



Universidad de Oviedo

**ESCUELA SUPERIOR DE LA MARINA CIVIL DE GIJÓN**

*Trabajo Fin de Máster*

CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA DE ESPECIES INVASORAS  
POR AGUA DE LASTRE E INCRUSTACIONES EN EL PUERTO  
DE GIJÓN

Para acceder al Título de Máster en

**NÁUTICA Y GESTIÓN DEL TRANSPORTE MARÍTIMO**

Autora: Deva Menéndez Teleña

Tutor: Horacio J. Montes Coto  
Cotutora: Alba Ardura Gutiérrez

Mayo 2019

# Índice

<b>1</b>	<b>Resumen.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Estado del conocimiento .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Normativa .....</b>	<b>4</b>
3.1.1	Normativa del agua de lastre .....	4
3.1.2	Normativa de las incrustaciones .....	6
<b>3.2</b>	<b>Publicaciones .....</b>	<b>8</b>
<b>3.3</b>	<b>Resumen de los trabajos que se realizaron en el trabajo fin de grado.....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>Metodología ampliada para la continuación con los estudios realizados en el trabajo fin de grado.....</b>	<b>17</b>
4.1.1	Metodología para la creación de una base de datos sobre vectores de invasión biológica en el Puerto de Gijón .....	18
4.1.2	Metodología para la creación de un mapa de riesgos mediante herramienta GIS.....	20
4.1.3	Metodología para la evaluación de riesgos de bioseguridad.....	22
4.1.4	Metodología para la validación piloto del mapa de riesgos .....	24
<b>4.2</b>	<b>Metodología para el estudio sobre las muestras de agua de lastre proporcionadas por buques que atracaron en el Puerto de Gijón.....</b>	<b>25</b>
<b>4.3</b>	<b>Metodología para la obtención y el análisis de muestras.....</b>	<b>27</b>
4.3.1	Metodología para la obtención de muestras .....	27
4.3.2	Metodología para el análisis de muestras.....	29
<b>5</b>	<b>Resultados y discusiones.....</b>	<b>31</b>
<b>5.1</b>	<b>Resultados y discusiones de la continuación con los estudios realizados en el trabajo fin de grado.....</b>	<b>31</b>
5.1.1	Resultados y discusiones de la creación de una base de datos sobre vectores de invasión biológica en el Puerto de Gijón .....	31

5.1.2	Resultados y discusiones de la creación de un mapa de riesgos mediante herramienta GIS .....	39
5.1.3	Resultados y discusiones de la evaluación de riesgos de bioseguridad .....	53
5.1.4	Resultados y discusiones de la validación piloto del mapa de riesgos.....	61
<b>5.2</b>	<b>Resultados y discusiones del estudio sobre las muestras de agua de lastre proporcionadas por buques que atracaron en el Puerto de Gijón .....</b>	<b>65</b>
5.2.1	Resultados y discusiones de las muestras proporcionadas por los buques que vinieron al Puerto de Gijón.....	66
5.2.2	Resultados y discusiones de las premisas para buena la toma y conservación de las muestras de agua de lastre .....	68
5.2.3	Resultados y discusiones del riesgo de contaminación biológica por agua de lastre de los puertos de los que provienen las muestras.....	69
5.2.4	Resultados y discusiones de las posibles especies invasoras determinadas en la base de datos GISD.....	72
5.2.5	Resultados y discusiones de las posibles especies invasoras determinadas en la base de datos WoRMS .....	72
5.2.6	Resultados y discusiones de la comparación de las posibles especies invasoras determinadas en: los análisis de muestras y las bases de datos GISD y WoRMS.....	75
<b>6</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>88</b>
<b>7</b>	<b>Bibliografía citada.....</b>	<b>91</b>

## Índice de acrónimos

SIGLAS	Significado de las SIGLAS
AFS	International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships o Convenio Internacional sobre el control de los sistemas antiincrustantes perjudiciales en los buques
BLUEPORTS	Estrategias científicas y educativas para una actividad portuaria sostenible ante invasiones biológicas
BOE	Boletín Oficial del Estado
BUO	Biblioteca Universitaria Online
BWM	Ballast Water Management Convention o Convenio Internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques.
DCyTN	Departamento de Ciencia y Tecnología Náutica
DGMM	Dirección General de la Marina Mercantes
EBHI	European Bulk Handling Installation
ESMC	Escuela Superior de la Marina Civil
FASPA	Federación de Actividades Subacuáticas del Principado de Asturias
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GIS	Geographic Information System o sistema de información geográfica
GISD	Global Invasive Species Database
GT	Gross tonnage o toneladas de arqueo bruto
KGTs	Kilo toneladas de arqueo bruto
MaFIG-UniOvi	Maritime Field Investigation Group of the Universidad of Oviedo o grupo de Investigación en el Ámbito Marítimo de la Universidad de Oviedo
MARPOL	Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques
MEPC	Marine Environment Protection Committee o Comité de Protección del Medio Marino
OMI	Organización Marítima Internacional
PCR	Reacción en cadena de la polimerasa
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
RAE	Real Academia Española
TBT	Tributilestaño
TFG	Trabajo de fin de carrera
TFM	Trabajo de fin de máster
WoRMS	World Register of Marine Species

# Índice de figuras

Figura 4-I:	zonas del puerto de las que se recogieron muestras. ....	27
Figura 4-II:	mapa en el que se representan el puerto deportivo y las playas en las que se recogieron muestras. ....	28
Figura 4-III:	mapa con los puntos en los que se recogieron muestras abordo de una embarcación que realizó dos rutas (la roja y la azul) por los alrededores de Gijón. ....	28
Figura 5-I:	captura de pantalla del Gogle Maps en la que se representan los números correspondientes a cada uno de los muelles del Puerto de Gijón según la tabla 5-I. ....	42
Figura 5-II:	Captura de pantalla del Global Mapper en la que se representan los buques más comunes en cada muelle del Puerto de Gijón. ....	43
Figura 5-III:	captura de pantalla del Global Mapper en la que se pueden observar los enlaces añadidos al buque situado en el Pantalán Norte en la capa de incrustaciones. ....	45
Figura 5-IV:	captura de pantalla de la imagen en satélite de Google Maps a la que se accede tras pinchar en el primer enlace añadido en el buque del Pantalán Norte. ....	46
Figura 5-V:	captura de pantalla de Global Mapper en la que se representan las principales rutas navegación que siguen los buques que vienen al Puerto de Gijón. ....	49
Figura 5-VI:	captura de pantalla de la aplicación de Excel Mapa 3D, en la que se representa el riesgo de contaminación biológica por incrustaciones procedente de cada uno de los puertos de los que vienen buques a Gijón. ....	51
Figura 5-VII:	captura de pantalla de la aplicación de Excel Mapa 3D, en la que se representa el riesgo de contaminación biológica por agua de lastre procedente de cada uno de los puertos de los que vienen buques a Gijón. ....	52
Figura 5-VIII:	captura de pantalla del Global Mapper en la que se observan los enlaces relacionados con los resultados del GISD añadidos al tramo 1 del muelle de Ingeniero León. ....	59
Figura 5-IX:	captura de pantalla de la página web GISD, que sirve de ejemplo para ver a que se accede a través de los enlaces añadidos a los buques del mapa de riesgos. ....	60

Figura 5-X:	captura de pantalla de la capa del estudio de las muestras de agua de lastre del mapa de riesgos en la que se ven las rutas desde los puertos de los que se obtienen muestras. ....	86
Figura 5-XI:	captura de pantalla de la capa del estudio de las muestras de agua de lastre del mapa de riesgos en la que se ve un ejemplo de los resultados añadidos a un buque situado en el puerto de Gunnes Warf.....	87

## Índice de gráficos

Gráfico 5-I:	riesgo de contaminación biológica por agua de lastre en el muelle de Ribera 2ª Alineación. ....	34
Gráfico 5-II:	riesgo de contaminación biológica por agua de lastre en el Muelle Norte.....	35
Gráfico 5-III:	riesgo de contaminación biológica por incrustaciones en el muelle de Ingeniero León, filtrado a 200 KGTs por tiempo de estancia. ....	37
Gráfico 5-IV:	riesgo de contaminación biológica por incrustaciones en el Muelle Norte, filtrado a 80 KGTs por tiempo de estancia.....	38
Gráfico 5-V:	riesgo de contaminación biológica por incrustaciones en el Pantalán Norte, al que se accede a través del segundo enlace añadido en el buque de dicho pantalán en la capa de incrustaciones del mapa de riesgos.....	47
Gráfico 5-VI:	número de especies encontradas en cada análisis. ....	61
Gráfico 5-VII:	número de especies encontradas en cada muestra de agua de lastre divididas por puertos.....	67
Gráfico 5-VIII:	riesgo de contaminación biológica por agua de lastre, en función al tráfico portuario de El Musel, de los puertos de los que se obtuvieron muestras. ....	70
Gráfico 5-IX:	riesgo de contaminación biológica por agua de lastre, en función del tráfico portuario de El Musel, de los países en los que se encuentran los puertos de los que proviene el agua de lastre de las muestras entregadas. ....	71
Gráfico 5-X:	gráfico con el número de especies determinadas en los análisis de muestras y las especies encontradas en la base de datos WoRMS. ....	73
Gráfico 5-XI:	especies de WoRMS en función de la procedencia del agua de lastre analizada que están registradas en el país de origen y en Gijón. ....	74
Gráfico 5-XII:	filos de las especies detectadas en WoRMS con distribución en el país de origen de la muestra y en Gijón.....	74
Gráfico 5-XIII:	comparación del número de especies encontradas en cada puerto del que se recibieron muestras de agua de lastre.....	75
Gráfico 5-XIV:	filo de las especies determinadas en la base de datos GISD.....	77
Gráfico 5-XV:	filo de las especies determinadas en la base de datos WoRMS. ....	77
Gráfico 5-XVI:	filo de las especies determinadas tras los análisis de muestras de agua de lastre. ....	77

# Índice de tablas

Tabla 4-I:	con las diferentes operaciones de carga y descarga que pueden realizar los buques en el puerto. ....	18
Tabla 4-II:	Código de las Naciones Unidas para el Comercio y las Ubicaciones de Transporte, estándar ISO. ....	19
Tabla 4-III:	filtros de GISD utilizados en la búsqueda de posibles especies invasoras de los puertos en los que, a través de los resultados de la base de datos de la Autoridad Portuaria, se determinó un posible riesgo. ....	23
Tabla 4-IV:	filtros de GISD utilizados en la búsqueda de posibles especies invasoras provenientes de los lugares en los que se cogieron las aguas de lastre de los buques que entregaron muestras. ....	26
Tabla 5-I:	tabla del tipo de buque prioritario en cada uno de los muelles del Puerto de Gijón. ....	40
Tabla 5-II:	posibles especies invasoras por agua de lastre de los puertos con un riesgo mayor a 60 KGTs, en cada uno de los muelles del Puerto de Gijón. ....	54
Tabla 5-III:	posibles especies invasoras por incrustaciones de los puertos con un riesgo mayor a 800 KGTs por tiempo de estancia, en cada uno de los muelles del Puerto de Gijón. ....	55
Tabla 5-IV:	comparación de: los muelles con mayor riesgo de contaminación determinados en base a los gráficos dinámicos con los muelles con mayor riesgo de contaminación determinados en base al GISD. ....	56
Tabla 5-V:	resumen de las posibles especies invasoras, por agua de lastre y por incrustaciones. ....	58
Tabla 5-VI:	comparación entre las especies invasoras encontradas en el GISD y en los análisis de muestras. ....	64
Tabla 5-VII:	resumen de la comparación entre las especies invasoras detectadas en los análisis de muestras y las detectadas en el GISD ....	65
Tabla 5-VIII:	tabla en la que se recoge la información relativa a los buques que entregaron muestras de agua de lastre. ....	66
Tabla 5-IX:	reinos de las especies determinadas en GISD y WoRMS. ....	79
Tabla 5-X:	tabla con la comparación de las especies determinadas en los análisis de muestras de agua de lastre y las especies determinadas en las bases de datos GISD y WoRMS. ....	83

Tabla 5-XI: tabla resumen con los datos de las especies detectadas tras los análisis de muestras y en WoRMS.....	84
--	----

# Agradecimientos

A mi tutor, Horacio, por confiar en mí y darme la oportunidad, y a mi cotutora, Alba, por aconsejarme y ayudarme durante la realización de mi trabajo.

A todos los investigadores del proyecto BLUEPORTS, en particular a Eva, la investigadora principal; a Verónica, mi compañera de náutica, por ayudarme con todo el trabajo; y a Yaisel y Aitor, del grupo de biología, por facilitarme los resultados de los análisis de muestras.

A la Autoridad Portuaria de Gijón, por la cercana colaboración con el proyecto BLUEPORTS.

A José Luis Santamaría, por toda la ayuda con la normativa.

A mi familia y amigos por el apoyo en el día a día, pero sobre todo a mi madre, por animarme a seguir este camino; y a mi padre, por hacerme saber que *“fai más el que quier qu’el que puede”*.

A Sergio, por la ayuda en las traducciones, en los problemas informáticos y por todo en general.

Y, por último, a mi güela.

# 1 Resumen

Hoy en día, la contaminación biológica es uno de los principales problemas de biodiversidad a nivel mundial y los puertos son las principales puertas de entrada de biota exótica a través del agua de lastre y las incrustaciones. El estudio que se plantea es la continuación de mi trabajo de fin de grado sobre la colaboración con el proyecto BLUEPORTS (MINECO CGL2016-79209-R) “*Estrategias científicas y educativas para una actividad portuaria sostenible ante invasiones biológicas*”. Por un lado, se elabora un mapa de riesgos de contaminación biológica en el Puerto de Gijón (utilizando un GIS, Sistema de Información Geográfico), que luego se validará con los análisis obtenidos por otros miembros del proyecto. Y, por otro lado, se realiza un estudio particular sobre unas muestras de agua de lastre proporcionadas por buques que atracaron en Gijón, que certificará que los procedimientos utilizados en el proyecto dan resultados.

Palabras clave: contaminación biológica, agua de lastre, incrustaciones, GIS.

## Abstract

Nowadays biological contamination is one of the main issues of global biodiversity and ports are the main entry point of exotic biota through ballast water and fouling. The study planned is the continuation of my final degree project on my collaboration with the BLUEPORTS project (MINECO CGL2016-79209-R) “*Scientific and educational strategies for a sustainable port activity facing biological invasion*”. On one hand a map of the risks concerning biological contamination en the port of Gijon is made (using GIS, Geographic Information System), which will afterwards be validated by other members of the project. On the other hand, a study is made about some ballast water samples given by vessels that berthed in Gijon, which will certify that the procedures used during the project provide results.

Key words: biological contamination, ballast water, fouling, GIS.

## 2 Introducción

El trabajo de fin de máster (TFM) será la continuación de mi trabajo de fin de carrera (TFG), *“Análisis de riesgos de contaminación biológica por agua de lastre e incrustaciones en el Puerto de Gijón”* (Deva Menéndez Teleña, 2018). Los dos son una colaboración con el proyecto de la Universidad de Oviedo BLUEPORTS *“Estrategias científicas y educativas para una actividad portuaria sostenible ante invasiones biológicas”*, con referencia MINECO CGL2016-79209-R (Eva García Vázquez et alms, 2016). El proyecto cuenta con el apoyo de la Autoridad Portuaria de Gijón y la fundación municipal de Cultura, Educación y Universidad Popular a través del programa *Gijón conConciencia* y está financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

Tal como se explica en la memoria científico técnica de BLUEPORTS, documento al que se refieren las citas de este párrafo, (Conjunto de investigadores del proyecto BLUEPORTS, 2016), el proyecto se crea con el propósito de frenar y controlar las invasiones biológicas marinas. Estas *“son hoy uno de mayores peligros para la biodiversidad a nivel mundial, y la biodiversidad es la base de la economía sostenible azul (marina)”*. Con el fin de frenar dichas invasiones tres grupos de investigación de la Universidad de Oviedo de tres ramas diferentes (biología, náutica y educación) se unen en una investigación que tiene como escenario principal el puerto de El Musel, en Gijón - Asturias. Se eligió dicho escenario ya que *“los puertos son las principales puertas de entrada de biota exótica, a través de especies incrustantes y de agua de lastre”* y para la región analizada este era el puerto más importante. Sobre el puerto mencionado se plantean una serie de tareas que tendrán por objetivo final crear un protocolo preventivo para evitar la contaminación biológica. Este es el mejor modo de actuación ya que *“la erradicación es más difícil en etapas tardías de invasión que en etapas tempranas, se necesitan nuevas estrategias para la prevención eficaz y la detección temprana de organismos dañinos”*. El protocolo mencionado se enviará a la Dirección General de la Marina Mercante española (DGMM) y a la Organización Marítima Internacional (OMI) con el fin de poder instaurarlo en otros puertos y que su alcance sea mayor.

Dentro del BLUEPORTS, como ya se mencionó, hay varios grupos de trabajo, mi participación en el proyecto comienza con una colaboración con el grupo de investigación de la rama de náutica para realizar el TFG. Tras dicha colaboración el proyecto me contrata durante un año para que siga investigando junto al grupo mencionado. Tras el TFM, posiblemente realice la tesis, si me admiten en el programa de doctorado del Departamento de Ciencia y Tecnología Náutica.

Los estudios del TFM se dividen en dos partes, por un lado, se continúa con las investigaciones del TFG y, por otro lado, se realiza un estudio sobre unas muestras de agua de lastre proporcionadas por varios buques que atracaron en el Puerto de Gijón. En primer lugar, el objetivo se basa en seguir con la tarea principal del grupo de náutica, la elaboración de un mapa de riesgos de introducción de especies exóticas invasoras en El Musel, para ello se utiliza un sistema de información geográfica (Geographic Information System o GIS). En segundo lugar, se realiza un estudio particular sobre las muestras de agua de lastre entregadas por buques, con el objetivo de comprobar si la metodología utilizada en el proyecto BLUEPORTS funciona. Para ello se comparan: los resultados de las posibles especies invasoras que pueden venir de la zona geográfica en la que se recogió el agua de lastre, con los resultados de los análisis de dicha agua de lastre realizados por el grupo de biología.

Por último, decir que, el proyecto BLUEPORTS tiene una duración de tres años y se acaba en diciembre del 2019, es por ello que en el TFM se plantean los resultados obtenidos hasta el momento de la redacción del mismo, pero que los resultados finales del proyecto se plantearán en la supuesta tesis.

## 3 Estado del conocimiento

Este apartado se dedica a resumir todo lo conocido sobre el agua de lastre y las incrustaciones. Por un lado, la normativa, por otro lado, las publicaciones de estudios relacionados con el tema y, por último, un resumen sobre de mi TFG, *“Análisis de riesgos de contaminación biológicas por agua de lastre e incrustaciones en el Puerto de Gijón”* (Deva Menéndez Teleña, 2018), ya que es la base sobre la que se planteó el TFM. Respecto a los dos primeros apartados, como en el TFG ya se hizo un estudio exhaustivo y con el fin de no repetir dicha información, se plantea un resumen actualizado de lo ya expuesto.

### 3.1 Normativa

En este apartado se expone toda la normativa relacionada con el estudio realizado en el TFM dividida en dos secciones, por un lado, el agua de lastre y, por el otro, las incrustaciones. En cada una de las secciones se expondrá un resumen de: convenios internacionales, ratificaciones de España, entradas en vigor, publicaciones en el Boletín Oficial del Estado (BOE), enmiendas, contenido de la norma, etc. Como ya se mencionó, será un resumen con las actualizaciones pertinentes de lo expuesto en el TFG, es por ello que para cualquier consulta o ampliación de la información se remite a dicho TFG (Deva Menéndez Teleña, 2018) o a cualquiera de las referencias que se plantean en dicho resumen.

#### 3.1.1 Normativa del agua de lastre

El agua de lastre no se considerada como fuente de contaminación por el hecho de ser introducida en los tanques de lastre. Tal como dice el Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques o MARPOL solo se la considera como un contaminante cuando se mezcla con la carga, momento en el que pasa a estar sujeta los mismos requisitos que la carga con la que se haya mezclado (Organización Marítima Internacional, 1983). El verdadero problema del agua de lastre es que al cargarla en los tanques de lastre los buques hacen de vehículo de traslado de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos de unas zonas a otras, provocando contaminación biológica. Dicho problema de contaminación se plantea en los organismos internacionales desde el 1991, pero no ha sido hasta el 13 de febrero de 2004 en Londres cuando se crea el Convenio Internacional para el

control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques, también conocido por las siglas BWM provenientes de su nombre en inglés, Ballast Water Management Convention (International Maritime Organization, 2017). El convenio tiene por objetivo evitar la propagación de organismos acuáticos perjudiciales de una región a otra, estableciendo normas y procedimientos para la gestión y el control del agua de lastre y los sedimentos de los buques. (Organización Marítima Internacional, 2017).

Una vez se aprobó el convenio, el siguiente paso era la entrada en vigor, para ello se necesitaba que 30 estados, que representaran como mínimo el 35% de la flota mundial, lo ratificaran y un año después se implantaría en todos los países firmantes. España y otros países ratificaron el Convenio, pero no fue hasta el 8 de septiembre de 2016 cuando con la firma de Finlandia se consiguieron las premisas previamente mencionadas. El convenio entraría en vigor el 8 de septiembre de 2017, tras una espera de trece años desde su aprobación. España publicó toda la normativa relativa al Convenio BWM en el BOE el 22 de noviembre de 2016 (España en el Boletín Oficial del Estado, 2016), pero el 5 de julio del 2017 el Comité de Protección del Medio Marino o MEPC, de su nombre en inglés Marine Environment Protection Committee, se reúne y publica la enmienda MEPC 71. (Comité de protección del medio marino de la Organización Marítima Internacional, 2017). En dicha enmienda se cambian los periodos de cumplimiento de una de las partes más importantes del convenio, la de la gestión del agua de lastre.

A continuación, se realiza un breve resumen del contenido del convenio y sus respectivas enmiendas (documentos citados en los párrafos previos de este apartado):

Se considera agua de lastre a *“el agua, con materias en suspensión, que este cargada a bordo de un buque para controlar el asiento, la escora, el calado, la estabilidad y los esfuerzos del buque”* Es obligación de todos los países firmantes que el convenio se aplique a todos los buques que enarboles su pabellón o que sin enarbolar pabellón operen bajo su autoridad. Dichos países deberán realizar los reconocimientos y certificaciones pertinentes para garantizar que todos los buques tienen un plan de gestión y un libro de registro del agua de lastre y que cumplen con el resto de las especificaciones del convenio. Además de garantizar que en los puertos y terminales designados se disponga de las instalaciones adecuadas para la recepción de sedimentos.

Una de las partes más importantes del convenio es la gestión del agua de lastre, *“los procedimientos mecánicos, físicos, químicos o biológicos, ya sean utilizados individualmente o en combinación, destinados a extraer, o neutralizar los organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos existentes en el agua de lastre y los sedimentos, o a evitar la toma o descarga de los mismos.”* Para el cumplimiento de esta parte del convenio hay dos normas:

la norma 1, para el cambio de agua de lastre, que se debe cumplir por todos los buques desde la fecha de entrada en vigor del convenio y, la norma 2, para la eficacia de la gestión del agua de lastre, que se debía cumplir por todos los buques como fecha máxima el 8 de septiembre del 2022, pero que con la enmienda MEPC 71, se retrasó a dos años más tarde. El retraso del cumplimiento de esta norma se produjo porque no existían suficientes plantas de tratamiento para todos los buques y las existentes, que suponían un gran desembolso por parte de las navieras, aun no garantizaban su eficacia.

Por último, antes de pasar a la normativa de las incrustaciones, se plantea la información relativa a los países que ratificaron el convenio. En la fecha de publicación de la enmienda MEPC 71 se recogían los siguientes datos de ratificación: *“TOMANDO NOTA de que [60] Estados, cuya flotas mercantes combinadas representan aproximadamente el [68] % del tonelaje bruto de la marina mercante mundial, se han adherido al convenio el [7 de julio de 2017] (...) INSTA a los Estados que no se hayan adherido aún al convenio a que lo hagan lo antes posible, en el entendimiento de que las prescripciones de la regla B-3 enmendada se implantarán tras la entrada en vigor del Convenio.”* (Comité de protección del medio marino de la Organización Marítima Internacional, 2017) Como se puede observar la OMI animaba a los países que aún no se habían adherido a hacerlo. El día 10 de abril de 2019 la OMI actualiza la lista de a las ratificaciones y el Convenio BWM consta con 77 países. Los últimos países en adherirse fueron Serbia, Granada Chipre, Togo y China en el 2018 y Guyana en el 2019 (Organización Marítima Internacional, 2019). Estados Unidos, una de las potencias marítimas más importantes, ya aprobó en la cámara de representantes la ratificación del convenio, pero aún falta la firma del presidente Trump (Revista: The Maritime Executive, 2018).

### 3.1.2 Normativa de las incrustaciones

Tal como se expone en el diccionario de la Real Academia Española (RAE) una incrustación es *“la acción de incrustar”* e incrustar es *“cubrir una superficie con una costra dura”*. Si se trasladan estas definiciones al ámbito marino, las incrustaciones son todos aquellos seres vivos que se adhieren al casco del buque. Dichas incrustaciones dan lugar a tres inconvenientes, el primero, que todos los animales o plantas que se adhieren al casco generan una fricción al navegar y con ello una pérdida de velocidad, en segundo lugar, que pueden dañar la estructura de dicho casco (sobre todo si son de madera) y, en tercer lugar, que las incrustaciones generan contaminación biológica ya que cuando las especies se adhieren al casco *“viajan”* a bordo de este y se mueven de unas regiones a otras.

Con el fin de reducir los tres inconvenientes mencionados lo primero que se utilizó fue la cal y el arsénico, hasta que se crean las pinturas antiincrustantes, Anti-fouling o patentes. Dichas pinturas son: *“todo revestimiento, pintura, tratamiento superficial, superficie o dispositivo que se utilice en un buque para controlar o impedir la adhesión de organismos no deseados”*. (España en el Boletín Oficial del Estado, 2007) Las primeras estaban formadas por compuestos metálicos que al mezclarse con el agua mataban los organismos vivos. La sustancia más utilizada era el tributilestaño o TBT, un compuesto orgánico del estaño, que era muy eficaz, pero después de llevar varios años utilizándolo se descubrió que era muy dañino ya que permanecía en el agua.

Tras descubrir que los sistemas utilizados para reducir las incrustaciones podían ser más perjudiciales que beneficiosos, en 2001 la OMI crea el Convenio Internacional sobre el control de los sistemas antiincrustantes perjudiciales en los buques, más conocido por AFS de sus siglas en inglés: International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships. (International Maritime Organization, 2008) Dicho convenio entraría en vigor *“doce meses después de la fecha en la que lo ratifiquen, por lo menos veinticinco Estados cuyas flotas mercantes combinadas representen no menos del veinticinco por ciento del tonelaje bruto de la marina mercante mundial.”* (Organización Marítima Internacional, 2008) España ratifica el convenio y lo publica en el BOE en noviembre del 2007 (España en el Boletín Oficial del Estado, 2007), pero no es hasta el 17 de septiembre de 2008 cuando se cumplen los requisitos para que entre en vigor.

A partir de la fecha de entrada en vigor todos los estados firmantes deben cerciorarse de que: los buques de su pabellón; los que sin ser de su pabellón operen bajo su autoridad; o los que entren a puertos, astilleros o terminales bajo su jurisdicción cumplen con el convenio AFS. Para ello se utiliza un certificado AFS que garantiza que la pintura que lleva el buque no contiene derivados del estaño ni ninguna otra sustancia perjudicial para el medio ambiente. Dicha pintura se renueva, tras lijar el casco, como máximo cada cinco años, ya que este es el periodo que estipula la normativa para que los buques entren en dique seco o grada a hacer reparaciones y mantenimiento. Además, hay otros dos certificados que comprueban el estado del casco: el certificado internacional de seguridad de buque de carga, aplicado a los buques de más de 500 toneladas de arqueo bruto o GT (gross tonnage), y el certificado nacional de navegabilidad, aplicado a los buques de menos de 500 GT.

Por último, se plantea la información relativa a las ratificaciones del presente convenio, a fecha del 10 de abril de 2019, la OMI publicó una lista de dichas ratificaciones y el convenio AFS cuenta con 84. Los últimos países en adherirse fueron, Portugal, Guyana y Omán, durante el 2019. (Organización Marítima Internacional, 2019)

## 3.2 Publicaciones

Este apartado se dedicará a exponer un resumen actualizado de publicaciones sobre estudios que sean de interés para este trabajo. Al igual que en el apartado anterior, se referencia el TFG (Deva Menéndez Teleña, 2018) por si se quisiera ampliar la información aquí redactada. En este apartado hay dos tipos de publicaciones, en primer lugar, las publicaciones científicas con índice de impacto y, en segundo lugar, las publicaciones que sin estar publicadas en revistas de impacto son interesantes para el trabajo. Para buscar el primer grupo de publicaciones se utiliza *Web of Science*, esto es una página web a la que se puede acceder a través de la biblioteca universitaria online (BUO) de la Universidad de Oviedo. En dicha página solo se publican artículos de revistas de impacto que son indexados por la propia *Web of Science* u otras entidades como, *InCites*, *Journal Citation Reports* o *Essential Science Indicators*. La búsqueda de artículos se realiza por palabras clave y las utilizadas fueron: water ballast, fouling, GIS, pollution, biofouling, invasive especies, etc. Respecto al segundo grupo de artículos, como son muchos menos que el grupo anterior, cuando se referencia uno de ellos se especificará y el resto son del primer grupo.

Con el fin de ordenar un poco este apartado se exponen los grupos de artículos que se citan a continuación:

- en primer lugar, se exponen las primeras evidencias de estudios sobre las incrustaciones y el agua de lastre;
- en segundo lugar, se mencionan los estudios que tienen más similitudes con este trabajo, por las herramientas utilizadas, el modo de trabajo, la región geográfica, etc;
- en tercer lugar, se plantean tres artículos de estudios que también trabajan con un GIS;
- en cuarto lugar, se hace referencia a las innovaciones tecnológicas y su relación con la contaminación biológica;
- y, por último, se plantea la publicación más reciente, de febrero de este año, relacionada con este estudio.

Antes de empezar con los artículos, decir que, todos ellos se publican en inglés y para plantarlos en el trabajo se traducen de la manera más textual posible.

La primera evidencia de contaminación biológica por agua de lastre data de principios del siglo 20 (Ostenfeld, C. H., 1908), fecha desde la cual ininidad de investigadores realizan estudios sobre el tema con el fin de frenar dicha contaminación. Respecto a las incrustaciones los primeros estudios llegaron un poco más tarde, pero a finales de los noventa ya se

datan estudios sobre invasiones por este motivo. El *mejillón cebra*, unas de las especies invasoras más extendida por todo el mundo, ya afectaba en por dichas fechas al sector marítimo y a las centrales eléctricas (Khalanski, 1997) y en los Grandes Lagos, también se registraron por las mismas fechas, 140 especies invasoras que amenazaban la biota nativa de dicha zona (Zaranko et al., 1997). Para frenar la contaminación por incrustaciones no solo se debe tratar el casco del buque, sino que también hay que tener en cuenta otras zonas en contacto con agua de mar como quillas, bombas de achique, pantoque, hélices, etc (Scianni et al., 2013).

