tanc serà de 42 dies aproximadament, a més dels 3 dies necessaris per a pesca, absorció i distribució, amb més de $0,273 \text{ kg}$ aproximadament d'enzim a 30°C per 3.150 m^3 de material.

- Càlculs de recollida, omplert de tancs i compactació de material sobrant

Batudes. Es mostra el càlcul unitari i el càlcul per a 14 batudes que són les necessàries per omplir els 16 tancs.	Volum total recollit per batuda	Plàstic recollit per batudes (80%)	Pes en tones de plàstic recollit per batudes (m ³ x 1.37 densitat)	Material no plàstic per compactar recollit per batuda (20%)	Sobrant de plàstic recollit i no buidat en tanc després d'omplir 3.150 m ³ , sobrant per pròxima campanya
1	4.680,00 m ³	3.744,00 m ³	5.129,28 t	936,00 m ³	594,00 m ³
14	65.520,00 m ³	52.416,00 m ³	71.809,92 t	13.104,00 m ³	2.016,00 m ³

- A continuació presento els càlculs que he elaborat per establir quant de temps es trigarà a realitzar el primer procés, és a dir, des que es comença amb la primera batuda, s'omplen els 16 tancs i es desintegra el plàstic. Per a això, he pres en compte que encara que el projecte compta amb 16 tancs, només necessito 14 batudes per omplir-los com he demostrat en el quadre anterior, ja que en cada batuda, després d'omplir el tanc corresponent de 3.150 m³ tinc 594 m³ de plàstic sobrant que farà servir per omplir una part del tanc següent conjuntament amb el plàstic obtingut en la següent batuda, mentre s'inicia el procés de desintegració en el tanc anterior.

- **Cronologia de recollida i desintegració. Resum de quantitats i dies:**

Procés 1

Tancs	Plàstic recollit en batuda (m³) + sobrant campanya batuda anterior	Plàstic a destruir per tanc (m³)	Sobrant campanya batuda (m³)	Dies per a la realització del procés complet des de la batuda (3 dies de batuda i distribució + 42 de desintegració)
1	3.744,00	3.150,00	594,00	45
2	4.338,00	3.150,00	1.188,00	+3
3	4.932,00	3.150,00	1.782,00	+6
4	5.526,00	3.150,00	2.376,00	+9
5	6.120,00	3.150,00	2.970,00	+12
6	6.714,00	3.150,00	3.564,00	+15
7	7.308,00	3.150,00	4.158,00	+18
8	7.902,00	3.150,00	4.752,00	+21
9	8.496,00	3.150,00	5.346,00	+24
10	9.090,00	3.150,00	5.940,00	+27
11	9.684,00	3.150,00	6.534,00	+30
12	10.278,00	3.150,00	7.128,00	+33
13	10.872,00	3.150,00	7.722,00	+36
14	11.466,00	3.150,00	8.316,00	+39
15	8.316,00	3.150,00	5.166,00	+0
16	5.166,00	3.150,00	2.016,00	+0

La fórmula aplicada en el quadre anterior és: plàstic recollit + sobrant batuda anterior - capacitat de cada tanc = material sobrant d'aquesta batuda, que se suma al plàstic recollit en la batuda corresponent per tornar a aplicar la mateixa fórmula.

En l'última columna corresponent als dies, es reflecteix que els tancs s'aniran omplint un a un, així mentre el primer ja arrenca amb el procés de desintegració el segon arrencarà al cap de 3 dies, que és el que triga el procés de batuda, absorció i distribució, com he explicat anteriorment. Sense això el procés de desintegració dura

42 dies, és a dir el mateix que l'anterior, per això només prenc els 3 dies per sumar al procés total, després de l'ompliment del primer.

Els tancs 15 i 16 s'ompliran al mateix temps que el tanc 14, ja que comptem plàstic sobrant (8.316,00 m³ de plàstic sobrant) de batudes anteriors per omplir-los. Per tant, no cal incrementar els 3 dies de realització de batuda, absorció i distribució al procés d'aquests dos tancs.

Com demostro en el quadre anterior, per completar una operació de batuda, recollida, separació, ompliment i destrucció del plàstic en els 16 tancs faran falta 84 dies, en els quals es destruiran 50.400 m³ de plàstic que corresponen a 69.048 tones (50.400 m³ x 1.37 densitat) més el sobrant de 2.016 m³.

Si calculo que el temps d'esterilització de cada tanc pot ser de 3 dies aproximadament després del seu buidatge per tornar a iniciar el procés (3 dies x 16 tancs = 48 dies), veurem que mentre uns estan a meitat del procés o acabant el mateix, ja estem omplint els anteriors que ja han acabat. Per tant, en un any podrem realitzar més de 2,5 processos x 16 tancs aproximadament (84 dies x 2,5 processos = 210 dies) + (48 dies d'esterilització x 2,5 processos = 120 dies) = 330 dies en total aproximadament, el que representa que podrem netejar l'oceà de 172.620 tones de plàstic aproximadament en un any.

8.7.5 Eficiència del meu model

El meu model és eficient per diverses raons:

- Col·labora amb la neteja dels mars, bé sigui com a simple recollida, compactació i transport, unint forces amb projectes ja existents com MANTA [38] o The Ocean Cleanup, [37] o de manera més ràpida, en utilitzar el bacteri amb l'enzim PET modificada per poder desintegrar el plàstic en ple oceà, el que seria un pas enorme pel que fa a l'efectivitat de la desintegració del plàstic i per tant de la neteja dels mars.

- A més, és eficient també pel que fa a l'estalvi energètic de derivats del petroli, gràcies al reciclatge de materials necessaris per a la producció de PET, ja que els residus de l'eliminació del plàstic a través dels processos de l'enzim podrien ser reutilitzats per a la creació de nous envasos o altres derivats, com escriu l'investigador de l'Institut de Bioquímica de la Universitat de Greifswald (Alemanya) Uwe T. Bornscheuer, [29] en un article que acompanya a la investigació de l'enzim, segons un article publicat en el Diari *El Mundo* el 10 de març del 2016: «**La asimilación de PET por la bacteria *I. Sakaiensis* puede ser muy útil para eliminar este material derivado del petróleo del medio ambiente**»*, «...además, si el ácido tereftálico se pudiera recuperar y reutilizar, supondría un ahorro importante en la producción de nuevos plásticos que no precisarían de nuevo el uso de derivados del petróleo»*. [13]
- Finalment, la seva eficiència podria estendre a la recuperació del CO₂ produït durant el procés de degradació del plàstic pel bacteri amb l'enzim PETasa, bé sigui a través d'un procés biològic que en combinació amb l'energia solar i les plantes permet la fotosíntesi, o amb l'ús químic per a la producció de combustibles com l'isobutanol, un alcohol capaç de substituir la benzina, segons s'explica en un vídeo publicat per la Universitat Europea, en el seu canal de Youtube, el 10 de maig de 2018 [22]. Aquest vídeo presenta una proposta biotecnològica semblant a la que proposa aquest treball, que consisteix en equipar estacions mòbils de neteja, en el meu treball els superbucs, amb el major nombre possible de biodigestors (enzim PETasa -*Ideonella Sakaiensis*, en la meua proposta) per netejar els mars i oceans. No obstant això, el meu model va més enllà, presentant un disseny del mecanisme d'arrossegament i dels vaixells i tancs encarregats de realitzar les funcions de recollida i desintegració, així com el càlcul del material que es recolliria i destruiria en un temps estimat, com he presentat.



Font: Universitat Europea, Canal Youtube [22]

La possibilitat de posar en marxa aquest projecte demostrarà la seva eficiència a nivell del funcionament pràctic i els processos plantejats, atès que encara està en desenvolupament l'aprofundiment de l'efectivitat de la utilització de l'enzim del bacteri *Ideonella Sakaiensis* per destruir el plàstic i cal esperar els resultats dels nous estudis que s'estan realitzant sobre l'enzim i les millores de la velocitat i el procés de desintegració del plàstic que porta a terme.

9. CONCLUSIONS

- A través de la realització d'aquest treball he descobert la gravetat del problema de la contaminació dels oceans a causa del plàstic que consumim i rebutgem. Aquesta contaminació està provocant conseqüències desastroses en els ecosistemes marins que poden afectar als éssers humans quan consumeixen els peixos contaminats, però també té part de responsabilitat en l'escalfament global, amb les desastroses conseqüències climàtiques que pot tenir per al nostre planeta. Per tant cal que s'implementin solucions ràpides i eficaces que permetin netejar els nostres oceans a curt termini i que a més es conscienciï a la societat per evitar que se segueixi contaminant el mar.
- En els darrers anys, s'han proposat diversos projectes i alguns d'ells s'han dut a terme i estan funcionant actualment, recollint el plàstic ubicat a les illes de plàstic dels oceans i portant els residus a terra, a plantes de tractament per al seu reciclatge. Tot i que aquests projectes són una gran iniciativa i un pas endavant en la consciència humana pel que fa al medi ambient, no són suficients. Per tant, hem de crear projectes que puguin netejar els nostres mars de manera més ràpida i eficaç. Per això era important per a mi poder desenvolupar aquest treball i comprovar si realment és viable.
- Nous descobriments com l'enzim PETasa del bacteri *Ideonella Sakaiensis* són un gran pas per a la solució, no només del problema de la contaminació per plàstic en els oceans concretament, sinó de la contaminació produïda per l'obtenció de derivats del petroli per a la fabricació del PET. Els estudis consultats indiquen que el procés de desintegració realitzat pel bacteri *Ideonella Sakaiensis* permeten obtenir components reciclats menys nocius per l'ambient. Per això, em sembla una bona aliada per a la descontaminació del mar, ja que a més del seu poder desintegrador genera CO₂ que pot ser aprofitat com a primera matèria per a combustibles més nets.

- Mai vaig imaginar que dissenyar un projecte d'aquest tipus fos tan complicat. M'he adonat que necessites molts coneixements i investigar molt sobre diferents matèries per a poder dissenyar cada un dels elements que s'utilitzaran en els processos. A més, es tracta d'un tema d'actualitat, hi ha poca informació teòrica de font acadèmica, mentre que la informació en notícies i documentals és extensa i moltes vegades contradictòria, motiu pel qual he tingut un gran treball de cribratge i verificació de les dades, per poder realitzar totes les fases del treball i especialment els càlculs.
- El model, els dissenys del vaixell, el funcionament i els càlculs de rendiments desenvolupats a la feina estan basats en equips existents actualment, per verificar la seva viabilitat. No obstant això, he introduït modificacions en les seves característiques, necessàries per adequar-los al funcionament del projecte i per fer els vaixells més ecològics. També m'he basat en quantitats i dades que aporten els estudis científics i articles sobre l'enzim, revisats per a l'elaboració d'aquest treball. Tot això m'ha donat una base teòrica important però ha estat gràcies al suport de l'enginyer en vaixells que he pogut realitzar els meus dissenys, tant del model com del seu funcionament i, comptant amb la informació publicada sobre projectes com The Ocean Cleanup, Manta i la investigació de l'enzim he verificat el meu model. Les variacions que he plantejat de propulsió ecològica, característiques d'estructura per a la càrrega de contenidors "laboratori" i processos biològics, pot funcionar en el relacionat a la mecànica de l'arrossegament, recollida i absorció i desintegració del plàstic, en teoria.
- Per tant, he pogut donar resposta positiva a les hipòtesis plantejades sobre si l'enzim PETasa del bacteri *Ideonella Sakaiensis*, en combinació amb els sistemes actuals de recollida del plàstic, pot ser utilitzat per a l'eliminació de plàstic dels oceans i si els vaixells poc contaminants existents actualment poden ser adaptats per a la utilització de l'enzim PETasa del bacteri *Ideonella Sakaiensis* per al procés de desintegració del plàstic al mar.

