



*Escuela Técnica Superior de  
Ingenieros de Caminos, Canales y  
Puertos.*  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



*Metodología para el análisis estadístico y  
meteo-oceanográfico de las trayectorias  
de aproximación de buques en entornos  
portuarios*

Trabajo realizado por:

*Rodrigo Bastida Arias*

Dirigido:

*Gabriel Díaz Hernández*

*Javier López Lara*

Titulación:

**Máster Universitario en  
Ingeniería Costera y  
Portuaria**

Santander, mes de septiembre de 2020

**TRABAJO FINAL DE MASTER**



## **Metodología para el análisis estadístico y meteo-oceanográfico de las trayectorias de aproximación de buques en entornos portuarios**

**Autor:** Rodrigo Bastida Arias

**Directores:** Gabriel Díaz Hernández - Javier López Lara

**Convocatoria:** septiembre 2020

### **Resumen:**

La bahía de Algeciras se encuentra situada en la costa norte del Estrecho de Gibraltar, estrecho que une el mar Mediterráneo con el Océano Atlántico y punto estratégico de circulación naval por el que cada año circulan más de 82.000 embarcaciones. Esto generó que hasta el siglo XX el puerto de Gibraltar se haya posicionado como uno de los más importantes, pero hoy en día, ese protagonismo lo ha adquirido el puerto de Algeciras.

En el año 2001, la Organización Marítima Internacional (IMO) dictó la obligatoriedad de utilización de un Sistema de Identificación Automática (Automatic Identification System o AIS) para buques que, surcando las aguas internacionales, superen las 300 Toneladas de Registro Bruto (TRB). El sistema AIS transmite una gran cantidad de información a otras embarcaciones y a distintas estaciones terrestres, como ubicación temporal, códigos de identificación (IMO y MMSI), dimensiones y destino final de la embarcación entre otros, para hacer que las condiciones de navegación sean más seguras.

Esta información proporcionada por el sistema, ha sido recopilada por la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras y brindada para su proceso al Instituto de Hidráulica de Cantabria (IHCantabria) bajo el convenio del programa "Safeport" en el año 2018, cuyo objetivo era la caracterización océano-meteorológica a escala local.

Aprovechando el procesamiento de esta información, y de la base de datos de viento y oleaje que fueron generadas bajo este programa, el presente TFM busca desarrollar una metodología que permita, en una primera etapa, analizar y procesar los datos AIS (pre-procesados por el IH Cantabria) y, en un segundo lugar, identificar las relaciones que pudieran existir entre las variables meteo-oceanográficas y las trayectorias de las embarcaciones, prestando especial atención en el tiempo de permanencia de las embarcaciones en muelle, además de considerar sus características geométricas, usos y velocidades de aproximación.

### **Palabras Claves:**

Puertos; parada operativa; AIS; trayectorias; maniobras; clima portuario



## ***Methodology for the statistical and meteo-oceanographic analysis of the approach tracks of ships in port environments***

**Author:** Rodrigo Bastida Arias

**Directores:** Gabriel Díaz Hernández - Javier López Lara

**Call:** September 2020

### **Abstract:**

The Bay of Algeciras is located on the northern coast of the Strait of Gibraltar, a strait that links the Mediterranean Sea with the Atlantic Ocean, as a strategic point of naval circulation through which more than 82,000 boats circulate each year. This led to the port of Gibraltar becoming one of the most important up until the 20th century, but today the port of Algeciras has taken on this role.

In 2001, the International Maritime Organization (IMO) made it obligatory to use an Automatic Identification System (AIS) for ships sailing in international waters that exceed 300 GRT. The AIS system transmits a great amount of information to other vessels and different land stations, such as temporary location, IMO and MMSI code, dimensions and final destination of the vessel among others, to make navigation conditions safer.

This information provided by the system has been compiled by the Port Authority of the Bay of Algeciras and provided for processing to the Institute of Hydraulics of Cantabria (IHCantabria) under the "Safeport" project in 2018, which seeks to characterize ocean-meteorology on a local scale.

Taking advantage of the processing of this information, and of the wind and wave data base generated under this project, the present study attempts to develop a new methodology which will allow, in a first stage, the analysis and processing of AIS data (pre-processed by the IHCantabria) and, in a second stage, the identification of the relationships which may exist between the oceanographic-meteorological variables and the trajectories of the vessels, taking into account ship mooring and downtime, their geometric characteristics, uses and approach speeds.

### **Palabras Claves:**

Harbor, downtime, AIS, ship trajectories, harbor wave climate



## Índice

1. Introducción.....	4
2. Objetivos .....	5
3. Ubicación: .....	6
3.1. Muelle de Contenedores: .....	7
4. Base de datos a utilizar .....	9
4.1. Proyecto SafePort .....	9
4.2. Oleaje .....	10
4.3. Viento.....	13
4.4. Datos AIS.....	14
4.5. Base de datos AIS .....	17
5. Condicionantes de maniobrabilidad y límites de operación: .....	20
5.1. Viento:.....	20
5.2. Oleaje:.....	21
5.3. Corrientes: .....	22
5.4. Condiciones límites: .....	22
6. Eventos operativos y Propuesta metodológica: .....	26
6.1. Buques en estado de atraque: .....	30
6.2. Buques y zonas de maniobras: .....	31
7. Resultados: .....	32
7.1. Buques atracados y altura de ola significativa: .....	32
7.2. Buques atracados y periodo de pico: .....	36
7.3. Análisis conjunto de Altura de ola y periodo de pico:.....	38
7.4. Buques atracados y Viento:.....	39
7.5. Maniobras de aproximación y de retiro:.....	40
8. Conclusiones y futuras líneas de investigación .....	43
9. Bibliografía .....	44
10. ANEXO:.....	45



## 1. Introducción

Durante los últimos años, se ha ampliado el conocimiento del que se disponía sobre variables oceánicas y meteorológicas: bases de datos provenientes de reanálisis numérico o hindcast, nuevos modelos matemáticos aplicados a análisis predictivos o forecast, regionalizaciones o downscaling híbridos, etc. Estos nuevos conocimientos se han ido aplicando al diseño de estructuras, estudios de la agitación portuaria, sistemas operacionales aplicados a la construcción de estructuras marítimas, aplicaciones para determinar la erosión litoral, entre otras utilidades.

En forma paralela, con el avance tecnológico en materia de gestión portuaria y la implementación de nuevos elementos que ayudan a la navegabilidad de las embarcaciones, ha sido necesario un proceso continuo de asimilación de grandes volúmenes de información sobre las distintas variables, tanto de navegación, maniobra, atraque, carga y descarga de mercancías, como de las variables climáticas

Se intuye de antemano que, por ejemplo, la velocidad de atraque puede estar ligada a condiciones ambientales en relación al oleaje y/o corrientes en muelle, o que los vientos que impactan sobre la embarcación pueden generar una deriva que llega a ser perjudicial durante una maniobra de atraque, o que la permanencia del buque en muelle puede sufrir retardos debido a eventos medioambientales adversos. No obstante, en la actualidad no se tiene aún certeza cuantitativa sobre la estadística correlacional entre las variables propias de la embarcación, variables propias de su movimiento o trayectoria y las variables climáticas dentro del puerto, posiblemente debido a la falta de datos sincrónicos en el espacio-tiempo.

A este respecto y para el presente estudio, la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (APBA) dispone de un extenso banco de datos con alta fiabilidad, continuos en el espacio-tiempo y considerando distintas fuentes de información.

Con base en esta disponibilidad de información, se propone una metodología que explore estos datos y analice su interrelación estadística, de manera de poder identificar dependencias entre ellas, tendencias y cuantificar sus relaciones con respecto a conceptos tales como la navegabilidad, la parada operativa, tiempo de permanencia en muelle, etc.



## 2. Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo principal proponer un método que permita cuantificar, de forma estadística, las relaciones multivariadas entre las variables meteo-oceanográficas portuarias y las trayectorias de las embarcaciones, teniendo en cuenta sus características geométricas, usos, tiempos de permanencia en muelle y velocidades de aproximación.

Se pretende realizar un pormenorizado análisis de las trayectorias de aproximación, entrada y salida de buques desde y hacia las distintas terminales comerciales, teniendo en cuenta las tipologías y bajo la influencia del entorno climático portuario (a ser aplicado en el Puerto de Algeciras, concretamente en la Terminal de Contenedores TTI a manera de prueba piloto del método de postproceso).

Se propone evaluar la estadística interrelacional de las variables asociadas al propio buque (eslora, manga, calado), sus trayectorias (velocidades y posiciones relativas al muelle de destino), y las variables climáticas coincidentes en el espacio-tiempo (oleaje y viento), así como cuantificar los tiempos de permanencia del buque en muelle, su relación con las variables climáticas concomitantes y el posible cumplimiento de los límites de parada operativa que sugiere el programa ROM (Recomendaciones de Obras Marítimas).

Colateralmente, se pretende profundizar el conocimiento sobre los datos recolectados y transmitidos por las embarcaciones dentro del entorno portuario.

### 3. Ubicación:

El Puerto Bahía de Algeciras es un puerto situado en el sur de España, en la región de Andalucía, ubicado estratégicamente sobre el extremo Este del estrecho de Gibraltar. El estrecho es la única conexión entre el mar Mediterráneo y el océano Atlántico. Se encuentra entre el mar de Alborán y el golfo de Cádiz. Abarca desde la línea Gibraltar-Ceuta hasta la línea cabo Espartel-cabo Trafalgar. Su longitud es de 14,4 km en su parte más angosta, entre punta de Oliveros (España) y punta Cires (Marruecos), y su profundidad varía entre unos 280 m hasta algo menos de 1000 m a la altura de la bahía de Algeciras.

Su escasa anchura y el intenso tráfico marítimo de sus aguas (más de 82.000 buques al año), tanto entre el Atlántico y el Mediterráneo como entre Europa y África, le convierten en uno de los pasos más transitados del planeta.