El siguiente estudio que se plantea, al igual que en este trabajo, trabaja con una base de datos y con ella se calculan los posibles riesgos de contaminación. Dicho estudio se realizó en la Unión Europea y en él se utilizó una herramienta, AquaNIS (Information system on aquatic non-indigenous and cryptogenic species) en la que se almacenaba y gestionaba la información sobre especies acuáticas no indígenas. Gracias a esto se creó una base de datos actualizada para evaluar el riesgo de contaminación biológica en Europa. Las conclusiones obtenidas fueron que el transporte comercial y recreativo por mar es una de las principales causas de contaminación biológica y que el Canal de Suez es el máximo responsable de la introducción de especies invasoras en Europa (Galil et al., 2014). Una vez se determinan las posibles especies invasoras también hay que tener en cuenta cuales son las que, por sus características, pueden sobrevivir en la zona a analizar (Sylvester and MacIsaac, 2010). El en proyecto BLUEPORTS, al igual que en los estudios mencionados, se va a realizar una base de datos para determinar el riesgo, y una vez se obtengan las posibles especies invasoras se va a hacer un estudio de cuáles son las especies que, a pesar de tener riesgo de venir a Gijón, pueden sobrevivir en dicho territorio.

Respecto a las zonas geográficas en la que ya se han realizado estudios de contaminación biológica, decir que, BLUEPORTS es el primer proyecto sobre este tema en el Principado de Asturias. La región geográfica más próxima con un estudio similar es Galicia y las conclusiones obtenidas fueron que las incrustaciones son el principal problema de contaminación biológica, a pesar de que actualmente los organismos internacionales presten mucha más atención a la contaminación por agua de lastre (Cuesta et al., 2016). Cuando se finalice el proyecto de BLUEPORTS se determinará si las conclusiones son similares por la proximidad entre las regiones a estudiadas.

A continuación, se plantean tres estudios de contaminación biológica, que utilizan un sistema de información geográfica y que tienen muchas similitudes con este trabajo:

En primer lugar, el artículo: *“El uso de sistemas de información geográfica para evaluar el cumplimiento de la gestión del agua de lastre en los buques comerciales que operan*

en California” (Nicole Dobroski et al., 2013). En este proyecto, el gobierno de California, con el fin de reducir las inspecciones a buques sobre el Convenio BWM, obliga a todos los barcos a enviarles toda la información relativa al agua de lastre. Dicha información es, por un lado, los datos del buque (características, tanques, capacidad, etc) y, por otro lado, situaciones de carga y descarga del agua de lastre, cantidad, velocidad, etc. Toda esta información se mete en una base de datos y, a continuación, se pasa a un GIS para poder analizar las zonas de carga y descarga de una manera más rápida y eficaz.

En segundo lugar, el artículo: “*Evaluación de riesgos portuarios para las operaciones de agua de lastre en la República de Corea*” (Eun-Chan Kim et al., 2014). Este estudio tenía por objetivo crear una base de datos vinculada a un sistema de información geográfica, a través del proyecto *GloBallast*. En dicha base se recogieron, dividido por regiones: los datos de carga y descarga de agua de lastre, los datos de los puertos de la zona, la distribución de las especies invasoras y la monitorización de algunas de ellas. Para determinar el riesgo de contaminación de dichas especies se evaluó el riesgo de traslado de unas regiones a otras, es decir, se compararon las similitudes ambientales entre puertos, la frecuencia de cargar y descargas, el número de especies peligrosas, la posibilidad de supervivencia, el tamaño, etc. Para finalizar con este artículo se explica que es el proyecto *GloBallast* o proyecto para el establecimiento de asociaciones para ayudar a los países en desarrollo a reducir la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales en el agua de lastre de los buques (Organización Marítima Internacional, 2016). Dicho proyecto lo crea la OMI con el propósito de que diferentes asociaciones realicen estudios durante el 2008-2016 para reducir la transferencia de especies a través del agua de lastre. Los principales propósitos del proyecto son: expandir la capacidad de gestión estatal y portuaria; promover reformas jurídicas, políticas e institucionales a nivel nacional; elaborar mecanismos para la sostenibilidad; e impulsar la coordinación y la cooperación regionales. Por último, se menciona que, tal como se explica en la revista oficial de la OMI, *IMO News*, se habla de un proyecto similar al *GloBallast*, pero sobre incrustaciones. El artículo “*Lanzamiento de un proyecto global para proteger la biodiversidad marina*” (Organización Marítima Internacional, 2019) de dicha revista de la OMI, explica el nuevo proyecto internacional sobre incrustaciones. La OMI, junto con el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) colaboran en el proyecto *GloFouling Partnerships* o asociación de *GloFouling*. Dicho proyecto, al igual que el de lastre, tiene por objetivo realizar una serie de estudios que ayuden en la toma de medidas para evitar la transferencia de organismos acuáticos. Antes de pasar al siguiente artículo, se menciona que desde BLUEPORTS se ha contactado con personal del proyecto *GloFouling* al objeto de que BLUEPORTS y, si acaso, la Universidad de

Oviedo, pasen a integrarse en *GloFouling* como *Strategic Partners* o socios estratégicos. Los primeros contactos indican que hay posibilidades de conseguirlo.

En tercer lugar, el artículo: “*Distribución espacial de las especies invasoras marinas: ambientalmente, demográficamente y a través de vectores biológicos*” (Murray et al., 2014). El estudio tiene por objetivo determinar cuáles son las variables más importantes en la distribución de especies invasoras. Para ello utilizan 81 placas submarinas, situadas por la costa de Canadá, que recogen datos de las especies invasoras y los pasan a un GIS. Como resultado, analizando los datos del GIS con unos patrones determinados, se obtiene que: la salinidad, la densidad de población humana, el tráfico de los puertos y la probabilidad de que las especies sobrevivan al viaje, son las cuatro variables más importantes en la distribución de especies invasoras.

Por otro lado, las innovaciones tecnológicas son un factor muy importante que también puede disminuir la contaminación biológica, a continuación, de exponen dos estudios que gracias a las nuevas tecnologías controlarán el cumplimiento del convenio BWM o reducirán las contaminaciones por agua de lastre. Existe un proyecto en Sudamérica, de un sistema implantado en los buques, que recoge toda la información relativa al control del agua de lastre: posición geográfica, fecha, hora, salinidad, temperatura, pH, etc. Proporcionando de este modo, tanto información sobre el cumplimiento del convenio, como información sobre un posible riesgo de contaminación (Pereira et al., 2016). Otra de las innovaciones tecnológicas que pueden reducir la contaminación biológica son los buques sin lastre. En 2017 la empresa *Hyundai Mipo Dockyard* entregó un buque de gas natural licuado (LNG) que no necesita lastre (Redactores del *The Maritime Executive*, 2018), publicación de una revista que no recoge publicaciones indexadas.

Para finalizar con este apartado se hace referencia a la publicación relacionada con este trabajo más reciente “*Modelo de evaluación de riesgo basado en la perspectiva de los expertos sobre el agua de lastre*” (Muhan Chenga et al., 2019). Este estudio tiene por objetivo crear una aplicación, basada en las opiniones de expertos del agua de lastre, para determinar cuáles son los buques que verdaderamente generan un riesgo de contaminación biológica. Con la implantación del Convenio BWM se les dio a los países muchas responsabilidades a la hora de comprobar si todos los buques cumplían con las directrices del mismo, sobre todos en los puertos más concurridos. Gracias a esta aplicación el número de buques a inspeccionar se reduce a los que tienen mayores probabilidades y de este modo los países firmantes del convenio podrán implantar de una manera más eficaz y eficiente las directrices de dicho convenio.

Como se puede comprobar y desde mi conocimiento, tras la búsqueda de estudios relacionados con este trabajo, se puede decir que BLUEPORTS es un proyecto pionero a nivel mundial. Es cierto, que otros estudios determinan el riesgo de contaminación biológica, pero este es el primero expresa dicho riesgo en un GIS y luego corrobora dichos riesgos con los análisis realizados por los investigadores de biología. Gracias a esto se puede determinar si el análisis de riesgos es efectivo y se puede realizar un protocolo para implementar en el Puerto de Gijón y en otros puertos, con el fin de reducir la contaminación biológica mediante la prevención.

### 3.3 Resumen de los trabajos que se realizaron en el trabajo fin de grado

A continuación, se plantea un resumen de los trabajos realizados en el TFG con el objetivo de explicar la base utilizada como punto de partida para los nuevos estudios del TFM.

Como ya se mencionó anteriormente, dentro del proyecto BLUEPORTS hay varios grupos de investigación (biología, educación y náutica), pero tanto en el TFG, como en el TFM, mi principal colaboración es con el grupo de náutica. Antes de que se proceda con el resumen del TFG se plantea información sobre el grupo con el que se trabaja. Dicho grupo, está formado por varios investigadores del grupo MaFIG-UniOvi (*Maritime Field Investigation Group of the Universidad of Oviedo* o *grupo de Investigación en el Ámbito Marítimo de la Universidad de Oviedo*). Este grupo lo forman profesores del Departamento de Ciencia y Tecnología Náutica (DCyTN) de la Escuela Superior de la Marina Civil (ESMC) de Gijón. Sus principales líneas de trabajo, y sobre las que ha realizado proyectos, artículos, tesis, etc, son: seguridad y sostenibilidad en los buques, tribología, resistencia de materiales, astronomía, carga y descarga de buques, contaminación, maniobra, navegación y posicionamiento satelitario (Coordinador de MaFIG-UniOvi: D. Horacio J. Montes Coto, 2010).

El grupo de náutica, dentro del proyecto BLUEPORTS, tiene a cargo varias tareas, pero mi principal colaboración es en: **la elaboración de un mapa de riesgos de introducción de especies exóticas en el puerto comercial de Gijón (El Musel)**. Para poder hacer el mapa de riesgo, es necesario realizar varias tareas intermedias, durante el TFG se trabaja principalmente sobre la primera y la segunda: **creación de la base de datos sobre los vectores de invasiones biológicas en el puerto de El Musel** y **creación de un mapa de riesgos mediante herramienta GIS**, y se hace una pequeña parte de la tercera, **evalua-**

**ción de riesgos de bioseguridad.** Como el proyecto BLUEPORTS tiene una duración de tres años y las tareas para realizar el mapa están repartidas durante este tiempo, en el TFG se realiza la primera parte del mapa, durante el TFM se continua con dicha tarea, y en la tesis, si al final consigo la plaza, se acabará el mapa de riesgos y se expondrán los resultados finales de BLUEPORTS.

Tras la breve introducción del TFG, a continuación, se exponen los trabajos realizados y los resultados obtenidos. En primer lugar, sobre la tarea de **creación de la base de datos sobre los vectores de invasiones biológicas en el puerto de El Musel**. Para ello la Autoridad Portuaria de Gijón (entidad colaboradora con el proyecto) proporcionó dos bases de datos en formato Excel donde se recogía la siguiente información sobre los buques que atracaron en El Musel: nombre del buque, arqueo bruto, puerto de procedencia de la carga, puerto de procedencia del buque antes de recalar en Gijón, el destino, el registro de mercancías, etc. El primer paso para poder trabajar fue la unificación de las dos bases, la primera, desde el 1 de enero de 2004 hasta el 31 de diciembre de 2014 y, la segunda, desde el 1 de enero de 2015 hasta el 10 de octubre de 2017, fecha en la que se entregan los últimos datos. Dicha unificación no fue fácil, en primer lugar, las columnas de las dos bases no coincidían, ya que de una a otra se cambió el modelo de recopilación de datos por parte de la Autoridad Portuaria. En segundo lugar, en la base aparecía una fila por cada partida de mercancía a un proveedor, en vez de una fila por cada buque, es decir, si un portacontenedores traía 45 contenedores para 6 destinatarios aparecían 6 filas. Y, en tercer lugar, la cantidad de información era muy elevada por lo que el trabajo fue lento y tedioso, la base de datos final consta de 80.105 filas y 31 columnas.

Una vez terminada la base llegó el momento de la programación de la misma, tarea muy complicada ya que se tuvieron que tener en cuenta muchos aspectos. Los dos más importantes fueron: la diferencia entre el riesgo de contaminación por agua de lastre o incrustaciones y la elección del puerto del que pueden venir las especies invasoras. En el primer caso, el riesgo de contaminación biológica por agua de lastre solo se puede dar cuando los buques llevan lastre, es decir, cuando los buques vienen a Gijón a cargar mercancías con destino a otros puertos, mientras que el riesgo por incrustaciones se puede dar por todos los buques, ya que todos van a tener su obra viva (parte sumergida del casco) en contacto con el agua del Puerto de Gijón en su estancia en el mismo. Respecto al segundo caso, mencionar que cuando el puerto de origen de la carga y el anterior a El Musel no coinciden hay que elegir cuál es el que se tiene en cuenta para determinar el riesgo. Por ejemplo, en el caso de los graneleros que atracan en Gijón, estos vienen de largas travesías en las que pueden parar a hacer avituallamiento de provisiones y/o combustibles, y es por ello que el riesgo es mayor del puerto de origen de la carga. Mientras que en el caso de los portacon-

tenedores que vienen a Gijón, estos son buques pequeños que cargan en grandes puertos HUB y distribuyen los contenedores a los puertos más pequeños, por lo que el puerto de riesgo es el anterior, no el del origen de la carga.

A continuación, una vez finalizada la programación de la base de datos, se sacaron de esta los gráficos dinámicos que determinan el riesgo de contaminación biológica. En primer lugar, se obtuvieron los gráficos generales de contaminación, tanto de agua de lastre como de incrustaciones, y se determinaron los puertos con mayor riesgo. Y, en segundo lugar, de cada uno de los puertos, se obtuvo un gráfico en el que se representaba el riesgo provocado por los buques que provenían de él, en cada uno de los muelles del Puerto de Gijón. A continuación, se exponen los resultados obtenidos:

Riesgo de contaminación biológica por agua de lastre: en este caso, como se menciona anteriormente, solo se tienen en cuenta los buques que lleven lastre, es decir, que vienen vacíos o parcialmente vacíos a cargar a Gijón. Para realizar el análisis de riesgos, como en los datos proporcionados por la Autoridad Portuaria de Gijón no se recogían las cantidades de agua de lastre transportadas por cada buque, las calculamos en función del tamaño. En la base de datos se recogen las toneladas de arqueo bruto, como ya se mencionó GT, y, en proporción a este dato, se calcula el agua de lastre de cada buque. Como resultado obtenemos que los tres puertos con mayor riesgo de contaminación por agua de lastre son (los datos de riesgo están expresados en kilo toneladas de arqueo bruto, KGTs, ya que esta es la unidad utilizada en los gráficos para que los resultados sean legibles):

- Vigo con un riesgo de 3,300 KGTs;
- A Coruña con un riesgo de 2,500 KGTs;
- y Bilbao con un riesgo de 1,800 KGTs.

Como se puede comprobar los tres puertos están relativamente cerca de El Musel, en la comunidad de Galicia. Esto es muy beneficioso ya que, en el caso de que se de contaminación biológica, es mejor que las especies sean de lugares cercanos, ya que las diferencias con las de Asturias serán menores que si vienen de lugares más lejanos. Por otro lado, los muelles del Puerto de Gijón que tienen mayor riesgo de contaminación son: en primer lugar y con mucha diferencia, Ribera 2ª alineación; en segundo lugar, el Muelle Norte; y, en tercer lugar, el Espigón 1 Sur tramo 1 y 2. En el muelle de Ribera, hay mucho más riesgo de contaminación, ya que en él está la base de la empresa cementera Tudela Veguin y todas las semanas acuden buques con línea regular a Galicia. El segundo muelle con mayor riesgo es el Muelle Norte, este dato es curioso, ya que dicho muelle está construido desde el año 2007, y el riesgo en el resto del puerto se calcula desde el 2004 (primera fecha recogida en la base de datos de la Autoridad Portuaria).

Riesgo de contaminación biológica por incrustaciones: en este caso, como ya se mencionó, se tienen en cuenta todos los buques que visiten El Musel, pero además el tiempo que permanecen en el puerto. Para realizar el análisis de riesgos se multiplica, la superficie del buque en contacto con el agua por el tiempo que pasa el buque en el puerto. El dato de la superficie en contacto con el agua, como en el caso de la cantidad de lastre, no está registrado en la base de la Autoridad Portuaria, pero también se calcula en función de las GTs. Respecto al tiempo de estancia en el puerto, se calcula con la hora de entrada y salida del buque, ya que estos datos si están en la base. Como conclusión se obtiene que los tres puertos con mayor riesgo de contaminación son (en este caso los datos se expresan en KGTs por tiempo de estancia):

- Ponta da Madeira e Itaqui con 92,000 KGTs por tiempo de estancia;
- Tubarao y Praia Mole con 79,000 KGTs por tiempo de estancia;
- Hay Point y Port Dalrymple con 75,000 KGTs por tiempo de estancia.

El primer y segundo caso son puertos de Brasil y el tercer caso de Australia. En función a estos resultados el muelle del Puerto de Gijón con mayor riesgo de contaminación es el de Ingeniero León. En dicho muelle está instalada la terminal de graneleros European Bulk Handling Installation (EBHI), la terminal con más actividad de El Musel y la que acoge los buques más grandes. Estos dos motivos hacen que dicho muelle sea el que tenga mayor riesgo, el siguiente muelle con mayor riesgo de contaminación es el Muelle Norte, pero dicho riesgo es mucho menor que en el muelle anterior.

Por último, en lo relativo a esta subtarea, se comenta que, para el análisis de riesgos no se tuvieron en cuenta ninguno de los buques o embarcaciones que únicamente navegan en el interior del puerto o en las zonas aledañas. Estos buques son, los remolcadores, pesqueros de bajura, embarcaciones de recreo, lanchas de Salvamento Marítimo, bomberos o Cruz Roja, etc. Se decidió excluir dichas embarcaciones, ya que si solo navegan por las zonas aledañas al puerto no hay riesgo de contaminación biológica.

Una vez se obtuvieron todos los gráficos dinámicos se empezó a trabajar sobre la segunda tarea, **creación de un mapa de riesgos mediante herramienta GIS**. Para ello se añadieron todos los gráficos al sistema de información geográfico utilizado por el proyecto, Global Mapper (de la empresa Blue Marbel). En cada uno de los puertos de mayor riesgo se añadieron los gráficos correspondientes y un enlace de Google Maps para poder ver una vista satelital de la zona. Además de esto se añadieron algunas rutas desde los puertos con mayor riesgo de contaminación.

Por último, se trabajó sobre la tarea de **evaluación de riesgos de bioseguridad**. Esta tarea es muy amplia, pero el objetivo de la parte que se realizó en mi TFG fue determinar

cuáles eran las posibles especies invasoras de los puertos con mayor riesgo de contaminación. Para ello se utilizó la página web *Global Invasive Specie Database*, GISD, (Invasive Species Specialist Group, ISSG, 2000). Se eligió esta web ya que es la más aceptada internacionalmente y es la que más se utiliza para este tipo de trabajos. Para obtener los resultados se aplicaron unos filtros en la página web (taxonomía, localización, clasificación del medio de la especie y método de transporte) y dicha página dio como resultado las posibles especies invasoras. Una vez se obtuvieron las posibles especies invasoras provenientes de cada región se añadieron en el GIS todos los resultados. En cada uno de los puertos de mayor riesgo, junto con el enlace a Google Maps y los gráficos correspondientes, se añadieron los enlaces y PDFs de las posibles especies invasoras. Respecto a los resultados de las especies se determinó que, la *Gracilaria vermiculophylla*, es la que tiene mayor posibilidad, de contaminar biológicamente en Gijón. Esto es porque dicha especie ya se detectó en Galicia y, como ya se mencionó, los puertos con mayor riesgo de contaminación por agua de lastre están en esta región.

## 4 Metodología

Esta parte del trabajo se dedica a explicar los procedimientos y las directrices seguidas para realizar los estudios de este TFM. El apartado se dividirá en tres secciones, en primer lugar, se expone la metodología ampliada para la continuación con los estudios realizados en el TFG, en segundo lugar, se plantea la metodología para el estudio sobre las muestras de agua de lastre proporcionadas por buques que atracaron en el Puerto de Gijón y, en tercer lugar, se expone la metodología para la obtención y el análisis de muestras.

### 4.1 Metodología ampliada para la continuación con los estudios realizados en el trabajo fin de grado

La metodología utilizada para continuar con los trabajos del TFG está dividida en dos partes, por un lado, siempre que esté relacionado se hará un breve resumen de la metodología del TFG, que servirá como punto de partida para las novedades y, por otro lado, se explicará la metodología de las nuevas tareas realizadas. Se cita el TFG (Deva Menéndez Teleña, 2018) por si se quisiera consultar, la metodología aquí resumida o la metodología del resto de grupos de BLUEPORTS, que está en el TFG, pero en el TFM no se expone para no repetir información.

Como ya se mencionó en el apartado 3.3, la principal tarea de BLUEPORTS en la que se trabaja para realizar los trabajos es: la **elaboración de un mapa de riesgos de introducción de especies exóticas en el puerto comercial de Gijón (El Musel)**. El propósito de dicho mapa es facilitar el análisis de la información, recogiendo los resultados de una manera mucho más visual e interactiva. En primer lugar, se añaden los resultados del riesgo de contaminación biológica, en segundo lugar, los resultados de las posibles especies invasoras y, en tercer lugar, los resultados de la comparación entre las posibles especies invasoras y las especies obtenidas en el análisis de muestras. Para realizar este mapa, tal como se explica en la propuesta del proyecto BLUEPORTS (Eva García Vázquez, 2016), la tarea se divide en otras cuatro subtareas: **creación de una base de datos sobre vectores de invasiones biológicas en el Puerto de Gijón, creación de un mapa de riesgos mediante herramienta GIS, evaluación de riesgos de bioseguridad y validación piloto del mapa de riesgos**. A continuación, se exponen cuatro apartados en los que se explicará la metodo-

logía para cada una de dichas subtareas, por un lado, se realizará un resumen de la base del TFG y, por otro lado, se expondrán las novedades y cambios para el TFM.

#### 4.1.1 Metodología para la creación de una base de datos sobre vectores de invasión biológica en el Puerto de Gijón

Esta subtarea, tal como se explica en el apartado 3.3, se realiza durante el TFG, pero existen algunas novedades en el TFM. En la parte de la creación y la programación de la base no hay ningún cambio, sino que los cambios son en la obtención de los gráficos dinámicos a partir de la base de datos.

A continuación, se expone un resumen de la metodología empleada en el TFG, ya que se utiliza de base para los estudios de este TFM, para ampliar esta información se puede consultar el TFG ya citado. En dicho TFG, una vez se acabó de programar la base de datos, los gráficos obtenidos fueron: los generales de riesgo de contaminación biológica por incrustaciones y por agua de lastre, y los gráficos de los puertos con mayor riesgo de contaminación. A continuación, se explica la información que contenía cada uno de ellos:

Gráficos generales de riesgo de contaminación biológica por incrustaciones y por agua de lastre: en ellos se aplicó un filtro de “*mayor o igual que*” para que los gráficos se pudieran ver de una manera más legible, en el caso de las incrustaciones el filtrado fue de 600 KGTs por tiempo de estancia y en el agua de lastre de 30 KGTs. Tanto en el general de incrustaciones como en el agua de lastre, en las ordenadas se representaban la cantidad de riesgo de contaminación y en las abscisas cada uno de los puertos de posible contaminación y dos grupos de letras. El primer grupo, representa el tipo de operación realizada en el puerto, *tabla 4-I*, y, el segundo grupo, son dos letras que representan el país de origen del puerto según el Código de las Naciones Unidas para el Comercio y las Ubicaciones de Transporte, estándar ISO 3166-1, (La Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, 2018), *tabla 4-II*.

Siglas	Significado de la operación
E	Embarque de mercancías
TE	Tránsito y embarque de mercancías
D	Descarga de mercancías
TD	Tránsito y descarga de mercancías

*Tabla 4-I: con las diferentes operaciones de carga y descarga que pueden realizar los buques en el puerto.*

País	Código	País	Código	País	Código
ALBANIA	AL	EL SALVADOR	SV	MAURITANIA	MR
ALEMANIA	DE	EMIRATOS ARABES UNIDOS	AE	MEXICO	MX
ANGOLA	AO	ESPAÑA	ES	MONTENEGRO	ME
ANTIGUA Y BARBUDA	AG	ESTONIA	EE	MOZAMBIQUE	MZ
ARABIA SAUDITA	SA	FILIPINAS	PH	MYANMAR	MM
ARGELIA	DZ	FINLANDIA	FI	NIGER	NE
ARGENTINA	AR	FRANCIA	FR	NIGERIA	NG
AUSTRALIA	AU	GABON	GA	NORUEGA	NO
BAHREIN	BH	GEORGIA	GE	NUEVA ZELANDA	NZ
BANGLADESH	BD	GHANA	GH	OMAN	OM
BELGICA	BE	GRECIA	GR	PAKISTAN	PK
BENIN	BJ	GUAM	GU	PANAMA	PA
BOLIVIA	BO	GUATEMALA	GT	PARAGUAY	PY
BRASIL	BR	GUINEA ECUATORIAL	GQ	PERU	PE
BULGARIA	BG	GUINEA ECUATORIAL	GQ	POLONIA	PL
CABO VERDE	CV	HAITI	HT	PORTUGAL	PT
CAMERUN	CM	HOLANDA	NL	PUERTO RICO	PR
CANADA	CA	HONDURAS	HN	QATAR	QA
CHILE	CL	HONG-KONG	HK	REINO UNIDO	UK
CHINA	CN	INDIA	IN	REPUBLICA CHECA	CZ
CHIPRE	CY	INDONESIA	ID	REPUBLICA DOMINICANA	DO
COLOMBIA	CO	IRAN	IR	REUNION	RE
COLOMBIA	CO	IRLANDA	IE	RUMANIA	RO
CONGO	CG	ISLANDIA	IS	RUSIA	RU
COREA DEL NORTE	KP	ISLAS VIRGENES (EEUU)	VI	SENEGAL	SN
COREA DEL SUR	KR	ISRAEL	IL	SIERRA LEONA	SL
COSTA DE MARFIL	CI	ITALIA	IT	SINGAPUR	SG
COSTA RICA	CR	JAPON	JP	SIRIA	SY
COSTA RICA	CR	JORDANIA	JO	SRI LANKA	LK
COSTA RICA	CR	KAZAJISTAN	KZ	SUDAFRICA	ZA
CROACIA	HR	KENIA	KE	SUECIA	SE
CROACIA	HR	KUWAIT	KW	SVALBARD	SJ
CROACIA	HR	KUWAIT	KW	TAILANDIA	TH
CROACIA	HR	KUWAIT	KW	TAIWAN	TW
CROACIA	HR	LETONIA	LV	TOGO	TG
CROACIA	HR	LIBANO	LB	TRINIDAD Y TOBAGO	TT
CROACIA	HR	LIBERIA	LR	TUNEZ	BO
CUBA	CU	LIBIA	LY	TURQUIA	TR
DINAMARCA	DK	LITUANIA	LT	UCRANIA	UA
ECUADOR	EC	MALASIA	MY	URUGUAY	UY
EEUU	US	MALI	ML	UZBEKISTAN	UZ
EGIPTO	EG	MARRUECOS	MA	VENEZUELA	VE
EL SALVADOR	SV	MAURICIO	MU	VIETNAM	VN

Tabla 4-II: Código de las Naciones Unidas para el Comercio y las Ubicaciones de Transporte, estándar ISO.

Gráficos de los puertos con mayor riesgo de contaminación: en base a los gráficos generales se determinaron los puertos de mayor riesgo y de cada uno de ellos se obtuvo un gráfico particular. En las abscisas de dichos gráficos, también se representaba la cantidad de riesgo, mientras que en las ordenadas se representaba cada uno de los muelles del Puerto de Gijón. Por cada muelle se expresaron dos columnas, la primera, del sumatorio de cantidad de riesgo y, la segunda, del número de buques que visitaron ese muelle desde el puerto a analizar. Además, como en los generales, se expresa la operación realizada en el puerto y el país de origen. En el caso de las incrustaciones se tuvieron en cuenta todas las operaciones y, en el caso del agua de lastre, solo las de embarque o tránsito embarque. De los gráficos de agua de lastre, decir que, se filtraron a un riesgo de 30 KGTs para ver los resultados más legibles.

Una vez finalizado este resumen se comienza con las novedades de la metodología aplicadas en este trabajo. En el caso del TFM la metodología y la presentación de los gráficos fue similar, pero los resultados se sacaron para cada uno de los muelles del Puerto de Gijón. Esta vez, en vez de sacar unos gráficos generales para determinar los puertos con mayor riesgo y luego poder sacar un gráfico particular de dichos puertos, se sacó un gráfico para cada muelle del puerto de Gijón. Es decir, en el TFG, de los puertos con mayor riesgo se sacaron los muelles con mayor probabilidad de contaminación y, en el TFM, para cada uno de los muelles se obtienen todos los puertos que tienen riesgo de contaminación. El estudio del TFM es mucho más exhaustivo ya que, en el TFG solo se sacaron los gráficos de seis puertos (los tres de mayor riesgo por incrustaciones y los tres de mayor riesgo por agua de lastre) mientras que en el TFM hay un gráfico particular para cada uno de los muelles. Los gráficos de cada uno de los muelles expresan la cantidad de riesgo en las ordenadas y los puertos de contaminación, con el código del país al que pertenecen y las operaciones realizadas, en las abscisas. Todos los gráficos se intentaron hacer sin filtrar, para expresar la mayor cantidad de información posible, pero en algunos de los casos esto fue imposible ya que eran demasiados puertos y los resultados eran ilegibles.

#### 4.1.2 Metodología para la creación de un mapa de riesgos mediante herramienta GIS

A continuación, y, en segundo lugar, se habla sobre la metodología empleada en la siguiente subtarea: **creación de un mapa de riesgos mediante herramienta GIS**. El objetivo de esta tarea es realizar un mapa en el que los resultados obtenidos queden recogidos de una manera mucho más visual e interactiva.

En el caso del TFG, tal como se explicó en el apartado 3.3, para realizar el mapa de riesgos se añadieron los resultados a cada uno de los puertos con mayor riesgo, pero en el caso del TFM los resultados se añaden en cada muelle del Puerto de Gijón. Para añadir información en el GIS utilizado (Global Mapper, de empresa Blue Marble), el primer paso es añadir un punto geográfico. Dicho punto, con el fin de que el mapa contenga visualmente la mayor cantidad de información posible, será sustituido por una figura del tipo de buque más común en cada muelle. En dicha figura se añadirá, un PDF del gráfico dinámico del muelle y un enlace a Google Maps de una vista satélite de dicho muelle.

Además, aparte de todos los resultados añadidos en los muelles de El Musel, se finalizan los trabajos del TFG sobre las rutas desde los puertos con mayor riesgo de contaminación. Tal y como se menciona en el apartado 3.3, en el TFG se añadieron algunas de las rutas más importantes, desde los puertos de mayor riesgo de contaminación hasta Gijón. Y en el caso del TFM, se completan los trabajos relacionados con dichas rutas. El objetivo final de esta parte del TFM es mostrar de un modo más visual los lugares de los que vienen buques con riesgo de contaminación biológica. Como el GIS utilizado no tiene cartas náuticas, y con el propósito de presentar las rutas más reales posibles se utilizan las cartas náuticas online, Navionics. En las zonas que sea necesario (dispositivos de separación de tráfico, canales, entradas a puerto, etc) se añade de manera georreferenciada una imagen de la parte de la carta a utilizar y, a continuación, la ruta se dibuja sobre dicha imagen. No sabemos las rutas exactas ni las paradas que realizaron los buques que vinieron a Gijón, pero en el mapa de riesgos se plantean de la manera más real posible una supuesta ruta sin paradas, desde el puerto de origen a Gijón.

Por último, en el TFM, además de utilizar el GIS Global Mapper, se utiliza la aplicación mapa 3D de Excel. Esta aplicación es mucho más sencilla, pero también se considera un GIS ya que da como resultado un mapa con gráficos georreferenciados, es decir, un mapa con información vinculada a un lugar geográfico. Además de Global Mapper, se decide utilizar esta aplicación ya que los resultados obtenidos se representan de una manera muy visual e intuitiva. Para añadir los gráficos al punto geográfico correspondiente la aplicación toma como referencia el nombre del lugar y el país añadido en la base de datos. Hubo ocasiones en las que, como el nombre del lugar era un muelle de un puerto, la aplicación no lo situaba bien, por lo que hubo que añadir manualmente el lugar más cercano que si reconociera la aplicación.