- A través dels meus càlculs sobre el funcionament del meu projecte i les quantitats de plàstic recollides i destruïdes en els tancs, comprovo que el meu model pot ser eficaç per destruir el plàstic de manera més eficient del que es fa actualment (recollida i transport a terra). Ja que es realitza en el propi lloc de recollida, estalvia el temps d'enviament de material a terra per al seu reciclatge i el temps de reciclatge a terra. A més a més, les quantitats i temps de destrucció del meu projecte són bastant ràpids.
- No obstant això, no he aconseguit tenir resposta dels investigadors de l'enzim PETasa sobre l'eficiència de l'enzim en relació a les quantitats de plàstic que proposo en el meu projecte. Per exemple, només tinc la informació del temps de desintegració per cm^2 i no en cm^3 com proposo en el meu model, de manera que els meus resultats són teòrics perquè no he pogut verificar si, a la pràctica, la utilització de l'enzim PETasa del bacteri *Ideonella Sakaiensis* per la desintegració del plàstic al mar, pot accelerar i fer molt més eficients els processos que es realitzen actualment per a la descontaminació dels oceans.
- La velocitat del procés de destrucció del plàstic per part del bacteri amb l'enzim PETasa, actualment, és de sis setmanes en laboratori. La quantitat de plàstic a destruir que es planteja en aquest projecte per obtenir agilitat i rapidesa, pot ser augmentada modificant el disseny del superbuc per donar-li més capacitat, modificant el nombre de tancs contenidors o la seva mida, que per a aquesta proposta he volgut mantenir el més semblant als vaixells existents per demostrar la seva viabilitat.
- Aquest projecte reflecteix que la utilització de l'enzim PETasa del bacteri *Ideonella Sakaiensis* per a la destrucció del plàstic al mar en infraestructures existents modificades és viable i efectiu a nivell teòric: col·laborant en la neteja de les illes de plàstic d'una manera eficaç i ràpida, eliminant 69.000 tones de plàstic cada 2,5 mesos aproximadament.
- El projecte és viable perquè la construcció del vaixell és possible, ja que la seva base serà un vaixell ja existent, l'Auriga Leader. A més, hi ha projectes en marxa

com The Ocean Cleanup [37] que utilitza una mecànica semblant a la que proposo pel que fa al funcionament de la xarxes d'arrossegament del plàstic per portar-lo a reciclar a terra. Per tant, la meua proposta dels remolcadors també és viable i està provada.

- També he llegit que ja molts tenen interès en l'enzim PETasa per incloure-la en projectes d'eliminació del plàstic: segons s'assenyala en l'article del diari ABC del 17 d'Abril de 2018, "*lo único que habría que sería introducir estas enzimas (pétaso - Ideonella Sakaiensis) en microorganismos para que degradaran el plástico dentro de reactores diseñados para tal fin*" * [11]. Avui, però, és que encara l'enzim es troba en desenvolupament, i que els estudis intenten millorar l'efectivitat amb la que actua sobre el plàstic i les diferents versions del mateix. En conseqüència, haurem d'esperar una mica per revisar novament la viabilitat tècnica d'aquest projecte referent a la utilització del bacteri.
- Em sembla clau continuar amb les investigacions sobre l'enzim PETasa pel gran avenç per a la humanitat que representa com a solució a la contaminació generada per les escombraries plàstiques. També cal continuar amb les investigacions que es duen a terme sobre el CO₂ generat per la destrucció del plàstic, per transformar-lo en alcohols combustibles, com ara metanol i etanol, molt més nets que els carburants actuals.
- Cal ressaltar que segons la Universitat Europea [22], el CO₂ resultant del procés biològic de la desintegració del plàstic per l'enzim PETasa pot ser utilitzat per produir alcohol per combustible. Segons es va publicar el 31 de maig de 2014 a un article a la Revista Científica Matèria [27], hi ha diversos projectes que intenten utilitzar bacteris per produir combustible a partir de CO₂. Un d'ells ha estat dirigit per Christopher Brigham, de l'Institut Tecnològic de Massachusetts (EUA), que ha modificat els gens d'un bacteri del sòl, la 'Ralstonia eutropha', perquè fabriqui isobutanol, l'alcohol que pot substituir a la gasolina.

* [11]DIARIO ABC. G.L.S. Sección Ciencia. [Diario en línea. Madrid. 17 Abril 2018]. "Inventan una molécula que «se come» el plástico"

- L'equip de Brigham intenta perfeccionar el procés perquè el microbi generi aquest combustible a partir de CO₂, ja que el seu ús no només és interessant a nivell mediambiental sinó també a nivell empresarial, ja que serà un substitut molt més econòmic que el combustible provinent del petroli. Per tant, penso que la recuperació del CO₂, producte del procés proposat en el meu treball d'eliminació del plàstic pel bacteri amb l'enzim PETasa, pot ser una forma de finançar aquest projecte i donar-li viabilitat econòmica, tot i que requereix un treball separat per desenvolupar el seu procés.
- A més, sabem que l'ONU fa cada vegada més èmfasi en el canvi climàtic i pressiona als diferents països perquè es comprometin i inverteixin en projectes que puguin revertir i prevenir aquests problemes de contaminació de plàstic. Per això, crec que el finançament d'un projecte amb les característiques del que he desenvolupat a la meva feina és viable actualment, però ha de passar per una associació col·laborativa entre projectes ja existents i noves investigacions, així com, per descomptat, per la inversió pública de les nacions més desenvolupades, que són les més contaminants, i també per finançament de l'empresa privada.
- Finalment, la conscienciació i l'educació són també punts importants de tot aquest problema, doncs ja podem netejar, que si seguim embrutant, de res no servirà. Per això, crec que tots els treballs de recerca i inversió per a la creació de projectes, han d'anar acompanyats de nous valors i nous hàbits de consum, que obliguin les societats i l'ésser humà a preservar la natura i a aprendre a conviure sense destruir el nostre món.

10. BIBLIOGRAFIA

LLIBRES ESPECIALITZATS:

[1]**CASANOVA RIVAS, ENRIQUE.** “*Máquinas para la propulsión de buques*”. Editorial Universidad de la Coruña. Col·lecció Manual 2001.

[2]**JAVALOYES PEDRO. YEVES ENRIQUE. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y AGRICULTURA. FAO.** *Los océanos ¿Están nuestros mares en peligro?*. Espanya. FAO- El País. Volum 7. Col·lecció "Los estados del planeta ". 2018.

[3]**RICHARDSON, TERRY. LOKENSGARD, ERIK.** “*Industria del plástico. Plástico industrial*”. Edicions Paraninfo, Estats Units. 2011.

[4]**RODRIGO DE LARRUCEA, JAIME.** “*Manual del transporte en contenedor*”. Editorial ICG Marge. Col·lecció Biblioteca de logística. Barcelona. 2018.

[5]**VEGA FERNÁNDEZ, MARÍA LOURDES.** “*El CO₂ como recurso: de la captura a los usos industriales*”. Barcelona, Fundació Gas Natural. 2010

ARTICLES EN PREMSA DIGITAL:

[6]**AGENCIA FAPESP/DICYT. AGÈNCIA IBEROAMERICANA PER A LA DIFUSIÓ DE LA CIÈNCIA I LA TECNOLOGIA.** [Agència en línia. Sao Paulo Brasil. 25 maig 2018]. “*Mejoran la PETasa, una enzima capaz de degradar un tipo de plástico muy utilizado.*” <<http://www.dicyt.com/noticias/mejoran-la-petasa-una-enzima-capaz-de-degradar-un-tipo-de-plastico-muy-utilizado>> [Consulta 27-06-2018]

[7]**ANSA. AGÈNCIA ITALIANA DE NOTÍCIES.** [Cooperativa digital de principals diaris, Roma, Itàlia. 8 març 2018] <<http://www.ansalatina.com/america-latina/noticia/espe>

ciales/2018/03/08/plan-para-reducir-islas-de-plastico_519d3184-7f65-4045-bfe2-d0ebcfdb9130.html> [Consulta 30-04-2018].

[8]**BBC MUNDO. REDACCIÓ. COORPORACIÓ DE RADIODIFUSIÓ BRITÀNICA.** [Agència en línia. Londres. 11 desembre 2017]. “5 gràfics para entender por qué el plástico es una amenaza para nuestro planeta” <<https://www.bbc.com/mundo/noticias-42304901>> [Consulta 18-03-2018]

[9]**BBC MUNDO. REDACCIÓ. COORPORACIÓ DE RADIODIFUSIÓ BRITÀNICA. BRIGGS HELEN.** [Agència en línia. Londres. 24 març 2018]. “La preocupante velocidad a la que está creciendo la gran isla de basura del Pacífico que ya tiene tres veces el tamaño de Francia” <<https://www.bbc.com/mundo/noticias-43515386>> [Consulta 25-04-2018]

[10]**CNN. KIERON MONKS.** [Canal a espanyol de notícies digital, USA. 18 juliol 2016] “Un océano de plástico está acabando con la vida marina en el Pacífico”. <<https://cnnespanol.cnn.com/2016/07/18/un-oceano-de-plastico-esta-acabando-con-la-vida-marina-en-el-pacifico/>> [Consulta 03-03-2018].

[11]**DIARI ABC. G.L.S. Secció Ciència.** [Diari en línia. Madrid. 17 abril 2018]. “Inventan una molécula que «se come» el plástico” <https://www.abc.es/ciencia/abci-inventan-molecula-come-plastico-201804162224_noticia.html>. [Consulta 25-04-2018]

[12]**DIARI ABC. LÓPEZ SÁNCHEZ, GONZALO. GLS.** Agència espanyola de notícies. [En línia. Madrid, Espanya. Juliol 31 2017. Actualitzat] “Empeoran los pronósticos: La temperatura de la Tierra subirá entre dos y cinco grados”. <<https://www.abc.es/ciencia/abci-empeoran-pronosticos-temperatura-tierra-subira-entre-y-cinco-grados-201707311701-noticia.html>> [Consulta 30-12-2017].