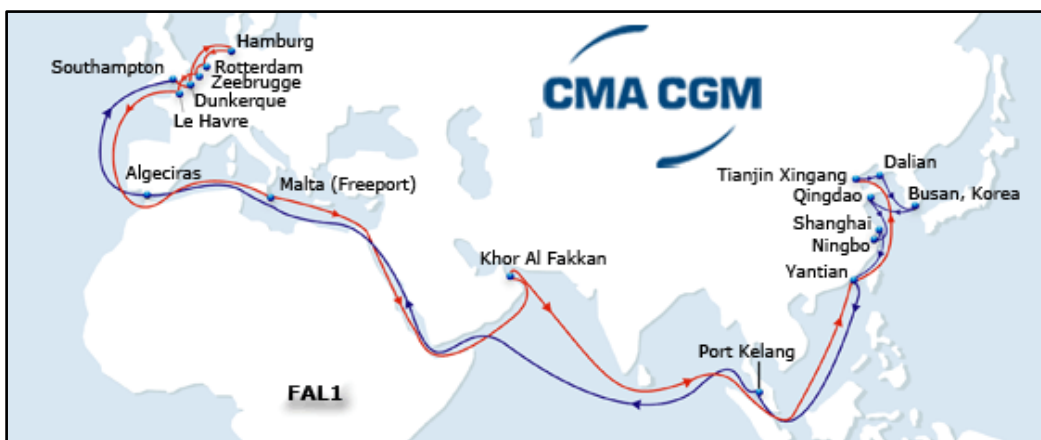


Figura 1: recorrido realizado por la empresa naviera y de transporte CMA CGM S.A.

Tradicionalmente el puerto más importante de la zona ha sido el de Gibraltar, aunque en el siglo XX ha sido ampliamente superado por el puerto de Algeciras, que se ha especializado en servir de punto de escala para los grandes buques que en rutas regulares atraviesan el estrecho.

Hoy en día es el primer puerto de España en tráfico total de mercancías y el primero del mar Mediterráneo, y se encuentra en los lugares 25º del mundo en transporte de contenedores y 6º de Europa. En 2015 alcanzó los 98,2 millones de toneladas en tráfico total y más de 4,5 millones de contenedores.

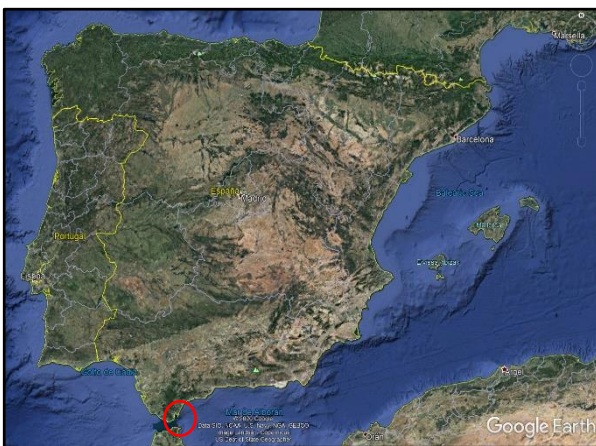


Figura 2: Imagen satelital de la península ibérica e Islas baleares. Fuente: Google Earth

El Puerto Bahía de Algeciras se compone de varias terminales e instalaciones diferentes: las originarias del puerto de Algeciras y sus sucesivas ampliaciones, situadas en el frente marítimo de la localidad de Algeciras; los atraques de graneles sólidos, en la orilla perteneciente a Los Barrios; los atraques de graneles líquidos, en la orilla perteneciente a San Roque; la plataforma de Campamento, situada en esta pedanía sanroqueña; y la dársena deportiva de La Línea de la Concepción.

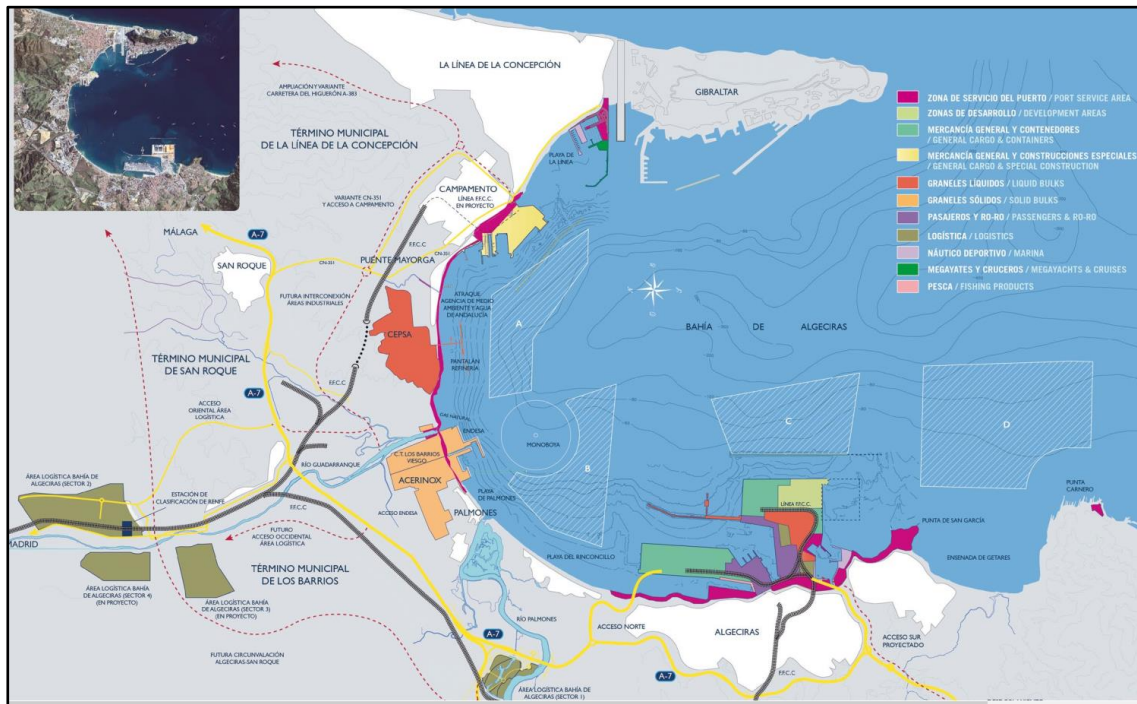


Figura 3: Mapa interactivo de puertos en la Bahía de Algeciras. Fuente: APBA

### 3.1. Muelle de Contenedores:

Durante los últimos años, el Puerto Bahía de Algeciras ha afianzado su posición como uno de los primeros puertos del Mediterráneo en tráfico de contenedores. Los más de 4,7 millones de TEUs (Twenty-foot Equivalent Unit, que significa Unidad Equivalente a Veinte Pies) que pasaron por sus instalaciones y los 107 millones de toneladas movidas en 2018, representan excelentes cifras para un puerto que cada año consolida su protagonismo como un punto estratégico para el transbordo internacional.

El manejo de contenedores en el puerto es mayoritariamente de trasbordo entre los barcos de las líneas marítimas que unen Asia con América y Europa, y África con Europa. La geografía del estrecho de Gibraltar obliga a que muchas de estas líneas marítimas pasen a unas millas del puerto, por lo que es el punto donde menos se tienen que desviar para las labores de trasbordo. Actualmente existen dos terminales de contenedores, APM Terminals Algeciras y Total Terminal International.

La terminal APM Terminals Algeciras se sitúa en el muelle Juan Carlos I, sobre el límite de Algeciras, tiene una superficie de 67 ha, y dispone de calados de 17 metros de profundidad. Actualmente, existen en ella 19 grúas de muelle, ocho de ellas over super post-panamax, a las que se suman 59 grúas pórtico RTGs (Rubber Tyred Gantry) y 102 cabezas tractoras. APM Terminals Algeciras permite dar servicio a los mega-buques de más de 18.000 TEU's de capacidad.

La terminal de contenedores "Total Terminal International" o TTI se sitúa en el muelle de Isla Verde exterior. Es de carácter público, aunque tiene una concesión de 60 hectáreas. Dispone de dos muelles, uno de 650 m de longitud de embarque y 18,5 de calado, y otro de 550 m y 17,5 de calado. Es la primera terminal semiautomática del Mediterráneo, inaugurada en marzo de 2010. Actualmente tiene capacidad para 1,6 millones de contenedores.



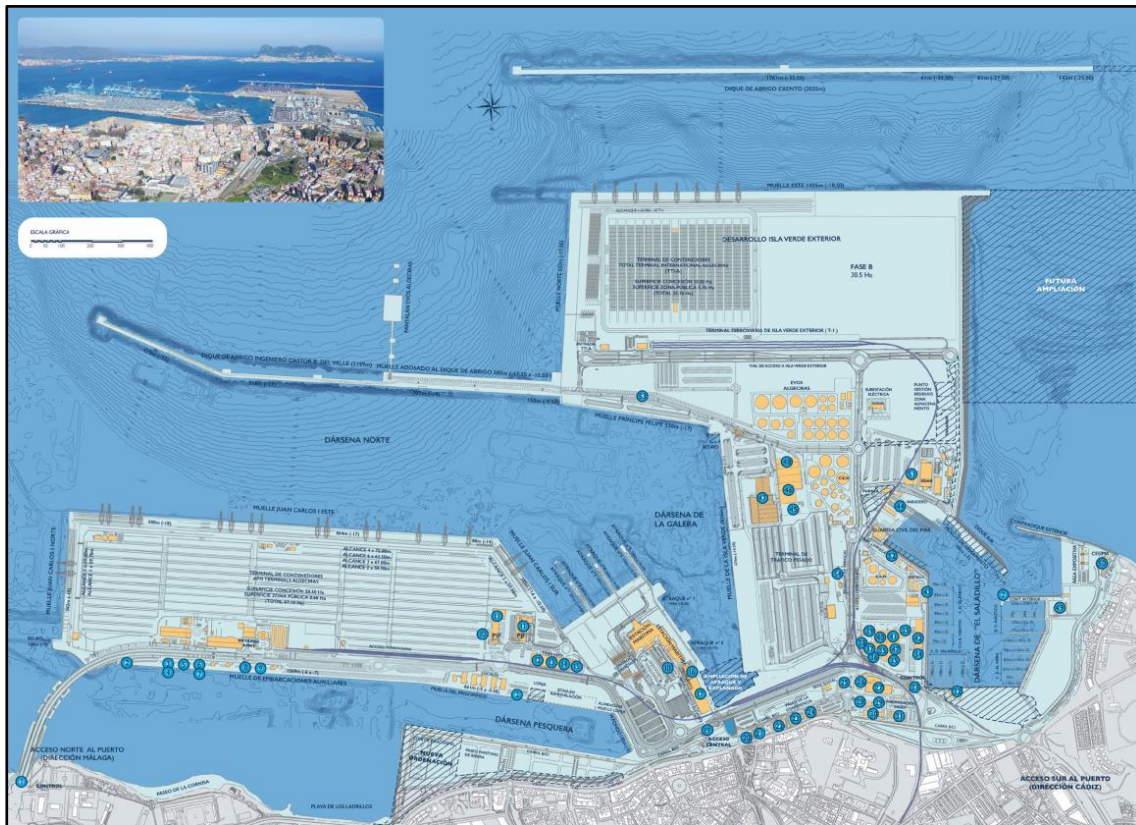


Figura 4: Mapa de las terminales portuarias en la localidad de Algeciras, Bahía de Algeciras. Fuente: APBA



## 4. Base de datos a utilizar

### 4.1. Proyecto SafePort

El proyecto “Algeciras SafePort” ha sido impulsado por la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras y llevado a cabo por un conjunto de empresas con la participación del IH Cantabria. Con el mismo, se pretende parametrizar el sistema del medio físico-buque-estructura y así poder evaluar y cuantificar el riesgo asociado a la actividad portuaria. Esto permite reducir la incertidumbre económica que se da en el sector, con el desarrollo de herramientas de apoyo a la explotación y gestión portuaria.