### 4.1.3 Metodología para la evaluación de riesgos de bioseguridad

En tercer lugar, en este apartado se explica la metodología para los trabajos realizados sobre la subtarea de **evaluación de riesgos de bioseguridad**. Esta subtarea es muy amplia, los trabajos sobre ella ya se empezaron en el TFG y ahora se continúan en el TFM, pero aun así para la entrega de este trabajo no se tendrán los resultados definitivos de BLUEPORTS.

El objetivo es determinar las posibles especies invasoras que pueden venir al Puerto de Gijón basándose en los resultados de los gráficos dinámicos, es decir, en el análisis de riesgos de contaminación biológica. De esta manera, en la siguiente subtarea, se compararán las posibles especies invasoras determinadas en función a la base de datos proporcionada por la Autoridad Portuaria con las especies encontradas en el Puerto de Gijón tras los análisis de muestras.

Como ya se presentó en el TFG, se plantearon las especies de los puertos con mayor riesgo de contaminación utilizando la página web GISD. Para ello, se aplicaron los filtros de taxonomía, clasificación del medio de la especie y método de transporte y, se hizo una búsqueda para cada puerto con posible riesgo, eligiendo la región geográfica en el filtro de localización. En el caso del TFM la base de datos de especies invasoras también es GISD y los filtros aplicados son similares, pero antes de realizar el análisis se tienen que determinar que puertos tienen suficiente riesgo de contaminación y que puertos no. En el TFG solo se analizaron seis regiones geográficas, los tres puertos con mayor riesgo de contaminación biológica por agua de lastre y los tres puertos con mayor riesgo por incrustaciones, pero en el TFM los resultados no son tan sencillos. En el TFM para cada uno de los 47 muelles del Puerto de Gijón se obtienen una media de 25 puertos con posible riesgo de contaminación. Esto supone que la cifra se eleva a más de mil puertos y, aparte de que analizarlos todos llevaría muchísimo tiempo, hay puertos en determinados muelles que tienen un riesgo de contaminación muy bajo y no merece la pena analizarlos. Es por esto, por lo que se decide aplicar un filtro que reduzca los puertos y solo tenga en cuenta los que verdaderamente supongan un riesgo de contaminación. A continuación, se explican los filtros aplicados, en primer lugar, en el agua de lastre y, en segundo lugar, en las incrustaciones:

Filtros aplicados en agua de lastre: el primer paso para aplicar el filtro es determinar cuál es el máximo valor de riesgo de contaminación biológica por agua de lastre en todo el Puerto de Gijón. Para obtener dicho máximo se determinará cuál es el valor más alto de todos los muelles de El Musel. Una vez obtenido ese valor, se le aplica un porcentaje previamente determinado, y este será el filtro que se utilizará. En este caso, el máximo valor de riesgo de contaminación biológica por agua de lastre teniendo en cuenta todos los muelles

del Puerto de Gijón es aproximadamente de 3.000 KGTs. Sabiendo esto, el porcentaje elegido será el 2%, dando como resultado un filtro de 60 KGTs. Esto quiere decir que, en cada muelle, todos los puertos que tengan un valor superior a 60 KGTs serán analizados con el GISD, para determinar las posibles especies invasoras que pueden provenir de ellos.

**Filtros aplicados en incrustaciones:** en este caso el procedimiento seguido para calcular el filtro es igual que en el agua de lastre, en primer lugar, se determina el máximo valor de riesgo y, en segundo lugar, en base a este se calcula un porcentaje que nos da el filtro. En este caso, el máximo valor de riesgo de contaminación biológica por incrustaciones teniendo en cuenta todos los muelles del Puerto de Gijón es aproximadamente de 80.000 KGTs por tiempo de estancia. Como se puede observar este valor es muy elevado, pero profundizando el análisis se determinó que este valor solo es así de elevado en el muelle de Ingeniero León. Dicho muelle, recordando los resultados del TFG planteados en el apartado 3.3, es con mucha diferencia el de mayor riesgo de contaminación. A continuación, se calculó el valor de riesgo de contaminación biológica por incrustaciones suprimiendo este muelle y el resultado fue de 8.000 KGTs por tiempo de estancia. Sabiendo esto, el porcentaje elegido será, el 1% en el muelle de Ingeniero León y, el 10% en el resto del puerto, dando como resultado un filtro de 800 KGTs por tiempo de estancia. Esto quiere decir que, como en el caso anterior, todos los puertos que tengan un valor superior a 800 KGTs por tiempo de estancia, independientemente del muelle que estemos estudiando, serán analizados en el GISD.

A continuación, se plantea una tabla resumen con los filtros aplicados para la obtención de las especies en el GISD, *tabla 4-III*:

Filtros de las especies	Elección del filtro	
Taxonomía	Animales y plantas	
Localización	Región del puerto a analizar	Puertos con riesgo mayor a 60 KGTs, en el caso del agua de lastre
		Puertos con riesgo mayor a 800 KGTs por tiempo de estancia, en el caso de las incrustaciones
Clasificación del medio	Marino y agua dulce, cuando se navegue por ríos	
Método de transporte	Agua de lastre	
	Incrustaciones	

*Tabla 4-III: filtros de GISD utilizados en la búsqueda de posibles especies invasoras de los puertos en los que, a través de los resultados de la base de datos de la Autoridad Portuaria, se determinó un posible riesgo.*

Una vez se obtengan todos los resultados del GISD estos se añadirán al mapa de riesgos. De este modo, pinchando en cualquiera de las figuras de buques situadas los muelles del puerto, se podrá acceder a toda la información de dicho muelle: riesgo de contaminación biológica, puertos o lugares del mundo que ocasionan un mayor riesgo de contaminación, posibles especies invasoras con cada una de sus características, etc. Como se puede comprobar esto es una manera muy cómoda y visual de acceder a la información y le da un valor añadido al trabajo de BLUEPORTS.

#### 4.1.4 Metodología para la validación piloto del mapa de riesgos

Por último, en este apartado, se explica la metodología de la cuarta subtarea, **validación piloto del mapa de riesgos**. Una vez añadida toda la información relativa a las posibles especies invasoras en el GIS, se comenzó con la comparación de resultados. Como se menciona anteriormente, para finalizar la tarea del mapa, se tienen que comprobar si las posibles especies invasoras son las que hay realmente en Gijón.

Para realizar la comparación partimos de los siguientes datos: por un lado, los resultados de la tarea anterior, en la que en base a los puertos con riesgo de contaminación se determinan, por muelles, cuáles son las posibles especies invasoras en el Puerto de Gijón y, por otro lado, los resultados de los análisis de muestras. Respecto a estos últimos, la metodología empleada para su obtención se explica en el apartado 4.3. La comparación se basará en determinar cuáles son las especies que aparecen en los dos grupos de resultados, esto implicará que el riesgo detectado en función al tráfico del puerto se corrobora con las verdaderas especies invasoras que hay en Gijón. Una vez determinada las especies, todos los resultados obtenidos se añadirán al mapa de riesgos. En la fecha de entrega del TFM solo estarán hechas una parte de las comparaciones, por lo que, los resultados finales de BLUEPORTS aún no se añadieron al mapa de riesgos.

## 4.2 Metodología para el estudio sobre las muestras de agua de lastre proporcionadas por buques que atracaron en el Puerto de Gijón

El siguiente apartado se dedica a explicar la metodología utilizada en el estudio sobre las muestras de agua de lastre proporcionadas por buques que atracaron en el puerto de El Musel. Como ya se mencionó en la introducción, esta parte del trabajo se realiza en colaboración con el grupo de biología, más particularmente con Alba Ardura Gutiérrez, investigadora de dicho grupo y cotutora de este trabajo.

El objetivo de este estudio es comprobar si la metodología del proyecto BLUEPORTS, empleada para determinar las posibles especies invasoras en base a un puerto con posible contaminación, es efectiva. Para ello se realizará un estudio similar al de BLUEPORTS, pero con una cantidad de datos mucho menor, lo que permitirá trabajar de manera más rápida a la hora de probar nuevas herramientas de trabajo. Para explicar de manera ordenada los trabajos realizados se diferencian cinco partes:

La primera parte de este estudio fue la obtención y el análisis de las muestras de agua de lastre. La metodología empleada en dicha parte se explica en el apartado 4.3 ya que es compartida con una de las subtareas realizadas en la continuación de los estudios del TFG.

Una vez obtenidas y analizadas las muestras se procedió con la segunda parte del estudio, la determinación del riesgo de contaminación biológica que puede venir de los puertos de los que provienen las aguas de lastre entregadas por los buques. Para ello se utilizó la información recogida en la base de datos proporcionada por la Autoridad Portuaria y, de cada puerto de los que provengan las aguas de lastre, se calculó el riesgo. De este modo, más adelante, se comprobará si el riesgo de contaminación biológica determinado por los gráficos dinámicos se corresponde con las especies encontradas en las muestras de agua de lastre.

En la tercera parte, se utilizaron bases de datos para determinar las posibles especies invasoras, en función de la procedencia del agua de lastre. Para ello se emplearon dos bases: por un lado, la base de datos GISD, ya utilizada en la subtarea de evaluación de riesgos de bioseguridad y, por otro lado, la base de datos World Register of Marine Species o WoRMS (Autores WoRMS, 2019). En la primera base, GISD, se obtendrán las posibles especies invasoras en función de los siguientes filtros: localización, taxonomía y modo de transporte. A continuación, en la *tabla 4-IV*, se plantea la elección de dichos filtros.

Filtros de las especies	Elección del filtro
Taxonomía	Animales, plantas y hongos
Localización	Lugares en los que se tomó el agua de lastre de las muestras entregadas
Método de transporte	Agua de lastre

Tabla 4-IV: filtros de GISD utilizados en la búsqueda de posibles especies invasoras provenientes de los lugares en los que se cogieron las aguas de lastre de los buques que entregaron muestras.

Por otro lado, con la segunda base, WoRMS, se completará la información de la distribución de los organismos encontrados en el agua de lastre. Para ello, cada una de las especies encontradas en el agua de lastre se introducirá en la base y en la información relativa a la distribución se comprobará: por un lado, si la especie está registrada en la zona del puerto de procedencia del agua de lastre y, por otro lado, si la especie está registrada en la zona de Gijón. Además, en el caso de que la especie ya este registrada en el puerto de origen de la muestra o en Gijón, se mirará si la especie se considera nativa o invasora. A la hora de realizar este análisis se debe que tener en cuenta que en la base de datos solo aparecen especies marinas y que, como en el caso del GISD, la base de datos está realizada sobre información de estudios anteriores, siendo posible que no estén todos los organismos y sus distribuciones.

Una vez obtenidas las posibles especies invasoras de las bases se comenzó con la cuarta parte del trabajo, la comparación de resultados. En primer lugar, se comprobó si los posibles riesgos detectados en los gráficos dinámicos se corresponden con los riesgos reales del Puerto de Gijón. En segundo lugar, se compararon las especies obtenidas en el GISD con las determinadas en los análisis de muestras. Y, en tercer lugar, se observó que especies de las obtenidas en WoRMS aparecían registradas en el lugar de procedencia de la muestra y en Gijón y cuáles de estas especies eran invasoras en cada zona.

La quinta parte del estudio se corresponde con la presentación de los resultados en el mapa de riesgos. Una vez se obtengan todos los resultados se realizará otra capa en el GIS utilizado en tareas anteriores para presentar dichos resultados de una manera más visual. En cada uno de los puertos de los que provengan muestras de agua de lastre se añadirá un gráfico con el riesgo de cada zona y las posibles especies invasoras ya establecidas en la región.

### 4.3 Metodología para la obtención y el análisis de muestras

Este apartado se dedica a plantear la metodología utilizada para la obtención y el análisis de muestras. Estos trabajos son realizados por los investigadores del área de biología, pero como los resultados obtenidos se utilizan en las tareas explicadas en el apartado 4.1.4 y 4.2 se expone la metodología empleada. En primer lugar, se hablará de la obtención de muestras y, en segundo lugar, de su análisis.

#### 4.3.1 Metodología para la obtención de muestras

La obtención de muestras se puede dividir en dos grupos, por un lado, las muestras empleadas en los estudios de continuación del TFG (algas, invertebrados, agua y sedimentos) y, por otro lado, las muestras empleadas en el estudio sobre las aguas de lastre.

En el primer caso, se recogieron muestras del puerto de El Musel y, además, de zonas aledañas: playas, puerto deportivo, y desde una embarcación que hizo una ruta por la zona. Para coger las muestras del puerto este se dividió en cuatro zonas (A, B, C y D), representadas en la *figura 4-1*, y en cada una de ellas se recogieron muestras desde escaleras (fechas rojas en la figura), pedreros accesibles (estrellas rojas en la figura) y puntos de buceo (banderas en la figura).

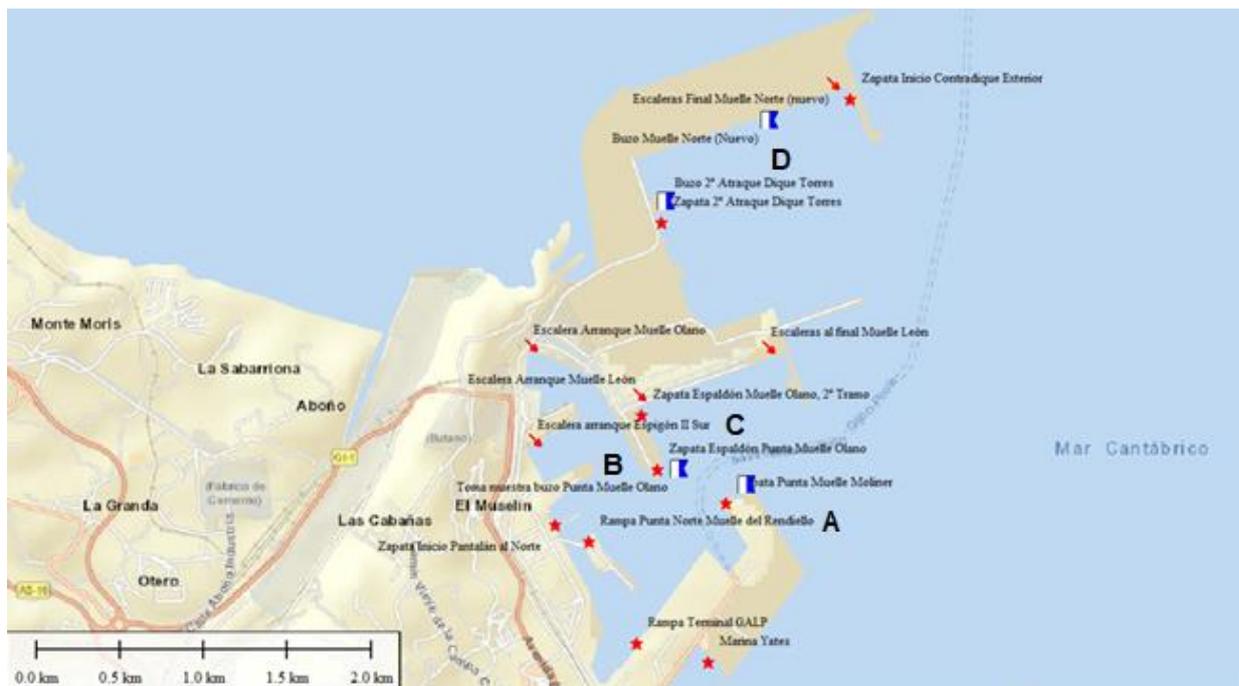
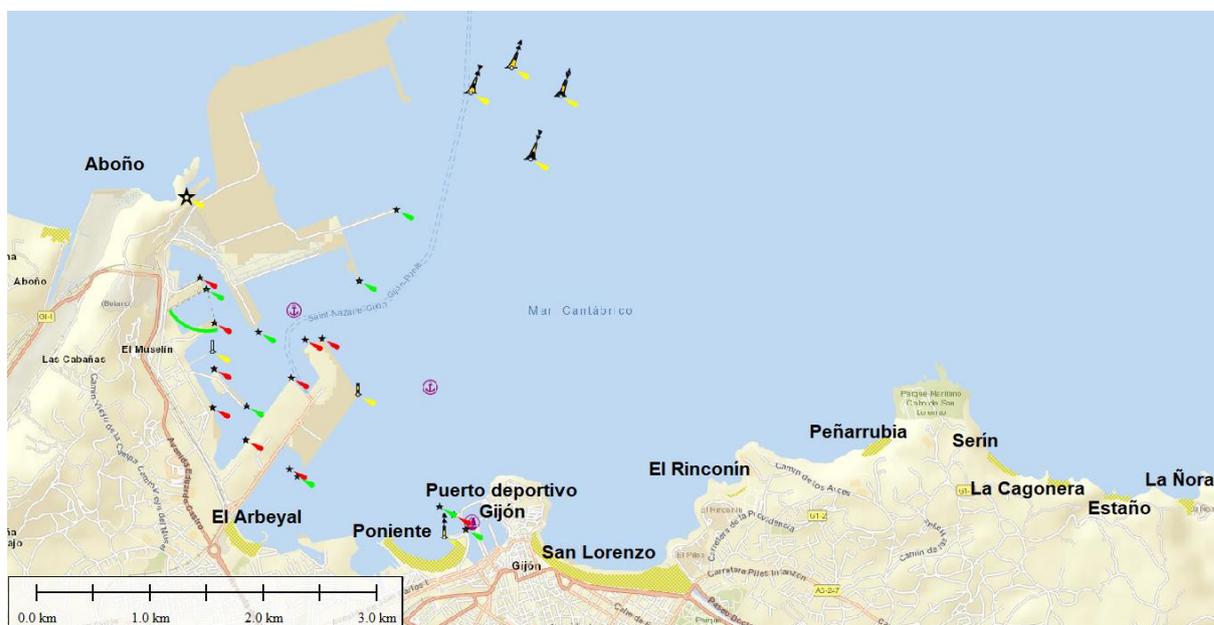
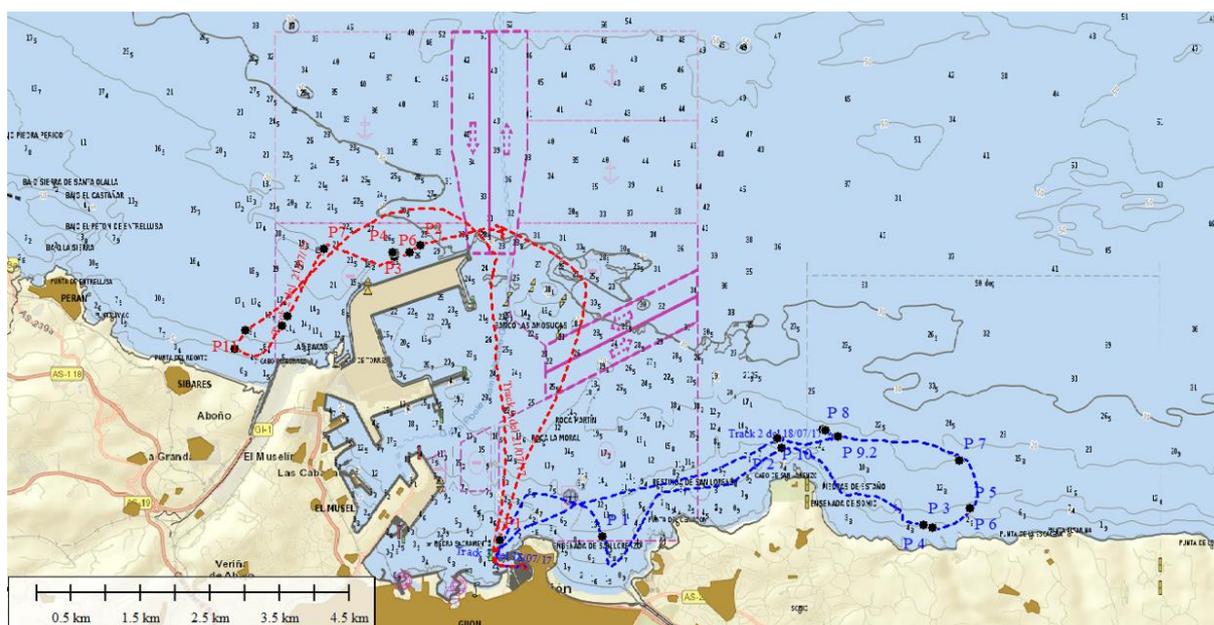


Figura 4-1: zonas del puerto de las que se recogieron muestras.

Las muestras de las zonas aledañas que se recogieron en el puerto deportivo y en las playas se representan en la *figura 4-II*. En la *figura 4-III* se representan con puntos en negro los lugares donde se tomaron muestras desde la embarcación que hizo dos rutas por la zona, planteadas en la figura con una línea roja y otra azul.



*Figura 4-II: mapa en el que se representan el puerto deportivo y las playas en las que se recogieron muestras.*



*Figura 4-III: mapa con los puntos en los que se recogieron muestras abordo de una embarcación que realizó dos rutas (la roja y la azul) por los alrededores de Gijón.*

Finalmente, se explica el proceso de obtención de las muestras utilizadas en el estudio de las aguas de lastre, (apartado 4.2.).

Dentro de todas las tareas del proyecto BLUEPORTS, una de ellas es la **caracterización genética de fauna y flora asociada a estructuras sumergidas en los buques**, el objetivo de ésta es determinar que especies vienen a bordo de los buques que llegan a Gijón. Para ello se toman muestras tanto de incrustaciones como de agua de lastre, se analizan dichas muestras y se determinan las especies encontradas. Para obtener **las muestras de incrustaciones**, la Federación de Actividades Subacuáticas del Principado de Asturias (FASPA), colaboradora del proyecto BLUEPORTS, tomará 1000 muestras de raspados (50 por barco y a 20 barcos) de superficies de buques en contacto con el agua. En cuanto a las muestras de agua de lastre, la Autoridad Portuaria de Gijón proporcionará a todos los consignatarios de buques que atraquen en Gijón un documento para que ellos faciliten a los capitanes de los buques. En dicho documento Eva García, investigadora principal de BLUEPORTS, explica el propósito del proyecto y solicita muestras de agua de lastre de abordó. Si los capitanes aceptan, el consignatario les entregará unos frascos proporcionados por el proyecto, y ellos se los devolverán con las muestras de agua de lastre. Una vez que el consignatario tenga las muestras se las entregará a la policía portuaria y ellos avisarán a un miembro del proyecto para que las vaya a recoger y se proceda a realizar el análisis. Cabe destacar, que se acuerda la confidencialidad de los barcos, manteniendo en todo momento su anonimato.

#### 4.3.2 Metodología para el análisis de muestras

Una vez obtenidas todas las muestras se procedió con el análisis de estas. A continuación, se plantea un resumen de los diferentes procedimientos seguidos en función del tipo de muestra a analizar:

En primer lugar, se expondrán las técnicas utilizadas en los **muestreos físicos** de algas y de invertebrados. Para la determinación del tipo de especie en estos casos hay dos posibilidades:

- **Identificación morfológica** basada en la taxonomía de los organismos encontrados basándose en claves dicotómicas. Los organismos vivos comparten características comunes entre sí y gracias a ello se pueden agrupar en sistemas de clasificación. (Vilches, Alfredo et al., 2012)

- **Identificación genética**, basada en la extracción de ADN y la amplificación a través la reacción en cadena de la polimerasa o PCR. Para extraer el ADN lo primero es llegar al núcleo de la célula y para ello se rompe la pared celular y la membrana plasmática. Después, se rompe la membrana celular para dejar libre el ADN y, por último, se precipita con alcohol para protegerlo de enzimas y que se desenrolle para amplificarlo mediante la PCR. -(Arnulfo Salas Betancourt, 2012). utilizando regiones genéticas determinadas.

En segundo lugar, se plantea la técnica de **metabarcoding** utilizada en las muestras de agua de mar, sedimentos y agua de lastre. Todos los organismos dejan trazas de su existencia en el medio en el que viven, en este caso particular en el agua. Dejan restos de su ADN en forma de: organismos unicelulares, restos biológicos y metabólicos, escamas, restos celulares, larvas,..., este ADN es extraído y amplificado mediante PCR. A continuación, las secuencias obtenidas son diferenciadas y asignadas taxonómicamente utilizando la base de datos genética GenBank (International Nucleotide Sequence Database Collaboration, 2019).

## 5 Resultados y discusiones

Este apartado se dedica a exponer todos los resultados obtenidos durante los estudios realizados en el TFM. Con el fin de plantearlos de manera ordenada el apartado se dividirá en dos grandes partes, en primer lugar, los resultados de la continuación con los estudios realizados en el TFG y, en segundo lugar, los resultados del estudio sobre las muestras de agua de lastre proporcionadas por buques que atracaron en el Puerto de Gijón.

### 5.1 Resultados y discusiones de la continuación con los estudios realizados en el trabajo fin de grado

En este epígrafe se plantean todos los resultados de la continuación con el estudio de mi TFG y, igual que en la metodología, se dividirá en cuatro partes. Cada una de las partes se corresponderá con las subtareas realizadas para la **elaboración de un mapa de riesgos de introducción de especies exóticas en el puerto comercial de Gijón (El Muelle)**. El cómputo de los resultados de cada una de las tareas dará lugar al mapa de riesgos, pero, como ya se comentó anteriormente, los resultados planteados no son los finales de BLUEPORTS y es por ello que dicho mapa no estará totalmente acabado.

#### 5.1.1 Resultados y discusiones de la creación de una base de datos sobre vectores de invasión biológica en el Puerto de Gijón

Como ya se mencionó en el apartado 4.1.1. de la metodología, la creación de la base de datos tiene por objetivo la obtención de unos gráficos dinámicos que representen el riesgo de contaminación biológica en cada uno de los muelles del Puerto de Gijón. Dichos gráficos estarán divididos en dos grandes secciones, agua de lastre e incrustaciones, por lo que para cada muelle se obtendrá un gráfico de cada. El número de gráficos obtenidos asciende a más de 90, por lo que, a continuación, se exponen algunos ejemplos de cada sección. Con el fin de que se planteen los gráficos más importantes se escogen los muelles que fueron resultado en el TFG. Como ya se explicó en el apartado 3.3, en el TFG se plantean dos tipos de resultados, por un lado, los puertos de los que vienen buques a Gijón con mayor riesgo de contaminación biológica. Y, por otro lado, en base a dichos puertos, se determina en que

muelles de Gijón existe más probabilidad de que se produzca dicha contaminación. Es por ello que, para exponer un ejemplo de los gráficos obtenidos en los trabajos del TFM, se eligen los muelles con mayor riesgo de contaminación determinados en el TFG.

Antes de empezar con los gráficos se explica que se representa y las unidades utilizadas en cada uno de ellos. Cada uno de los gráficos se corresponde con un muelle del Puerto de Gijón, los cuales se dividen y plantean como la Autoridad Portuaria los registra en la base de datos proporcionada. En el eje de las abscisas se plantean los puertos con riesgo de contaminación biológica en el muelle a analizar y, como ya se mencionó en el apartado 4.1.1., cada puerto va acompañado de dos códigos. El primer código representa las operaciones realizadas en El Musel y, el segundo, el país de origen del puerto. En el eje de las ordenadas se representa la cantidad de riesgos, esta se calcula sumando los riesgos de todos los buques que provienen del mismo puerto. Como ya se mencionó, en el caso del agua de lastre, el riesgo va en función de las GT de cada buque, y en el caso de las incrustaciones, en función de las GT y el tiempo de estancia en el puerto. El sumatorio de todas toneladas de arqueado bruto de un mismo puerto se representa con GTs y, como los datos son muy elevados, se expresan KGTs. El riesgo de cada muelle se representa por columnas y, con el fin de que en los gráficos se visualice la máxima cantidad de información posible, cada columna será sustituida por una imagen del tipo de buque más común en el muelle a analizar. En los gráficos se intenta que aparezcan los resultados de todos los puertos de los que proviene riesgo, pero hubo casos en los que fue necesario realizar un filtrado para poder exponer los resultados de una manera legible.

A continuación, se exponen cuáles son los gráficos que se van a plantear y se explica cada uno de ellos. En primer lugar, se plantean los gráficos de contaminación biológica por agua de lastre de los muelles de:

- Ribera 2ª alineación, gráfico 5-I. En este muelle se sitúa la empresa cementera Tudela Veguin, es por ello que la imagen representada en las columnas es de uno de los buques cementeros de dicha empresa. Como se puede observar, los riesgos de contaminación biológica por agua de lastre de los puertos de Vigo, A Coruña y Villagarcía resaltan respecto a los demás. El máximo riesgo de lo tiene Vigo con un valor de casi 3000 KGTs.
- Muelle norte, gráfico 5-II. Este muelle está operativo desde el 2012, tras la ampliación de El Musel, y los buques de carga general son los más frecuentes en dicho muelle. En este caso los puertos que destacan frente al resto son: Vigo, Villagarcía y A Coruña. Como se puede observar, a pesar de ser el segundo muelle con mayor riesgo de contaminación biológica por agua de lastre, el máximo valor lo tiene el

puerto de Vigo con 100 KGTs y este es 30 veces menor al máximo riesgo del muelle anterior. Esto quiere decir que el muelle de Ribera 2ª Alineación es, con mucha diferencia, el de mayor riesgo de contaminación biológica por agua de lastre.

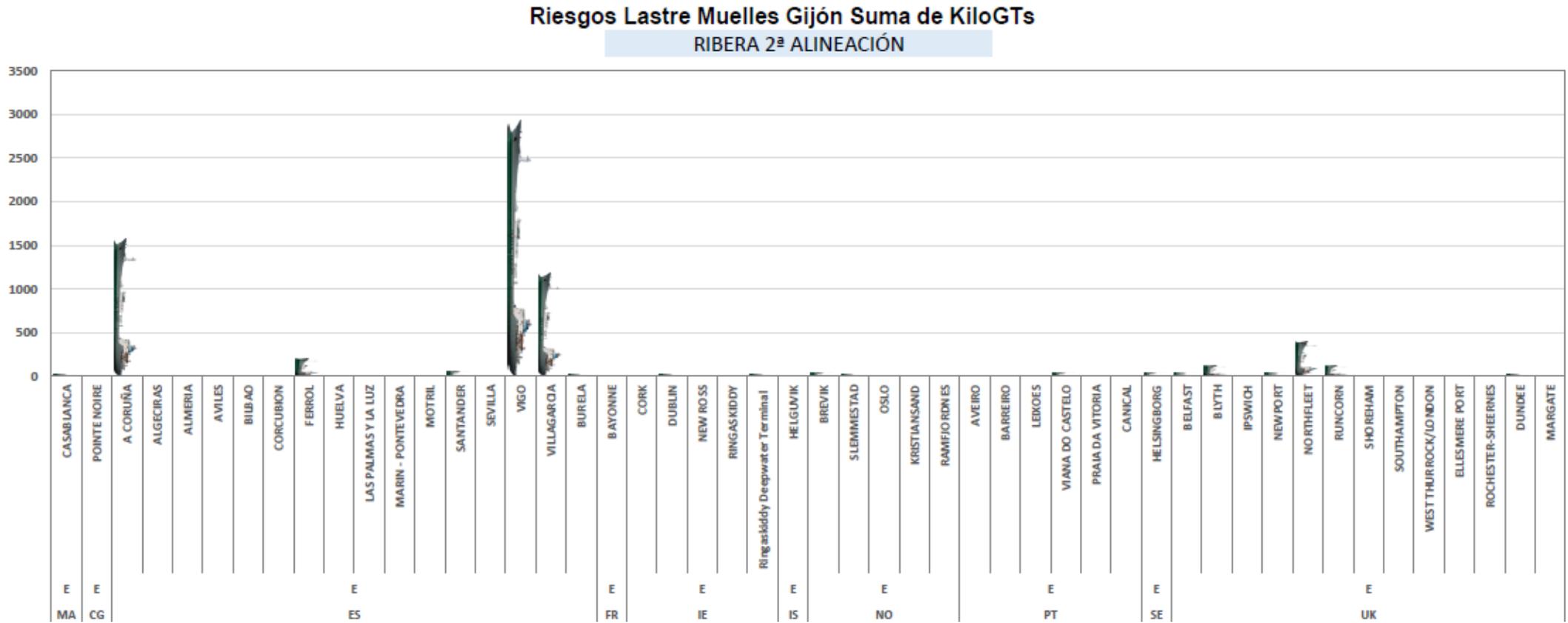


Gráfico 5-1: riesgo de contaminación biológica por agua de lastre en el muelle de Ribera 2ª Alineación.