[13]**DIARI EL MUNDO. CORRAL MIGUEL G.** Troballa publicat a la Revista Science [Diari en línia. Madrid. 10 març 2016]. “La bacteria que come plástico”. <<http://www.el-mundo.es/ciencia/2016/03/10/56e1c141e2704e7a6a8b4629.html>> [Consulta 20-12 2017]

[14] **DIARI EL PAÍS. FLASHMAN EMILY.** Secció Ciència. [Diari en línia. Madrid. 26 abril 2018]. “*Cómo funcionan realmente las bacterias que comen plástico*”. <https://elpais.com/elpais/2018/04/26/ciencia/1524756766_749507.html> [Consulta 25-04-2018]

[15] **DIARI EL PAÍS. JOSU LAPRESA.** Col·lecció “*El estado del Planeta*”. [Diari de notícies i actualitat Imprès i digital, 2 juny 2018]. “*2050: más plásticos que peces en los océanos*”. <https://elpais.com/elpais/2018/05/31/planeta_futuro/1527757818_46_5356.html> [Consulta 04-06-2018].

[16] **DIARI LA NACIÓN. MOONEY CHRIS, AFP. AGÈNCIA FRANCESA PRESS.** [Diari imprès i digital. Argentina, 23 març 2018] <<https://www.lanacion.com.ar/2119607-la-isla-de-la-basura-en-el-pacifico-ya-triplica-el-tamano-de-francia>> [Consulta 27-04-2018].

[17] **EURONEWS. AGÈNCIA FRANCESA DE NOTÍCIAS. CERECEDA, RAFAEL. HOOPER, DUNCAN.** [En línia. Espanya. 20 abril 2018] “*¿Qué plásticos son los que más contaminan los mares?*”. <<https://www.es.euronews.com/2018/04/20/-que-plasticos-son-los-que-mas-contaminan-los-mares>> [Consulta 06-07-2018]

[18] **EUROPA PRESS. CIENCIAPLUS / LABORATORIO.** Agència privada de notícies espanyola. [En línia. Madrid. 17 abril 2018] “*Una enzima de diseño se come las botellas de plástico*.” <<http://www.europapress.es/ciencia/laboratorio/noticia-enzima-disenocome-botellas-plastico-20180417110713.html>>. [Consulta 25-04-2018]

[19] **PERIODICO LA VANGUARDIA. FARRÀS PÉREZ, LORENA.** Agència espanyola de notícies. [En línia. Barcelona, Espanya. Agost 12 2018. Actualitzat 17 agost 2018]. “*La basura plástica es también culpable del cambio climático*”. <<https://www.lavanguardia.com/natural/tu-huella/20180812/451274061285/plastico-cambio-climatico-contaminacion-basura.html>> [Consulta 20-10-2018]

[20] **WORLD ECONOMIC FORUM. NINA HALL.** [Organització Internacional per a la Cooperació Publicoprivada, 9 juny 2017] <https://www.weforum.org/agenda/2017/06/the-world-s-oceans-are-in-crisis-but-here-are-5-things-we-can-do-to-save-them/>. [Consulta 04-06-2018].

MATERIAL AUDIOVISUAL:

[21] **“BOYAN SLAT: COMBATTING PLASTIC POLLUTION IN THE WORLD’S OCEANS”** de Goldman Sachs. Canal YouTube. [Vídeo en línia. Londres, 2017] <<https://www.youtube.com/watch?v=QezlB1t6izg>> [Consulta 25-04-2018].

[22] **“BRILLANTE IDEONELLA! UNA BACTERIA DESCONTAMINANTE”**. De Universidad Europea. Canal YouTube. [Vídeo en línia. Madrid. 10 maig 2018] <<https://www.youtube.com/watch?v=Myy4BGHXdVc&t=5s>>. [Consulta 10-07-2018].

[23] **“EN BUSCA DEL CORAL”** de Jeff Orlowski. [*Chasing Cora*]. Estats Units. 2017. 91 minuts. V.O.S.E. Guió Davis Coombe, Vickie Curtis, Jeff Orlowski. Fotografia Andrew Ackerman, Jeff Orlowski. Productora Argent Pictures / Exposure Labs / The Kendeda Fund. Original de Netflix. Música Saul Simon MacWilliams, Dan Romer. Amb Andrew Ackerman, Pim Bongaerts, Neal Cantin, Phil Dustan, Mark Eakin.

CAMPANYES ORGANITZACIONS INTERNACIONALS

[24] **“DEOXYGENATION – OPEN OCEAN AND COASTAL WATERS”**. UNESCO. INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION. [Paris 2018] <<https://en.unesco.org/go2ne>> [Consulta 20-08-2018].

[25] **“#MARESLIMPIOS.” CAMPANYA. ONU. ORGANITZACIÓ DE NACIONS UNIDES**. [Portal en línia. Organització de les Nacions Unides. Nova York, EUA. maig 2017]” <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2017/05/la-onu-lanza-mares-limprios-para-erradicar-el-plastico-de-los-oceanos/>> [Consulta 10-03-2018].

[26] **“PLÁSTICOS EN LOS OCÉANOS”**. GREENPACE. ONG. [Dossier en línia. Madrid 2016] <https://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/2016/report/plasticos/plasticos_en_los_oceanos_LR.pdf> [Consulta 25-04-2018].

PÀGINES WEB

[27] **ANSEDE MANUEL. REVISTA CIENTIFICA MATERIAL.** [Web Revista de ciències en línia. 31 maig 2014] “10 cosas que hacer con el CO₂ en vez de tirarlo a la atmósfera” < <http://esmateria.com/2014/05/31/10-cosas-que-hacer-con-el-co2-en-vez-de-tirarlo-la-atmosfera/>> [Consulta 25-04-2018].

[28] **BENZA RECYCLING. COMPACTACIÓ DE POLIETILÈ EXPANDIT.** [Empresa en línia. La Corunya. 2018] < <http://benzarecycling.com/> > [Consulta 20-10-2018].

[29] **BORNSCHEUER UWE T. SCIENCE.** [Notícies en línia. 11 març 2016] “Feeding on plastic: A bacterium completely degrades poly (ethylene terephthalate” <[http:// science.sciencemag.org/content/351/6278/1154/tab-pdf](http://science.sciencemag.org/content/351/6278/1154/tab-pdf)>. [Consulta 26-04-2018]

[30] **GARCÍA ROBERTO. INGENIERO MARINO.** Manual tècnic. [Web en línia. 2012] “Remolcadores” <<https://ingenieromarino.com/remolcadores/>> [Consulta 12-06-2018].

[31] **HITESHK. AURIGA LEADER- THE WORLD'S FIRST PARTIALLY PROPELLED CARGO SHIP.** [Revista de vaixells en línia. Bangalore, Índia. 2017] <<https://www.marineinsight.com/types-of-ships/auriga-leader-the-worlds-first-partially-propelled-cargo-ship/>> [Consulta 05-05-2018].

[32] **JORDAN CHRIS. CHRISJORDAN.COM.** [Plataforma digital de fotografia. 14 gener 2015] <<http://www.chrisjordan.com>> [Consulta 30-04-2018].

[33] **KOTUG INTERNATIONAL.** Proveïdor líder de serveis de remolc. [Empresa en línia. Holanda. 2018]. <<https://www.kotug.com>>. [Consulta 20-10-2018].

[34] **MONTES JUAN DAVID. UPSOCL.** [Plataforma digital d'actualitat, 28 abril 2016] < <http://www.upsocl.com/verde/es-alarmante-la-mitad-de-la-gran-barrera-de-coral-australiana-esta-muerta/>>. [Consulta 30-04-2018].

[35] **OLIVEIRA JUAN A. VA DE BARCOS.** [Bloc Naval en línia. Àrees d'Enginyeria Naval Aplicada i Estructures en CT Enginyers. 21 novembre 2015] “Auriga Leader, el

primer carguero ayudado por energía solar".<<https://vadebarcos.net/2015/11/21/auriga-leader-el-primer-carguero-ayudado-por-energia-solar/>>. [Consulta 26-04-2018]

[36]**PICTOLINE**. [Notícies en línia. març 2016] *"Buenas noticias para el medio ambiente: científicos descubrieron una bacteria capaz de comer plástico"* <<http://pictoline.com/2066-buenas-noticias-para-el-medio-ambiente-cientificos-descubrieron-una-bacteria-capaz-de-comer-plastico/>>. [Consulta 25-04-2018]

[37]**THEOCEANCLEANUP**. Web d'ecologia i medi ambient [web en línia. Alameda, CA, USA (San Francisco Bay Area) i Holanda, 2016] < <https://www.theoceancleanup.com> > [Consulta 10-03-2018].

[38]**THESEACLEANERS**. Projecte MANTA [web en línia. França, 2018] <<https://www.theseacleaners.org/fr/the-manta/>> [Consulta 10-03-2018].

[39]**TOMRA SOLUCIONS DE RECOL·LECCIÓ I CLASSIFICACIÓ**. [Web Empresa en línia. Girona. 2018] < <https://www.tomra.com> > [Consulta 20-09-2018].

[40]**UNIVERSITY OF PORTSMOUTH**. [Universitat en línia. Portsmouth, Hampshire, Anglaterra. 2018]. *"Could this mutant enzyme solve our plastic problem?"* <<https://www.port.ac.uk/research/research-features/mutant-enzyme>>. [Consulta 12-08-2018].

[41]**WIKIPEDIA.ORG, L'ENCICLOPÈDIA LLIURE** [Enciclopèdia en línia. 2018] *"La Isla basura"* <https://es.wikipedia.org/wiki/Isla_de_basura#/media/File:North_Pacific_Gyre_World_Map_es.png> [Consulta 21-10-2018].

11. ANNEXOS

11.1 Vídeo. Imatge 1.



Vídeo. Imatge 2.