Este proyecto se enmarca dentro de una novedosa metodología que busca la certificación internacional de puerto seguro (Safe Port), frente a agentes físicos ambientales, e incorpora la gestión de riesgos en las operaciones portuarias y el desarrollo de herramientas para toma de decisiones en tiempo real.

El objetivo principal del proyecto Algeciras Safeport, es continuar en la línea de trabajo Sistema Autónomo de Medición, Predicción y Alerta (SAMPA) del que ya dispone la Autoridad Portuaria, optimizando los modelos numéricos ya implantados. Así, se establece una metodología para la creación y obtención de un Certificado de Puerto Seguro y se desarrollan herramientas de apoyo a la toma de decisiones.

La Fase I de “Algeciras SafePort” se centra en la caracterización océano-meteorológica a escala local, basada en tres pilares fundamentales: la monitorización meteo-oceanográfica, el modelado y predicción de alta resolución y el desarrollo de nuevas herramientas de apoyo a la explotación portuaria, junto con su integración en los sistemas existentes.

Para la monitorización de las variables met-oceánicas se amplió la red meteorológica existente con tres nuevas estaciones meteorológicas. Adicionalmente se instalaron sensores de agitación y corrientes (para medir la velocidad y dirección de la corriente en toda la columna de agua y estimar los parámetros de oleaje), y se diseñó un plan de integración de los datos para garantizar un flujo de información seguro y eficaz.

Para la consecución del modelado y el sistema de predicción met-oceánica, se han caracterizado los agentes predominantes del medio físico (viento, oleaje, nivel del mar y corrientes) en el entorno portuario. Posteriormente se han implantado nuevos modelos de alta resolución de viento y oleaje, que tienen en cuenta el contorno del puerto y se anidan a los modelos numéricos ya existentes, dando lugar a predicciones cada vez más detalladas y fiables. Estos modelos han sido validados y calibrados con los datos proporcionados por la monitorización océano-meteorológica a través de una red ampliada de mediciones, con especial atención a las zonas interiores del Puerto.

La aplicación también permite la particularización de informes y alertas operacionales, haciéndolos accesibles a la comunidad portuaria:

- El Atlas Histórico del Clima Marítimo de viento y olas.
- La Predicción del Riesgo Operativo personalizada para cada AOI.
- El Sistema de Alerta de Rebote en el Puerto de Tarifa.

Por último, se plantearon dos herramientas de apoyo a la explotación portuaria: una Plataforma de Gestión del Big Data y el desarrollo de una serie de entrevistas con los usuarios potenciales de las herramientas para poder capturar el valor que esperan sea generado con la producción de las mismas.



La nueva plataforma de gestión buscó una mayor agilidad de procesamiento y visualización de la información, mediante una nueva metodología de monitorización unificándola, independientemente de su origen y estructura.

## 4.2. Oleaje

La base de datos de Oleaje en el interior de la Bahía de Algeciras, aportada por el IH Cantabria, también se encuentra enmarcada dentro del proyecto antes descrito. Tomando como datos de partida la serie de datos de oleaje DOW (Downscaled Ocean Waves, IHCantabria) en la bocana de la Bahía de Algeciras, propagándose hacia el interior de la misma y calibrándose con datos instrumentales.

Este proceso de propagación de oleaje para la determinación de la agitación portuaria en el interior de la Bahía, es sumamente complejo por las características mismas de la Bahía, las características del oleaje y los modelos numéricos que se encuentran vigentes en el mercado. A la hora de aplicar los modelos numéricos, un condicionante importante es el tiempo computacional. Es necesario llegar a un equilibrio entre la resolución necesaria exigida al modelo para obtener resultados satisfactorios y las limitaciones computacionales.

Antes de realizar cualquier proceso de propagación, es necesario analizar con qué modelo realizarlo, en función de los resultados buscados y las condicionantes existentes. En este caso, se ha adoptado por el modelo MSPv2.0., que tiene la capacidad de resolver de forma elíptica la ecuación de la pendiente suave, empleando para ello un esquema de elementos finitos.

El modelo incorpora la posibilidad de describir con detalle la reflexión de cada uno de los contornos, en especial los muelles de atraque y los diques y contradiques de los puertos. Asimismo, incorpora el efecto de la difracción, refracción, asomeramiento, rotura y disipación por fondo. El potencial que ofrece el modelo radica en la capacidad de analizar el efecto de la reflexión múltiple/parcial de un tren de olas en el interior del puerto, incluyendo todos los patrones de difracción producidos por los distintos muelles, espigones y diques.

El modelo MSP, permite la ejecución de grandes mallas, con un gran número de elementos, lo cual se traduce en simulaciones numéricas de alta resolución para oleajes con periodos pequeños propagándose sobre áreas de 10 o más kilómetros. Además, tiene la posibilidad de adaptar los coeficientes numéricos de reflexión en función del periodo del oleaje incidente, con la finalidad de proveer una respuesta mucho más realista en términos de agitación portuaria.

Por otro lado, y para poder evaluar la generación de oleaje por la acción del viento local dentro de la Bahía de Algeciras y dársenas portuarias, se realiza un acoplamiento energético de los mapas de altura de ola significativa obtenidos con el modelo MSP, con mapas de altura de ola significativa obtenidos con el modelo unSWAN forzados con los campos de viento dentro de la bahía.

El orden lógico de los trabajos para llevar a cabo adecuadamente el estudio de propagación del oleaje y agitación portuaria consiste en: a) mostrar el contorno portuario considerado en este estudio; b) describir brevemente las características batimétricas de trabajo; c) presentar las consideraciones sobre los coeficientes de reflexión a utilizar; d) comentar las consideraciones con respecto a la inclusión del oleaje generado por viento local dentro de la Bahía de Algeciras y e) descripción de los tiempos computacionales en relación con el catálogo de simulaciones a realizar.

La geometría considerada corresponde al estado actual de todas y cada una de las instalaciones pertenecientes a la APBA, incluyendo el contorno exterior general del puerto de Gibraltar, que aunque no pertenece a la APBA, forma parte del sistema de agitación y propagación de oleaje interconectado de la bahía.

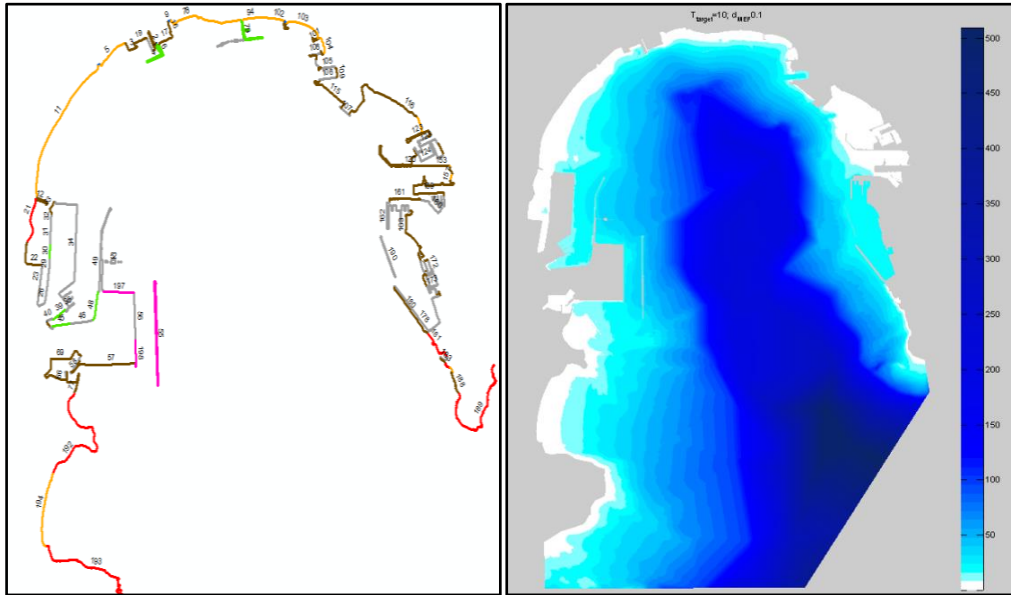


Figura 5: Definición de contornos y batimetría de la Bahía de Algeciras. Fuente: IH Cantabria.

En este estudio de agitación, se ha considerado incluir en el mismo dominio numérico toda la extensión de la Bahía de Algeciras, de tal forma que se pueda tener una continuidad numérica, y de los procesos físicos de propagación y agitación integrados en una sola simulación numérica. Esto se considera todo un logro, por la escala de trabajo y la gran extensión del problema, ya que en el estado del arte actual sobre agitación portuaria nunca se ha tratado este problema con el enfoque integrador de procesos que aquí se plantea.

Una vez descritas de forma general las diferentes geometrías portuarias a tener en cuenta, así como la batimetría seleccionada, se procede a la adaptación de esta información a la creación de las mallas de cálculo para el modelo MSP.

Dentro del diseño de los dominios computacionales, se debe tener en cuenta los criterios de eficiencia numérica y de optimización de recursos, para de esta forma poder contar con un catálogo extenso de casos de agitación portuaria.