### Riesgos Lastre Muelles Gijón Suma de KiloGTs

#### MUELLE NORTE

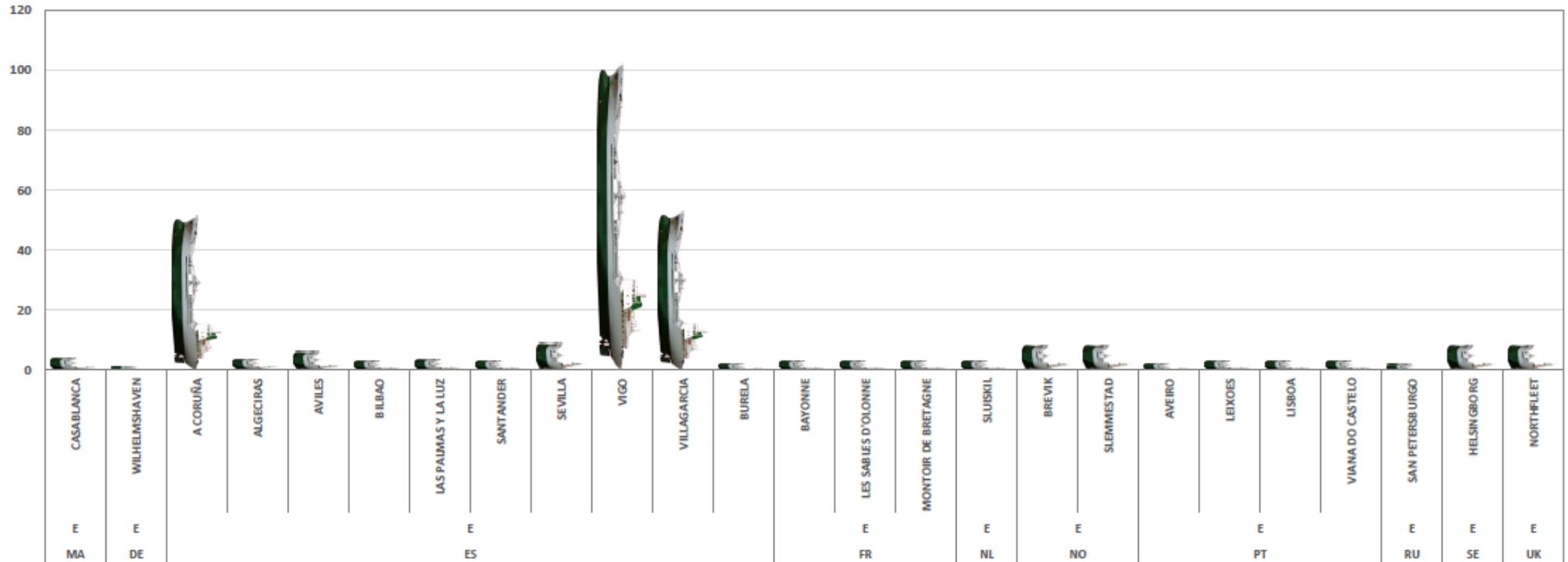


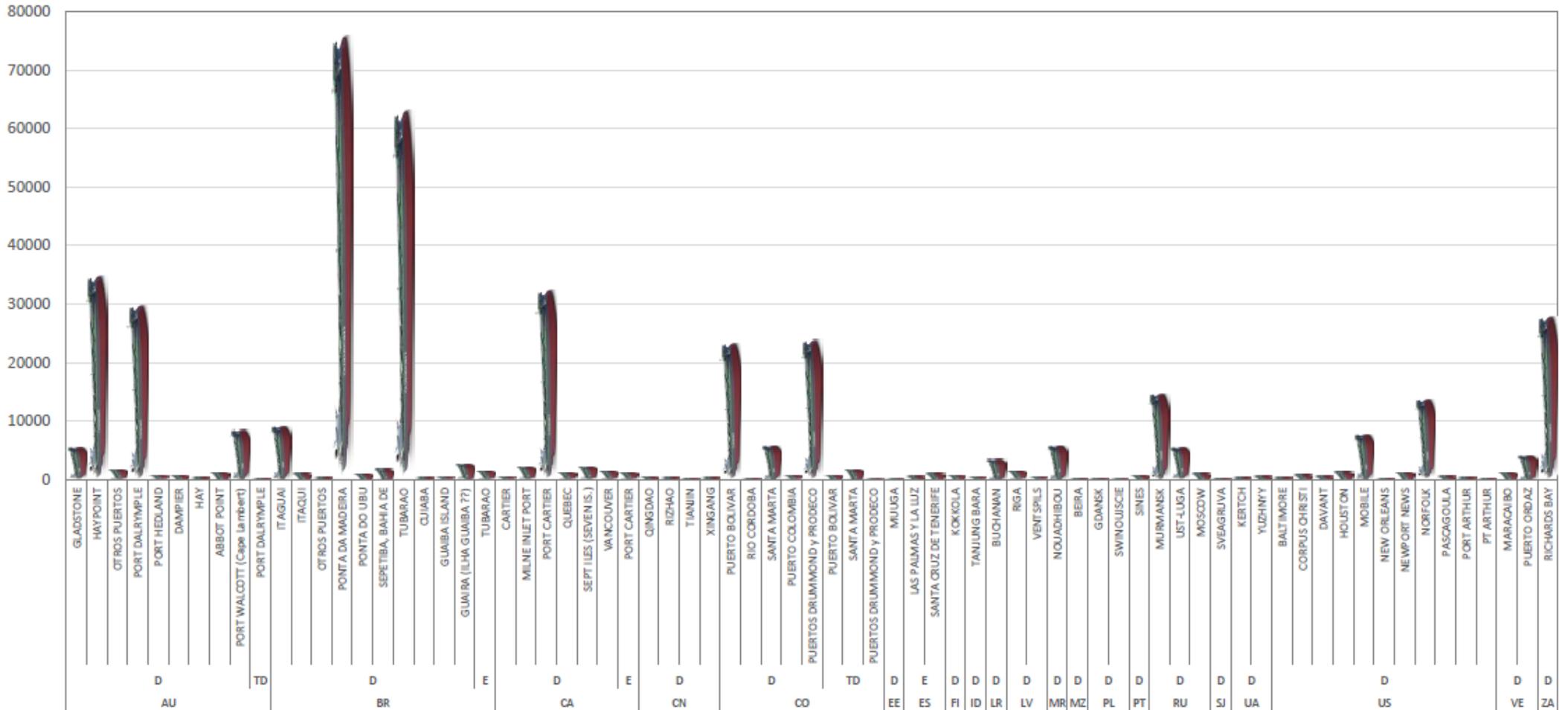
Gráfico 5-II: riesgo de contaminación biológica por agua de lastre en el Muelle Norte.

En segundo lugar, se plantean los gráficos de contaminación biológicas por incrustaciones de los muelles de:

- Ingeniero León, *gráfico 5-III*. En este muelle se sitúa la terminal de graneleros EHBI, por lo que el buque representado en las columnas es un granelero. Con el fin de poder visualizar el gráfico de una manera legible se tuvo que aplicar un filtro de “*mayor o igual que*” 200 KGTs por tiempo de estancia. En este caso el puerto con mayor riesgo de contaminación es Ponta da Madeira con más de 75.000 KGTs por tiempo de estancia.
- Muelle norte, *gráfico 5-IV*. Este muelle, como ya se mencionó al plantear los resultados de agua de lastre, está operativo desde el 2012, tras la ampliación de El Musel y el buque más común y el representado en las columnas es un buque de carga general. Para plantear los resultados de una manera legible se tuvo que filtrar a 80 KGTs por tiempo de estancia. Al igual que en el caso anterior, el Muelle Norte es el segundo con mayor riesgo de contaminación biológica y su máximo es de casi 2.000 KGTs por tiempo de estancia. Esto quiere decir que, a pesar de que el Muelle Norte es el segundo con mayor riesgo de contaminación, su máximo riesgo está muy por debajo del máximo riesgo en el muelle de Ingeniero León.

Riesgos Biofouling Muelles Gijón Suma de KiloGTs x TmpoEstncGij

MUELLE INGENIERO LEÓN  
 FILTRADO A VALORES DE Suma de KiloGTs x TmpoEstncGij >= 200



- Gráfico 5-III: riesgo de contaminación biológica por incrustaciones en el muelle de Ingeniero León, filtrado a 200 KGTs por tiempo de estancia.

Riesgos Biofouling Muelles Gijón Suma de KiloGTs x TmpoEstncGij

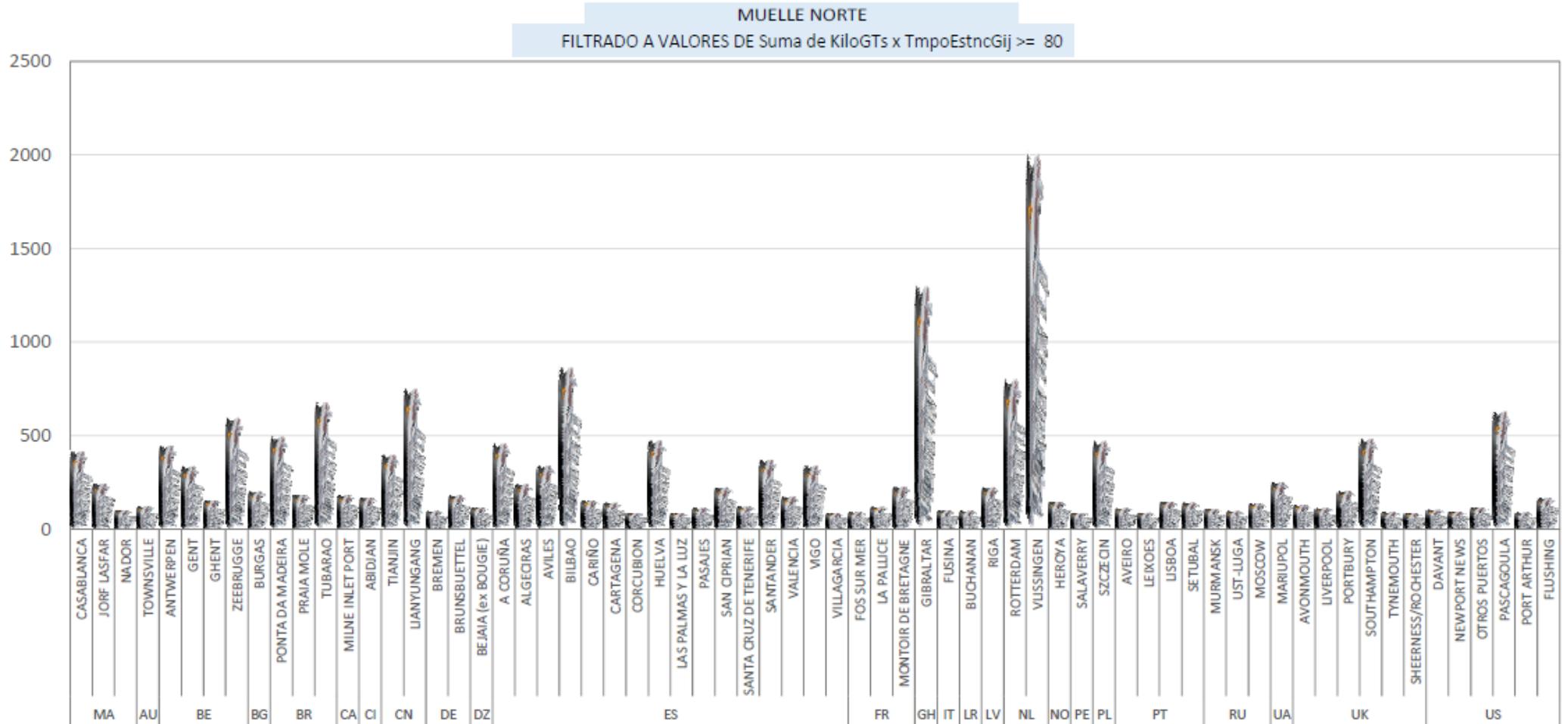


Gráfico 5-IV: riesgo de contaminación biológica por incrustaciones en el Muelle Norte, filtrado a 80 KGTs por tiempo de estancia.

Sobre los gráficos dinámicos obtenidos de la base de datos decir que, aunque en un muelle haya mucho riesgo de contaminación proveniente de un puerto, esto no implica que de él vayan a venir especies invasoras. Puede que la posibilidad de contaminación desde ese puerto sea muy elevada en función del tráfico que viene de él, pero que las especies de su región sean similares a las de Gijón y por tanto no se produzca dicha contaminación o que en dicho puerto no existan especies invasoras que puedan sobrevivir en Gijón. Con esto se quiere decir, que no todos los puertos, que en estos gráficos se plantean con mucho riesgo, tienen por qué ser los puertos con verdadero riesgo de contaminación en Gijón. Con esto se finaliza la presentación de ejemplos de gráficos de riesgo de contaminación biológica, más adelante, en el apartado 5.1.3, se determinará de que puertos con riesgo de contaminación van a venir especies invasoras.

### 5.1.2 Resultados y discusiones de la creación de un mapa de riesgos mediante herramienta GIS

En este apartado se plantean todos los resultados relativos a los mapas de riesgos obtenidos mediante un GIS, en primer lugar, los resultados del Global Mapper y, en segundo lugar, los resultados de la aplicación mapa 3D de Excel.

Antes de plantear los resultados del Global Mapper, se presenta una tabla de Excel en la que se determina cual es el tipo de buque más habitual en cada uno de los muelles del Puerto de Gijón, *tabla 5-1*. Estos resultados están obtenidos de la base de datos proporcionada por la Autoridad Portuaria de Gijón y gracias a ellos, como ya se planteó en el apartado 4.1.2., en cada uno de los muelles se añade una imagen del tipo de buque más común consiguiendo un mapa mucho más visual.

N.º	MUELLE	TIPO DE BUQUE PRIORITARIO
1	5ª ALINEACIÓN	Quimiquero
2	5ª ALINEACIÓN TERMINAL PROAS	Quimiquero
3	CONTRADIQUE PRINCIPE DE ASTURIAS	Gasero
4	EBHI	Granelero
5	ESPIGÓN I NORTE	Carga General
6	ESPIGÓN I NORTE TR. 2	Carga General
7	ESPIGÓN I SUR	Carga General
8	ESPIGÓN I SUR TR.1	Carga General
9	ESPIGÓN I SUR TR.2	Carga General

N.º	MUELLE	TIPO DE BUQUE PRIORITARIO
10	ESPIGÓN II NORTE	Carga General
11	ESPIGÓN II NORTE SILOS TUDELA VEGUÍN	Cementerero
12	ESPIGÓN II NORTE TR. 1	Cementerero
13	ESPIGÓN II NORTE TR. 2	Carga General
14	ESPIGÓN II SUR TERMINAL DITECPESA	Tanque
15	ESPIGÓN II SUR TR. 1	Carga General
16	ESPIGÓN II SUR TR. 2	Carga General
17	I. OLANO TERMINAL BUTANO	Tanque
18	INGENIERO LEON	Granelero
19	INGENIERO LEON TR.1	Granelero
20	INGENIERO LEON TR.2	Granelero
21	INGENIERO MOLINER	Carga General
22	INGENIERO OLANO	Carga General
23	INGENIERO OLANO TRAMO 1	Carga General
24	INGENIERO OLANO TRAMO 2	Carga General
25	LA OSA 7ª ALINEACIÓN	Portacontenedores
26	LA OSA 7ª ALINEACIÓN TERMINAL CLH	Tanque
27	LA OSA 7ª ALINEACIÓN TERMINAL GALP	Tanque
28	LA OSA 7ª ALINEACIÓN TERMINAL PETR.ASTUR	Tanque
29	LA OSA 7ª ALINEACIÓN TERMINAL T.C.G.	Portacontenedores
30	LA OSA 7ª ALINEACIÓN TR. 2	Crucero
31	LA OSA 7ª ALINEACIÓN TR. 3	Carga General
32	LA OSA 8ª ALINEACIÓN	Carga General
33	LA OSA 9ª ALINEACIÓN	Carga General
34	LA OSA RAMPA RO/RO	Carga rodada (RO/RO)
35	MARÍTIMA 5ª ALINEACIÓN	Carga General
36	MUELLE NORTE	Carga General
37	MUELLE NORTE TR. 1	Carga General
38	MUELLE NORTE TR. 2	Carga General
39	PANTALAN NORTE	Tanque
40	PANTALAN SUR	Quimiquero
41	RIBERA 1ª ALINEACION	Carga General
42	RIBERA 2ª ALINEACION	Cementerero
43	TERMINAL C.L.H.	Quimiquero
44	TERMINAL CEFERINO BALLESTEROS EN MUELLE MOLINER	Granelero
45	TERMINAL CONTENEDORES	Portacontenedores
46	TERMINAL DITECPESA	Tanque
47	TERMINAL GALP	Tanque

Tabla 5-I: tabla del tipo de buque prioritario en cada uno de los muelles del Puerto de Gijón.

Como se puede observar la base de datos proporcionada por la Autoridad Portuaria de Gijón, divide El Musel en 47 muelles, por lo que el estudio se plantea en función de dichas divisiones. En muchos casos los muelles se dividen en tramos y, en función de la posición de atraque del buque, este se sitúa en un tramo u otro. También hay ocasiones en las que el mismo muelle esta nombrado de dos maneras diferentes, por ejemplo, antes de que se construyera la ampliación de El Musel, se llamaba Muelle Norte a lo que hoy referenciamos como Ingeniero Olano. Con el fin de determinar donde se encuentran los muelles planteados en la tabla, a cada uno de ellos se le da un número y estos se representan en la *figura 5-I* del Puerto de Gijón. Dicha figura es una captura de pantalla de Google Maps en la que se añadieron los números correspondientes a cada muelle del puerto de El Musel. Cuando se representan dos números con un guion significa que, en la base de datos proporcionada por la Autoridad Portuaria, se dan dos nombres diferentes para el mismo muelle.

A continuación, se plantea la *figura 5-II* del Puerto de Gijón, pero esta vez sacada del Global Mapper. En dicha figura se pueden apreciar las imágenes de todos los buques situados en su muelle correspondiente. Estas imágenes, como ya se mencionó, se corresponden con el tipo de buque más habitual en el muelle en el que se sitúan. Además, si comparamos la *figura 5-I* y la *figura 5-II*, cada número representado en la primera figura se corresponde con una imagen de un buque en la segunda figura. De esta manera, si se observa el número correspondiente a la imagen de un buque, en la *tabla 5-I* se puede comprobar el nombre del muelle en el que se sitúa y cual es el tipo de buque más habitual que atraca en dicho muelle.

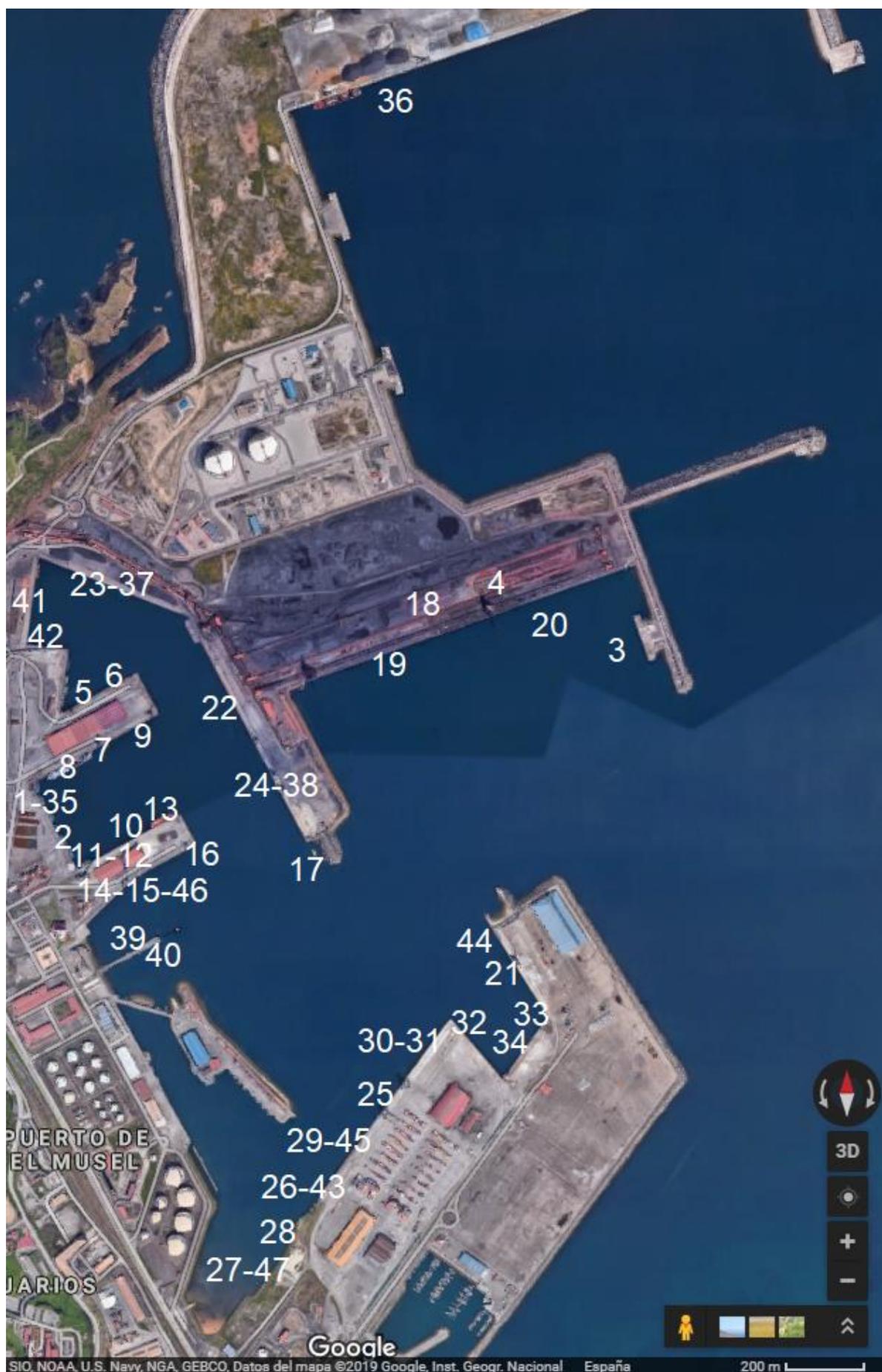


Figura 5-I: captura de pantalla del Gogle Maps en la que se representan los números correspondientes a cada uno de los muelles del Puerto de Gijón según la tabla 5-I.

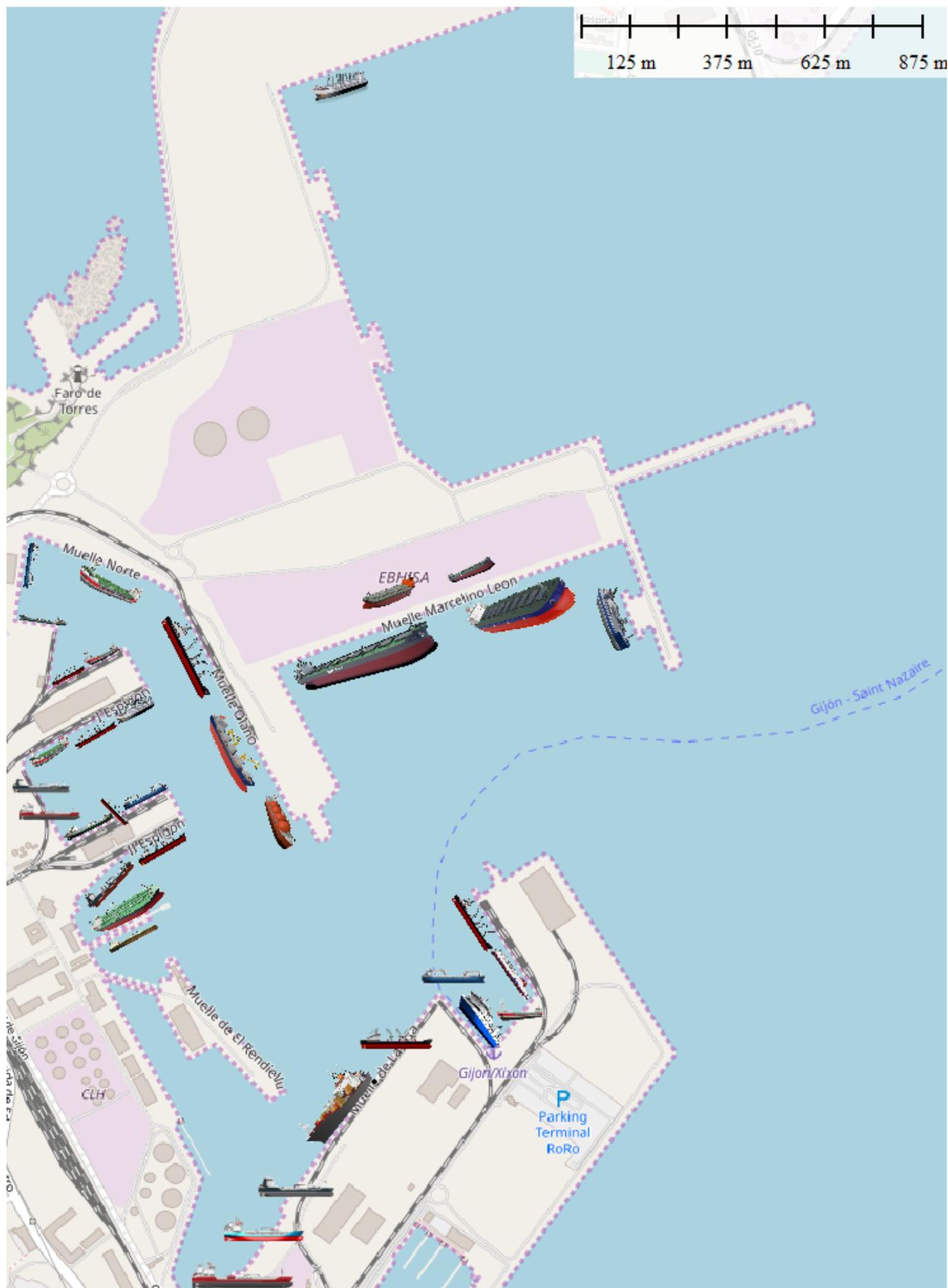


Figura 5-II: captura de pantalla del Global Mapper en la que se representan los buques más comunes en cada muelle del Puerto de Gijón.

En el GIS, para plantear los resultados del posible riesgo se realizaron dos capas diferentes, una para el agua de lastre y otra para las incrustaciones. Las dos capas son similares, pero se decidió separar los estudios de riesgo para poder plantear los resultados de una manera más ordenada. En todos los buques de cada una de las capas, tal como se explicó en el apartado 4.1.2., se añadió un enlace a Google Maps y un PDF con el gráfico de riesgo de contaminación biológica. El enlace a Google Maps es similar en cada una de las capas, en el se puede observar una vista satélite del muelle, pero en el caso del PDF, en una capa se meten los gráficos de incrustaciones y en la otra los de agua de lastre.

A continuación, se van a exponer dos figuras y un gráfico que sirven de ejemplo para ver como se plantean los enlaces añadidos a cada buque. El buque elegido es el petrolero situado en el Pantalán Norte (número 39 en la *figura 5-I*) de la capa de incrustaciones. La *figura 5-III* se corresponde con una captura de pantalla del Global Mapper en la que se observan los enlaces añadidos al buque. El GIS tiene por objetivo plantear unos resultados asociados a un punto geográfico, de este modo, cada vez que pinchamos para ver la información asociada a un buque del Puerto de Gijón nos sale una pestaña emergente con todos los enlaces y documentos añadidos. En la *figura 5-III* se puede observar dicha pestaña emergente, con los enlaces del Google Maps y el PDF del riesgo de contaminación biológica por incrustaciones. En la *figura 5-VI* se plantea una captura de pantalla de la imagen satélite del Google Maps, a la que accedes pinchando en el primer enlace asociado al buque. Y, por último, se plantea el gráfico del PDF asociado al segundo enlace, *gráfico 5-V*, en este se expone cual es el riesgo de contaminación biológica por incrustaciones en el Pantalán Norte.

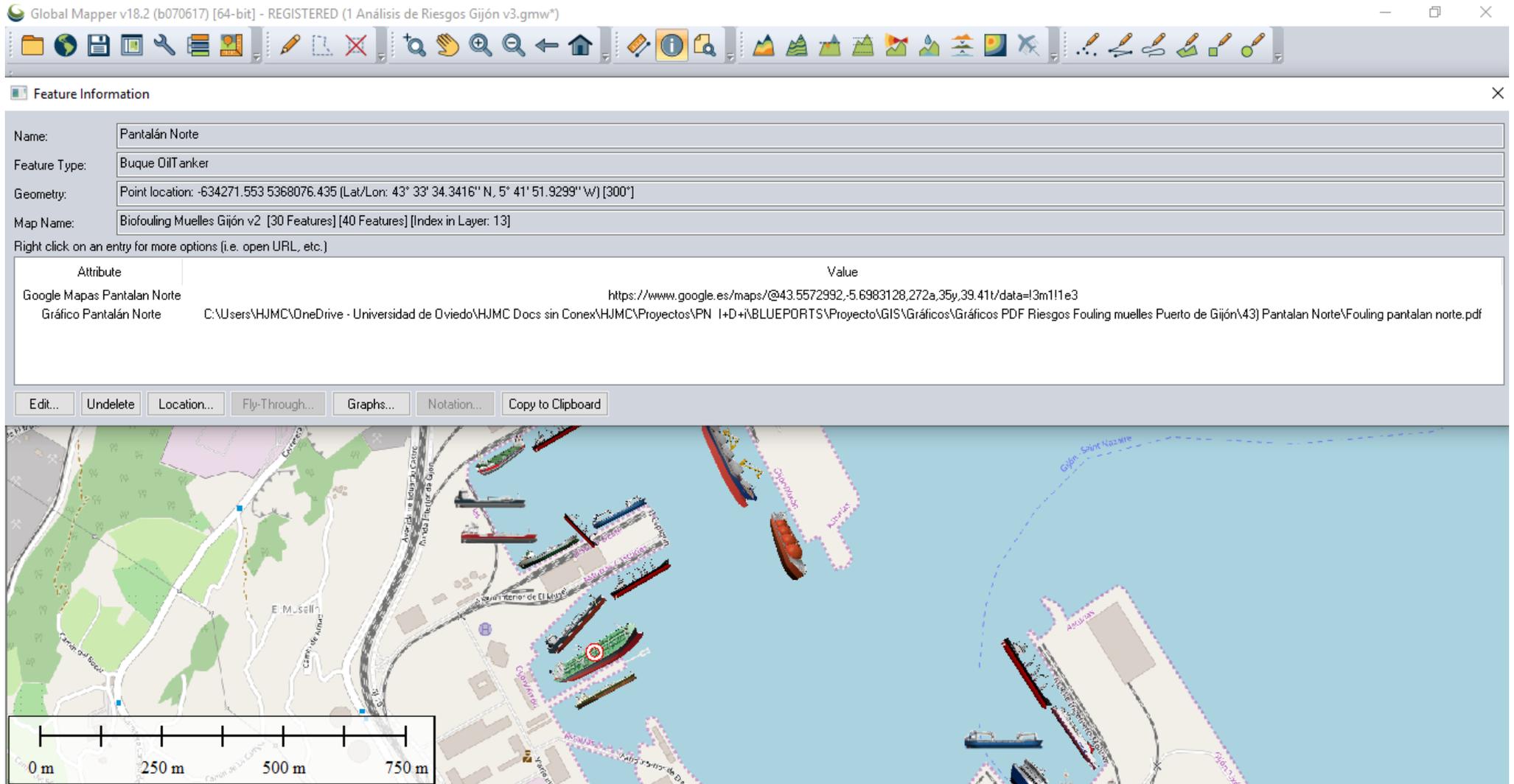


Figura 5-III: captura de pantalla del Global Mapper en la que se pueden observar los enlaces añadidos al buque situado en el Pantalán Norte en la capa de incrustaciones.