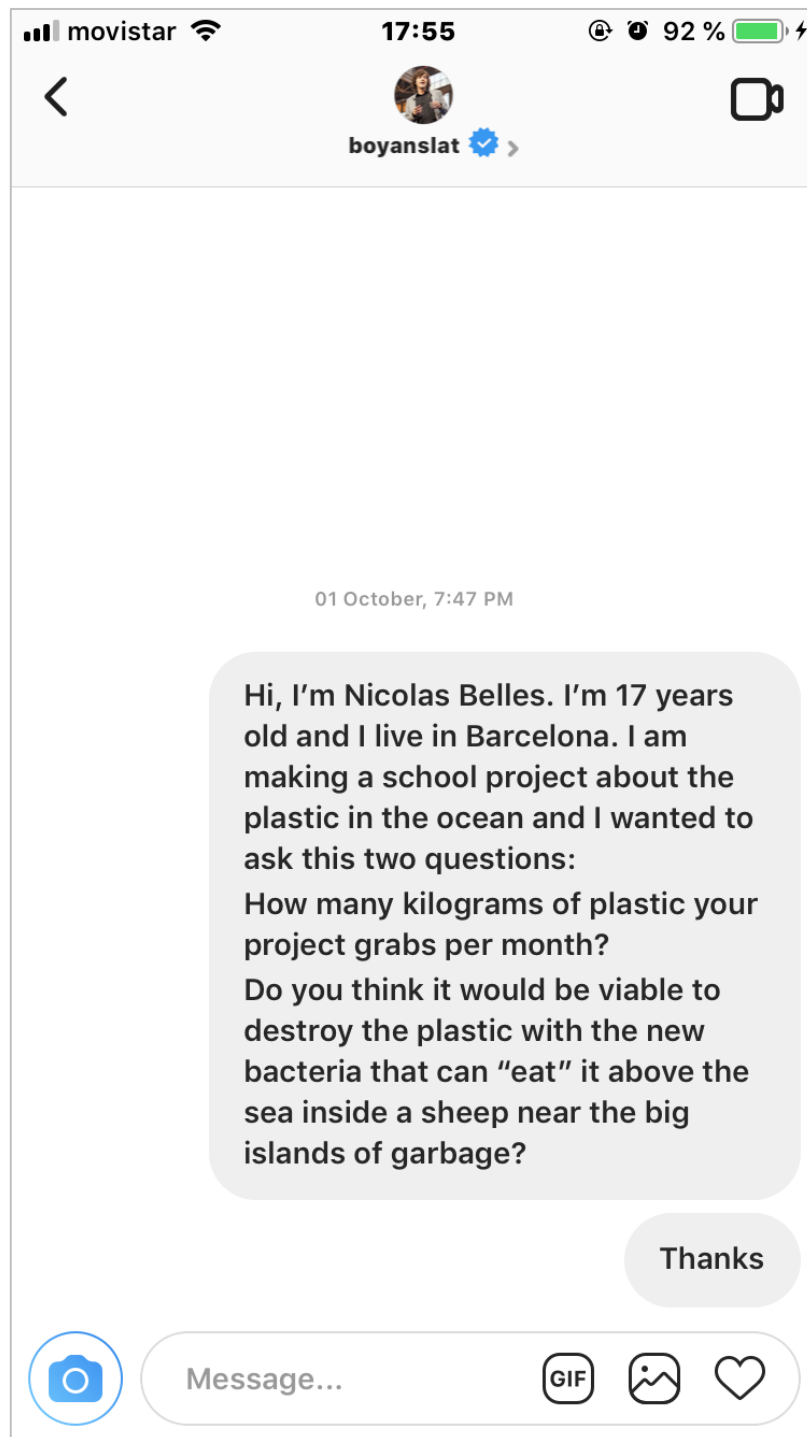


11.2 Maqueta de tanc desintegrador. Fotografies

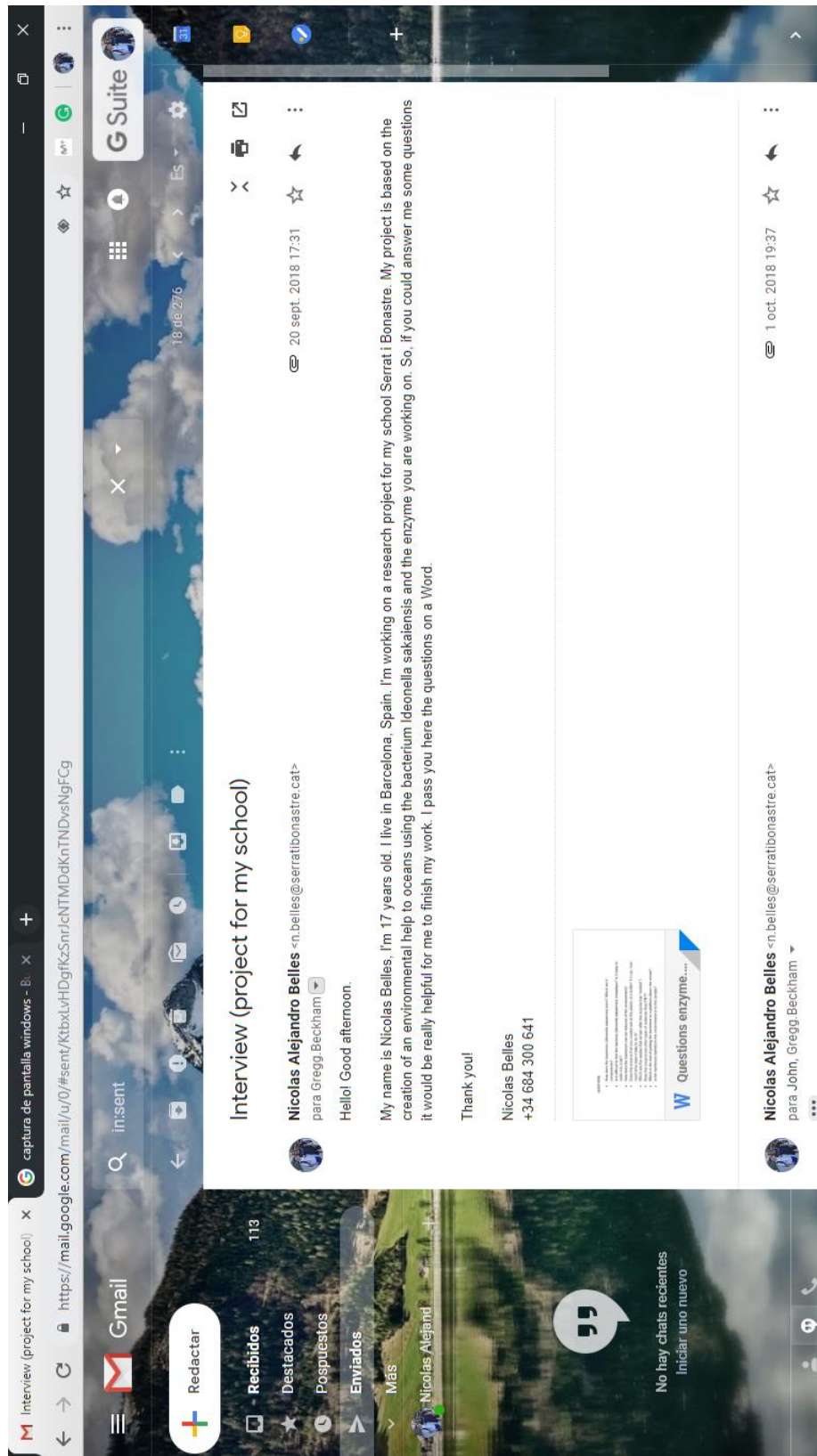


11.3 Correus electrònics enviats a científics i responsables de projectes similars

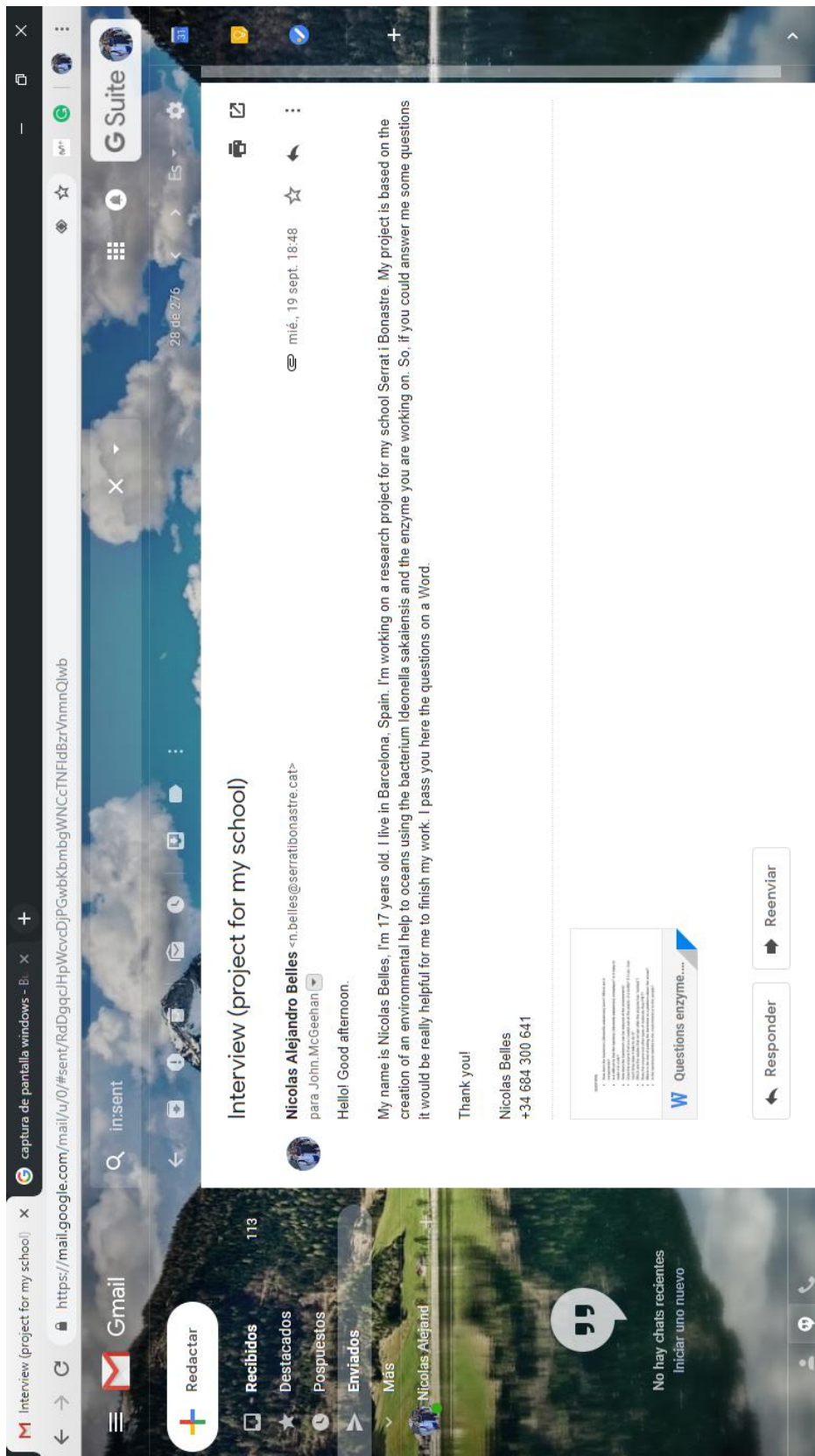
- Boyan Slat. Missatge enviat a través de l'APP Intagram



- Correu electrònic enviat a Gregg Beckham, coautor de l'estudi i investigador a Universitat de Portsmouth.



- Correu electrònic enviat a John McGeehan, coautor de l'estudi i investigador a la Universitat de Portsmouth.



11.4 Dossier de premsa. Greenpeace.

Plàstic en els oceans. Dades, comparatives i impactes.



Índice

Datos sobre la producción de plásticos	4
¿Cómo llega el plástico a los océanos?	5
¿Qué sucede con el plástico cuando llega a los mares y océanos?	5
¿Cuáles son los impactos?	5
¿Y sus consecuencias económicas?	6
Soluciones	6

Imágenes: Imagen portada © Troy Mayne/ Oceanic Imagery Publications, página 3 © Will Rose/ Greenpeace, página 7 © Greenpeace/ Gavin Parsons

Datos sobre la producción de plásticos

La producción global de plásticos se ha disparado en los últimos 50 años, y en especial en las últimas décadas. Entre 2002-2013 aumentó un 50%, de 204 millones de toneladas en 2002, a 299 millones de toneladas en 2013. Se estima que en 2020 se superarán los 500 millones de toneladas anuales, lo que supondría un 900% más que los niveles de 1960¹.