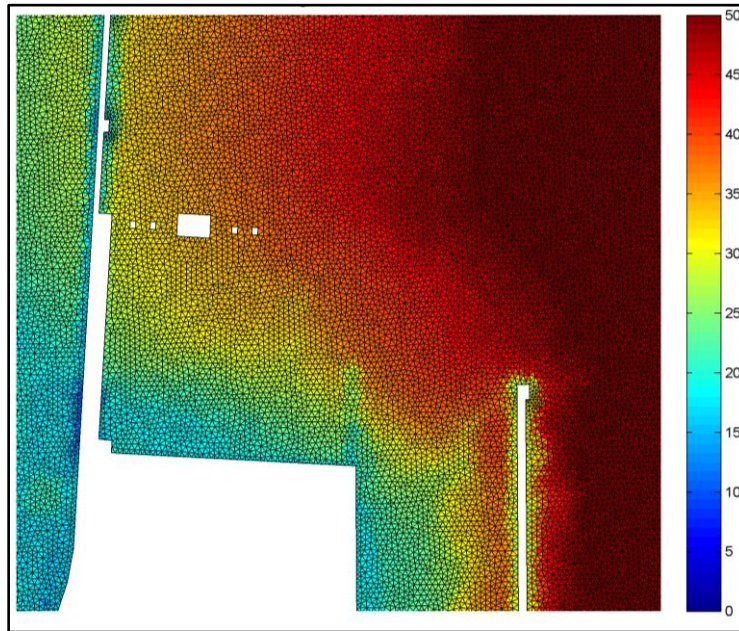


Figura 6: Ajuste del mallado de elementos finitos al contorno de la Terminal de Isla Verde, sector Norte. Fuente: IH Cantabria

En la figura 6, puede verse la malla de elementos finitos ubicada en el extremo Norte del Muelle Isla Verde, comprendiendo también un pequeño tramo del dique exento.

La serie de hindcast reconstruida en el interior de la bahía, utilizada para interpretar la agitación portuaria y que será utilizada para los análisis que se presentan a continuación comprende desde el 2-01-1979 al 30-03-2014. La misma registra alturas significativas máximas de hasta 1.24 m, con un valor medio de 0.18m y un desvío estándar de 0.14 m.

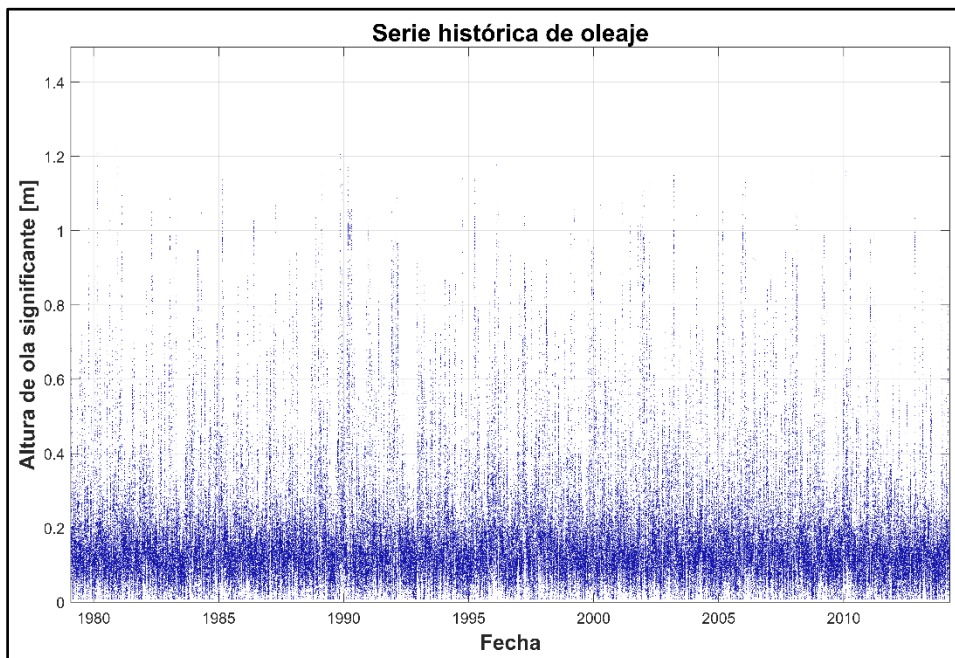


Gráfico 1: serie histórica de altura de ola significativa



### 4.3. Viento

El viento es un agente forzador principal en la propagación del oleaje, corrientes y otros agentes, que condicionan la operatividad del APBA.

Partiendo de los datos del proyecto de re-análisis meteorológico global ERA-Interim del Centro Europeo de Predicciones a Medio Plazo (ECMWF) se ha realizado una simulación con el modelo WRF ARW 3.6.1 para la realización del HINDCAST. Las características básicas de la BBDD ERA-Interim son:

- Modelo IFS ECMWF cy31r2
- Resolución Espacial: 0.7 grados 80 km, 22 niveles de presión.
- Resolución temporal: 1979-2015 (36 años) Frecuencia análisis: 6h

El modelo WRF se ha configurado para dos pasos de anidamiento, seguido por un anidamiento de downscaling estadístico:

1. Una primera simulación de 15 km de resolución horizontal y 28 niveles verticales, denominado WRF15, simulando el comportamiento atmosférico de la península Ibérica.

2. Una segunda simulación de 5 km de resolución horizontal del Estrecho de Gibraltar, denominado WRF05.

Con respecto a los vientos se empleará la base de datos horarios de 30 años de duración SW-HR (SeaWind – High Resolution), downscaling híbrido atmosférico horario con resolución espacial de 1.8 km en el Estrecho de Gibraltar (modelo WRF), considerado como un forzamiento de viento de media-alta resolución y adecuado para el trabajo de propagación numérico.

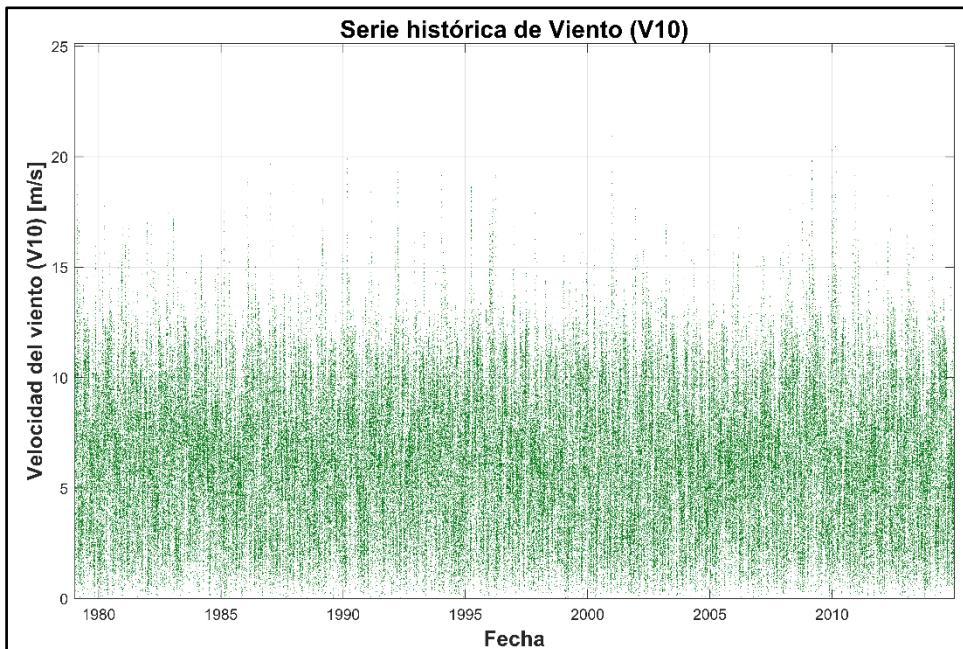


Gráfico 2: serie histórica de velocidad de viento

La serie de hindcast de viento, con una resolución de 5 km reconstruida en el entorno del estrecho de Gibraltar, que será utilizada para los análisis que se presentan a continuación comprende desde el 1-01-1979 al 31-12-2014. La misma registra una

velocidad máxima de viento, en una altura de 10 m, de 20.93 m/s. La media de las velocidades registradas es de 6.29 m/s, con un desvío estándar de 3.03 m/s.

#### 4.4. Datos AIS

El Sistema de Identificación Automática o por sus siglas en inglés, AIS (*Automatic Identification System*) es un sistema de seguimiento automatizado que permite la identificación de otras embarcaciones en las proximidades, brindando información de posición, curso y velocidad. Estos datos, son recopilados normalmente por receptor integral o externo de un sistema mundial de navegación por satélite (por ejemplo, el GPS), incluido un receptor GNSS diferencial de frecuencia media para obtener una posición precisa en aguas costeras e interiores.

El sistema funciona como un transpondedor, es decir, tiene la función de transmitir y responder de manera automática, a través de banda marítima móvil de VHF, sin la necesaria intervención del capitán a lo largo del viaje, a menos que alguna situación modifique su curso.

Los buques equipados con el sistema AIS pueden ser rastreados por otros buques en un entorno cercano o estaciones base AIS situadas a lo largo de la costa, incluso cuando están fuera del alcance de las redes terrestres, a través de un número creciente de satélites que están equipados con receptores AIS especiales que son capaces de decodificar una gran cantidad de datos.