Figura 5-IV: captura de pantalla de la imagen en satélite de Google Maps a la que se accede tras pinchar en el primer enlace añadido en el buque del Pantalán Norte.

Riesgos Biofouling Muelles Gijón Suma de KiloGTs x TmpoEstncGij

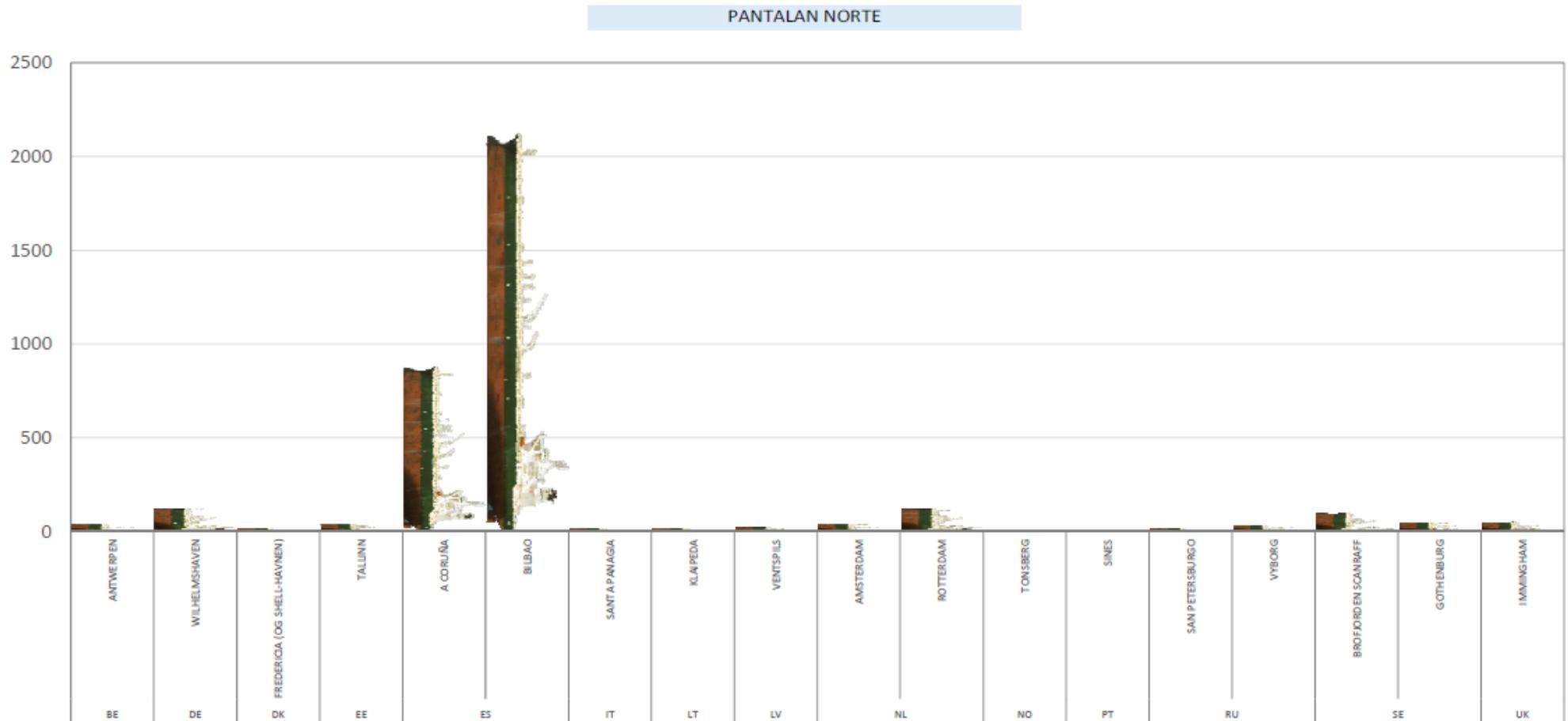


Gráfico 5-V: riesgo de contaminación biológica por incrustaciones en el Pantalán Norte, al que se accede a través del segundo enlace añadido en el buque de dicho pantalán en la capa de incrustaciones del mapa de riesgos.

Por último, para terminar con los resultados del Global Mapper, se plantea la *figura V* con las principales rutas navegación que siguen los buques que vienen al Puerto de Gijón. Tal como se explicó en el apartado 4.1.2., durante la realización del TFG ya se había comenzado con la representación de las rutas más importantes de los buques que venían a Gijón, pero en la realización del TFM se completó este trabajo. La Autoridad Portuaria de Gijón no tiene información relativa a las rutas exactas que llevaron los buques antes de llegar a Gijón, pero el objetivo de este mapa es representar de una manera visual de donde pueden venir las posibles especies invasoras. Para ello se realizan unas supuestas rutas desde el puerto de origen hasta el Puerto de Gijón sin paradas.



A continuación, se comienza con el planteamiento de los resultados de la aplicación de Excel, Mapa 3D. Esta aplicación, tal como se expuso en el apartado 4.1.2., utiliza la información de la base de datos para realizar un mapa 3D con unos gráficos georreferenciados. Este sistema de información geográfica es mucho más sencillo que el Global Mapper, solo deja representar los gráficos a los que se vincula en Excel sin poder añadir ninguna otra información. A pesar de esto, también se decidió plantear los resultados de esta manera, ya que una vez acabada la base de datos la obtención del mapa fue relativamente fácil y el resultado es mucho más visual que en una gráfica.

Se van a plantear dos mapas, en el primero, se representa el riesgo de contaminación biológica por incrustaciones y, en el segundo, se representa el riesgo de contaminación biológica por agua de lastre:

- Riesgo de contaminación biológica por incrustaciones, figura 5-VI. El riesgo de contaminación, como en el caso de los gráficos del apartado anterior, se representa en función al sumatorio de las toneladas de arqueo bruto por el tiempo de estancia. Cuanto mayor es la columna, mayor es el riesgo de contaminación por los buques que vienen de ese lugar. Como se puede observar las columnas más altas están en Australia y Brasil.
- Riesgo de contaminación biológica por agua de lastre, figura 5-VII. En el caso de contaminación por agua de lastre, el riesgo, al igual que en el apartado anterior, se representa en función del sumatorio de las toneladas de arqueo bruto. Como se puede observar esta vez el mayor riesgo de contaminación proviene de Galicia ya que las columnas más altas están en esta región. Por último, decir que, esta vez la captura de pantalla está realizada a un mapa con forma de globo terráqueo, no como en el caso anterior que la captura era de un mapa plano. Esto se debe a que, en el primer caso, si no elegíamos la opción de mapa plano no se podían ver todos los resultados en una misma imagen. A diferencia del segundo caso, que como el posible riesgo solo proviene de regiones cercanas a Gijón, se pudo expresar de esta manera.

Para finalizar, decir que, a pesar de que en el TFM todos los resultados iban a estar planteados desde cada uno de los muelles del Puerto de Gijón, se decidió exponer estos gráficos ya que son muy visuales. Dichos gráficos siguen el planteamiento del del TFG, presentando los resultados desde los posibles puertos de origen, en vez de como en el TFM desde cada muelle, pero la aplicación Mapa 3D del Excel no permitía hacerlo de otra manera.

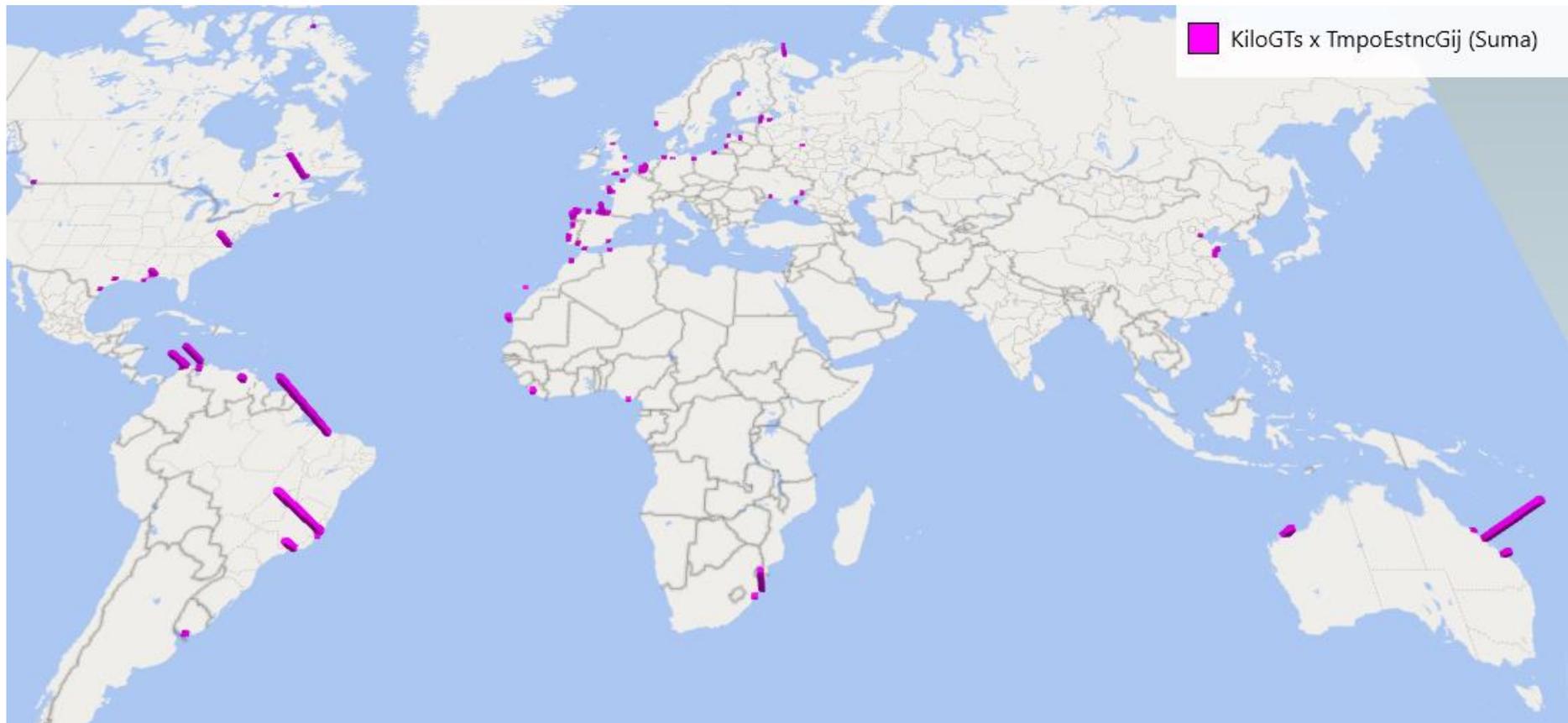


Figura 5-VI: captura de pantalla de la aplicación de Excel Mapa 3D, en la que se representa el riesgo de contaminación biológica por incrustaciones procedente de cada uno de los puertos de los que vienen buques a Gijón.

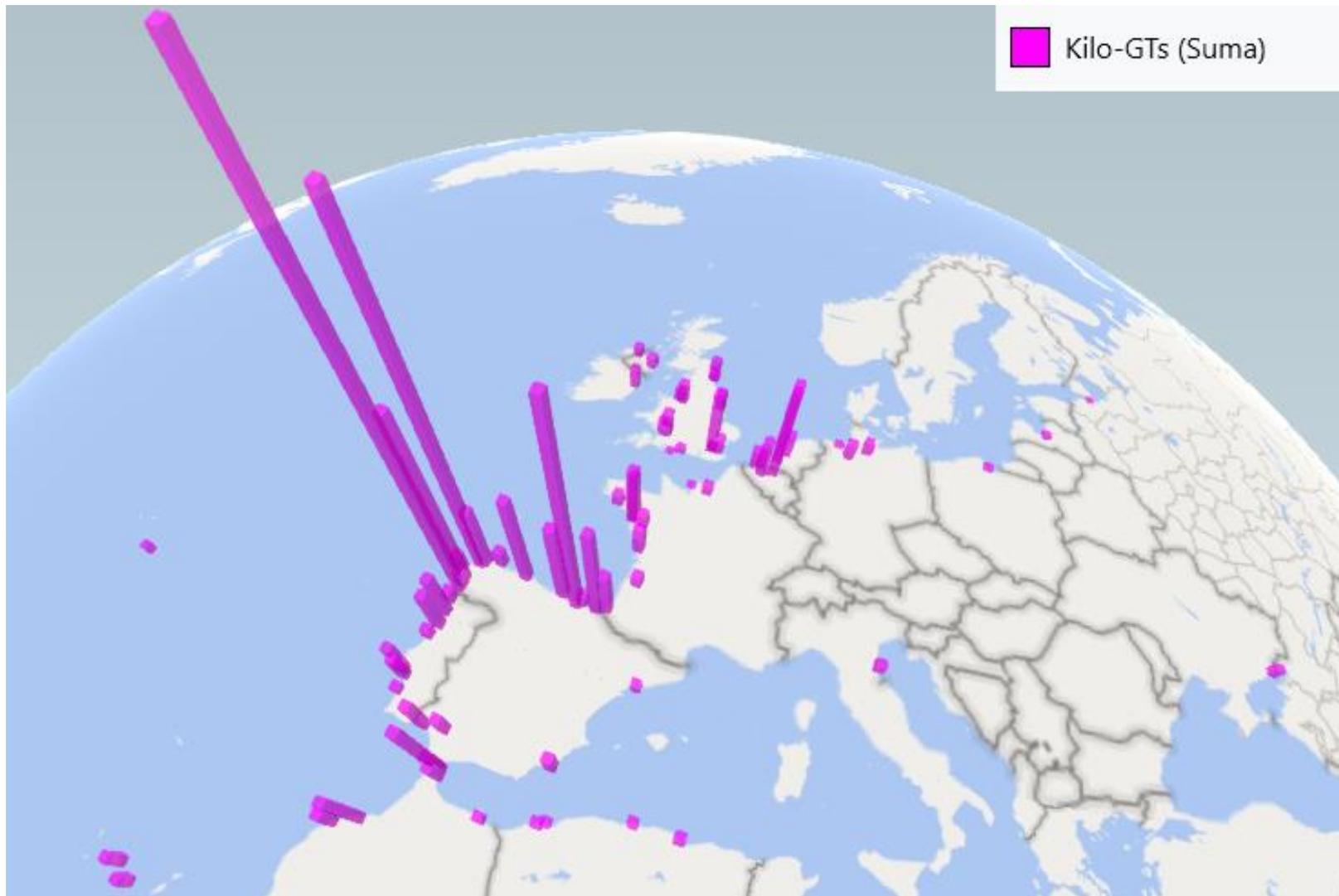


Figura 5-VII: captura de pantalla de la aplicación de Excel Mapa 3D, en la que se representa el riesgo de contaminación biológica por agua de lastre procedente de cada uno de los puertos de los que vienen buques a Gijón.

### 5.1.3 Resultados y discusiones de la evaluación de riesgos de bioseguridad

Este apartado se dedica a exponer los resultados relativos a la evaluación de riesgos de bioseguridad, que tal como se explica en el apartado 4.1.3., se realizan a través de la página web GISD. En la primera parte de este apartado se plantean todos los resultados relativos al GISD y, en la segunda parte, se explica cómo se añadieron dichos resultados al mapa de riesgos

En primer lugar, comenzamos con los resultados relativos a la base de datos de especies invasoras, GISD. Antes de comenzar a plantear los resultados, decir que, el estudio se dividió en dos partes, por un lado, el agua de lastre y, por otro, las incrustaciones, el modo de trabajo fue similar pero los estudios se realizaron de forma separada. El primer paso antes de realizar las búsquedas en la base de datos fue determinar, por muelles, cuáles eran los puertos con suficiente riesgo de contaminación y cuáles no. Como ya se explicó en el apartado 4.1.3., en el caso del agua de lastre, se analizaron todos los puertos con un riesgo superior a 60 KGTs y, en el caso de las incrustaciones, se analizaron todos los puertos con un riesgo superior a 800 KGTs por tiempo de estancia. Para determinar si los puertos tenían un riesgo superior a los planteados, muelle por muelle, se analizaron los gráficos de incrustaciones y agua de lastre determinando que puertos superaban los filtros de riesgos elegidos. Una vez finalizada la determinación de los puertos a analizar se empezó con la búsqueda en el GISD, que como ya se mencionó, se realizó aplicando los filtros de la *tabla 4-III*. A continuación, en base a los resultados obtenidos en el GISD se plantean dos tablas de las posibles especies invasoras, una del estudio del agua de lastre y otra del estudio de incrustaciones:

La *tabla 5-II*, es de las posibles especies invasoras por agua de lastre, en ella se plantean, separados por muelles, los puertos con un riesgo mayor a 60 KGTs de los que se determinó que pueden venir especies invasoras.

MUELLE	PUERTOS CON RIESGO > 60 KGTs	CÓDIGO PAÍS	ESPECIES
CONTRADIQUE PRINCIPE DE ASTURIAS	Rotterdam	NL	<i>Bugula neritina, Dreissena polymorpha, Gracilaria vermiculophylla, Polysiphonia brodiei</i> y <i>Mytilus galloprovincialis</i>
ESPIGON I SUR TR 1	Antwerpen	BE	<i>Rangia cuneata</i>
INGENIERO OLANO	Rotterdam	NL	<i>Bugula neritina, Dreissena polymorpha, Gracilaria vermiculophylla, Polysiphonia brodiei</i> y <i>Mytilus galloprovincialis</i>
	Antwerpen	BE	<i>Rangia cuneata</i>
OSA RAMPA RO/RO	St Nazaire	FR	<i>Mya arenaria</i>
	Monitoir de Bretagne		
MUELLE NOR-TE	Antwerpen	BE	<i>Rangia cuneata</i>
	Gent	BE	<i>Bugula neritina</i> y <i>Dreissena polymorpha</i>
	Santa Cruz de Tenerife	ES	<i>Polysiphonia brodiei</i>
	La Pallice	FR	<i>Mya arenaria</i>
	Rotterdam	NL	<i>Bugula neritina, Dreissena polymorpha, Gracilaria vermiculophylla, Polysiphonia brodiei</i> y <i>Mytilus galloprovincialis</i>

Tabla 5-II: posibles especies invasoras por agua de lastre de los puertos con un riesgo mayor a 60 KGTs, en cada uno de los muelles del Puerto de Gijón.

La *tabla 5-III* muestra las posibles especies invasoras por incrustaciones, en ella se plantean, separados por muelles, los puertos un riesgo mayor a 800 KGTs por tiempo de estancia de los que se determinó que pueden venir especies invasoras.

MUELLE	PUERTOS CON RIESGO > 800 KGTs x tiempo	CÓDIGO PAÍS	ESPECIES
INGENIERO LEON	Haypoint	AU	<i>Acanthophora spicifera</i> , <i>Perna viridis</i> , <i>Bugula neritina</i> y <i>Gracilaria salicornia</i>
	Port Dalrymple	AU	
	Abbot Point	AU	
	Port Cartier	CA	<i>Geukensia demissa</i>
	Sept Iles	CA	
	Mobile	US	<i>Dreissena polymorpha</i>
	Newport News	US	<i>Codium fragile</i> ssp. <i>Tomentosoides</i> , <i>Dreissena polymorpha</i> , <i>Gracilaria vermiculophylla</i> y <i>Styela plicata</i>
Norfolk	US		
INGENIERO LEON TR.1	Gladstone	AU	<i>Acanthophora spicifera</i> , <i>Perna viridis</i> , <i>Bugula neritina</i> y <i>Gracilaria salicornia</i>
	Haypoint	AU	
	Port Dalrymple	AU	
	Port Walcott (Cape Lambert)	AU	<i>Acanthophora spicifera</i> , <i>Caulerpa taxifolia</i> , <i>Codium fragile</i> ssp. <i>Tomentosoides</i> , <i>Crassostrea gigas</i> , <i>Gracilaria salicornia</i>
	Port Cartier	CA	<i>Geukensia demissa</i>
	Mobile	US	<i>Dreissena polymorpha</i>
	Norfolk	US	<i>Codium fragile</i> ssp. <i>Tomentosoides</i> , <i>Dreissena polymorpha</i> , <i>Gracilaria vermiculophylla</i> y <i>Styela plicata</i>
INGENIERO LEON TR.2	Gladstone	AU	<i>Acanthophora spicifera</i> , <i>Perna viridis</i> , <i>Bugula neritina</i> y <i>Gracilaria salicornia</i>
	Haypoint	AU	
	Port Dalrymple	AU	
	Port Walcott (Cape Lambert)	AU	<i>Acanthophora spicifera</i> , <i>Caulerpa taxifolia</i> , <i>Codium fragile</i> ssp. <i>Tomentosoides</i> , <i>Crassostrea gigas</i> , <i>Gracilaria salicornia</i>
	Port Cartier	CA	<i>Geukensia demissa</i>
	Mobile	US	<i>Dreissena polymorpha</i>
	Norfolk	US	<i>Codium fragile</i> ssp. <i>Tomentosoides</i> , <i>Dreissena polymorpha</i> , <i>Gracilaria vermiculophylla</i> y <i>Styela plicata</i>
INGENIERO MOLINER	Klaipeda	LT	<i>Dreissena polymorpha</i> y <i>Mya arenaria</i>
INGENIERO OLANO	Haypoint	AU	<i>Acanthophora spicifera</i> , <i>Perna viridis</i> , <i>Bugula neritina</i> y <i>Gracilaria salicornia</i>
	Norfolk	US	<i>Codium fragile</i> ssp. <i>Tomentosoides</i> , <i>Dreissena polymorpha</i> , <i>Gracilaria vermiculophylla</i> y <i>Styela plicata</i>

Tabla 5-III: posibles especies invasoras por incrustaciones de los puertos con un riesgo mayor a 800 KGTs por tiempo de estancia, en cada uno de los muelles del Puerto de Gijón. AU - Australia, CA - Canadá, US - Estados Unidos, LT - Lituania.

En las dos tablas hay cuatro columnas: la primera, se corresponde con el muelle en el que pueden aparecer las contaminaciones biológicas; la segunda, con los puertos (con un riesgo superior al determinado en el encabezado) de los que se determinó que pueden venir especies invasoras; la tercera, con el código del país al que pertenece el puerto; y la cuarta, con las posibles especies invasoras. A continuación, se plantean las discusiones de los resultados planteados en las dos tablas anteriores:

Por un lado, tanto en el estudio de agua de lastre como en el de incrustaciones, se determinaron puertos con riesgo en función de la base de datos de la Autoridad Portuaria, pero que en GISD no se determinó que pudieran venir especies invasoras desde esa zona. Esto puede ser porque en las zonas de dichos puertos no existen especies invasoras que puedan venir, o que, como la base de datos GISD está realizada por investigadores que añaden las especies invasoras encontradas en cada región, es posible que no estén introducidas todas las especies. En base a esto se puede afirmar que no todos los muelles que se determinaron con mayor riesgo en el TFG son en realidad los que más posibilidad de riesgo tienen. Tal como se adelantó en el apartado 5.1.1, en los gráficos dinámicos se plantea un posible riesgo de contaminación desde un puerto en función de su tráfico marítimo, pero además de esto se deben tener en cuenta las posibles especies invasoras que pueden venir de dicho puerto.

En la siguiente tabla se plantea la comparación de, los muelles con mayor riesgo de contaminación determinados en base a los gráficos dinámicos, con los muelles con mayor riesgo de contaminación determinados en base al GISD, *tabla 5-IV*.

	<b>Muelles con mayor riesgo contaminación en base a los gráficos dinámicos (de mayor a menor)</b>	<b>Muelles con mayor riesgo contaminación en base al GISD</b>
<b>Agua de lastre</b>	Ribera 2ª Alineación <b>Muelle norte</b> <b>Espigón I Sur tramo 1</b> Espigón I Sur tramo 2	Contradique Principe de Asturias <b>Espigón I Sur tramo 1</b> Ingeniero Olano Osa Rampa RO/RO <b>Muelle Norte</b>
<b>Incrustaciones</b>	<b>Ingeniero León tramo 1 y 2</b> Muelle norte	<b>Ingeniero León tramo 1 y 2</b> Ingeniero Moliner Ingeniero Olano

*Tabla 5-IV: comparación de: los muelles con mayor riesgo de contaminación determinados en base a los gráficos dinámicos con los muelles con mayor riesgo de contaminación determinados en base al GISD.*

A continuación, se analizan los resultados de la *tabla 5-IV* en dos partes, agua de lastre e incrustaciones, para ello se comparan los muelles con mayor riesgo de contaminación determinados en el TFG, apartado 3.3., con los muelles de mayor riesgo de contaminación en función a los resultados del GISD:

- En el caso del agua de lastre, el muelle de Ribera 2ª alineación, que con mucha diferencia era el muelle con más posibilidad de riesgo de contaminación en función a los resultados de los gráficos dinámicos, en realidad no tiene riesgo de contaminación en base a los resultados del GISD. Esto se puede deber a que la biota de las regiones de las que provenía el riesgo de contaminación, Vigo, A Coruña y Bilbao, son similares a las de Gijón. En el caso del Muelle Norte y el Espigón Sur tramo 1, el riesgo se determina por los gráficos dinámicos y por el GISD. El Espigón sur Tramo 2 aparece con riesgo en los gráficos dinámicos, pero no en el GISD. Y hay otros tres muelles, Contradique Príncipe de Asturias, Ingeniero Olano y muelle de la Osa rampa RO/RO, que no tenían riesgo en base a los gráficos dinámicos, pero que si lo tienen en el caso del GISD.
- En el caso de las incrustaciones, el muelle con mayor riesgo de contaminación en base a los gráficos dinámicos, muelle Ingeniero León tramo 1 y 2, también es el muelle del que pueden venir un mayor número de especies invasoras. Respecto al Muelle Norte, se determinaba riesgo en base a los gráficos dinámicos, pero en el GISD no. Como se puede observar este muelle por incrustaciones no tiene riesgo, pero como ya se determinó, por lastre sí. Por último, los muelles Ingeniero Moliner e Ingeniero Olano, tienen riesgo en base al GISD, pero no lo tenían en base a los gráficos dinámicos.

Por otro lado, como se puede observar, en las dos tablas, *5-II* y *5-III*, hay especies invasoras que pueden venir desde varios puertos. Esto, en la mayoría de los casos, ocurre porque dichos puertos están muy cerca y la biota es similar. Como resultado final obtenemos 7 posibles especies invasoras por contaminación biológica a través del agua de lastre y 12 posibles especies invasoras por contaminación biológica a través de las incrustaciones. Siendo cuatro de ellas iguales en cada grupo, por lo que son posibles especies invasoras por los dos medios de contaminación biológica. A continuación, se plantea una tabla resumen, *tabla 5-V*, con las posibles especies invasoras determinando si su posible contaminación es por agua de lastre o por incrustaciones.

Posibles especies invasoras	por agua de lastre	por incrustaciones
<i>Acanthophora spicifera</i>		X
<i>Bugula neritina</i>	X	X
<i>Caulerpa taxifolia</i>		X
<i>Codium fragile ssp. tomentosoides</i>		X
<i>Crassostrea gigas</i>		X
<i>Dreissena polymorpha</i>	X	X
<i>Geukensia demissa</i>		X
<i>Gracilaria salicornia</i>	X	X
<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	X	X
<i>Mya arenaria</i>	X	X
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	X	
<i>Perna viridis</i>		X
<i>Polysiphonia brodiei</i>	X	
<i>Rangia cuneata</i>	X	
<i>Styela plicata</i>		X

Tabla 5-V: resumen de las posibles especies invasoras, por agua de lastre y por incrustaciones.

Por último, para acabar con este apartado, se plantean los resultados añadidos al mapa de riesgos. En cada uno de los muelles en los que se determinaron posibles especies invasoras, se añadieron enlaces a la página web GISD y PDFs con la información de dichas especies. A continuación, se añaden una figura que servirá como ejemplo para exponer como se plantean los resultados en el mapa de riesgos. La *figura 5-VIII* es una captura de pantalla del Global Mapper en la que se pueden observar los enlaces relacionados con los resultados GISD añadidos al buque situado en el tramo 1 del muelle Ingeniero León. En dicha figura se observa una ventana emergente en la que aparecen todos los enlaces correspondientes a dicho muelle: en primer lugar, están el PFD del gráfico de riesgo y el enlace a Google Maps añadido en la tarea anterior y, a continuación, están todos los enlaces correspondientes a los resultados del GISD. En cada muelle se añaden, separados en función del puerto de procedencia del que pueden venir, en primer lugar, los enlaces a la página web GISD en los que se determina toda la información de las especies y, en segundo lugar, unos PDFs sacados de GISD con la misma información que se plantea en la página web, pero a los que se puede acceder sin conexión a internet.