China es el principal productor de plásticos seguido de Europa, Norte América y Asia (excluyendo China). Dentro de Europa, más de dos tercios de la demanda de plásticos se concentran en cinco países: Alemania (24,9%), Italia (14,3%), Francia (9,6%), Reino Unido (7,7%) y España (7,4%).

Existen muchos tipos de plásticos aunque el mercado está dominado por cuatro tipos principales: **polietileno (PE)** (ej. bolsas de plástico, láminas y películas de plástico, contenedores (incluyendo botellas), microesferas de cosméticos y productos abrasivos); **poliester (PET)** (ej. botellas, envases, prendas de ropa, películas de rayos X, etc.); **polipropileno (PP)** (ej. electrodomésticos, muebles de jardín, componentes de vehículos, etc.); y **cloruro de polivinilo (PVC)** (ej. tuberías y accesorios, válvulas, ventanas, etc.).

La mayor parte de los plásticos se emplean en la fabricación de envases, es decir, en productos de un solo uso. En concreto en Europa la demanda de plásticos para envases fue del 39% en 2013, y en España ascendió al 45%².

El plástico ha inundado nuestra vida diaria. En tan solo unas décadas ha pasado a ser omnipresente en todo tipo de objetos y materiales por sus características (flexibilidad, durabilidad y ligereza) y bajo precio. Podemos encontrarlo en envases de productos, en los propios ingredientes de cosméticos, en el textil de la ropa, en materiales de construcción y en multitud de utensilios y objetos.

Al igual que su producción, el aumento de residuos de plástico se ha incrementado de forma dramática. Como consecuencia de una mala gestión de los residuos o de su abandono, unos 8 millones de toneladas de plásticos acaban en los mares y océanos anualmente, formando el 60-80% de la basura marina³, en su mayoría en forma de microplásticos (fragmentos inferiores a 5 mm). Se desconoce la cantidad exacta de plásticos en los mares pero se estiman unos 5-50 billones fragmentos de plástico⁴, sin incluir los trozos que hay en el fondo marino o en las playas. Es un problema global que está aumentando de forma alarmante.



LA CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS EN CIFRAS

- **8 millones de toneladas** de basura al año llegan a los mares y océanos (equivalente al peso de 800 Torre Eiffel, para cubrir 34 veces la isla de Manhattan o el peso de 14.255 aviones Airbus A380)
- **Cada segundo más de 200 kilos** de basura van a parar a los océanos
- **Se desconoce la cantidad exacta de plásticos en los mares pero se estiman unos 5-50 billones de fragmentos de plástico**, sin incluir los trozos que hay en el fondo marino o en las playas.
- El **80%** proviene de tierra
- El **70%** queda en el fondo marino, el 15% en la columna de agua y el 15% en la superficie. Lo que vemos es solo la punta del iceberg.
- Hay **5 islas de basura** formadas en su gran mayoría por microplásticos algo similar a una "sopa": dos en el Pacífico, dos en el Atlántico, y una en el Índico.
- Se estima que en 2020 el ritmo de producción de plásticos habrá aumentado un **900%** con respecto a niveles de 1960 (más de **500 millones de toneladas anuales**). La mitad de este incremento se producirá tan solo en la última década.
- Cada día se abandonan **30 millones** de latas y botellas en España.
- En España, el **50%** de los plásticos que llegan a los sistemas de gestión de residuos terminan en los vertederos sin ser reciclados.

Plásticos en los océanos: datos, comparativas e impactos Greenpeace España 3

¿Cómo llega el plástico a los océanos?

Cuando nos deshacemos de un plástico puede terminar en un vertedero, ser incinerado o reciclado. Pero algunos terminan en las vías fluviales y en los océanos a través de los sistemas de drenaje de aguas en zonas urbanas: por el agua que fluye por los vertederos; los vertidos de basura deliberados; los residuos abandonados; los vertidos accidentales de los barcos o mediante los efluentes de las estaciones depuradoras y plantas de tratamiento de aguas residuales. El 80% de los residuos marinos proviene de tierra, mientras que el 20% restante de la actividad marítima.

Debido a que el plástico es muy persistente y se dispersa fácilmente, podemos encontrar plásticos en todos los océanos del mundo, desde el Ártico hasta la Antártida. Sin embargo, se han identificado cinco zonas de concentración conocidas como "islas" o "sopas" de plásticos en las zonas subtropicales: una en el Índico, dos en el Atlántico (Norte y Sur) y dos en el Pacífico (Norte y Sur). Estas son zonas de concentración elevada de microplásticos.

También, se pueden encontrar altas concentraciones de microplásticos en las áreas litorales, especialmente en regiones con alta población costera con sistemas de gestión de residuos inadecuados, pesquerías intensivas o turismo elevado.

En España en 2015 se recogieron una media de 320 objetos de basura por cada 100 m de playa en aquellas playas muestreadas, siendo el 75% de ellos objetos de plástico⁵. Cada día se abandonan 30 millones de latas y botellas en España⁶, que pasan a contaminar nuestro entorno terrestre, costero y marino.

¿Qué sucede con el plástico cuando llega a los mares y océanos?

El tiempo de degradación del plástico depende del tipo y de las condiciones ambientales a las que se expone (luz solar, oxígeno, agentes mecánicos).

En el caso de los océanos, la radiación UV procedente de la luz solar es el principal agente que degrada el plástico. La acción del oleaje acelera este proceso y como resultado los fragmentos más grandes se van rompiendo en trozos más pequeños.

Es difícil estimar el tiempo que tarda en biodegradarse el plástico en los océanos pero se considera que es mucho más lento que en tierra. Una vez que el plástico queda enterrado, pasa a la columna de agua o queda cubierto por materia orgánica o inorgánica (todo muy frecuente en el medio marino) queda menos expuesto a la luz solar, y disminuyen las temperaturas y el oxígeno, lo que retrasa su degradación.

OBJETOS MÁS COMUNES RECOLECTADOS EN PLAYAS Y ZONAS COSTERAS (POR NÚMERO)

- Colillas
- Fragmentos de plástico inferiores a 2,5 cm
- Botellas de plástico
- Envoltorios
- Tapones de botellas de plástico
- Pajitas
- Otras bolsas de plástico (diferentes de las de supermercado)
- Botellas de vidrio
- Bolsas de plástico de supermercado
- Tapones metálicos de botellas
- Tapas de plástico (distintas de las de botellas)

FUENTE: Ocean Conservancy 2016

¿Cuáles son los impactos?

Desde hace tiempo se ha documentado los impactos que las piezas de plástico tienen en la vida marina: enredos, asfixia, estrangulación o desnutrición (tras ser ingeridos y bloquear el estómago o intestino del animal).

Recientemente, se ha puesto un foco especial en la problemática particular de los microplásticos (fragmentos inferiores a 5 mm). Ya sea porque provienen de la rotura de piezas más grandes, o porque se fabrican directamente en ese tamaño, en nuestros océanos hay billones de estos microplásticos flotando que tienen impactos incluso en las especies más pequeñas que son la base de la red trófica marina.

Los microplásticos pueden ser ingeridos por la fauna marina, incluyendo el plancton, los crustáceos y los peces, y pueden causar problemas, tanto por su presencia física en el intestino como a causa de los contaminantes químicos que llevan. Incluso pueden llegar a ser pasados a lo largo de la cadena alimentaria hasta llegar a nuestros platos.

4 Greenpeace España Plásticos en los océanos: datos, comparativas e impactos

Plásticos en los océanos: datos, comparativas e impactos Greenpeace España 5

Los microplásticos pueden incorporar químicos y liberarlos y quedar en los tejidos de las especies marinas incorporándose a la cadena trófica.

Se desconocen las implicaciones para la salud humana dado que existen muchas lagunas de conocimiento y por lo tanto se requiere más investigación en este aspecto, tal como apunta Naciones Unidas⁶.

¿Y sus consecuencias económicas?

Tanto los macroplásticos como los microplásticos tienen impactos económicos en distintos sectores.

La pesca fantasma derivada de los aparejos de pesca abandonados constituye el mayor impacto de los macroplásticos en las pesquerías. Se denomina pesca fantasma debido a que las redes y trampas abandonadas continúan capturando peces y crustáceos, provocando niveles significativos de mortalidad de stocks comerciales que, en muchos casos ya tienen una elevada presión pesquera y también incrementa los costes de reparación de las redes.

El sector turístico también se ve afectado. La presencia de basura en el mar puede desincentivar la afluencia de turistas, que a su vez se traduce en pérdida de ingresos y empleos en el sector. Estos impactos pueden ser bastante significativos en las zonas donde la economía local depende en gran medida del turismo.

Por último, los costes de limpiar las playas y zonas costeras pueden ser elevados para las autoridades competentes.

Se estima que en la Unión Europea los costes de limpiezas de costas y playas asciende a 630 millones de euros anuales¹⁰.

Soluciones

Para frenar la contaminación por plásticos en los océanos es esencial tomar medidas en los puntos de origen de los residuos.

En España, más del 50% del plástico termina en vertederos sin ser reciclado¹¹, cifra que no considera el plástico que no se deposita en ningún tipo de contenedor y queda abandonado.

En el caso de los envases (latas y botellas) esta cifra es aún mayor. De los 50 millones de envases que se ponen a diario en el mercado en España cada día, 30 millones (el 60%) se pierden y pasan a contaminar el entorno.

La reducción en el consumo de plástico es responsabilidad de todos, tanto de quienes fabrican el producto, quienes lo consumen y las administraciones que gestionan los residuos. En varios países del mundo ya se están tomando distintas medidas para atacar este problema global. Por ejemplo, varios países europeos (como Holanda, Alemania, Croacia o Letonia), Canadá y varios estados de EE.UU. y Australia, entre otros, ya tienen implementado un sistema de retorno de envases que ha demostrado que permite la recuperación de casi el 100% de los envases.

También son varios los países, como Francia, Marruecos, Senegal, Ruanda, Mauritania o China que han implementado algún tipo de prohibición del uso de determinadas bolsas de plástico. La Unión Europea cuenta con su propia Directiva sobre bolsas de plástico ligeras que debe ser implementada a finales de noviembre de 2016.

En el caso de las microesferas de plástico empleadas en productos cosméticos, EE.UU y Australia ya tienen leyes que prohíben el uso de estos componentes y otros países como Canadá, Dinamarca, Suecia o Reino Unido están en el proceso.