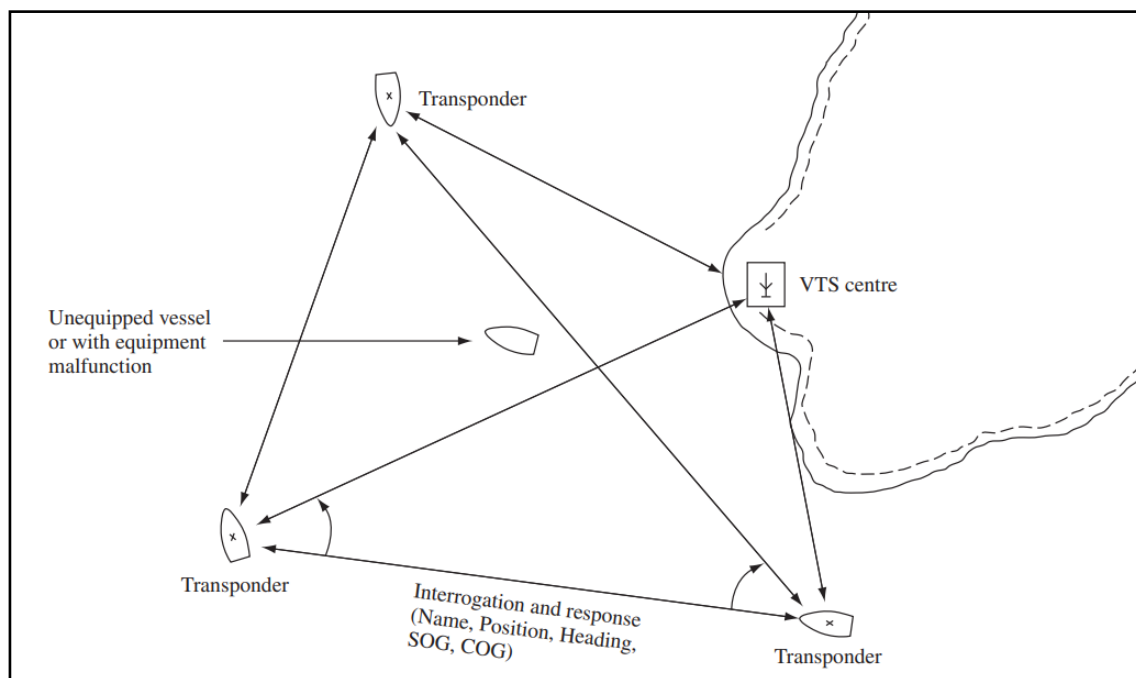


Figura 7: Sistema de comunicación de datos AIS entre centrales terrestres y embarcaciones equipadas con el sistema. Fuente: Radar and ARPA Manual.

Los buques con nuevos equipos de radar se han beneficiado de la integración obligatoria del AIS y la pantalla del radar: en el océano abierto no se necesita la calidad y profundidad de la información que proporciona el AIS para evitar posibles colisiones, pero en las zonas costeras y portuarias, el tráfico puede ser más intenso, los movimientos de tráfico más complejos y las opciones para evitar la colisión son más restringidas. En esas condiciones, tanto la información adicional (como el destino de los buques) como la

velocidad de recepción de los cambios de rumbo/velocidad, son un complemento útil de la información del radar para el navegante.

La obligatoriedad del sistema AIS fue adoptada por la IMO (Organización Marítima Internacional) como parte de las revisiones de 2001 del capítulo V de SOLAS (Safety Of Life At Sea). El AIS se convirtió en un requisito para las embarcaciones cubiertas por SOLAS en 2004, denominadas embarcaciones de clase A. Se trata de buques de 300 TRB o más, que están aprobados para operar a nivel internacional.

Más adelante en 2007, la OMI introdujo normas mínimas especificadas para los buques no cubiertos por el SOLAS, buques de clase B, que generalmente son pequeños, pero pueden ser buques más grandes y que sólo funcionan en aguas nacionales de un estado. La OMI especificó las normas de equipo de clase B para asegurar la compatibilidad con el equipo de clase A.

Existen dos frecuencias exclusivas de VHF para la transmisión AIS: canal AIS A (canal VHF 87B o 161,975 MHz) y el canal B del AIS (VHF canal 88B o 162.025 MHz). El sistema de clase A está diseñado para ser capaz de transmitir en otras frecuencias si hubiera una futura demanda.

El rango potencial del AIS de clase A en potencia normal (12,5 W) es, por lo tanto, similar a las comunicaciones de voz en VHF y suele ser mayor que el del radar. Esto es típicamente 30 o 40 millas náuticas para una antena VHF montada en un barco grande y 20 millas para una embarcación más pequeña. Sin embargo, si un transpondedor AIS de clase A decide que el AIS está sobrecargado, entonces cambiará al modo de baja potencia (2 W), que es la misma potencia que las transmisiones de clase B y reduce el rango efectivo a menos de 10 millas náuticas.

A fin de permitir que todos los transpondedores compartan las limitadas frecuencias disponibles, cada AIS transmite durante períodos de tiempo muy cortos y controlados con precisión: se conoce como acceso múltiple por división de tiempo TDMA.

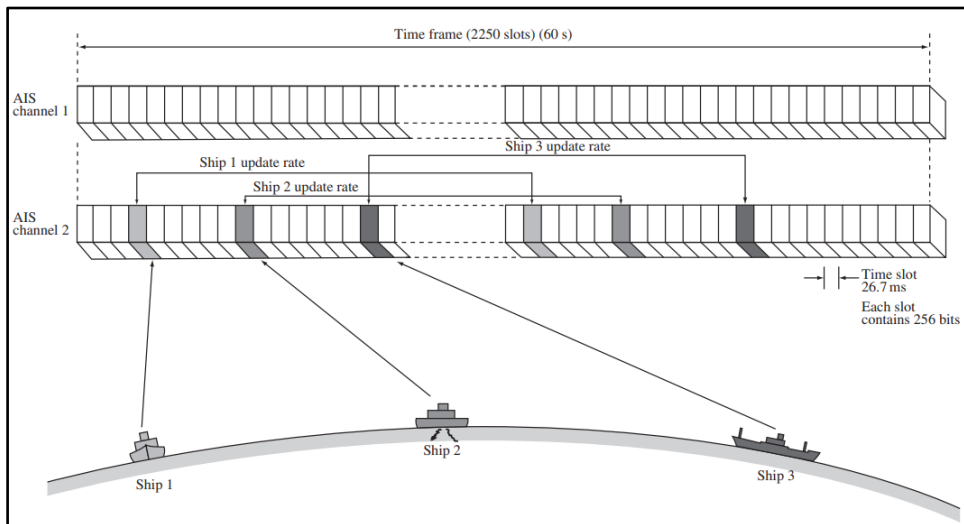


Figura 8: proceso temporal de transmisión de datos AIS. Fuente: Radar and ARPA Manual.

La hora está regulada por los relojes del Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GNSS o GPS) proporcionada por satélite y se divide en marcos, cada uno de 1 min de longitud. Cada cuadro se divide en 2250 ranuras iguales. Así pues, normalmente hay 4500 franjas horarias disponibles para la transmisión en cada minuto a través de las dos frecuencias (figura 5.2).





En cada intervalo se envían aproximadamente 256 bits, que pueden transmitir el equivalente a 4050 caracteres de texto. La asignación de la información en las franjas horarias puede ser realizada por un transpondedor individual bajo tres modos diferentes.

La información estándar transmitida por un buque clase A puede dividirse en cuatro secciones. Toda información enviada por un buque es identificable como perteneciente a ese buque mediante la inclusión del número MMSI. Es único para cada nave y envía la siguiente información:

Tabla 1: Información enviada por el sistema AIS. Fuente: SafePORT

<b>Nombre</b>	Nombre propio de la embarcación
<b>IMO</b>	El número de la Organización Marítima Internacional (OMI) es una referencia única para los buques y para los propietarios de buques registrados y las empresas de gestión. Los números de la OMI se introdujeron en el marco del Convenio SOLAS para mejorar la seguridad marítima y reducir el fraude marítimo. En el caso de los buques, el número de la OMI permanece vinculado al casco durante toda su vida útil, independientemente del cambio de nombre, pabellón o propietario.
<b>MMSI</b>	Maritime Mobile Service Identity (MMSI) es una serie de nueve dígitos que se envían en forma digital a través de un canal de radiofrecuencia con el fin de identificar de forma exclusiva las estaciones de barco, las estaciones terrestres de barco, las estaciones costeras, las estaciones terrestres costeras y las llamadas de grupo. Estas identidades se forman de tal manera que la identidad o parte de ella puede ser utilizada por los abonados al teléfono y al télex conectados a la red general de telecomunicaciones para llamar a los barcos automáticamente.
<b>size_a</b>	Ver figura
<b>size_b</b>	Ver figura
<b>size_c</b>	Ver figura
<b>size_d</b>	Ver figura
<b>Eslora</b>	Eslora del barco (length)
<b>Manga</b>	Manga del barco (beam)
<b>Calado</b>	Calado de la embarcación (denominado como draught o draft)
<b>Sog</b>	Speed over ground (SOG) (ver <a href="http://www.furuno.com/en/merchant/ais/">http://www.furuno.com/en/merchant/ais/</a> )
<b>Cog</b>	Course over ground (COG) (ver <a href="http://www.furuno.com/en/merchant/ais/">http://www.furuno.com/en/merchant/ais/</a> )
<b>Rot</b>	Rate of turn in degrees per minute of the AIS vessel at the time of the last message
<b>Heading</b>	Heading data should be integrated into the AIS on vessels of 150 gross tonnage or greater; and Rate of Turn data on vessels of 50,000 gross tonnage or greater (per SOLAS Regulation V/19.2).
<b>Navstatus</b>	Navigation Status should indicate your current navigational status, i.e. at anchor, underway, engaged in fishing, etc. Remember to change your status when anchored or moored. Doing so reduces the AIS reporting rate to once every 3 minutes vice once every 2–10 seconds. This mitigates network congestion.
<b>Type of ship and cargo</b>	2-digit numeric codes for Type of Ship and Cargo Type are composed from 1st and 2nd digit columns; or as defined in columns 2x, 3x, or 5x (ver <a href="http://www.uscg.mil/hq/cg5/TVNCOE/Documents/links/AIS.EncodingGuide.pdf">http://www.uscg.mil/hq/cg5/TVNCOE/Documents/links/AIS.EncodingGuide.pdf</a> )
<b>Latitud</b>	Longitud de la posición instantánea del GPS (formato decimal)
<b>Longitud</b>	Latitud de la posición instantánea del GPS (formato decimal)
<b>Fecha y hora</b>	Fecha y hora en formato dd/mm/yyyy hh:mm:ss

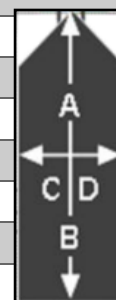




Tabla 2: intervalo de tiempo según tipo de embarcación para la toma de datos espacio-temporales.  
Fuente: Radar and ARPA Manual.