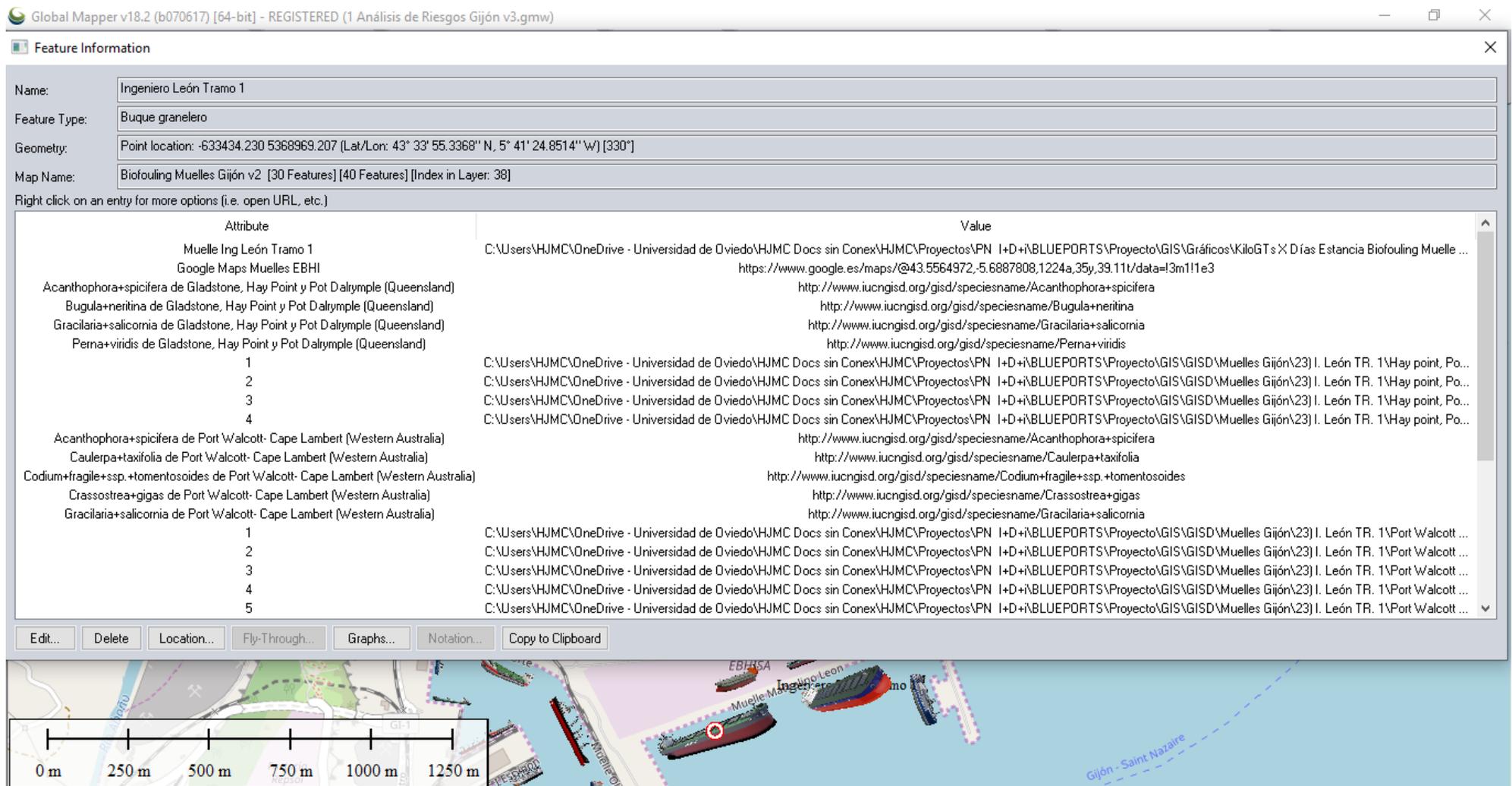


Figura 5-VIII: captura de pantalla del Global Mapper en la que se observan los enlaces relacionados con los resultados del GISD añadidos al tramo 1 del muelle de Ingeniero León.

A continuación, se añade la *figura 5-IX* en la que se puede observar una captura de pantalla de la página web GISD. Esta sirve de ejemplo para ver a que se accede a través de los enlaces añadidos en cada uno de los muelles en los que se encontraron posibles especies invasoras. En la figura se ve que en la página web se explica toda la información de la especie dividida en secciones: general, distribución, impacto, información de la invasión, bibliografía y contacto de la persona que subió a la base de datos la información de la especie. Los PDFs se deciden añadir a pesar de contener la misma información que la proporcionada por la página web, ya que se pueden consultar sin falta de tener conexión a internet.

www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Gracilaria+salicornia

**GLOBAL INVASIVE SPECIES DATABASE**

HOME ABOUT THE GISD HOW TO USE CONTACTS

ISSG Invasive Species Specialist Group

100 OF THE WORST

*Gracilaria salicornia* 简体中文 正體中文 System : Marine

Kingdom	Phylum	Class	Order	Family
Plantae	Rhodophycota	Rhodophyceae	Gigartinales	Gracilariaceae

FULL ACCOUNT (PDF)

GENERAL DISTRIBUTION IMPACT MANAGEMENT BIBLIOGRAPHY CONTACT

http://www.total.com/fondation/fr/index.htm

**COMMON NAME** canot-canot (Arabic), red alga (English)

**SYNONYM** *Sphaerococcus salicornia*, Agardh  
*Corallopsis salicornia*, Greville  
*Corallopsis dichotoma*, Ruprecht  
*Corallopsis cacalia*, Agardh  
*Corallopsis salicornia*, var. *minor* Sonder  
*Corallopsis opuntia*, Agardh  
*Corallopsis conrescens*, Reinbold  
*Gracilaria cacalia*, Dawson

**SIMILAR SPECIES**

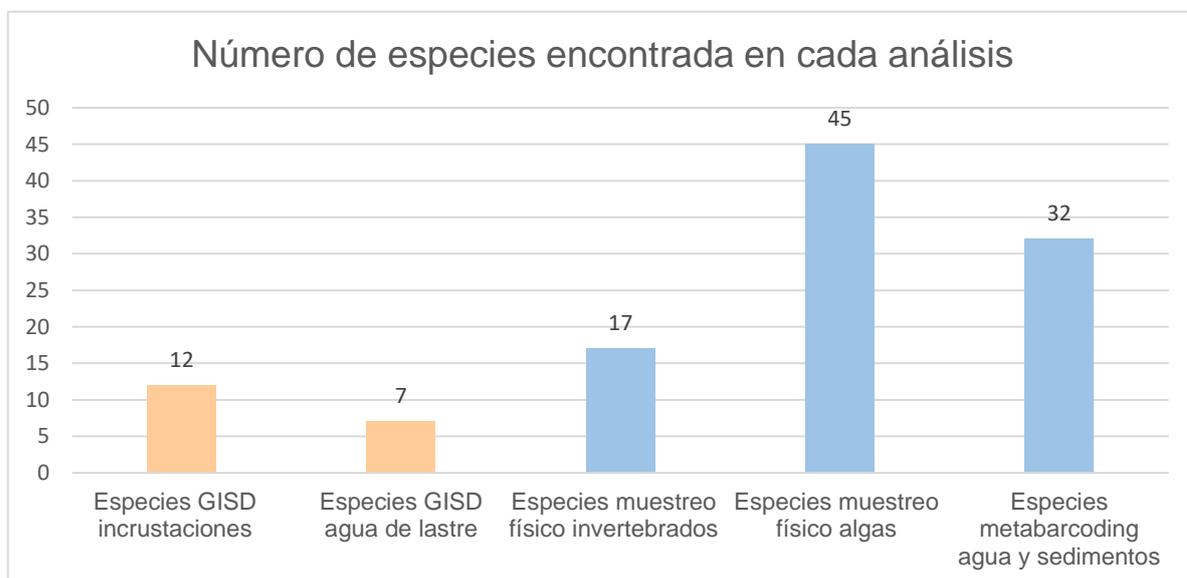
**SUMMARY** The introduction of alien algae in the marine environment is a potential threat to the health and stability of near-shore ecosystems. *Gracilaria salicornia* threatens coral reefs and native benthic communities in Hawaii and elsewhere. It may reduce marine species diversity and alter marine community structure.

Figura 5-IX: captura de pantalla de la página web GISD, que sirve de ejemplo para ver a que se accede a través de los enlaces añadidos a los buques del mapa de riesgos.

### 5.1.4 Resultados y discusiones de la validación piloto del mapa de riesgos

Este apartado se dedica a exponer los resultados relativos a la validación piloto del mapa de riesgos, como se especificó en apartados anteriores, dicha la validación aún no está terminada, por lo que en este apartado se plantean los resultados obtenidos hasta la fecha de redacción del TFM, mientras que los resultados finales de BLUEPORTS se pretenden presentar en la tesis.

Una vez determinadas las posibles especies invasoras a través del GISD, en función del lugar geográfico de los puertos que tienen riesgo de contaminación biológica, dichas especies se comparan con las determinadas en los análisis de muestras. Antes de plantear la comparación de especies se expone el *gráfico 5-VI* con el número de especies encontradas en cada tipo de análisis. Como se puede observar se plantean las especies encontradas en GISD, tanto por incrustaciones como por agua de lastre y las especies encontradas en cada tipo de análisis realizado, muestreo físico de invertebrados, muestreo físico de algas y metabarcoding de agua y sedimentos.



*Gráfico 5-VI: número de especies encontradas en cada análisis.*

A continuación, se añade la *tabla 5-VI* en la que se plantea la comparación entre todas las especies encontradas. Las tres primeras columnas de la tabla se corresponden con las especies determinadas en los análisis de muestras realizados por el grupo de biología. Dichas especies se dividen en tres columnas, ya que cada una se corresponde con las es-

pecies determinadas a través de un tipo de muestreo. En la primera columna, se plantean las especies obtenidas a través del muestreo físico de algas; en la segunda columna, las especies obtenidas a través del metabarcoding realizado en agua y sedimento; y, en la tercera, las especies obtenidas a través del muestreo físico de invertebrados. Las dos siguientes columnas se corresponden con las especies determinadas en el GISD, en la cuarta, se plantean los resultados de incrustaciones y, en la quinta, los resultados de agua de lastre. Las especies que están recuadradas en verde son las que se encuentran en los análisis de muestras y en el GISD.

Especies muestreo físico algas	Especies metabarcoding agua y sedimento	Especies muestreo físico invertebrados	Especie GISD Incrustaciones	Especie GISD agua de lastre
<i>Acrochaetium sp.</i>	<i>Acrochaetium moniliforme</i>	<i>Anthopleura anjunae</i>	<i>Acanthophora spicifera</i>	<i>Bugula neritina</i>
<i>Acrosorium uncinatum</i>	<i>Acrochaetium secundatum</i>	<i>Anthopleura elegantissima</i>	<i>Bugula neritina</i>	<i>Dreissena polymorpha</i>
<i>Aglaothamnion pseudobyssoides</i>	<i>Aeolidia papillosa</i>	<i>Bugula neritina</i>	<i>Caulerpa taxifolia</i>	<i>Gracilaria vermiculophylla</i>
<i>Antithamnionella ternifolia</i>	<i>Anthopleura elegantissima</i>	<i>Crassimarginatella papulifera</i>	<i>Codium fragile ssp. tomentosoides</i>	<i>Mya arenaria</i>
<i>Asparagopsis armata</i>	<i>Asparagopsis armata</i>	<i>Diplosoma listerianum</i>	<i>Crassostrea gigas</i>	<i>Mytilus galloprovincialis</i>
<i>Blidingia minima</i>	<i>Bonnemaisonia hamifera</i>	<i>Dipolydora capensis</i>	<i>Dreissena polymorpha</i>	<i>Rangia cuneata</i>
<i>Bryopsis plumosa</i>	<i>Bougainvillia muscus</i>	<i>Magallana gigas</i>	<i>Geukensia demissa</i>	<i>Polysiphonia brodiei</i>
<i>Caulacanthus ustulatus</i>	<i>Bugula neritina</i>	<i>Microcosmus squamiger</i>	<i>Gracilaria salicornia</i>	
<i>Ceramium diaphanum</i>	<i>Caulacanthus ustulatus</i>	<i>Monocorophium acherusicum</i>	<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	
<i>Ceramium echionotum</i>	<i>Chrysmenia wrightii</i>	<i>Mytilaster minimus</i>	<i>Mya arenaria</i>	
<i>Ceramium shuttleworthianum</i>	<i>Clytia gregaria</i>	<i>Mytilus trossulus</i>	<i>Perna viridis</i>	
<i>Chaetomorpha sp.</i>	<i>Corbula gibba</i>	<i>Ostrea stentina</i>	<i>Styela plicata</i>	
<i>Champia parvula</i>	<i>Dasysiphonia japonica</i>	<i>Phyllodoce groenlandica</i>		
<i>Chlorophyceae 1</i>	<i>Dipolydora capensis</i>	<i>Spirobranchus latiscapus</i>		
<i>Chlorophyceae 2</i>	<i>Epizoanthus illoricatus</i>	<i>Spirobranchus taeniatus</i>		
<i>Chondracanthus acicularis</i>	<i>Euterpina acutifrons</i>	<i>Talochlamys multistriata</i>		
<i>Chondria caerulescens</i>	<i>Gelidium corneum</i>	<i>Watersipora subtorquata/subatra</i>		
<i>Cladophora sp.</i>	<i>Gelidium microdenticum</i>			
<i>Codium adhaerens</i>	<i>Grateloupia imbricata</i>			
<i>Codium fragile</i>	<i>Hymeniacidon gracilis</i>			
<i>Colpomenia peregrina</i>	<i>Mesophyllum expansum</i>			
<i>Corallina elongata</i>	<i>Monocorophium acherusicum</i>			

Especies muestreo físico algas	Especies metabarcoding agua y sedimento	Especies muestreo físico invertebrados	Especie GISD Incrustaciones	Especie GISD agua de lastre
<i>Dasya sp.</i>	<i>Nanozoanthus harena-ceus</i>			
<i>Derbesia sp.</i>	<i>Neogastroclonium subarti-culatum</i>			
<i>Dictyota dichotoma</i>	<i>Neoparamoeba longipodia</i>			
<i>Gelidium pusillum</i>	<i>Obelia geniculata</i>			
<i>Gelidium spinosum</i>	<i>Oncaea waldemari</i>			
<i>Grateloupia dichotoma</i>	<i>Ostrea edulis</i>			
<i>Grateloupia imbricata</i>	<i>Paracalanus quasimodo</i>			
<i>Grateloupia lanceolata</i>	<i>Paracartia grani</i>			
<i>Grateloupia turuturu</i>	<i>Polysiphonia sp. 1paniculata</i>			
<i>Halarachnion ligulatum</i>	<i>Protoceratium reticulatum</i>			
<i>Mastocarpus stellatus</i>				
<i>Plocamium cartilagineum</i>				
<i>Polysiphonia harveyi</i>				
<i>Polysiphonia nigra</i>				
<i>Polysiphonia sp.</i>				
<i>Pterosiphonia ardreana</i>				
<i>Sargassum muticum</i>				
<i>Schyzimonia dubyi</i>				
<i>Scytosiphon lomentaria</i>				
<i>Stypocaulon scoparium</i>				
<i>Ulva clathrata</i>				
<i>Ulva pseudocurvata</i>				
<i>Ulva rigida</i>				

Tabla 5-VI: comparación entre las especies invasoras encontradas en el GISD y en los análisis de muestras.

Los resultados obtenidos de la comparación es que: *Bugula Neritina* aparece en el GISD como posible especie invasora, tanto por agua de lastre como por incrustaciones, y, además, también aparece en las especies encontradas a través del metabarcoding y del muestreo físico de invertebrados. Por otro lado, *Codium fragile* fue encontrada en los análisis de muestreo físico de algas y en el GISD aparece una subespecie de la misma, la *Codium fragile ssp. tomentosoides*. Por último, el género *Polysiphonia*, que como en el caso anterior apareció en los análisis de muestreo de algas, en el GISD también apareció una especie de la misma, *Polysiphonia brodiei*. A continuación, se plantea la *tabla 5- VII* con un resumen de los resultados obtenidos.

Especies GISD incrustaciones	Especies GISD agua de lastre	Especies muestreo físico invertebrados	Especies muestreo físico algas	Especies metabarcoding agua y sedimentos
<i>Bugula neritina</i>	<i>Bugula neritina</i>	<i>Bugula neritina</i>		<i>Bugula neritina</i>
<i>Codium fragile ssp. tomentosoides</i>			<i>Codium fragile</i>	
	<i>Polysiphonia brodiei</i>		<i>Polysiphonia sp.</i>	

Tabla 5-VII: resumen de la comparación entre las especies invasoras detectadas en los análisis de muestras y las detectadas en el GISD

Como se puede observar *Bugula neritina* aparece en los análisis de muestras y en los análisis del GISD y *Codium fragile* y *Polysiphonia sp.* a parecen en los análisis de muestras y en el GISD aparecen dos especies de cada una de ellas.

## 5.2 Resultados y discusiones del estudio sobre las muestras de agua de lastre proporcionadas por buques que atracaron en el Puerto de Gijón

En este apartado se plantean todos los resultados relativos al estudio realizado sobre las muestras de agua de lastre proporcionadas por buques que atracaron en el Puerto de Gijón. Con el fin de plantear dichos resultados de una manera ordenada, se plantean diferentes subapartados:

### 5.2.1 Resultados y discusiones de las muestras proporcionadas por los buques que vinieron al Puerto de Gijón

En primer lugar, se plantea la información relativa a los buques que entregaron las muestras de agua de lastre. Las muestras recibidas fueron siete, pero solo se encontraron especies en tres. Las razones por las que se cree que no aparecieron especies en cuatro de las muestras son, en primer lugar, que durante el viaje las aguas de lastre estuvieran sometidas a algún tratamiento. A pesar de que con las enmiendas al convenio BWM aún no todos los buques están obligados a tratar las aguas de lastre, ya hay buques que si las tratan. Por lo que se puede pensar que las aguas ya estaban tratadas cuando se cogió la muestra, pero no tenemos información sobre ello. En segundo lugar, otra posibilidad es que las muestras no estén tratadas, pero que el ADN este degradado. Es posible que el ADN se haya degradado, ya que hubo ocasiones en las que los responsables del puerto no conservaron bien las muestras, ni avisaron a los investigadores justo cuando se las entregaron. Es por ello que, en el siguiente apartado, también como resultado se plantean unas premisas para la toma y conservación de muestras de agua de lastre. En tercer lugar, otra de las razones por las que se cree que no aparecieron especies en las muestras es que, al igual que en el caso anterior, el ADN del agua de lastre también se degradó, pero en este caso durante el viaje.

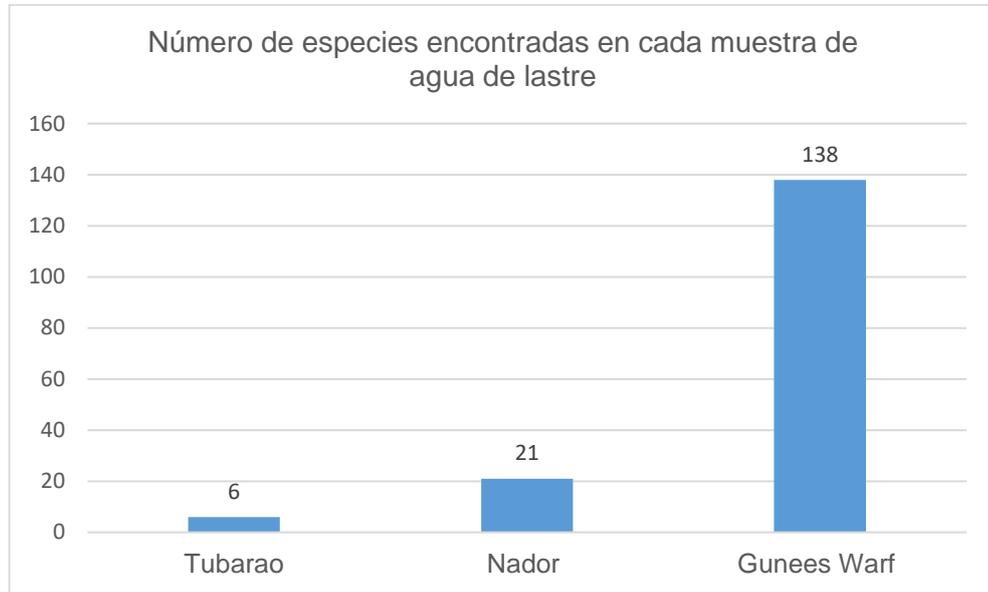
En la siguiente tabla, *tabla 5-VIII*, se recoge la información relativa a los tres buques que entregaron muestras de agua de lastre y en dichas muestras, después de realizar los análisis, se detectaron restos de ADN.

BUQUE	PUERTO ORIGEN	PAÍS PUERTO	CÓDIGO PAÍS	FECHA MUESTRAS
Buque 1	Gunnes Warf	Reino Unido	UK	30/11/2017
Buque 2	Tubarao	Brasil	BR	15/10/2017
Buque 3	Nador	Marruecos	MA	31/08/2017

*Tabla 5-VIII: tabla en la que se recoge la información relativa a los buques que entregaron muestras de agua de lastre.*

Tras la realización de los análisis se detectaron un total de 160 especies de las cuales al final solo se tuvieron en cuenta 153 ya que hubo 7 que dieron resultados erróneos. Las causas de esto fueron, por un lado, la contaminación de las muestras ya que se encontró ADN humano y de otros vertebrados que no es imposible que estuvieran en el agua de lastre y, por otro lado, se encontraron muestras ambientales y de seres vivos que no se pu-

dieron clasificar. Tras plantear esta información se presentan un gráfico para determinar el número de especies encontradas en cada muestra, *gráfico 5-VII*.



*Gráfico 5-VII: número de especies encontradas en cada muestra de agua de lastre divididas por puertos.*

Respecto al gráfico decir que si sumamos el valor de todas las columnas obtenemos un total de 166 especies y esto ocurre porque hubo 2 especies que aparecieron en dos muestras de agua de lastre y cinco que aparecieron en tres. Como se puede observar el número de especies encontradas en la muestra de agua de lastre de Gunnes Warf es mucho más elevado que el de las especies encontradas en las otras muestras. Es posible que esto se deba a que, como ya se mencionó, el ADN se haya degradado tras la toma de la muestra o durante el viaje. Respecto a esta última posibilidad, es posible que se haya dado ya que el viaje desde Gunnes Warf es mucho más corto que desde los otros dos puertos, siendo el de Tubarao el más largo y en el que menos especies se encontraron.

Por último, los nombres de las especies encontradas tras los análisis se plantearán en el apartado 5.2.6 al realizar la comparación con el resto de las especies determinadas en las bases de datos. Además, en dicho apartado también se expondrá una comparación entre los filios de las especies encontradas en los análisis y en las bases de datos.

## 5.2.2 Resultados y discusiones de las premisas para buena la toma y conservación de las muestras de agua de lastre

En este apartado se expondrán unas premisas para la buena toma y conservación de las muestras de agua de lastre, todo ello con el fin de garantizar que dichas muestras no se contaminen y el ADN se mantenga en buen estado hasta su análisis. Por un lado, tal como se explicó en el apartado anterior, es muy posible que el ADN de algunas de las muestras analizadas estuviera degradado por su entrega tardía y su mala conservación por parte de los encargados en el Puerto de Gijón, además, también cabe la posibilidad de que las aguas de lastre estuvieran tratadas. Por otro lado, también se cree que algunas de las muestras recibidas estaban contaminadas ya que apareció en ellas ADN humano y de otras especies que no pueden estar en el agua de lastre. Fue por esto que se determinó una posible contaminación a la hora de coger dichas muestras.

A continuación, se plantean algunas de las premisas requeridas con el fin de optimizar el análisis posterior de las nuevas entregas de muestras de agua de lastre por buques en el Puerto de Gijón. Antes de comenzar, se menciona que para realizar dichas premisas se consultaron diferentes fuentes de información: (VITLAB Competence in Labware, 2019), (Miriam Ostinelli et al., 2010), (Abyntek, 2017), (Laboratorio de Química Ambiental Ideam, 1997) y (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente; Gobierno de España, 2013).

- En primer lugar, la persona que tome la muestra de agua de lastre deberá tener mucho cuidado de no tocar el interior del recipiente para no contaminar dicha agua, para ello lo mejor es utilizar unos guantes estériles.
- En lo relativo al recipiente en el que se va a almacenar la muestra, se debe utilizar uno que no contamine el agua con el material con el que está fabricado, para ello lo mejor es utilizar uno de vidrio o uno de un plástico que no desprenda ninguna sustancia.
- Es de gran importancia etiquetar todas las muestras recolectadas para tenerlas identificadas y prevenir confusiones. En cada una de ellas se deberá apuntar el nombre del buque y la fecha de la toma de la muestra. Además, el encargado de coger dicha muestra deberá tomar nota de cualquier otra información requerida e importante para el estudio sobre el buque y su procedencia.
- Una vez obtenida la muestra, su conservación hasta la recogida deberá realizarse en una nevera con el fin de maximizar la viabilidad del ADN presente en el agua. La temperatura óptima es entre 4°C y 8°C, de este modo la degradación de la muestra se elimina. Otra opción sería la congelación de la muestra hasta la llegada al labora-

torio. El principal objetivo de esta premisa es mantener el ADN en las mejores condiciones ya que, como ya se mencionó, su degradación afecta a la amplificación del mismo y con ello se reducen los organismos detectados.

- Por último, si el ADN no se puede entregar rápidamente o conservar en las condiciones adecuadas, otra opción sería el filtrado inmediato y su conservación en etanol tras la entrega. El primer paso realizado por los investigadores en el análisis de muestras es pasar el agua de lastre por un filtro en el que se deposita y concentra el ADN contenido en la muestra. Tras esto se procede a la amplificación del ADN mediante y a la determinación de las especies, pero si el filtrado es realizado por los responsables del puerto, el ADN no se degradaría y se conservaría en el filtro.
- Ya que estas premisas no siempre son posibles, se recomienda la inmediata congelación de la muestra y la puesta en contacto con los investigadores a la mayor brevedad posible.

### 5.2.3 Resultados y discusiones del riesgo de contaminación biológica por agua de lastre de los puertos de los que provienen las muestras

En este apartado se plantean los resultados del riesgo de contaminación biológica por agua de lastre, de cada uno de los puertos de los que provienen las aguas de lastre analizadas. Para ello, tal como se explicó, se utiliza la base de datos proporcionada por la Autoridad Portuaria de Gijón en la que se recogen toda la información sobre el tráfico en El Musel. A continuación, se exponen dos de los gráficos obtenidos como resultado:

En primer lugar, *gráfico 5-VIII*, en el que se representa el riesgo de contaminación biológica por agua de lastre que tiene cada uno de los puertos de los que provienen las muestras recibidas. En las abscisas se representan los tres puertos de los que proviene el agua de lastre y, en las ordenas, al igual que en los gráficos anteriores de agua de lastre, se representa el riesgo en función de las KGTs.

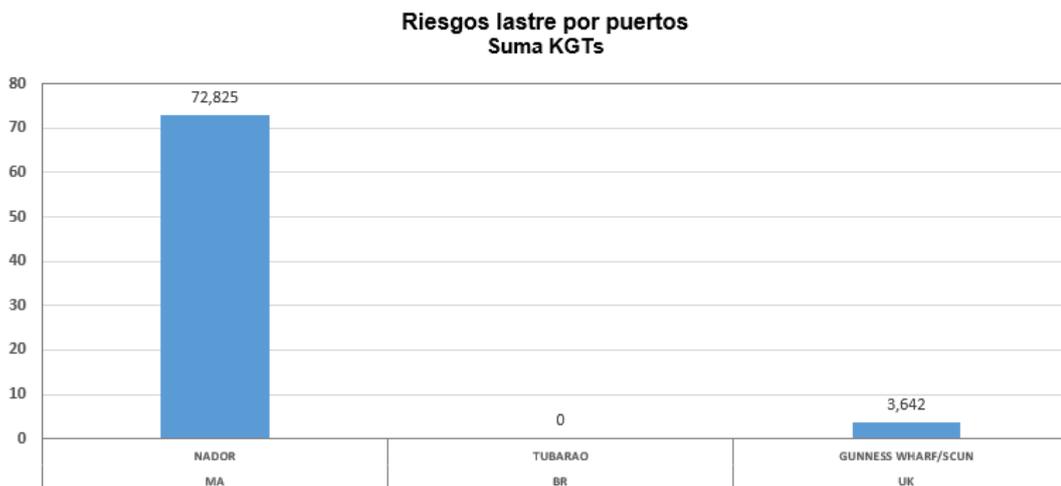


Gráfico 5-VIII: riesgo de contaminación biológica por agua de lastre, en función al tráfico portuario de El Musel, de los puertos de los que se obtuvieron muestras. MA – Marruecos, BR – Brasil, UK – Reino

Tal como se observa en el gráfico, el puerto de Nador es el que más riesgo tiene, seguido de Gunnes Warf, con mucho menos riesgos y, por último, Tubarao que tiene riesgo cero. Respecto a este último, decir que, en el TFG se planteó como resultado que dicho puerto era uno de los tres con mayor riesgo de contaminación biológica por incrustaciones, pero en el TFM al realizar la evaluación riesgo de bioseguridad, se determinó que de este puerto no pueden venir especies invasoras. Con esto se quiere decir que es posible que los datos del GISD sean insuficientes ya que en los análisis realizados del agua de Tubarao si se obtuvieron especies.

Con el fin de completar los resultados se plantea el *gráfico 5-IX*, que es similar al anterior, pero en él se expone el riesgo de contaminación biológica de los países en los que se encuentran los puertos de los que proviene el agua de lastre de las muestras entregadas.

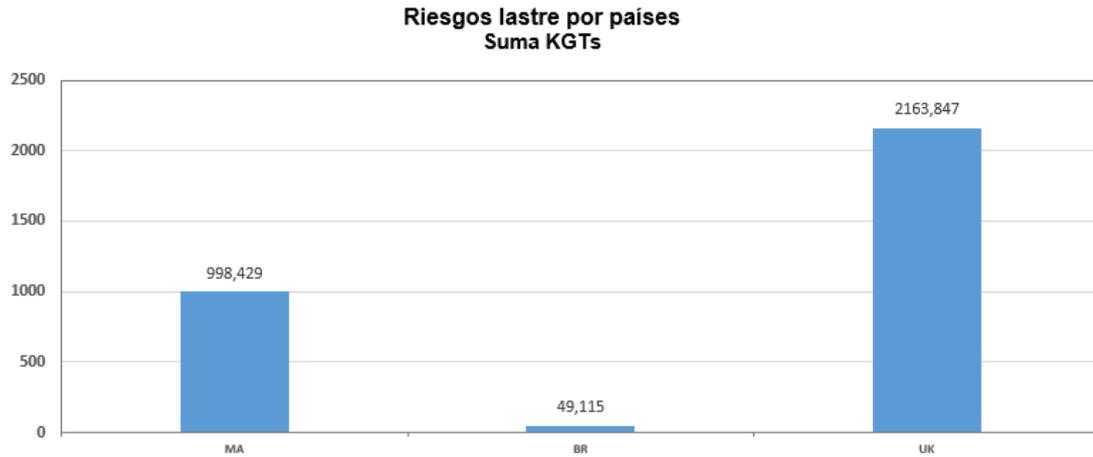


Gráfico 5-IX: riesgo de contaminación biológica por agua de lastre, en función del tráfico portuario de El Musel, de los países en los que se encuentran los puertos de los que proviene el agua de lastre de las muestras entregadas. MA – Marruecos, BR – Brasil, UK – Reino Unido.

Tal como se observa en el gráfico, en este caso desde Reino Unido es desde donde hay más riesgo de contaminación biológica, seguido de Marruecos y por último Brasil. Con este gráfico se quiere exponer que igual desde el puerto en concreto no hay mucho riesgo, pero desde la región en la que se encuentra puede que sí. De este modo se puede observar que, aunque en dicho puerto no haya mucho riesgo de contaminación biológica, desde otros puertos del país si es posible que se produzca una contaminación biológica. Por ejemplo, en el caso de Gunnes Warf desde el puerto en concreto no había mucho riesgo, pero desde el país el riesgo es muy alto. Es por ello por lo que hay que tener en cuenta el riesgo que puede venir del país ya que es muy posible que la biota sea similar y se produzcan contaminaciones. Además, a la hora de determinar las posibles especies invasoras utilizando la base de datos GISD, el filtro de localización utilizado es el país, ya que la base no te deja elegir un puerto en concreto y las zonas que permite elegir más reducidas siguen siendo muy amplias. Como discusión final se plantea que para realizar nuevos análisis igual es mejor trabajar por países o por regiones más amplias que un puerto en concreto. Los principales motivos de esto son que en las bases de datos no se puede elegir una localización específica, sino que se trabaja en función a zonas más amplias y, además, estas bases están realizadas con los resultados que comparten los investigadores y cuando un investigador añade un resultado no lo introduce en un punto concreto, sino que lo referencia a una zona. Por ejemplo, en el caso de BLUEPORTS, los resultados se referenciarán al Mar Cantábrico y no al Puerto de Gijón.

#### 5.2.4 Resultados y discusiones de las posibles especies invasoras determinadas en la base de datos GISD

En este apartado se plantean los resultados de las posibles especies invasoras obtenidas del GISD. Como ya se mencionó en el apartado 4.2 la búsqueda de especies en la base de datos se realiza en función de los puertos de los que provienen las muestras de agua de lastre, es decir, Tubarao, Nador y Gunnes Warf. Los filtros utilizados están planteados en la *tabla 4-IV* y respecto al filtro de localización, como la base de datos no deja elegir el puerto en concreto se elige el país de cada uno de ellos.