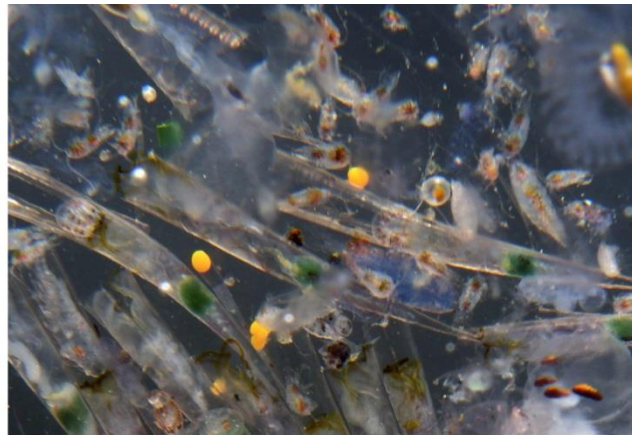
La contaminación que genera el uso de los plásticos es un problema global y por ello España debe sumarse a los países que están impulsando medidas.

En concreto Greenpeace le pide al Gobierno español:

- Eliminar el abandono de envases y garantizar su correcto reciclado mediante la implementación de **sistemas de retorno de envases**.
- Prohibir el uso de **microesferas de plástico**.
- Establecer las medidas necesarias para implantar la **Directiva Europea sobre las bolsas de plástico** de un solo uso para noviembre de 2016.
- Fomentar medidas basadas en la **economía circular**, que apuesten por la reutilización de la materia prima y nuevos materiales con menor impacto ambiental.

A nivel individual también se pueden tomar medidas para reducir el consumo de plástico:

- Evitar las bolsas de plástico de un solo uso. **Utilizar bolsas de tela, cestas o carros**.
- Priorizar la compra de **botellas y envases reutilizable y/o retornables**.
- Comprobar los ingredientes de tus cosméticos y **evitar los productos con microplásticos**: polietileno (PE), polipropileno (PP), PET, PMMA y/o nylon.
- **Rechazar envases y utensilios de un solo uso** como vasos, cubiertos o pajitas.
- Depositar los residuos plásticos en el contenedor adecuado. Evitar artículos con exceso de embalaje (ej. bandejas de poliespan plastificadas). Y **priorizar los productos a granel**.



Referencias

- 1 Demak, J. G. B. 2002. "The Pollution of the Marine Environment by Plastic Debris: A Review." *Marine Pollution Bulletin*, 44, 842-85.
- 2 van Sebille, E., Wilcox, C., Lobron, L., Maximenko, H., Hardesty, B., van Franeker, J., Erikson, M., Siegel, D., Galgani, F. & Law, K., 2015. "A global inventory of small floating plastic debris." *Environmental Research Letters* 10, 124006
- 3 Global Ocean Commission, 2015 "Plastics - Keeping them out of the ocean" Infografía
- 4 Plastics Europe, 2015 "Plastics - the Facts 2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data"
- 5 UNEP (United Nations Environmental Programme), 2016. "Marine plastic debris and microplastics - Global lessons and research to inspire action and guide policy change". United Nations Environment Programme, Nairobi.
- 6 Plastics Europe, 2015 "Plastics - the Facts 2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data"
- 7 Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Programa de Seguimiento de Basuras Marinas en Playas " Informes de resultados 2015"
- 8 RETORNA: <http://www.retorna.org/inm/file/dossier%20maquetado%201.pdf>
- 9 UNEP (United Nations Environmental Programme), 2016. "Marine plastic debris and microplastics - Global lessons and research to inspire action and guide policy change". United Nations Environment Programme, Nairobi.
- 10 Comisión Europea: http://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/index_es.htm
- 11 Plastics Europe, 2015 "Plastics - the Facts 2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data"

Greenpeace es una organización global independiente que realiza campañas para cambiar actitudes y conductas, para proteger y conservar el medioambiente y promover la paz.

Greenpeace España,
San Bernardo, 107 1ª planta 28015 Madrid
Para más información: info.es@greenpeace.org

GREENPEACE

11.5. Informe Yoshida 2016. Science *Ideonella Sakaiensis* Grows on PET.

RESEARCH | REPORTS

BIODEGRADATION

A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate)

Shosuke Yoshida,^{1,2*} Kazumi Hiraga,¹ Toshihiko Takehana,³ Ikuo Taniguchi,⁴ Hironao Yamaji,¹ Yasuhito Maeda,⁵ Kiyotsuna Toyohara,⁵ Kenji Miyamoto,^{2,†} Yoshiharu Kimura,⁴ Kohei Oda^{1,†}

Poly(ethylene terephthalate) (PET) is used extensively worldwide in plastic products, and its accumulation in the environment has become a global concern. Because the ability to enzymatically degrade PET has been thought to be limited to a few fungal species, biodegradation is not yet a viable remediation or recycling strategy. By screening natural microbial communities exposed to PET in the environment, we isolated a novel bacterium, *Ideonella sakaiensis* 201-F6, that is able to use PET as its major energy and carbon source. When grown on PET, this strain produces two enzymes capable of hydrolyzing PET and the reaction intermediate, mono(2-hydroxyethyl) terephthalic acid. Both enzymes are required to enzymatically convert PET efficiently into its two environmentally benign monomers, terephthalic acid and ethylene glycol.

Plastics with desirable properties such as durability, plasticity, and/or transparency have been industrially produced over the past century and widely incorporated into consumer products (1). Many of these products are remarkably persistent in the environment because of the absence or low activity of catabolic enzymes that can break down their plastic constituents. In particular, polyesters containing a high ratio of aromatic components, such as poly(ethylene terephthalate) (PET), are chemically inert, resulting in resistance to microbial

degradation (2, 3). About 56 million tons of PET was produced worldwide in 2013 alone, prompting further industrial production of its monomers, terephthalic acid (TPA) and ethylene glycol (EG), both of which are derived from raw petroleum. Large quantities of PET have been introduced into the environment through its production and disposal, resulting in the accumulation of PET in ecosystems across the globe (4).

There are very few reports on the biological degradation of PET or its utilization to support microbial growth. Rare examples include mem-

bers of the filamentous fungi *Fusarium oxysporum* and *F. solani*, which have been shown to grow on a mineral medium containing PET yarns [although no growth levels were specified (5, 6)]. Once identified, microorganisms with the enzymatic machinery needed to degrade PET could serve as an environmental remediation strategy as well as a degradation and/or fermentation platform for biological recycling of PET waste products.

We collected 250 PET debris-contaminated environmental samples including sediment, soil, wastewater, and activated sludge from a PET bottle recycling site (7). Using these samples, we screened for microorganisms that could use low-crystallinity (1.9%) PET film as the major carbon source for growth. One sediment sample contained a distinct microbial consortium that formed on the PET film upon culturing (Fig. 1A) and induced morphological change in the PET film (Fig. 1B). Microscopy revealed that the consortium on the film, termed “no. 46,” contained

¹Department of Applied Biology, Faculty of Textile Science, Kyoto Institute of Technology, Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto 606-8585, Japan. ²Department of Biosciences and Informatics, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223-8522, Japan. ³Life Science Materials Laboratory, ADEKA, 7-2-34 Higashiogu, Arakawa-ku, Tokyo 116-8553, Japan. ⁴Department of Polymer Science, Faculty of Textile Science, Kyoto Institute of Technology, Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto 606-8585, Japan. ⁵Ecology-Related Material Group Innovation Research Institute, Teijin, Hinode-cho 2-1, Iwakuni, Yamaguchi 740-8511, Japan. *Present address: Department of Polymer Chemistry, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Nishikyo-ku, Kyoto 615-8530, Japan. †Corresponding author. E-mail: kmiyamoto@bio.keio.ac.jp (K.M.); bika@kit.ac.jp (K.O.)

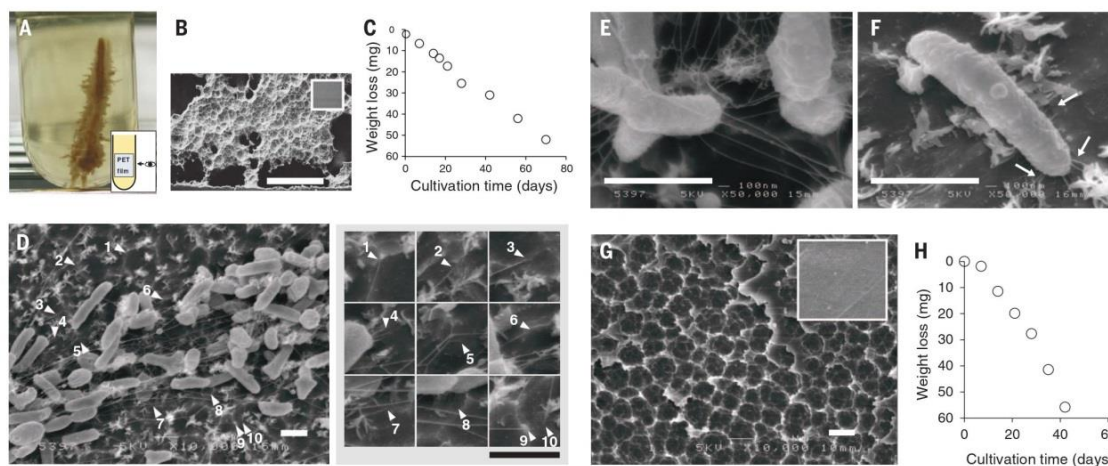


Fig. 1. Microbial growth on PET. The degradation of PET film (60 mg, 20 × 15 × 0.2 mm) by microbial consortium no. 46 at 30°C is shown in (A) to (C). The MLE (modified lettuce and egg) medium (10 mL) was changed biweekly. (A) Growth of no. 46 on PET film after 20 days. (B) SEM image of degraded PET film after 70 days. The inset shows intact PET film. Scale bar, 0.5 mm. (C) Time course of PET film degradation by no. 46. PET film degradation by *I. sakaiensis* 201-F6 at 30°C is shown in (D) to (H). The YSV (yeast extract–sodium carbonate–

vitamins) medium was changed weekly. (D) to (F) SEM images of *I. sakaiensis* cells grown on PET film for 60 hours. Scale bars, 1 μm. Arrow heads in the left panel of (D) indicate contact points of cell appendages and the PET film surface. Magnifications are shown in the right panel. Arrows in (F) indicate appendages between the cell and the PET film surface. (G) SEM image of a degraded PET film surface after washing out adherent cells. The inset shows intact PET film. Scale bar, 1 μm. (H) Time course of PET film degradation by *I. sakaiensis*.

a mixture of bacteria, yeast-like cells, and protozoa, whereas the culture fluid was almost transparent (Fig. 1A). This consortium degraded the PET film surface (fig. S1) at a rate of $0.13 \text{ mg cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ at 30°C (Fig. 1C), and 75% of the degraded PET film carbon was catabolized into CO_2 at 25°C (fig. S2).