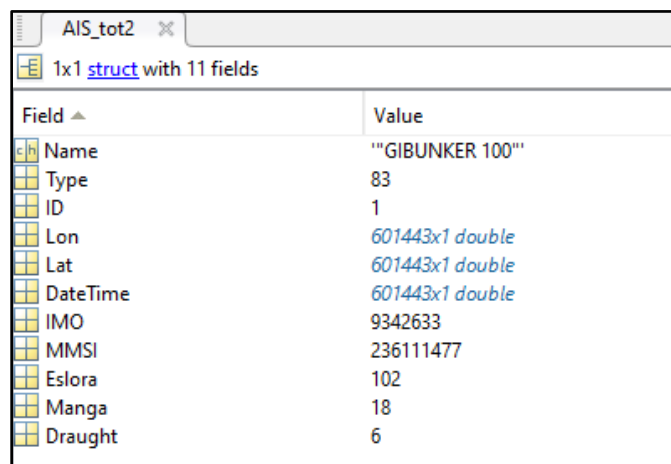
Vessel Condition	Dynamic Data Reporting Interval	
Class A Ship at anchor or moored	3 min	<p>La tabla aquí representada, muestra el intervalo de tiempo que demora el sistema para la toma de información. Si el buque se encuentra amarrado, el sistema recolecta la información cada 3 segundos; según su velocidad de navegación y curso, puede variar entre 2 y 10 segundos.</p> <p>La adopción del estado de “buque amarrado” o navegando debe ser ingresada de forma manual.</p>
Class A Ship 0–14 knots	10 s	
Class A Ship 0–14 knots and changing course	3.3 s	
Class A Ship 14–23 knots	6 s	
Class A Ship 14–23 knots and changing course	2 s	
Class A Ship >23 knots	2 s	
Class B vessel <2 knots, including at anchor	3 min	
Class B vessel >2 knots	30 s	
Class A Static and voyage data	6 min	
Class B Static data	6 min	

Además de servir como herramienta fundamental para la seguridad marítima y la navegabilidad, los datos AIS quedan registrados y almacenados, siendo una fuente de información valiosa que puede ser aprovechada por entes nacionales e internacionales.

#### 4.5. Base de datos AIS

En el marco del proyecto “Safeport”, la APBA (Administración Portuaria Bahía de Algeciras) ha proporcionado al IH Cantabria, la base de datos AIS de los años 2014 (12 meses) y 2015 (6 primeros meses). Dicha información ha sido aportada en formato CSV (comma-separated values) en forma de matrices que incluyen los campos descriptos anteriormente.

El IH Cantabria ha procesado esta información, estableciendo un protocolo de lectura automatizado de la serie AIS en bruto para obtener, como primer producto fundamental, una base de datos desagregada para cada barco individual que ha navegado dentro de la Bahía de Algeciras. Para ello, se ha realizado una serie de programas en MATLAB que permiten la lectura automática de las dos grandes familias de ficheros CSV para cada año.



Field	Value
Name	"GIBUNKER 100"
Type	83
ID	1
Lon	601443x1 double
Lat	601443x1 double
DateTime	601443x1 double
IMO	9342633
MMSI	236111477
Eslora	102
Manga	18
Draught	6

Figura 9: Información contenida en cada uno de los ficheros proporcionados por el IHCantabria



De esta forma, contamos con información disgregada en ficheros individuales de cada tipo de embarcación, en los que se incluyen todos los datos relacionados con ellas (nombre, tipo, posición espacial y temporal, identificadores internacionales, dimensiones principales). Disponemos de 8095 ficheros que corresponden a igual número de embarcaciones individuales que han navegado dentro de la Bahía de Algeciras en el periodo de tiempo de 01-2014 a 06-2015.

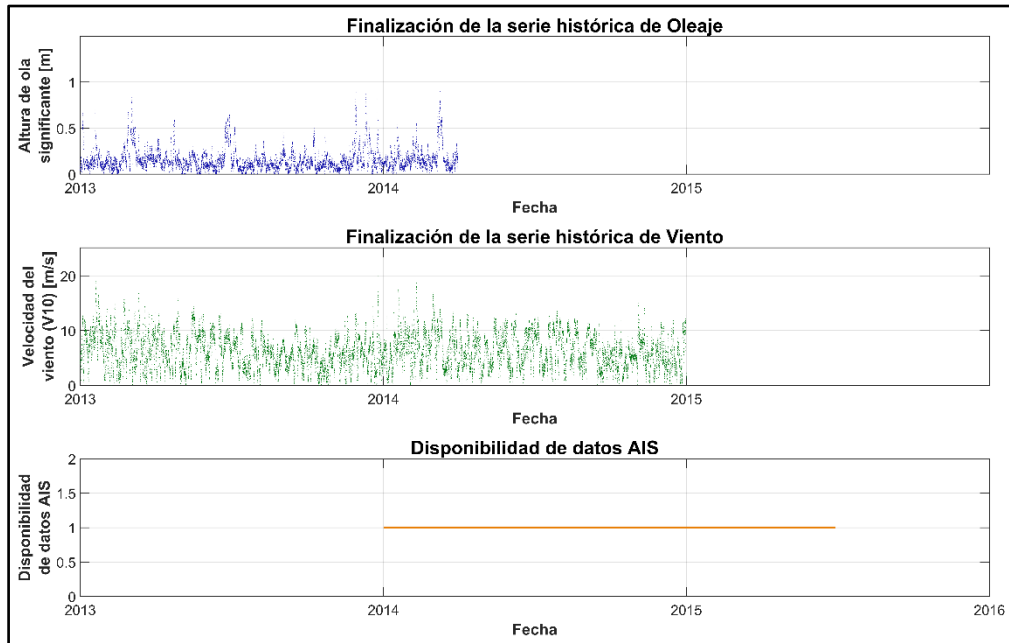


Gráfico 3: coincidencia temporal de las bases de datos disponibles.

En el primer contacto que tenemos con la base de datos, vemos que requiere un proceso de selección o “filtrado” para poder obtener los datos que estamos buscando. En estos 8095 ficheros, tenemos las embarcaciones de los prácticos que navegan diariamente la bahía, buques de carga general, graneles líquidos o sólidos, ferries y Ro-Ro’s, buques que han ingresado a la Bahía de Algeciras pero que no han utilizado ninguna terminal, o buques que han utilizado el puerto de Gibraltar, por lo cual, la información correspondiente no está disponible.

En la figura 10, se muestran algunos ficheros que representan la heterogeneidad de los datos. En la imagen superior izquierda, el buque “Calvador Cuatro” no dispone del dato de su IMO, con una trayectoria de ingreso y egreso a la Bahía, pero sin permanecer ni utilizar ningún muelle de la misma; en la superior derecha vemos una gran cantidad de trazas totalmente desordenadas correspondientes al buque “Gibunker” que utiliza múltiples terminales.

También, en la figura 10 (imágenes inferiores), vemos trazas más ordenadas, que corresponden a la utilización de las terminales de graneles sólidos (imagen izquierda) y líquidos (imagen derecha). En la primera, se puede distinguir claramente un solo ingreso del buque “Oder”, con una trayectoria que marca que ha estado fondeado en el sur de la bahía, luego ha operado en la zona de la monoboya, y luego amarrado en el muelle de Endesa. A la derecha, se pueden distinguir 8 trayectorias principales, indicando que la embarcación ha realizado 4 ingresos al muelle de graneles líquidos.

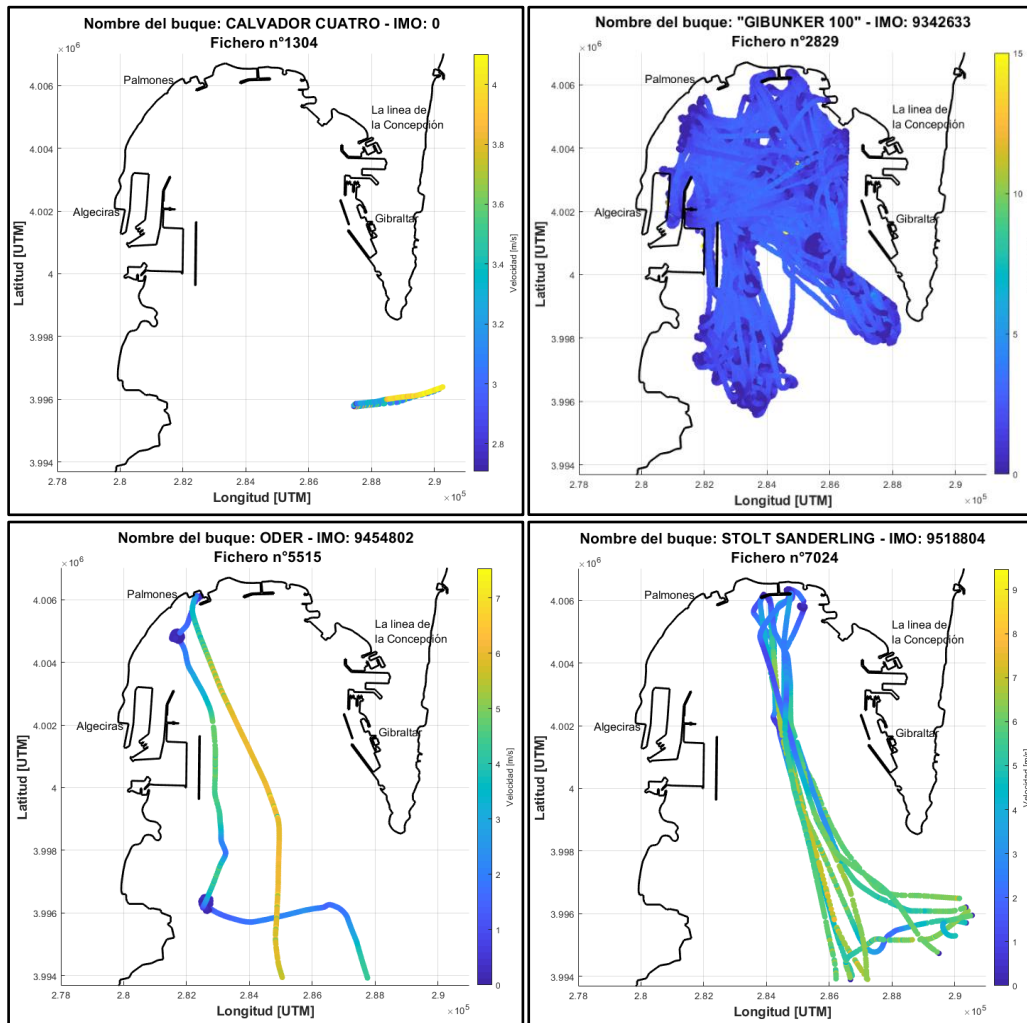


Figura 10: trayectorias de distintos tipos de embarcaciones.