Tras realizar la búsqueda se obtienen un total de 26 posibles especies invasoras, de las cuales 8 pueden venir desde dos de los puertos. Las especies que pueden venir de cada puerto se plantearán en el apartado 5.2.6 en un gráfico en el que se comparan con los resultados obtenidos de la base de datos WoRMS. Además, en dicho apartado se plantean los nombres de las 26 especies determinadas y su filo ya que se realiza una comparación entre todos los resultados obtenidos.

#### 5.2.5 Resultados y discusiones de las posibles especies invasoras determinadas en la base de datos WoRMS

Este apartado se dedica a exponer los resultados de las posibles especies invasoras obtenidos a través de la base de datos WoRMS. Tal como se explicó en el apartado 4.2 esta base de datos se emplea para completar la información relativa a la distribución de las especies determinadas en los análisis de las muestras de agua de lastre. Para ello cada una de las especies encontradas en los análisis se introduce en el WoRMS y se comprueba si sobre ella hay información relativa a su distribución. No todas las especies detectadas en los análisis de muestras aparecieron en la base de datos ya que en ella solo se registran las especies marinas y, además, como la base se realiza con los datos que introducen los investigadores no tienen por qué estar todas las especies. También se tuvo en cuenta que no de todas las especies detectadas había información sobre la distribución, pero en las que sí había se comprobó si dicha distribución ya se registraba en el país de origen de la muestra y en Gijón. A continuación, en el *gráfico 5-X*, se plantean el número total de especies: detectadas en los análisis, encontradas en WoRMS, encontradas en WoRMS con información sobre distribución y, por último, encontradas en WoRMS y con distribución detectada en el país de origen de la muestra de agua de lastre y en Gijón.

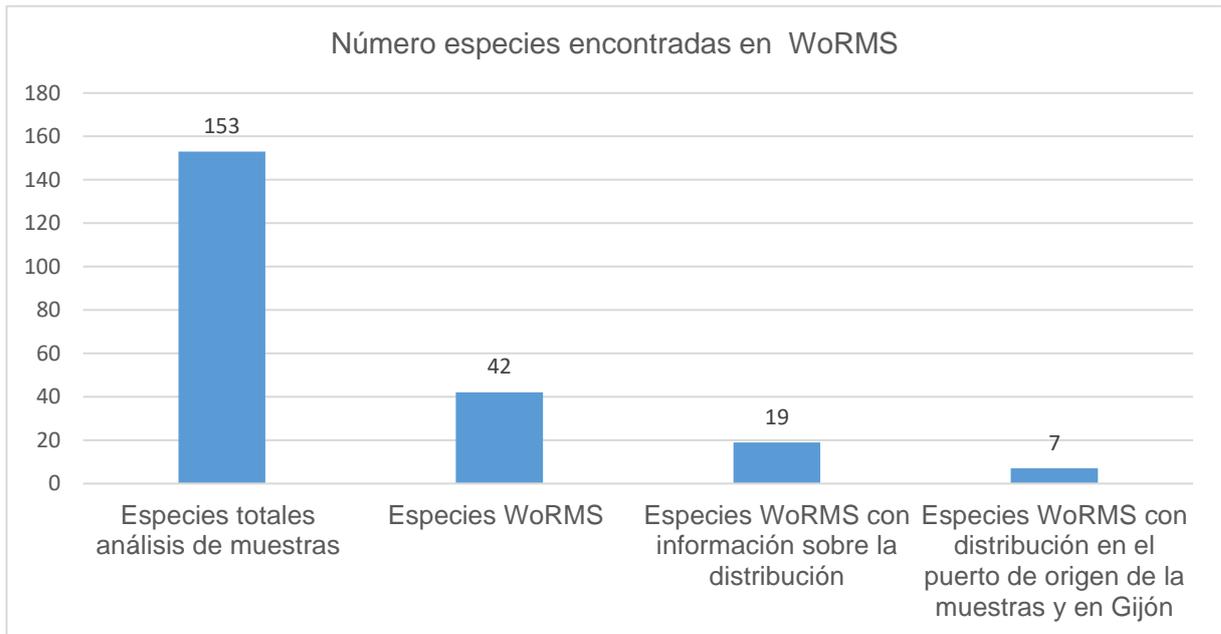


Gráfico 5-X: gráfico con el número de especies determinadas en los análisis de muestras y las especies encontradas en la base de datos WoRMS.

Los datos expuestos en la gráfica se van a emplear en dos estudios: por un lado, las 42 especies detectadas se plantearán en función de los puertos de procedencia y se compararán con el resto de los resultados en una gráfica en el apartado 5.2.6. Gracias a esto se podrá determinar cuál es el puerto del que se encuentran más especies. Y, en segundo lugar, de las 19 especies de las que se obtiene información de la distribución se determina cuáles de ellas ya están distribuidas en la región del puerto de origen de la muestra y en Gijón. Como resultado se obtiene que 7 de las 19 especies están reconocidas en las dos zonas mencionadas y, a continuación, se plantea el *gráfico 5-XI* con la información del país en el que están registradas. Antes de plantearlo se comenta que una de las 7 especies detectadas se registra en dos de los puertos de los que provienen las aguas de las muestras analizadas.

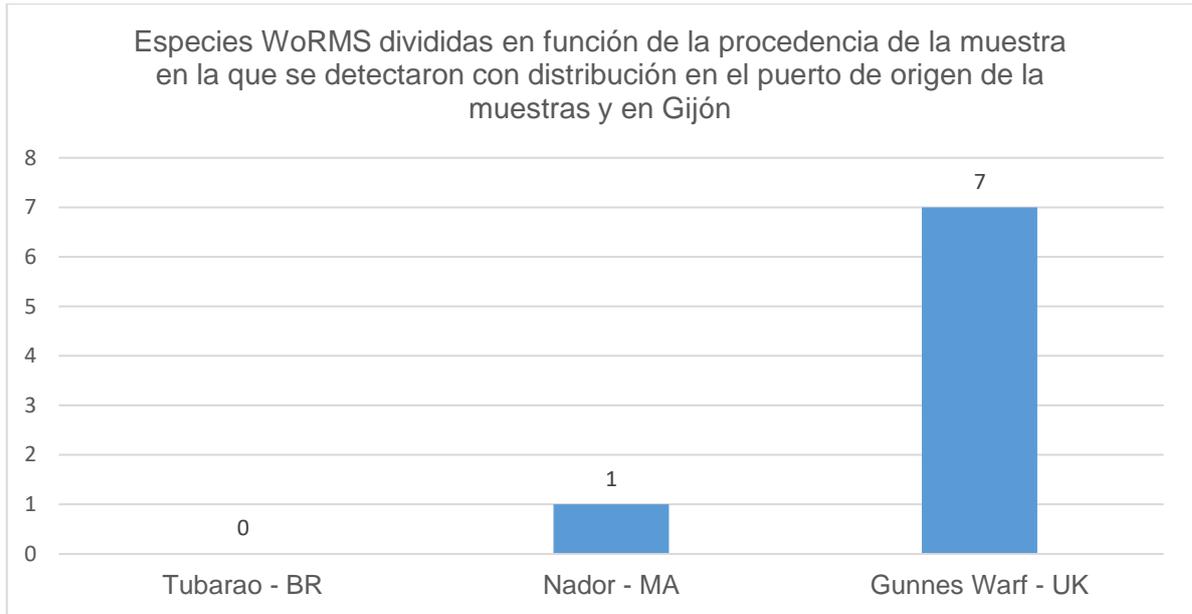


Gráfico 5-XI: especies de WoRMS en función de la procedencia del agua de lastre analizada que están registradas en el país de origen y en Gijón. MA – Marruecos, BR – Brasil, UK – Reino Unido.

Como se puede observar en el puerto de Gunnes Warf ya están registradas las 7 especies detectadas y, además, una de ellas también está registrada en Nador. Para acabar de completar esta información se plantea el gráfico 5-XII con los filos de las siete especies detectadas en las zonas de las que provienen las aguas de lastre analizadas y en Gijón.

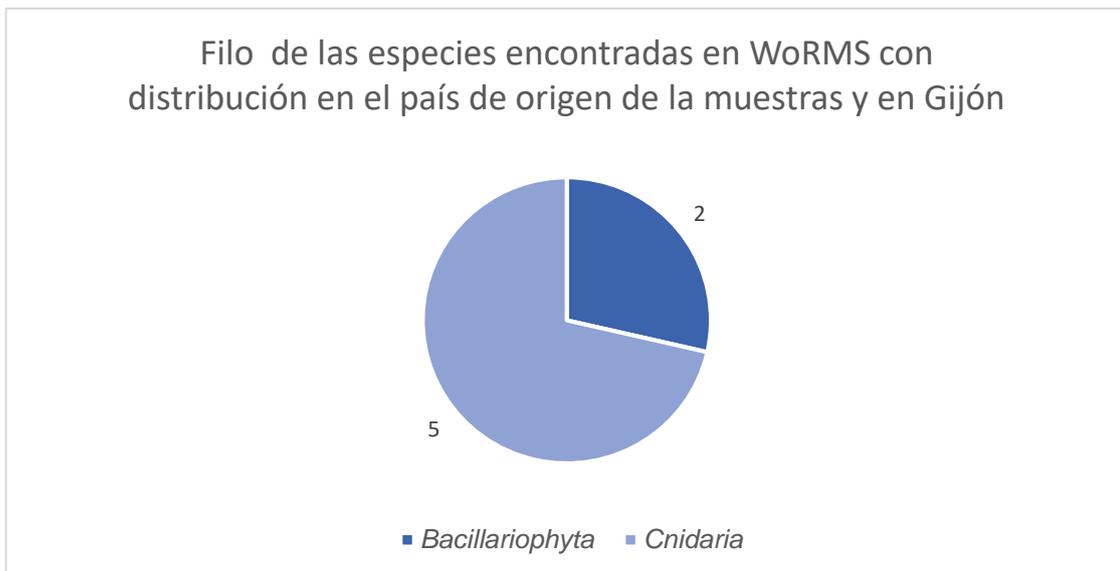


Gráfico 5-XII: filos de las especies detectadas en WoRMS con distribución en el país de origen de la muestra y en Gijón.

Por último, se plantea un poco de información relativa a los dos tipos de filos de las especies encontradas. En primer lugar, el filo *Bacillariophyta* se refiere a unas algas pluricelulares que son un tipo poco común de fitoplancton. En segundo lugar, el filo de *Cnidaria* se corresponde con un grupo de animales simples que solo pueden vivir en ambientes acuáticos, normalmente marinos. (Natusfera, 2018)

### 5.2.6 Resultados y discusiones de la comparación de las posibles especies invasoras determinadas en: los análisis de muestras y las bases de datos GISD y WoRMS

En este apartado se van a realizar diferentes comparaciones entre los tres análisis realizados para determinar: el puerto en el que se encuentran más especies, la base de datos más efectiva, el filo de las especies, las especies encontradas en más de un análisis y las especies invasoras. Para concluir se exponen una nueva capa en el GIS con todos los resultados obtenidos.

En primer lugar, para determinar el **puerto en el que se encuentran más especies** se plantea el *gráfico 5-XIII*. El primer grupo de columnas se corresponde con el número total de especies determinadas en cada análisis y, los tres siguientes grupos, se corresponden con los tres puertos de los que provienen las muestras de agua de lastre. En cada grupo de columnas hay una para cada análisis: azul, análisis de muestras; naranja, GISD y gris, WoRMS.

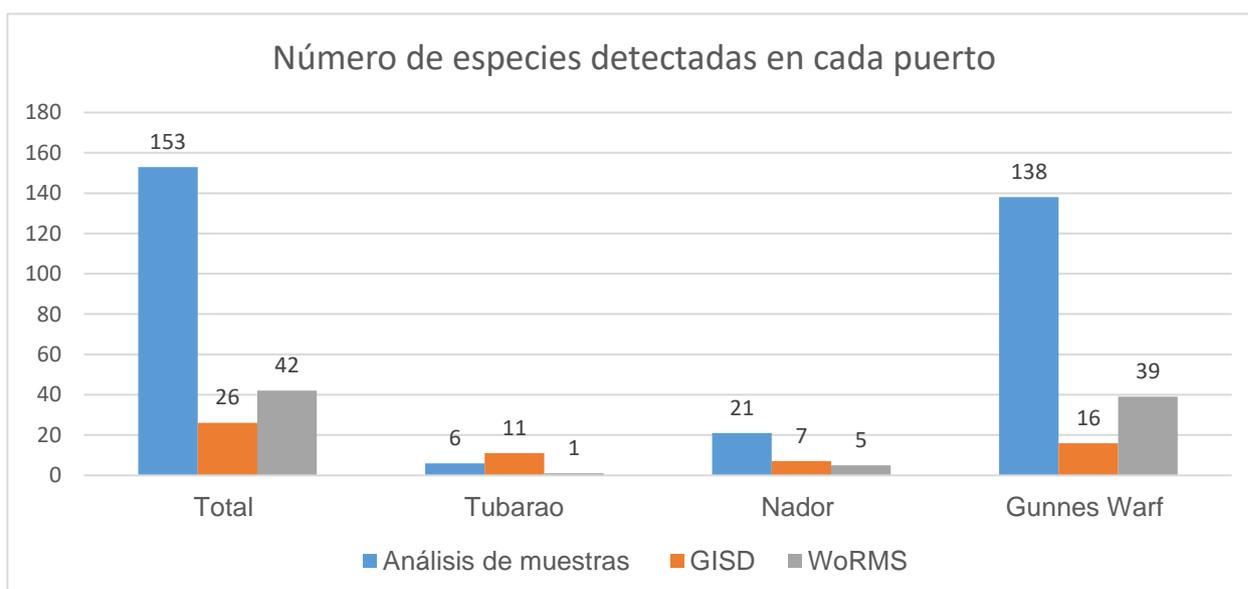


Gráfico 5-XIII: comparación del número de especies encontradas en cada puerto del que se recibieron muestras de agua de lastre.

Antes de comenzar con la discusión de resultados, se plantea que en los tres análisis realizados se determinan varias especies que pueden venir desde varios puertos. Es por ello que, si en cada tipo de análisis se suman los valores de los tres puertos, el resultado es mayor que el valor de la columna "total". Como se puede observar, en los tres análisis realizados el puerto con más especies encontradas siempre es Gunnes Warf. En el caso del análisis de muestras se cree que esto tiene que ver con que la distancia recorrida hasta Gijón, ya que el viaje desde dicho puerto hasta El Musel es mucho más corto que desde los otros dos puertos y por tanto el ADN presente en el agua de lastre se degrada menos durante el viaje.

En segundo lugar, para determinar la **base de datos más efectiva** se puede observar el primer grupo de columnas del *gráfico 5-XIII*. En función a esto se puede determinar que la base de WoRMS es más efectiva ya que en ella se obtienen muchas más especies que en la base de datos GISD.

En tercer lugar, se plantea el **filo de las especies** encontradas en cada uno de los análisis realizados (muestras, GISD o WoRMS). Para ello se plantea un gráfico para cada tipo de análisis en el que se expone el porcentaje de especies en función de su filo. Una vez estén presentados los tres gráficos se realizará una comparación entre los resultados expuestos. Antes de comenzar con dichos gráficos se expone el significado de filo: el filo es uno de los grupos o taxones en los que se clasifican los seres vivos. Esta clasificación tiene una jerarquía de inclusión en la que cada taxón abarca otros menores y, a su vez, está dentro de otro mayor. Las categorías taxonómicas fundamentales son, reino, filo, clase, orden, familia y especie. (Daniel Castrejón Moreno, 2012)

Tras exponer el significado de filo se plantean los siguientes tres gráficos:

- *gráfico 5-XVI*, con el filo de las especies determinadas tras el análisis de muestras de las aguas de lastre;
- *gráfico 5-XIV*, con el filo de las especies determinadas a través de la base de datos GISD;
- *y, gráfico 5-XV*, con el filo de las especies determinadas a través de la base de datos WoRMS.

Los datos expuestos en los gráficos se expresan en porcentajes.

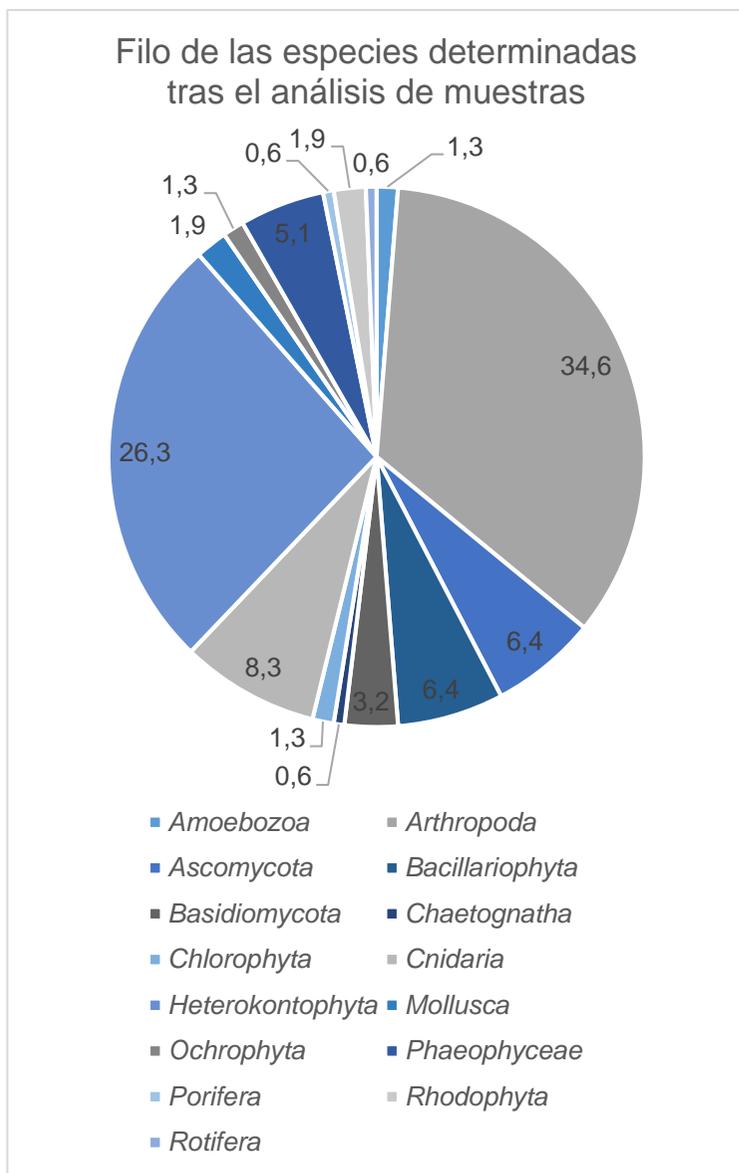


Gráfico 5-XVI: filo de las especies determinadas tras los análisis de muestras de agua de lastre.

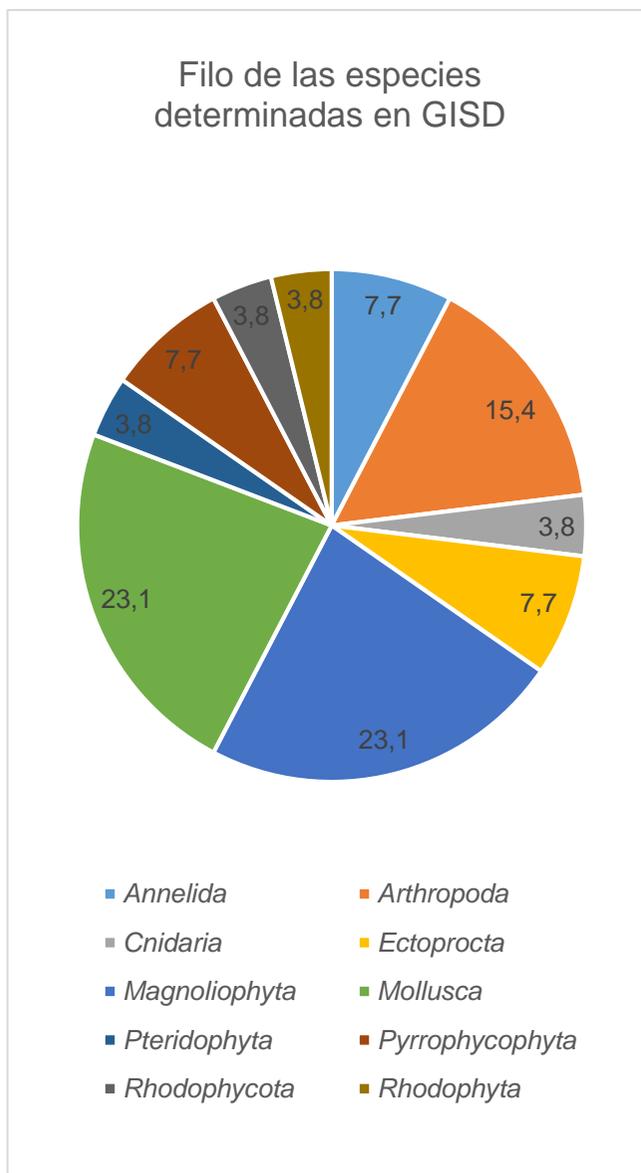


Gráfico 5-XIV: filo de las especies determinadas en la base de datos GISD.

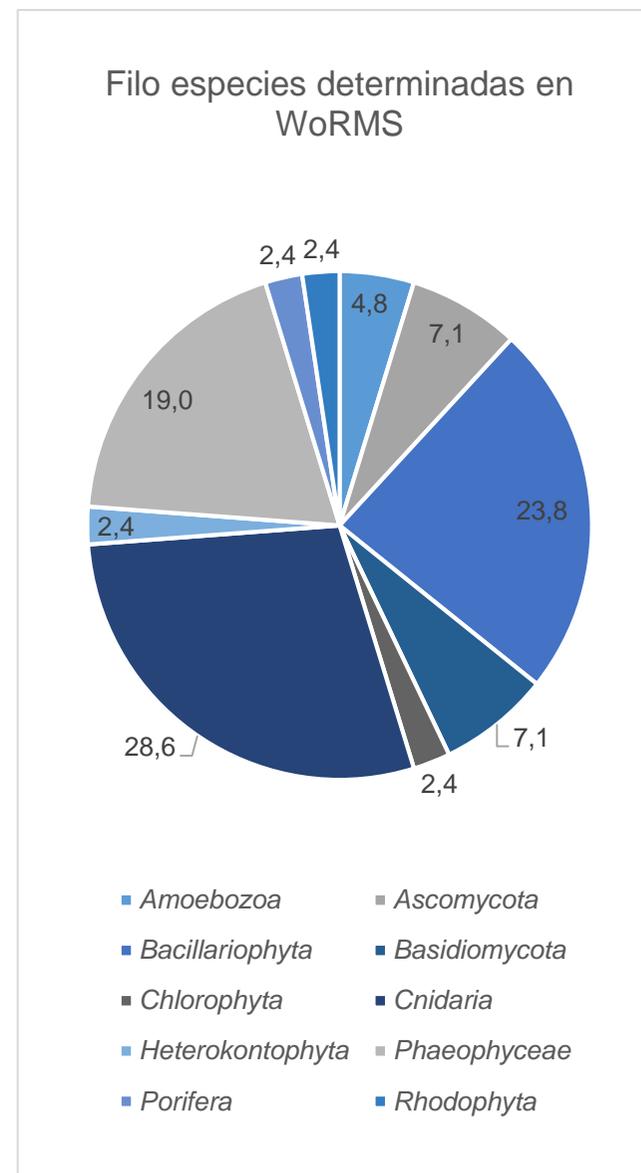


Gráfico 5-XV: filo de las especies determinadas en la base de datos WoRMS.

A continuación, se discuten los resultados de los filios de las especies obtenidas en cada uno de los análisis. Para empezar, se plantean los tres filios más encontrados en cada análisis, empezando por el que más aparece:

- Análisis de muestras: *Arthropoda* con 34.6%, *Heterokontophyta* con 26.3% y *Cnidaria* con 8.4%.
- GISD: *Magnoliophyta* y *Mollusca* con 23,1% cada una y *Arthropoda* con 15,4%.
- WoRMS: *Cnidaria* con 28,6%, *Bacillariophyta* con 23.8% y *Phaeophyceae* con 19.0%.

Tras exponer todos los resultados se plantean diferentes discusiones, en primer lugar, decir que el filio *Arthropoda*, que es el más encontrado en las especies de los análisis, también tiene un porcentaje alto en GISD, pero en WoRMS no se encuentra ninguna especie de este tipo. Por otro lado, el segundo filio más encontrado en los análisis, *Heterokontophyta*, en el GISD no aparece y en el WoRMS solo tiene un porcentaje de 2.4%. Y *Cnidaria*, que es el tercer filio más encontrado en los análisis, en GISD aparece con muy poco porcentaje, mientras que en WoRMS es el filio más detectado.

Determinados estos resultados se decide plantear cuál es el reino al que pertenecen los filios de las especies encontradas, con el fin de concluir las características generales de las especies más comunes en cada base de datos. Previa exposición de dicha clasificación se define el concepto de reino de una especie: el reino de una especie es la segunda subdivisión taxonómica después de dominio. Existen tres tipos de dominios, *Archea*, *Bacteria* y *Eukarya*, los dos primeros se corresponden con organismos unicelulares morfológicamente sencillos, pero dentro del dominio *Eukarya* existen cuatro grandes reinos, *Animalia*, *Plantae*, *Fungi* y *Protista*. (Wikimedia foundation, 2010) Todas las especies determinadas en los análisis realizados pertenecen al dominio de *Eukarya*, es por ello que se decide determinar cuál es la siguiente clasificación taxonómica y los resultados se exponen en la *tabla 5-IX*. Antes de plantear la tabla se comentan dos aspectos sobre la misma, por un lado, en la segunda y quinta columna se plantean los porcentajes de los filios de las especies determinadas en cada base ordenados de mayor a menor y, por otro lado, los filios sombreados en color rosa se corresponden con los filios mayoritarios detectados en el análisis de muestras.

Filo especies GISD	Porcentaje de filo especies GISD	Reino GISD	Filo especies WoRMS	Porcentaje de filo especies WoRMS	Reino WoRMS
<i>Magnoliophyta</i>	23,10%	<i>Plantae</i>	<i>Cnidaria</i>	28,60%	<i>Animalia</i>
<i>Mollusca</i>	23,10%	<i>Animalia</i>	<i>Bacillariophyta</i>	23,80%	<i>Protista</i>
<i>Arthropoda</i>	15,40%	<i>Animalia</i>	<i>Phaeophyceae</i>	19%	<i>Protista</i>
<i>Annelida</i>	7,70%	<i>Animalia</i>	<i>Ascomycota</i>	7,10%	<i>Fungi</i>
<i>Ectoprocta</i>	7,70%	<i>Animalia</i>	<i>Basidiomycota</i>	7,10%	<i>Fungi</i>
<i>Pyrrophytophyta</i>	7,70%	<i>Plantae</i>	<i>Amoebozoa</i>	4,80%	<i>Protista</i>
<i>Cnidaria</i>	3,80%	<i>Animalia</i>	<i>Chlorophyta</i>	2,40%	<i>Plantae</i>
<i>Pteridophyta</i>	3,80%	<i>Plantae</i>	<i>Heterokontophyta</i>	2,40%	<i>Protista</i>
<i>Rhodophycota</i>	3,80%	<i>Plantae</i>	<i>Porifera</i>	2,40%	<i>Animalia</i>
<i>Rhodophyta</i>	3,80%	<i>Plantae</i>	<i>Rhodophyta</i>	2,40%	<i>Plantae</i>

Tabla 5-IX: reinos de las especies determinadas en GISD y WoRMS.

Tal como se puede observar en la tabla, a pesar de que en la base GISD uno de los filos más importantes pertenezca al reino *Plantae*, los siguientes cuatro filos con más porcentaje son del reino *Animalia*, lo que quiere decir que en esta base predominan las especies de este reino. Por otro lado, en la base de datos WoRMS el porcentaje más alto de filo pertenece al reino *Animalia*, pero el resto de los filos son de los reinos *Protista*, *Fungi* y *Plantae*. Sabiendo esto, y teniendo en cuenta los principales filos determinados en el análisis de muestras (los sombreados en rosa), se puede determinar que la utilización de una sola base no va a dar buenos resultados. Como solución, y para continuar con la evaluación de riesgo de BLUEPORTS, se propone utilizar ambas bases de datos y combinar los resultados.

En cuarto lugar, para determinar las **especies encontradas en más de un análisis**, se plantea una comparación entre todas las especies detectadas en dichos análisis. Los resultados se exponen en la *tabla 5-X*, pero antes de plantearla se explica la información que contiene:

- en primer lugar, las dos primeras columnas se corresponden con las 153 especies detectadas tras el análisis de muestras de las aguas de lastre;
- en segundo lugar, la tercera columna se corresponde con las 26 posibles especies invasoras detectadas a través de la base de datos GISD;
- y, por último, en la tercera columna se plantean las 19 especies detectadas en los análisis de muestras que tras introducirlas en la base de datos WoRMS se obtuvo que su distribución está registrada en la zona de la que proviene la muestra y en Gijón. En este caso no comparamos las 42 especies encontradas en WoRMS ya que la utilización de esta base de datos es para ampliar la información relativa a la distri-

bución de las especies y si no se obtiene información respecto a esto no tiene sentido comprarlas con el resto de los resultados.

Antes de plantear la tabla con la comparación comentar que todas las especies que se repiten en alguno de los tres grupos de resultados se sombream en amarillo para facilitar su localización.