Using limiting dilutions of consortium no. 46 that were cultured with PET film to enrich for microorganisms that are nutritionally dependent on PET, we successfully isolated a bacterium capable of degrading and assimilating PET. The strain represents a novel species of the genus *Ideonella*, for which we propose the name *Ideonella sakaiensis* 201-F6 (deposited in the National Center for

Biotechnology Information taxonomy database under identifier 1547922). In addition to being found in the culture fluid, cells were observed on the film (Fig. 1D) and appeared to be connected to each other by appendages (Fig. 1E). Shorter appendages were observed between the cells and the film; these might assist in the delivery of secreted enzymes into the film (Fig. 1, D and F). The PET film was damaged extensively (Fig. 1G) and almost completely degraded after 6 weeks at 30°C (Fig. 1H). In the course of subculturing no. 46, we found a subconsortium that lost its PET degradation capability. This subconsortium lacked *I. sakaiensis* (fig. S3), indicating that *I. sakaiensis* is functionally involved in PET degradation.

There are currently few known examples of esterases, lipases, or cutinases that are capable of hydrolyzing PET (8, 9). To explore the genes involved in PET hydrolysis in *I. sakaiensis* 201-F6, we assembled a draft sequence of its genome (table S1). One identified open reading frame (ORF), ISF6_4831, encodes a putative lipase that shares 51% amino acid sequence identity and catalytic residues with a hydrolase from *Thermobifida fusca* (TfH) (fig. S4 and table S2) that exhibits PET-hydrolytic activity (10). We purified the corresponding recombinant *I. sakaiensis* proteins (fig. S5) and incubated them with PET film at 30°C for 18 hours. Prominent pitting developed on the film surface (Fig. 2A). Mono(2-hydroxyethyl)

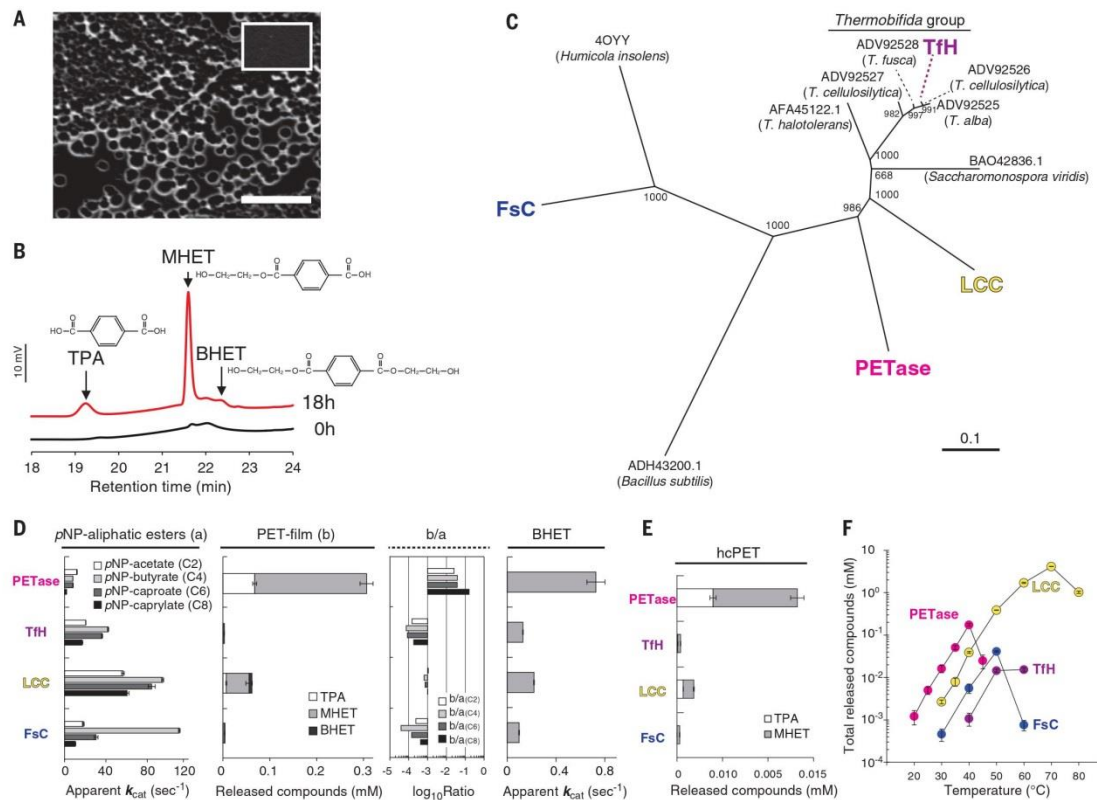
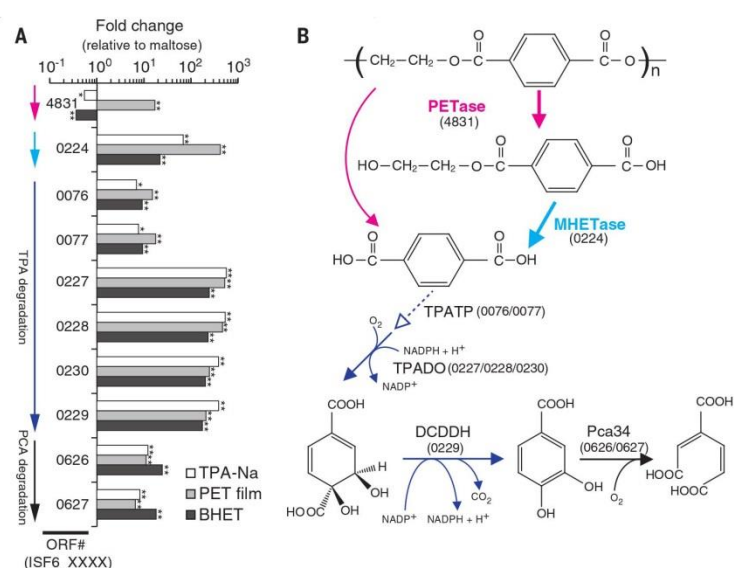


Fig. 2. ISF6_4831 protein is a PETase. Effects of PETase on PET film are shown in (A) and (B). PET film (diameter, 6 mm) was incubated with 50 nM PETase in pH 7.0 buffer for 18 hours at 30°C . (A) SEM image of the treated PET film surface. The inset shows intact PET film. Scale bar, $5 \mu\text{m}$. (B) High-performance liquid chromatography spectrum of the products released from the PET film. (C) Unrooted phylogenetic tree of known PET hydrolytic enzymes. The GenBank or Protein Data Bank accession numbers (with the organism source of protein in parentheses) are shown at the leaves. Bootstrap values are shown at the branch points. Scale bar, 0.1 amino acid substitutions per single site. (D) Substrate specificity of four phylogenetically distinct PET hydrolytic enzymes (b/a indicates the ratio of the values in the middle-left

panel to those in the leftmost panel). All reactions were performed in pH 7.0 buffer at 30°C . PET film was incubated with 50 nM enzyme for 18 hours. (E) Activity of the PET hydrolytic enzymes for highly crystallized PET (hcPET). The hcPET (diameter, 6 mm) was incubated with 50 nM PETase or 200 nM TfH, LCC, or Fsc in pH 9.0 bicine-NaOH buffer for 18 hours at 30°C . (F) Effect of temperature on enzymatic PET film hydrolysis. PET film (diameter, 6 mm) was incubated with 50 nM PETase or 200 nM TfH, LCC, or Fsc in pH 9.0 bicine-NaOH buffer for 1 hour. For better detection of the released products in (E) and (F), the pH and enzyme concentrations were determined based on the results shown in figs. S6 and S7, respectively. Error bars in (D) to (F) indicate SE ($n \geq 3$).

Fig. 3. PET metabolism by *I. sakaiensis*. (A)

Transcript levels of selected genes when grown on TPA-Na, PET film, or BHET, relative to those when grown on maltose (PCA, protocatechuic acid; ORF#, last four digits of the ORF number). Two-sided *P* values were derived from Baggerly's test of the differences between the means of two independent RNA sequencing experiments ($*P < 0.05$; $**P < 0.01$). Colors correspond to the steps in (B). (B) Predicted *I. sakaiensis* PET degradation pathway. The cellular localization of PETase and MHETase was predicted first (supplementary text, section S1). Extracellular PETase hydrolyzes PET to produce MHET (the major product) and TPA. MHETase, a predicted lipoprotein, hydrolyzes MHET to TPA and EG. TPA is incorporated through the TPA transporter (TPATP) (17) and catabolized by TPA 1,2-dioxygenase (TPADO), followed by 1,2-dihydroxy-3,5-cyclohexadiene-1,4-dicarboxylate dehydrogenase (DCDDH). The resultant PCA is ring-cleaved by PCA 3,4-dioxygenase (Pca34). The predicted TPA degradation pathway is further described in the supplementary text (section S2).



terephthalic acid (MHET) was the major product released by the recombinant protein, together with minor amounts of TPA and bis(2-hydroxyethyl) TPA (BHET) (Fig. 2B). These results suggest that the ISF6_4831 protein hydrolyzes PET. This protein also hydrolyzed BHET to yield MHET with no further decomposition.

We compared the activity of the ISF6_4831 protein with that of three evolutionarily divergent PET-hydrolytic enzymes identified from a phylogenetic tree that we constructed using published enzymes (Fig. 2C and table S2). We purified Tfh from a thermophilic actinomyete (10), cutinase homolog from leaf-branch compost metagenome (LC cutinase, or LCC) (11), and *F. solani* cutinase (FsC) from a fungus (fig. S5) (12), and we measured their activities against *p*-nitrophenol-linked aliphatic esters (*p*NP-aliphatic esters), PET film, and BHET at 30°C and pH 7.0. For *p*NP-aliphatic esters, which are preferred by lipases and cutinases, the activity of the ISF6_4831 protein was lower than that of Tfh, LCC, and FsC (Fig. 2D). The activity of the ISF6_4831 protein against the PET film, however, was 120, 5.5, and 88 times as high as that of Tfh, LCC, and FsC, respectively. A similar trend was observed for BHET (Fig. 2D). The catalytic preference of the ISF6_4831 protein for PET film over *p*NP-aliphatic esters was also substantially higher than that of Tfh, LCC, and FsC (380, 48, and 400 times as high on average, respectively) (Fig. 2D). Thus, the ISF6_4831 protein prefers PET to aliphatic esters, compared with the other enzymes, leading to its designation as a PET hydrolase (termed PETase).

PETase was also more active than Tfh, LCC, and FsC against commercial bottle-derived PET, which is highly crystallized (Fig. 2E), even though the densely packed structure of highly crystallized

PET greatly reduces the enzymatic hydrolysis of its ester linkages (9, 13). PETase was somewhat heat-labile, but it was considerably more active against PET film at low temperatures than were Tfh, LCC, and FsC (Fig. 2F). Enzymatic degradation of polyesters is controlled mainly by their chain mobility (14). Flexibility of the polyester chain decreases as the glass transition temperature increases (9). The glass transition temperature of PET is around 75°C, meaning that the polyester chain of PET is in a glassy state at the moderate temperatures appropriate for mesophilic enzyme reactions. The substrate specificity of PETase and its prominent hydrolytic activity for PET in a glassy state would be critical to sustaining the growth of *I. sakaiensis* on PET in most environments.