## 5. Condiciones de maniobrabilidad y límites de operación:

El objetivo principal de la infraestructura portuaria es permitir el traslado de la carga entre el buque y el muelle, pero es necesario restringir los movimientos del buque, limitando así las tensiones en la infraestructura del muelle y en el propio buque. Este es el propósito de las líneas de amarre: son particularmente eficaces para prevenir los movimientos de rotación y traslación a los que puede quedar sometida una embarcación.

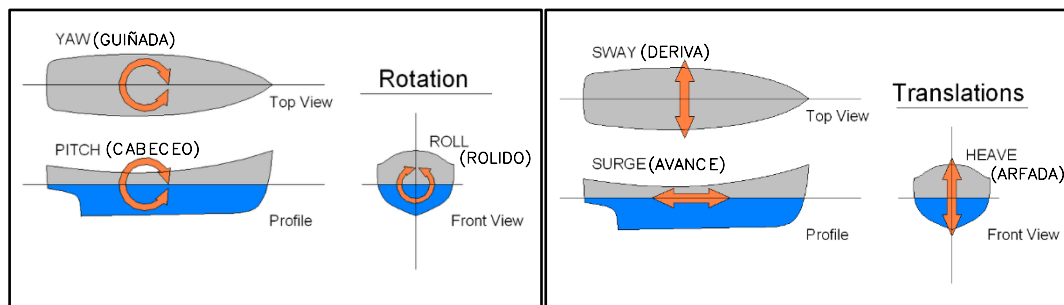


Figura 11: Tipos de movimientos a los que puede estar sometida una embarcación.

Algunos de estos movimientos son más peligrosos que otros, dependiendo del tipo de nave y operación. Por ejemplo, el cabeceo es peligroso durante el transporte y el desembarco de vehículos en buques Ro/Ro, mientras que difícilmente afectará al funcionamiento de un VLCC (Very Large Crude Carrier). En el caso de los buques amarrados en una terminal mar adentro, tales como una monoboya, los movimientos en el plano vertical (rolido, cabeceo, arfada) serán los críticos en las operaciones (Thoresen, 2010). En las maniobras de carga y descarga de los buques portacontenedores, se ha demostrado que la arfada es el movimiento más indeseable. Esto se identificó desde el desarrollo de las primeras terminales de contenedores (Slinn, 1979) y sigue siendo válido hoy en día (Moes y Terblanche, 2010).

Por otra parte, el comportamiento de un buque cuando navega o maniobra depende de numerosos factores, entre los cuales se pueden mencionar: medios de propulsión, sistema de gobierno, disposición de las superestructuras de su obra muerta, su calado, condiciones de carga, las bajas profundidades o limitadas dimensiones de la masa de agua en que se mueve, la actuación de remolcadores y los efectos que pueden surgir debido a las condiciones medioambientales adversas.

Es sabido que las condiciones medioambientales afectan la navegabilidad y la maniobrabilidad de un buque y condicionan a las infraestructuras que proveen distintos tipos de servicios a las embarcaciones. Estos factores meteorológicos están íntimamente relacionados con el propio medio en el que se navega: el viento, el oleaje y las corrientes son las que toman mayor relevancia, y a las que mayor tiempo de estudio se les ha dedicado.

### 5.1. Viento:

En todas las maniobras el viento es uno de los principales factores a considerar, ya que con mayor o menor intensidad sopla prácticamente siempre. Si el viento es fuerte, influye marcadamente en el rumbo de la embarcación.



Los vientos cruzados afectarán a la nave a todas las velocidades, pero tendrán su mayor efecto cuando la embarcación se mueva a baja velocidad. Provocará que el barco se desvíe hacia los lados o que el buque adquiera un ángulo de desviación al avanzar, lo que aumenta la anchura necesaria para maniobrar.

Es poco probable que un buque sea capaz de mantener un rumbo constante a bajas velocidades en un viento cruzado. El encargado de la maniobra habrá dirigido el barco ligeramente hacia el viento, lo que hará que el barco desarrolle un ángulo de deriva y un rumbo ligeramente oscilatorio.

Los efectos de los vientos cruzados dependen de:

- La velocidad del barco
- Superficie velica del buque
- La relación profundidad/calado (ya que el viento causa menos deriva cuando la distancia bajo quilla es menor)
- La velocidad y dirección del viento en relativa a la embarcación

Los efectos del viento se hacen significativamente mayores a bajas velocidades de los barcos, como en las zonas portuarias, e incluso a altas velocidades para naves de gran tamaño.

Para tomar un rumbo recto en un canal con vientos cruzados, se requiere un timón que genere un ángulo de deriva adecuado para compensar el margen de maniobra. Estas características se deben al equilibrio de las fuerzas hidrodinámicas (fuerzas del casco y del timón) y las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre el barco.

## 5.2.Oleaje:

Por otro lado, en todas las maniobras que se consideran del buque es imprescindible analizar la incidencia del oleaje, ya que, en cualquier zona de navegación, por resguardada que se encuentre, siempre será posible que se presenten olas, frecuentemente asociadas a la presencia de viento.

Las olas influirán naturalmente en el diseño de la profundidad del canal de ingreso, en la orientación de la bocana y las obras de abrigo o en los movimientos de la embarcación, ya sea navegando o amarrada (rolido, cabeceo, guiñada, etc).

Todos los buques, de acuerdo con su tipo, dimensiones y condiciones de carga, tienen un período natural de balance y de cabeceo bien definidos, que son independientes de las amplitudes de esos movimientos. Si cualquiera de estos períodos naturales coincide con los períodos del oleaje pueden producirse fenómenos de resonancia que aumentarán considerablemente los movimientos oscilatorios del buque.

El movimiento de balance y cabeceo de un buque por acción del oleaje depende, por tanto, del tamaño de las olas y de la relación entre el periodo y los períodos de balance y de cabeceo propios de la embarcación. El máximo de movimiento se desarrollará cuando haya sincronismo entre esos valores.

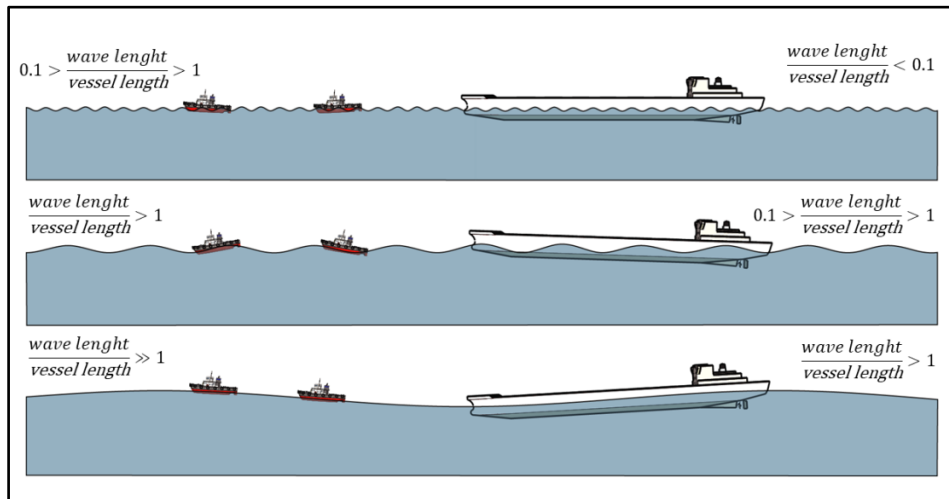


Figura 12: Efecto de la longitud de onda en buques de distinta eslora.  
Fuente: Molina-Sánchez (2020)

### 5.3. Corrientes:

Por último, las corrientes transversales afectan la capacidad de una nave para mantener el rumbo, mientras que las corrientes longitudinales afectan a su capacidad de maniobra y parada.

Como se ha mencionado anteriormente, la maniobrabilidad de un barco cambia a medida que su relación profundidad/calado se aproxima a la unidad. Como resultado, su capacidad para hacer frente a las corrientes también cambiará a medida que la profundidad del agua se haga menor.

En algunos puertos, las corrientes pueden ser demasiado fuertes en ciertas etapas de la marea para permitir que algunos buques puedan navegar con seguridad. Esto puede causar que sus llegadas y salidas se restrinjan a ciertos períodos de tiempo (o "ventanas de marea") en el ciclo de las mareas. Esto implica que habrá tiempos de inactividad de acceso para los cuales el canal no estará disponible para tales naves. La tolerancia del tiempo de inactividad depende de criterios de seguridad y económicos.

Las corrientes cruzadas afectan el curso manteniendo el movimiento similar a los vientos cruzados. Sin embargo, para mantener un rumbo recto bajo las corrientes cruzadas, el barco debe ser operado para correr oblicuamente a la corriente, con el timón en medio del barco para compensar la velocidad de la corriente perpendicular al curso deseado de la nave (es decir, la línea del canal). Por esta razón, la velocidad de la nave y la velocidad actual perpendicular al curso deseado de la nave son parámetros claves en el diseño del ancho del canal. Tenga en cuenta que la corriente puede cambiar de dirección y fuerza considerablemente en una distancia e intervalo de tiempo relativamente cortos durante el ciclo de marea. Además, al acercarse a rompeolas o embarcaderos, los altos gradientes de corriente pueden influir en el curso de una nave.

### 5.4. Condiciones límites:

Las condiciones límites de operación que se adoptan habitualmente para la navegación y maniobras de buques, cuando se efectúen dentro de las dársenas, son las



mismas que las que se establecen para estas maniobras cuando se desarrollan en otras áreas de flotación, con independencia de que la situación más protegida de las dársenas ocasionará normalmente un porcentaje menor de inoperatividad de estas áreas frente a estas condiciones climáticas adversas.

Como condiciones específicas de los muelles, es necesario contemplar tres supuestos:

- Atraque de los buques
- Paralización de las operaciones de carga y descarga
- Permanencia de los buques en los muelles.

Las condiciones límites que se establezcan para estos tres supuestos dependen de otros factores además del propio barco; así, el atraque de los buques vendrá condicionado por los remolcadores disponibles y los sistemas de defensa de los muelles; la paralización de las operaciones de carga y descarga dependerá fundamentalmente de las características de los equipos que se utilicen para esta función; y la permanencia de los buques en los muelles de los criterios de diseño de las estructuras, de la disponibilidad de medios de remolque para poder sacar los buques de los puestos de atraque en estas condiciones y de la posibilidad de que el buque pueda navegar controladamente hacia otros muelles, fondeaderos o áreas de navegación exterior.