Especies análisis de muestras de agua de lastre		Especies GISD	Especies WoRMS
<i>Achlya dubia</i>	<i>Obelia bidentata</i>	<i>Alexandrium minutum</i>	<i>Acrotylus australis</i> J.Agardh,
<i>Acrotylus australis</i>	<i>Obelia</i> sp. JRH-2014	<i>Alitta succinea</i>	<i>Agalma elegans</i>
<i>Acrotylus australis</i> J.Agardh,	<i>Oceania armata</i>	<i>Alternanthera philoxeroides</i>	<i>Clytia folleata</i>
<i>Agalma elegans</i>	<i>Ocyrtamus caldus</i>	<i>Bugula neritina</i>	<i>Cylindrotheca closterium</i>
<i>Aloeides margaretae</i>	<i>Ophiura triphaenoides</i>	<i>Butomus umbellatus</i>	<i>Euphysa flammea</i>
<i>Aloeides nollothi</i>	<i>Panorpodes paradoxus</i>	<i>Carcinus maenas</i>	<i>Microspongium alariae</i>
<i>Anelosimus baeza</i>	<i>Parvamoeba rugata</i>	<i>Chthamalus proteus</i>	<i>Obelia bidentata</i>
<i>Anelosimus domingo</i>	<i>Pedius longicollis</i>	<i>Cirsium arvense</i>	<i>Obelia</i> sp. JRH-2014
<i>Anelosimus elegans</i>	<i>Peronospora radii</i>	<i>Cyperus rotundus</i>	<i>Oceania armata</i>
<i>Anelosimus studiosus</i>	<i>Peronospora sherardiae</i>	<i>Dreissena polymorpha</i>	<i>Parvamoeba rugata</i>
<i>Anopheles epiroticus</i>	<i>Peronospora valerianellae</i>	<i>Eriocheir sinensis</i>	<i>Petalonia fascia</i>
<i>Apolemia</i> sp. BO-2009	<i>Petalonia fascia</i>	<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	<i>Physophora hydrostatica</i>
<i>Asplanchna sieboldi</i>	<i>Physophora hydrostatica</i>	<i>Gymnodinium catenatum</i>	<i>Praya reticulata</i>
<i>Austrarchaea</i> sp. QLD_2	<i>Phytomyza agromyzina</i>	<i>Limnoperna fortunei</i>	<i>Punctaria latifolia</i>
<i>Baiami</i> sp. CG291	<i>Phytomyza trivittata</i>	<i>Mya arenaria</i>	<i>Squamamoeba japonica</i>
<i>Bulinus forskalii</i>	<i>Phytophthora austrocedrae</i>	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	<i>Symplectoscyphus tricuspoidatus</i>
<i>Bulinus globosus</i>	<i>Phytophthora citrophthora</i>	<i>Perna</i>	<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>
<i>Bystus vestitus</i>	<i>Phytophthora macrochlamydospora</i>	<i>Phyllorhiza punctata</i>	<i>Thecocodium quadratum</i>
<i>Calonectria colhounii</i>	<i>Phytophthora mengei</i>	<i>Polysiphonia brodiei</i>	<i>Xestospongia deweerdtiae</i>
<i>Cerodontha fasciata</i>	<i>Phytophthora multivora</i>	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	
<i>Chaetoceros</i> sp. MBTD-CMFRI-S005	<i>Phytophthora polonica</i>	<i>Rhithropanopeus harrisi</i>	
<i>Chaetoceros</i> sp. MBTD-CMFRI-S045	<i>Phytophthora quercetorum</i>	<i>Sabella spallanzanii</i>	
<i>Chilarchaea quillon</i>	<i>Phytophthora</i> sp. GHJ-2016a	<i>Salvinia minima</i>	
<i>Chordariaceae</i> sp. 16 AP-2014	<i>Phytophthora</i> sp. NJB-2015	<i>Schizoporella errata</i>	
<i>Chordariaceae</i> sp. 21 AP-2014	<i>Phytophthora</i> sp. P1200	<i>Spartina anglica</i>	
<i>Chordariaceae</i> sp. 7 AP-2014	<i>Phytophythium kandeliae</i>	<i>Zizania latifolia</i>	
<i>Chromatomyia tiarella</i>	<i>Phytophythium montanum</i>		

Especies análisis de muestras de agua de lastre		Especies GISD	Especies WoRMS
<i>Chrysomya marginalis</i>	<i>Pluteus pellitus</i>		
<i>Chrysothrix aethon</i>	<i>Pluteus</i> sp. YYY002-10		
<i>Cladosporium bruhnei</i>	<i>Polyura schreiber</i>		
<i>Cladosporium</i> sp. BM-2009-5	<i>Poteriospumella lacustris</i>		
<i>Cladosporium tenuissimum</i>	<i>Praya reticulata</i>		
<i>Clitocybe</i> cf. <i>abundans</i> TRTC156948	<i>Psammodictyon panduriforme</i>		
<i>Clonostachys compactiuscula</i>	<i>Psathyrella</i> cf. <i>hydrophila</i> TRTC155552		
<i>Clytia folleata</i>	<i>Pterostichus fasciatopunctatus</i>		
<i>Cosmospora gigas</i>	<i>Pterostichus jurinei</i>		
<i>Cosmospora meliopsicola</i>	<i>Punctaria latifolia</i>		
<i>Cyclopodia horsfieldi</i>	<i>Pythium acrogynum</i>		
<i>Cyclotella</i> sp. MBTD-CMFRI-S052	<i>Pythium attrantheridium</i>		
<i>Cyclotrachelus torvus</i>	<i>Pythium contiguanum</i>		
<i>Cylindrotheca closterium</i>	<i>Pythium echinulatum</i>		
<i>Cylindrotheca fusiformis</i>	<i>Pythium helicandrum</i>		
<i>Cylistella</i> sp. A WPM-2015	<i>Pythium jasmonium</i>		
<i>Diaea</i> aff. <i>variabilis</i> JR-2014	<i>Pythium mamillatum</i>		
<i>Dinobryon divergens</i>	<i>Pythium mastophorum</i>		
<i>Durvillaea potatorum</i>	<i>Pythium nunn</i>		
<i>Emericellopsis minima</i>	<i>Pythium perplexum</i>		
<i>Entoloma</i> aff. <i>sinuatum</i> TRTC156542	<i>Pythium plurisporium</i>		
<i>Eucheilota</i> sp. JRH-2014	<i>Pythium</i> sp. YYL-2011b		
<i>Euphysa flammea</i>	<i>Pythium splendens</i>		
<i>Euryglossula</i> sp. 1 PK-2012	<i>Pythium sylvaticum</i>		
<i>Fusarium solani</i>	<i>Pythium ultimum</i>		
<i>Halophytophthora bahamensis</i>	<i>Pythium viniferum</i>		

Especies análisis de muestras de agua de lastre		Especies GISD	Especies WoRMS
<i>Halophytophthora exoprolifera</i>	<i>Rifargia sp. felderi</i> DHJ03		
<i>Halophytophthora vesicula</i>	<i>Salispina spinosa</i>		
<i>Hapigia sp. BOLD:AAD5626</i>	<i>Saprolegnia anisospora</i>		
<i>Hapigia sp. ribbei</i> DHJ06	<i>Saprolegnia ferax</i>		
<i>Heliophanus flavipes</i>	<i>Saprolegnia hypogyna</i>		
<i>Hemipyxis plagioderoides</i>	<i>Saprolegnia turfosa</i>		
<i>Hyaloperonospora nesliae</i>	<i>Saulaepoma sauliae</i>		
<i>Hypaeus mystacalis</i>	<i>Scytosiphon canaliculatus</i>		
<i>Hypochilus jemez</i>	<i>Sellaphora pupula</i>		
<i>Issikiocrania japonicella</i>	<i>Sinocoelotes yanyuanensis</i>		
<i>Japanagromyza viridula</i>	<i>Squamamoeba japonica</i>		
<i>Josa sp. Bolivia</i>	<i>Symplectoscyphus tricuspoidatus</i>		
<i>Latrodectus katipo</i>	<i>Synedra sp. 26 LG-2014</i>		
<i>Lithodesmium variabile</i>	<i>Taliniella vinki</i>		
<i>Mallinella sp. MR207</i>	<i>Telamonia cf. fuscimana</i> MRB192		
<i>Marrus sp. 2 BO-2009</i>	<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>		
<i>Mecaphesa semispinosa</i>	<i>Thecocodium quadratum</i>		
<i>Meilichius apicicornis</i>	<i>Thelonectria veuillotiana</i>		
<i>Microspongium alariae</i>	<i>Theridion gigantipes</i>		
<i>Myrmarachne platalaeoides</i>	<i>Thermonectus marmoratus</i>		
<i>Nannochloris sp. MBTD-CMFRI-S048</i>	<i>Thymoites unimaculatus</i>		
<i>Nephila clavipes</i>	<i>Uliodon sp. CG124</i>		
<i>Novodamus sp. TAB-2009</i>	<i>Xestospongia deweerdtiae</i>		
<i>Nuliodon fishburni</i>			

Tabla 5-X: tabla con la comparación de las especies determinadas en los análisis de muestras de agua de lastre y las especies determinadas en las bases de datos GISD y WoRMS.

A continuación, se analizan los resultados obtenidos tras la comparación:

En primer lugar, como se puede observar, ninguna de las posibles especies invasoras determinadas con la base de datos GISD se corresponde con alguna de las especies determinadas tras los análisis. Este fue uno de los motivos por lo que se decidió emplear la base de datos WoRMS, para ampliar la información, ya que la obtenida con GISD no dio muchos resultados. Una de las causas por las que se cree que esta base de datos no proporciona suficiente información es que, como está realizada por investigadores que añaden sus resultados, es posible que no existan resultados sobre algunas especies o que, si existen, pero no estén añadidos al GISD.

En segundo lugar, en lo relativo a las especies detectadas en los análisis de muestras, gracias a la búsqueda en WoRMS se puede afirmar que 7 de las 153 especies están detectadas en la zona de puerto del que procede la muestra y en la zona del puerto de El Musel.

En tercer lugar, para determinar las **especies invasoras**, y como ya se explicó en el apartado 4.2, una vez obtenidas las 7 especies se analizó si estaban reconocidas como invasoras en la base de datos WoRMS. Como resultados se obtuvo que la especie *Thalassiosira nordenskiöldii* está reconocida como invasora en Gunnes Warf, puerto del que proviene la muestra en la que se encontró, y en Gijón. A continuación, se plantea una tabla resumen con estos resultados, *tabla 5-XI*.

Nombre especie	Filo	Puerto de origen de la muestra	Invasora en puerto origen o Gijón
<i>Cylindrotheca closterium</i>	<i>Bacillariophyta</i>	Gunnes Warf	No
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	<i>Bacillariophyta</i>	Gunnes Warf	Si en los dos
<i>Obelia bidentata</i>	<i>Cnidaria</i>	Gunnes Warf	No
<i>Symplectoscyphus tricuspидatus</i>	<i>Cnidaria</i>	Gunnes Warf	No
<i>Agalma elegans</i>	<i>Cnidaria</i>	Gunnes Warf	No
<i>Physophora hydrostatica</i>	<i>Cnidaria</i>	Gunnes Warf y Nador	No
<i>Praya reticulata</i>	<i>Cnidaria</i>	Gunnes Warf	No

Tabla 5-XI: tabla resumen con los datos de las especies detectadas tras los análisis de muestras y en WoRMS.

Por último, antes de continuar con el apartado de conclusiones, se plantea la nueva capa realizada en el GIS con todos los resultados obtenidos. Tal como se explicó, en dicha capa se recogen todos los resultados y se exponen de un modo más visual. En primer lugar, se dibujaron las rutas más importantes desde los puertos de los que proviene el agua de las muestras. Y, en segundo lugar, cada uno de los resultados se añadió al punto geográfico del puerto del que proviene el agua de la muestra. A continuación, se añade la *figura 5-X* con las rutas desde los puertos de los que se obtienen muestras de agua de lastre y la *figura 5-XI* con un ejemplo de los resultados añadidos al puerto de Gunnes Warf.

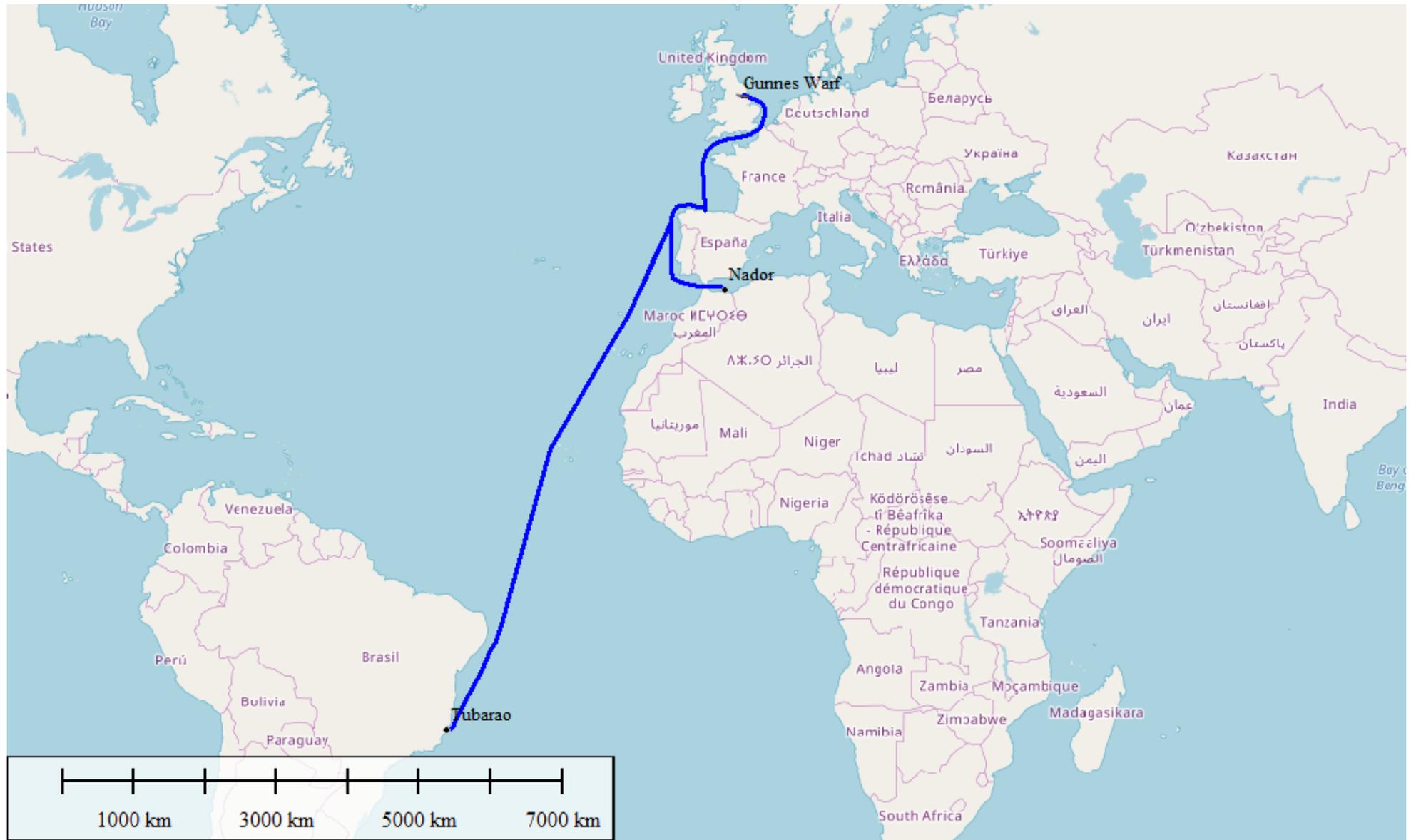


Figura 5-X: captura de pantalla de la capa del estudio de las muestras de agua de lastre del mapa de riesgos en la que se ven las rutas desde los puertos de los que se obtienen muestras.

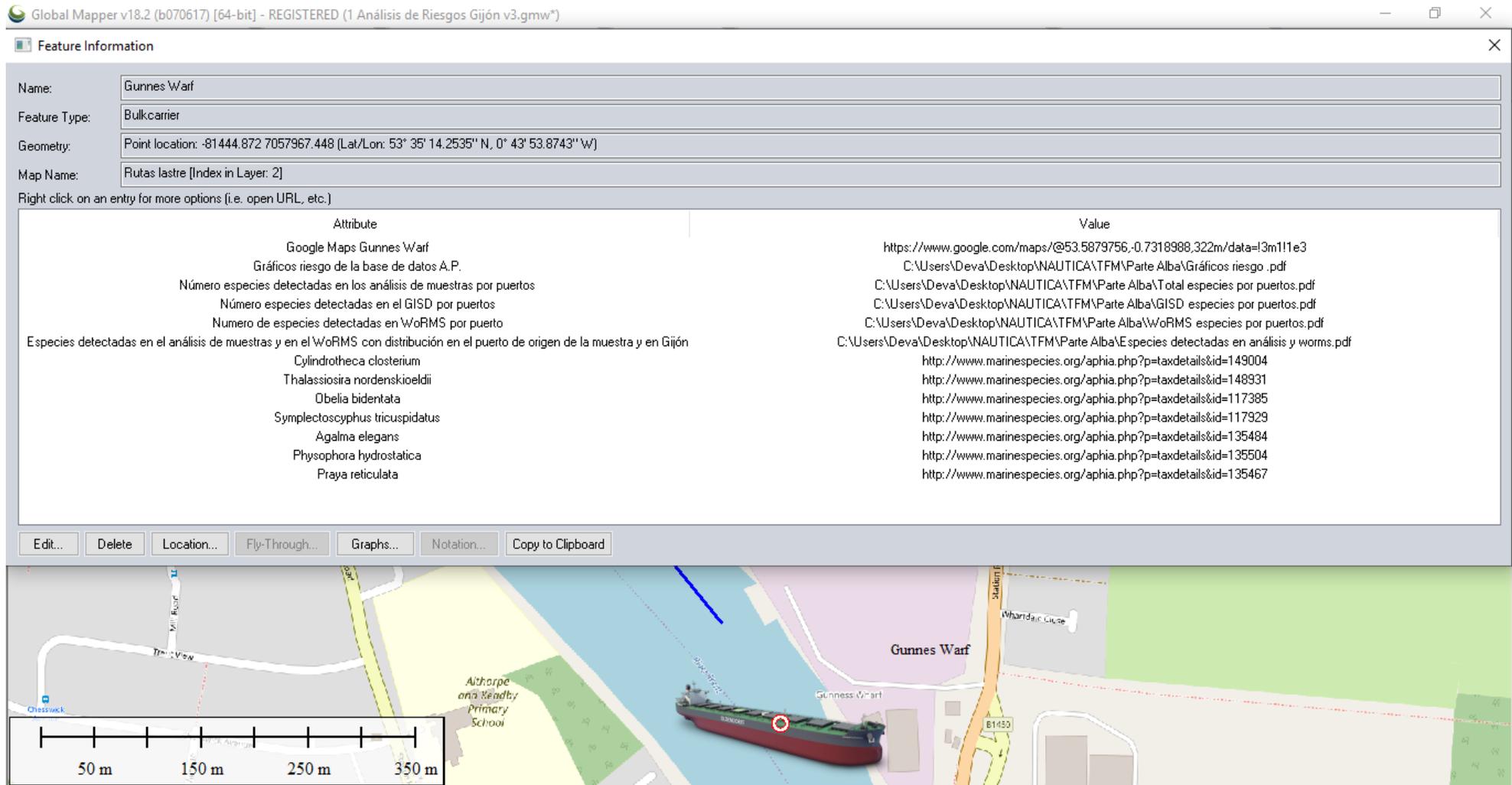


Figura 5-XI: captura de pantalla de la capa del estudio de las muestras de agua de lastre del mapa de riesgos en la que se ve un ejemplo de los resultados añadidos a un buque situado en el puerto de Gunnes Warf.

## 6 Conclusiones

Para finalizar el trabajo de fin de máster en este apartado se plantean las conclusiones obtenidas en los estudios realizados. Como la cantidad es elevada se expondrán siguiendo el orden utilizado en el apartado de resultados.

En primer lugar, se plantean las **conclusiones relativas a la continuación de los estudios de BLUEPORTS comenzados en el TFG:**

Para empezar, con el fin de realizar un análisis de riesgos en función al tráfico más eficaces, se determina que para estudios posteriores es muy importante que la Autoridad Portuaria de Gijón pida más información a los buques que visiten El Musel. La información a pedir que se propone: el lugar de la toma de agua de lastre; la cantidad exacta que lleva a bordo; si se realizaron cambios de agua de lastre o se trató durante el viaje, en caso afirmativo, lugar y fecha; tipo de pintura antifouling que lleva el buque, fecha en la que se pintó y las fechas de limpiezas del casco a flote, si se realizaron.

Por otro lado, al comparar los resultados de riesgo determinados con la información del tráfico portuario de Gijón, con los resultados de GISD se dan tres situaciones: en la primera, el riesgo por tráfico portuario se confirma; en la segunda, se determina que no pueden venir especies invasoras, aunque en función del tráfico sí se observa riesgo; y, en la tercera, se detectó riesgo en puertos que, en función de su tráfico con Gijón, no deberían tenerlo. En los casos en los que se confirma el riesgo, y gracias a la comparación de resultados, sabemos que los métodos utilizados son efectivos. En los puertos en los que en GISD no se detecta riesgo, se cree que esto puede deberse a las siguientes causas: en primer lugar, como ocurre en los puertos de Galicia con riesgo por lastre, se cree que la biota es similar en los dos sitios y por ello no deberían considerarse especies invasoras. En segundo lugar, en puertos como Tubarao con riesgo por incrustaciones, parece ser que no existen especies invasoras, o que si existen no hay estudios sobre ellas. También se puede dar el caso de que existan y sí haya estudios, pero que los investigadores no los añadieron a GISD. Es muy importante tener en cuenta que la base de datos utilizada está realizada por la información que añaden los investigadores y es por ello que debería tenerse en cuenta que probablemente esté incompleta. Por último, en los puertos en los que no había mucho riesgo en función del tráfico, pero en el GISD sí se determinó, esto podría deberse a que de dichas zonas sí hay registradas especies invasoras que pueden venir hasta Gijón. Como colofón, y tras la comparación de resultados, los muelles con mayor riesgo de contaminación biológica por agua de lastre son, Contradique Príncipe de Asturias, Espigón I Sur tramo 1, Ingeniero

Olano, Osa Rampa RO/RO y Muelle norte; y por incrustaciones, Ingeniero León, Ingeniero Moliner e Ingeniero Olano.

A continuación, se menciona que tras la comparación entre los análisis de muestras y las especies detectadas en GISD se obtienen tres especies invasoras que ya están reconocidas en Gijón: *Bugula neritina*, *Codium fragile* y *Polysiphonia*. Respecto al resto de especies determinadas en GISD, que no aparecen en la comparación de resultados, esto puede deberse a varias causas: en primer lugar, que la especie estuviera reconocida en el puerto de toma de agua de lastre, pero que no habitará en la zona en la que se tomó el lastre. En segundo lugar, puede que las especies no hayan sobrevivido debido a las duras condiciones que deben soportar durante el viaje: en muchas ocasiones hay grandes cambios de temperatura, salinidad y pH; el oxígeno del agua de lastre se agota porque los tanques no tienen ventilación; las especies que mueren desprenden sus desechos metabólicos, etc. En tercer lugar, puede que las especies sobrevivan al viaje, pero por sus características no puedan sobrevivir en Gijón. En cuarto lugar, puede que las especies no hayan llegado a Gijón ya que, tras la entrada en vigor del convenio BWM, los buques tienen que realizar cambios de agua de lastre durante el viaje y alguno de ellos ya tienen obligación de tratar dichas aguas. Este es uno de los principales motivos por lo que es muy importante pedir más información, sobre este tema, a los buques cuando lleguen al puerto.

Por último, para acabar con las conclusiones de esta parte, decir que al comparar los diferentes análisis y añadir los resultados a un GIS el proyecto BLUEPORTS gana mucho valor y se hace pionero en España.

En segundo lugar, se plantean las **conclusiones del estudio de las muestras de agua de lastre entregadas por buques que atracaron en Gijón:**

En primer lugar, como en varias de las muestras entregadas no se encontraron especies y en otras se detectaron contaminaciones, para las próximas entregas se espera que se utilicen las premisas para la buena toma y conservación de las muestras planteadas en los resultados de este TFM.

En segundo lugar, tras el estudio de riesgo se determinó que para próximos análisis sería mejor determinar el riesgo por países o zonas más amplias que los puertos, ya que a la hora de aplicar el filtro de localización en las bases de datos de especies invasoras solo permite elegir zonas amplias y no lugares en concreto.

En tercer lugar, tras realizar los análisis de muestras en GISD y WoRMS, se determinó que el puerto del que se obtienen más resultados es Gunnes Warf. Esto confirma las

conclusiones del estudio anterior y demuestra que los largos viajes afectan a la supervivencia de las especies en el buque, o al menos al ADN presente en el agua de lastre.

En cuarto lugar, al emplear la base de datos WoRMS se detectaron 7 especies con distribución reconocida en el país de origen de la muestra y en Gijón, además una de ellas se considera invasora en los dos puertos. En la continuación de los estudios de BLUEPORTS se concluye que la información que proporciona esta base de datos sobre la distribución va a ser muy útil. Con GISD se determinan las posibles especies invasoras en base a estudios realizados, pero puede que haya especies que estén distribuidas en una zona y aún no se reconozcan como invasoras en ella. Por eso se deduce que analizar la distribución de las especies encontradas en los análisis de muestras es muy importante.

En quinto lugar, tras el estudio de los filos se concluye que es necesario que en la continuación de los estudios de BLUEPORTS se empleen las dos bases de datos, GISD y WoRMS. Habiendo determinado que en cada una de ellas predominan unos tipos de especies diferentes, y que en los análisis de muestras aparecen los dos, si no combinamos los resultados nos faltaría información.

Por último, mencionar que gracias a la realización del estudio particular del agua de lastre se obtuvieron mejoras para llevar a cabo en el estudio de BLUEPORTS que se esperan poder utilizar en la tesis.

## 7 Bibliografía citada

- Abyntek, 2017. Muestras biológicas, ¿A qué temperatura almacenarlas?
- Arnulfo Salas Betancourt, 2012. Informe de un experimento (extracción de ADN).
- Autores WoRMS, 2019. World Register of Marine Species, WoRMS. URL <http://www.marinespecies.org/>
- Comité de protección del medio marino de la Organización Marítima Internacional, 2017. MEPC 71/WP.11/Rev.1 del 5 de julio de 2017. Organismos acuáticos perjudiciales en el agua de lastre. Proyecto de resolución MEPC sobre la implantación del Convenio BWM.
- Conjunto de investigadores del proyecto BLUE PORTS, 2016. Memoria científico-técnica de proyectos de investigación: Estrategias científicas y educativas para una actividad portuaria sostenible ante invasiones biológicas.
- Coordinador de MaFIG-UniOvi: D. Horacio J. Montes Coto, 2010. Página oficial del grupo de Investigación Maritime Field Investigation Group of the Universidad of Oviedo (MaFIG-UniOvi).
- Cuesta, J.A., Almon, B., Perez-Dieste, J., Trigo, J.E., Banon, R., 2016. Role of ships' hull fouling and tropicalization process on European carcinofauna: new records in Galician waters (NW Spain). *Biol. Invasions* 18, 619–630.
- Daniel Castrejón Moreno, 2012. Categorías Taxonómicas.
- Deva Menéndez Teleña, 2018. Análisis de riesgos de contaminación biológicas por agua de lastre e incrustaciones en el Puerto de Gijón.
- España en el Boletín Oficial del Estado, 2016. BOE Número 282, del martes 22 de noviembre de 2016. Páginas de la 81757-81790. Instrumento de ratificación del Convenio Internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques, 2004, hecho en Londres el 13 de febrero de 2004.
- España en el Boletín Oficial del Estado, 2007. BOE Número 267, del miércoles 7 de noviembre de 2007. Páginas 45630-45644. INSTRUMENTO de Adhesión de España al Convenio Internacional sobre el control de los sistemas antiincrustantes perjudiciales en los buques, hecho en Londres el 5 de octubre de 2001., 267.
- Eun-Chan Kim, Jeong-Hwan Oh, Seung-Guk Lee, 2014. Port Risk Assessment for Ballast Water Managements in the Republic of Korea.
- Eva García Vázquez, 2016. Resumen de la propuesta del proyecto: Estrategias científicas y educativas para una actividad portuaria sostenible ante invasiones biológicas.
- Eva García Vázquez et alms, 2016. Estrategias científicas y educativas para una actividad portuaria sostenible ante invasiones biológicas, con acrónimo BLUEPORTS y referencia MINECO CGL2016-79209-R Convocatoria de 2016 del plan nacional de investigación. En el apartado de proyectos EXCELENCIA y proyectos RETOS.
- Galil, B.S., Marchini, A., Occhipinti-Ambrogi, A., Minchin, D., Narscius, A., Ojaveer, H., Olenin, S., 2014. International arrivals: widespread bioinvasions in European Seas. *Ethol. Ecol. Evol.* 26, 152–171.
- International Maritime Organization, 2017. INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE CONTROL AND MANAGEMENT OF SHIPS' BALLAST WATER AND SEDIMENTS, 16 February 2004. BWM/CONF/36.
- International Maritime Organization, 2008. International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships.
- International Nucleotide Sequence Database Collaboration, 2019. Base de datos GenBank.
- Invasive Species Specialist Group, ISSG, 2000. Global Invasive Species Database, GISD. URL <http://www.iucngisd.org/gisd/>
- Khalanski, M., 1997. Industrial and ecological consequences of the introduction of new species in continental aquatic ecosystems: The zebra mussel and other invasive species. *Bull. Francais Peche Piscic.* 385–404.

- La Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, 2018. Código de las Naciones Unidas para el Comercio y las Ubicaciones de Transporte (UN/LOCODE, United Nations Code for Trade and Transport Locations). Lista de códigos por país siguiendo la ISO 3166-1. URL <https://www.unece.org/cefact/locode/service/location>
- Laboratorio de Química Ambiental Ideam, 1997. Toma y preservación de muestras.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente; Gobierno de España, 2013. Protocolo de muestreo de fitoplancton en lagos y embalses.
- Miriam Ostinelli, Mario Basan, Susana Maciel, Daniel Carreira, 2010. Muestreo, transporte y conservación de muestras de agua.
- Muhan Chenga, Ta-Kang Liua, Sergej Oleninb, Pin-Xuan Sua, 2019. Risk assessment model based on expert's perspective for ballast water management.
- Murray, C.C., Gartner, H., Gregr, E.J., Chan, K., Pakhomov, E., Therriault, T.W., 2014. Spatial distribution of marine invasive species: environmental, demographic and vector drivers. *Divers. Distrib.* 20, 824–836.
- Natusfera, 2018. Página web Natusfera. Es una adaptación de iNaturalist desarrollada por el CREAM y Bineo Consulting. Está financiada por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), Obra Social “La Caixa” y Nodo Nacional de Biodiversidad en España y el Instituto de Ciencias del Mar. Patrocinada por el Ministerio Español de Economía y Competitividad (MINECO) y gestionada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) a través del Real Jardín Botánico.
- Nicole Dobroski, Chris Scianni, Christopher Brown, Raya Nedelcheva, 2013. The Use of Geographic Information Systems to Assess the Compliance of Ballast Water Management for Commercial Ships Operating in California.
- Organización Marítima Internacional, 2019a. Lista actualizada el 10 de abril de 2019 de los países que ratificaron los Convenios de la Organización Marítima internacional.
- Organización Marítima Internacional, 2019b. Artículo de la revista oficial de la OMI, “IMO News”, sobre el proyecto GloFouling: Global project launched to protect marine biodiversity.
- Organización Marítima Internacional, 2017. Resumen de la página oficial de la OMI sobre el Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques (BWM).
- Organización Marítima Internacional, 2016. Información del GloBallast Programme en la página oficial de la OMI. URL <http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/SpecialProgrammesAndInitiatives/Paginas/GloBallast.aspx>
- Organización Marítima Internacional, 2008. Resumen de la página oficial de la OMI sobre el Convenio internacional sobre el control de los sistemas antiincrustantes perjudiciales en los buques.
- Organización Marítima Internacional, 1983. Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques o MARPOL.
- Ostenfeld, C. H., 1908. On the Immigration of *Biddulphia sinensis* Grev. and its Occurrence in the North Sea during 1903-1907.
- Pereira, N.N., Colombo, F.B., Alayo, M.I., Brinati, H.L., Carreno, M.N.P., 2016. Challenges to implementing a ballast water remote monitoring system. *Ocean Coast. Manag.* 131, 25–38.
- Redactores del The Maritime Executive, 2018. Ballast-Free LNG Bunkering Vessel Ordered. Publicado en The Maritime Executive.
- Revista: The Maritime Executive, 2018. U.S. Ballast Water Bill Awaits President's Signature.
- Scianni, C., Brown, C., Nedelcheva, R., Dobroski, N., Ieee, 2013. Hull husbandry practices and biofouling management of vessels operating in California, in: 2013 Oceans - San Diego, Oceans-IEEE.
- Sylvester, F., Maclsaac, H.J., 2010. Is vessel hull fouling an invasion threat to the Great Lakes? *Divers. Distrib.* 16, 132–143.
- Vilches, Alfredo, Legarralde, Teresa, Berasain, Gustavo, 2012. Elaboración y uso de claves dicotómicas en las clases de biología.

VITLAB Competence in Labware, 2019. Botes para muestras: transporte seguro y almacenamiento perfecto.

Wikimedia foundation, 2010. Academic.

Zaranko, D.T., Farara, D.G., Thompson, F.G., 1997. Another exotic mollusc in the Laurentian Great Lakes: The New Zealand native *Potamopyrgus antipodarum* (Gray 1843) (Gastropoda, Hydrobiidae). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54, 809–814.