I. sakaiensis adheres to PET (Fig. 1, D to F) and secretes PETase to target this material. We compared the PET hydrolytic activity of PETase with that of the other three PET hydrolytic enzymes

(fig. S7). The activity ratios of PETase relative to the other enzymes decreased as the enzyme concentrations increased, indicating that PETase efficiently hydrolyzed PET with less enzyme diffusion into the aqueous phase and/or plastic vessels used for the reaction. PETase lacks apparent substrate-binding motifs such as the carbohydrate-binding modules generally observed in glycoside hydrolases. Therefore, without a three-dimensional structure determined for PETase, the exact binding mechanism is unknown.

MHET, the product of PETase-mediated hydrolysis of BHET and PET, was a very minor component in the supernatant of *I. sakaiensis* cultured on PET film (fig. S8), indicating rapid MHET metabolism. Several PET hydrolytic enzymes have been confirmed to hydrolyze MHET (table S2). To identify enzymes responsible for PET degradation in *I. sakaiensis* cultures, we RNA-sequenced transcriptomes of *I. sakaiensis* cells growing on maltose, disodium terephthalate (TPA-Na), BHET,

or PET film (fig. S9 and table S3). The catabolic genes for TPA and the metabolite protocatechuic acid (PCA) were up-regulated dramatically when cells were cultured on TPA-Na, BHET, or PET film. This contrasted with genes for the catabolism of maltose (Fig. 3A), which involves a pathway distinct from the degradation of TPA and EG, indicating efficient metabolism of TPA by *I. sakaiensis*. The transcript level of the PETase-encoding gene during growth on PET film was the highest among all analyzed coding sequences (table S4), and it was 15, 31, and 41 times as high as when bacteria were grown on maltose, TPA-Na, and BHET, respectively. This suggests that the expression of PETase is induced by PET film itself and/or some degradation products other than TPA, EG, MHET, and BHET.

The expression levels of the PETase gene in the four different media were similar to those of another ORF, ISF6_0224 (fig. S10), indicating similar regulation. ISF6_0224 is located adjacent to the TPA degradation gene cluster (fig. S11). The ISF6_0224 protein sequence matches those of the tannase family, which is known to hydrolyze the ester linkage of aromatic compounds such as gallic acid esters, ferulic saccharides, and chlorogenic acids. The catalytic triad residues and two cysteine residues found only in this family (15) are completely conserved in the ISF6_0224 protein (fig. S12). Purified recombinant ISF6_0224 protein (fig. S5) efficiently hydrolyzed MHET with a turnover rate (k_{cat}) of $31 \pm 0.8 \text{ s}^{-1}$ and a Michaelis constant (K_m) of $7.3 \pm 0.6 \mu\text{M}$ (Table 1), but it did not show any activity against PET, BHET, *p*NP-aliphatic esters, or typical aromatic ester compounds catalyzed by the tannase family enzymes (Table 1). ISF6_0224 is nonhomologous to six known MHET-hydrolytic enzymes that also hydrolyze PET and *p*NP-aliphatic esters (table S2). These results strongly suggest that the ISF6_0224 protein is responsible for the conversion of MHET to TPA and EG in *I. sakaiensis*. The enzyme was thus designated a MHET hydrolase (termed MHETase).

To determine how the metabolism of PET (Fig. 3B) evolved, we used the Integr8 fully sequenced genome database (16) to search for other organisms capable of metabolizing this compound. However, we were unable to find other organisms with a set of gene homologs of signature enzymes for PET metabolism (PETase, MHETase, TPA dioxygenase, and PCA dioxygenase) (fig. S13). However, among the 92 microorganisms with MHETase homolog(s), 33 had homologs of both TPA and PCA dioxygenases. This suggests that a genomic basis to support the metabolism of MHET analogs was established much earlier than when ancestral PETase proteins were incorporated into the pathway. PET enrichment in the sampling site and the enrichment culture potentially promoted the selection of a bacterium that might have obtained the necessary set of genes through lateral gene transfer. A limited number of mutations in a hydrolase, such as PET hydrolytic cutinase, that inherently targets the natural aliphatic polymer cutin may have resulted in enhanced selectivity for PET.

REFERENCES AND NOTES

- V. Sinha, M. R. Patel, J. V. Patel, *J. Polym. Environ.* **18**, 8–25 (2010).
- R. J. Müller, I. Kleeberg, W. D. Deckwer, *J. Biotechnol.* **86**, 87–95 (2001).
- D. Kint, S. Munoz-Guerra, *Polym. Int.* **48**, 346–352 (1999).
- L. Neufeld, F. Stassen, R. Sheppard, T. Gilman, Eds., *The New Plastics Economy: Rethinking the Future of Plastics* (World Economic Forum, 2016); www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf.
- T. Nimchua, H. Punnapayak, W. Zimmermann, *Biotechnol. J.* **2**, 361–364 (2007).
- T. Nimchua, D. E. Eveleigh, U. Sangwatanaroj, H. Punnapayak, *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* **35**, 843–850 (2008).
- Materials and methods are available as supplementary materials on Science Online.
- D. Ribitsch et al., *Biocatalysis Biotransform.* **30**, 2–9 (2012).
- W. Zimmermann, S. Billig, *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* **125**, 97–120 (2010).
- R. J. Müller, H. Schrader, J. Profe, K. Dresler, W. D. Deckwer, *Macromol. Rapid Commun.* **26**, 1400–1405 (2005).
- S. Sulaiman et al., *Appl. Environ. Microbiol.* **78**, 1556–1562 (2012).
- C. M. Silva et al., *J. Polym. Sci. A Polym. Chem.* **43**, 2448–2450 (2005).
- M. A. M. E. Vertommen, V. A. Nierstrasz, M. Veer, M. M. C. G. Warmoeskerken, *J. Biotechnol.* **120**, 376–386 (2005).
- E. Marten, R. J. Müller, W. D. Deckwer, *Polym. Degrad. Stab.* **88**, 371–381 (2005).
- K. Suzuki et al., *Proteins* **82**, 2857–2867 (2014).

- P. Kersey et al., *Nucleic Acids Res.* **33**, D297–D302 (2005).
- M. Hosaka et al., *Appl. Environ. Microbiol.* **79**, 6148–6155 (2013).

ACKNOWLEDGMENTS

We are grateful to Y. Horiuchi, M. Uemura, T. Kawai, K. Sasage, and S. Hase for research assistance. We thank D. Dodd, H. Atomi, T. Nakayama, and A. Wlodawer for comments on this manuscript. This study was supported by grants-in-aid for scientific research (24780078 and 26850053 to S.Y.) and the Noda Institute for Scientific Research (S.Y.). The reported nucleotide sequence data, including assembly and annotation, have been deposited in the DNA Data Bank of Japan, European Molecular Biology Laboratory, and GenBank databases under the accession numbers BBYR01000001 to BBYR01000227. All other data are reported in the supplementary materials. The reported strain *Ideonella sakaiensis* 201-F6¹ was deposited at the National Institute of Technology and Evaluation Biological Resource Center as strain NBRC 110686¹ and at Thailand Institute of Scientific and Technological Research as strain TISTR 2288¹.

SUPPLEMENTARY MATERIALS

www.sciencemag.org/content/351/6278/1196/suppl/DC1
Materials and Methods
Supplementary Text
Figs. S1 to S14
Tables S1 to S5
References (18–39)

15 October 2015; accepted 29 January 2016
10.1126/science.aad6359

NEURODEVELOPMENT

CLK2 inhibition ameliorates autistic features associated with SHANK3 deficiency

Michael Bidinosti,^{1*} Paolo Botta,^{3*} Sebastian Krüttner,³ Catia C. Proenca,¹ Natacha Stoehr,¹ Mario Bernhard,¹ Isabelle Fruh,¹ Matthias Mueller,¹ Debora Bonenfant,² Hans Voshol,² Walter Carbone,¹ Sarah J. Neal,⁴ Stephanie M. McTighe,⁴ Guglielmo Roma,¹ Ricardo E. Dolmetsch,⁴ Jeffrey A. Porter,¹ Pico Caroni,³ Tewis Bouwmeester,¹ Andreas Lüthi,³ Ivan Galimberti^{1†}

SH3 and multiple ankyrin repeat domains 3 (*SHANK3*) haploinsufficiency is causative for the neurological features of Phelan-McDermid syndrome (PMDS), including a high risk of autism spectrum disorder (ASD). We used unbiased, quantitative proteomics to identify changes in the phosphoproteome of Shank3-deficient neurons. Down-regulation of protein kinase B (PKB/Akt)—mammalian target of rapamycin complex 1 (mTORC1) signaling resulted from enhanced phosphorylation and activation of serine/threonine protein phosphatase 2A (PP2A) regulatory subunit, B56 β , due to increased steady-state levels of its kinase, Cdc2-like kinase 2 (CLK2). Pharmacological and genetic activation of Akt or inhibition of CLK2 relieved synaptic deficits in Shank3-deficient and PMDS patient-derived neurons. CLK2 inhibition also restored normal sociability in a Shank3-deficient mouse model. Our study thereby provides a novel mechanistic and potentially therapeutic understanding of deregulated signaling downstream of Shank3 deficiency.

Chromosomal aberrations at 22q13 that delete or inactivate one SH3 and multiple ankyrin repeat domains 3 (*SHANK3*) allele are genetic hallmarks of Phelan-McDermid syndrome (PMDS). De novo mutations in

SHANK3 are also associated with nonsyndromic autism spectrum disorder (ASD) and intellectual disability (1–4). Genetic ablation of *Shank3* in mice yields ASD-like behavioral phenotypes and synaptic dysfunction (5–10), the latter of which



A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate)

Shosuke Yoshida *et al.*
Science **351**, 1196 (2016);
DOI: 10.1126/science.aad6359

EXTENDED PDF FORMAT
SPONSORED BY



This copy is for your personal, non-commercial use only.

If you wish to distribute this article to others, you can order high-quality copies for your colleagues, clients, or customers by [clicking here](#).

Permission to republish or repurpose articles or portions of articles can be obtained by following the guidelines [here](#).

The following resources related to this article are available online at www.sciencemag.org (this information is current as of March 10, 2016):

Updated information and services, including high-resolution figures, can be found in the online version of this article at:

</content/351/6278/1196.full.html>

Supporting Online Material can be found at:

</content/suppl/2016/03/09/351.6278.1196.DC1.html>

A list of selected additional articles on the Science Web sites **related to this article** can be found at:

</content/351/6278/1196.full.html#related>

This article **cites 37 articles**, 11 of which can be accessed free:

</content/351/6278/1196.full.html#ref-list-1>

This article has been **cited by 1** articles hosted by HighWire Press; see:

</content/351/6278/1196.full.html#related-urls>

This article appears in the following **subject collections**:

Microbiology
</cgi/collection/microbio>

Downloaded from on March 10, 2016

Science (print ISSN 0036-8075; online ISSN 1095-9203) is published weekly, except the last week in December, by the American Association for the Advancement of Science, 1200 New York Avenue NW, Washington, DC 20005. Copyright 2016 by the American Association for the Advancement of Science; all rights reserved. The title *Science* is a registered trademark of AAAS.