En algunos casos particulares intervendrán otros factores, por ejemplo, los límites de habitabilidad de una embarcación deportiva sometida a la acción del oleaje.

Las condiciones climáticas límites de operación recomendadas, están descritas en la ROM 3.1-99, Tabla 8.1 y son las que vienen siendo utilizadas habitualmente para estas maniobras, pero, obviamente podrán utilizarse otras diferentes en la medida que se valoren los porcentajes de inactividad resultante para diferentes supuestos en función de las inversiones que sea necesario realizar para garantizar la operatividad en las condiciones límite que se adopten.

En el supuesto de que se realicen estudios de mayor detalle deberán considerarse los movimientos aceptables en los buques en función de las características específicas de los equipos utilizados en las diferentes operaciones.

Tabla 3: compilación de datos extraídos de tabla 8.1 – ROM 3.1-99

Atraques de buques	Velocidad absoluta del viento	Velocidad Absoluta de la corriente	Altura de ola Hs
Acciones en sentido longitudinal al muelle	17.0 m/s	1.0 m/s	2.0 m
Acciones en sentido transversal al muelle	10.0 m/s	0.1 m/s	1.5 m

Si nos apegamos estrictamente a los criterios aquí establecidos, la paralización de las operaciones se debería dar cuando se supere el umbral de 0.5 m de Hs en sentido longitudinal, y de 0.3 m para una incidencia transversal a la embarcación. El límite de velocidad de viento será de 22 m/s.

Nótese que las tablas que proponen límites operativos, tanto de ROM como de otras publicaciones, brindan límites rígidos, que no dan lugar a situaciones intermedias que habitualmente se presentan, como mayor o menor confort a la hora de realizar la carga y descarga.





Tabla 4 (continuación): compilación de datos extraídos de tabla 8.1 – ROM 3.1-99

Paralización de operaciones de carga y descarga (para equipos convencionales)	Velocidad absoluta del viento	Velocidad Absoluta de la corriente	Altura de ola Hs
<b>Acciones en sentido longitudinal al muelle</b>			
Petroleros menores a 30.000 TPM	22.0 m/s	1.5 m/s	1.5 m
Petroleros entre 30.000 y 200.000 TPM	22.0 m/s	1.5 m/s	2.0 m
Petroleros mayores a 200.000 TPM	22.0 m/s	1.5 m/s	2.5 m
Graneleros cargando	22.0 m/s	1.5 m/s	1.5 m
Graneleros descargando	22.0 m/s	1.5 m/s	1.0 m
Transporte de Gas Licuado menor a 60.000m <sup>3</sup>	22.0 m/s	1.5 m/s	1.2 m
Transporte de Gas Licuado mayores a 60.000m <sup>3</sup>	22.0 m/s	1.5 m/s	1.5 m
Mercantes de carga general, pesqueros de altura y congeladores	22.0 m/s	1.5 m/s	1.0 m
<b>Portacontenedores, Ro-Ros y Ferries</b>	<b>22.0 m/s</b>	<b>1.5 m/s</b>	<b>0.5 m</b>
Transatlánticos y Cruceros	22.0 m/s	1.5 m/s	0.5 m
Pesqueros de pesca fresca	22.0 m/s	1.5 m/s	0.6 m
<b>Acciones en sentido transversal al muelle</b>			
Petroleros menores a 30.000 TPM	20.0 m/s	0.7 m/s	1.0 m
Petroleros entre 30.000 y 200.000 TPM	20.0 m/s	0.7 m/s	1.2 m
Petroleros mayores a 200.000 TPM	20.0 m/s	0.7 m/s	1.5 m
Graneleros cargando	22.0 m/s	0.7 m/s	1.0 m
Graneleros descargando	22.0 m/s	0.7 m/s	0.8 m
Transporte de Gas Licuado menor a 60.000m <sup>3</sup>	16.0 m/s	0.5 m/s	0.8 m
Transporte de Gas Licuado mayores a 60.000m <sup>3</sup>	16.0 m/s	0.5 m/s	1.0 m
Mercantes de carga general, pesqueros de altura y congeladores	22.0 m/s	0.7 m/s	0.8 m
<b>Portacontenedores, Ro-Ros y Ferries</b>	<b>22.0 m/s</b>	<b>0.5 m/s</b>	<b>0.3 m</b>
Transatlánticos y Cruceros	22.0 m/s	0.5 m/s	0.3 m
Pesqueros de pesca fresca	22.0 m/s	0.7 m/s	0.4 m
<b>Permanencia de buques en el muelle</b>	<b>Velocidad absoluta del viento</b>	<b>Velocidad Absoluta de la corriente</b>	<b>Altura de ola Hs</b>
<b>Acciones en sentido longitudinal al muelle</b>			
Petroleros y transportadores de Gases licuados	30.0 m/s	2.0 m/s	3.0 m
Transatlánticos y cruceros	22.0 m/s	1.5 m/s	1.0 m
Embarcaciones Deportivas	22.0 m/s	1.5 m/s	0.4 m
Otro tipo de buques	Limitación impuesta por la carga de diseño de los muelles		
<b>Acciones en sentido transversal al muelle</b>			
Petroleros y transportadores de Gases licuados	25.0 m/s	1.0 m/s	2.0 m
Transatlánticos y cruceros	22.0 m/s	0.7 m/s	0.7 m
Embarcaciones Deportivas	22.0 m/s	0.7 m/s	0.2 m
Otro tipo de buques	Limitación impuesta por la carga de diseño de los muelles		



Molina-Sanchez et al. (2020), en un reciente documento en el cual se aborda la problemática de los límites operativos, ha realizado una interesante recopilación de límites operacionales en función de los movimientos y variaciones angulares de la embarcación cuando se encuentra atracada, que se encuentran descriptos en forma dispersa a lo largo de ROM 2.0-11.

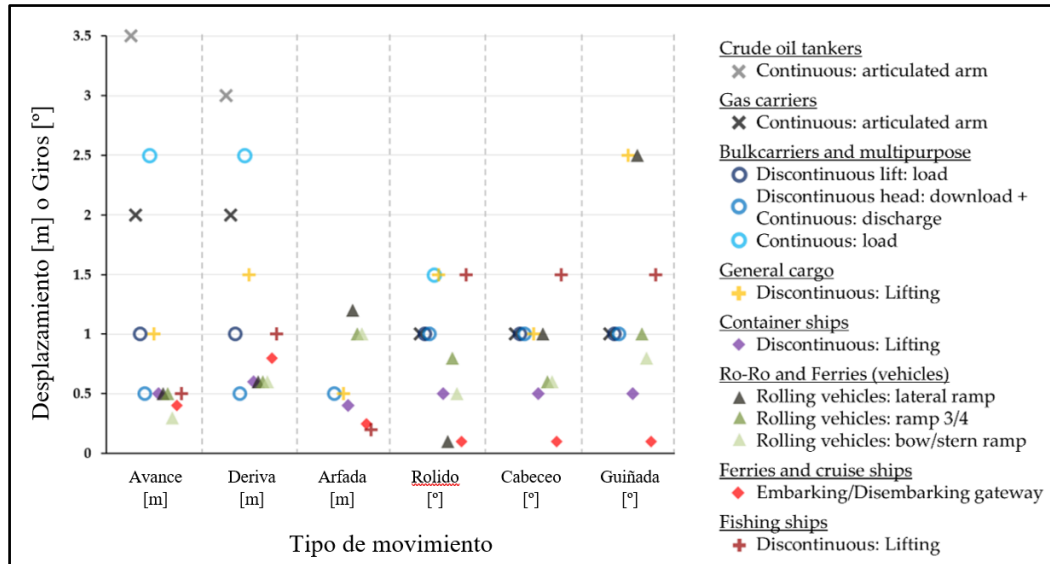


Figura 13: Comparativa de movimientos límites para carga y descarga según tipo de embarcación. Fuente: Molina-Sanchez et al.,2020

En este paper, se establece que no es probable que los umbrales genéricos sean directamente aplicables a cada actividad operacional, buque o muelle. Por el contrario, el concepto de un umbral operacional es un valor que cada operador debe definir de acuerdo con las condiciones límites definidas anteriormente, que son específicas para cada muelle o fondeadero y estado del buque.

Además, describe otras alternativas para establecer límites operativos, como lo son los umbrales condicionados, que ofrece la posibilidad de introducir más de una variable en la evaluación de la operabilidad. Cada variable se analiza independientemente siguiendo un enfoque monoparamétrico. Para ello, se establecen condiciones límite para cada una de las variables. Posteriormente, se calculan las ventanas operativas individuales con un análisis de tiempo de inactividad en el dominio del tiempo, dependiendo de la duración operativa mínima. La ventana operativa real se calcula finalmente como la intersección de las ventanas operativas de las diferentes variables. Es decir, se supone que la operación puede llevarse a cabo si todas las variables están por debajo de su límite operacional durante, al menos, la duración operacional mínima.

Existen más opciones, como pueden ser los umbrales multidimensionales que permite considerar tantas variables como se desee sin asumir que son independientes en cuanto a la operatividad. Un ejemplo es la combinación de la carga del viento y la agitación de las olas, que puede causar tiempos de inactividad cuando actúan conjuntamente con valores más bajos, que cuando actúan solas (Díaz-Hernández et al., 2015).



## 6. Eventos operativos y Propuesta metodológica:

Tal como se ha descrito anteriormente, la base de datos que disponemos contiene una gran cantidad de información, que es necesario “tamizar” estableciendo una metodología de análisis para lograr información útil al objetivo del trabajo.

El interés principal es analizar las maniobras de las embarcaciones en la bahía de Algeciras en los instantes previo y posterior al atraque, y el tiempo en que el buque ha estado atracado. Para ello, resulta necesario definir lo que denominaremos como “*evento operativo*”. Un evento operativo será aquel que tenga información confiable de las 3 etapas que se describen a continuación:

- Maniobra de aproximación: comienza con el ingreso del buque a la bahía y finaliza cuando el buque comienza con el atraque. El límite entre la maniobra de aproximación y el inicio del atraque se ha establecido a través de la velocidad de la embarcación, en el umbral de 0.1 m/s.
- Atraque: corresponde a la maniobra de atraque, despliegue de amarras y la entrada operativa a la terminal, comenzando con la carga y descarga correspondientes y finalizando con el desamarre del buque. Simplificaremos su denominación considerando que el buque se encuentra “atracado”. Para diferenciar esta etapa, se ha establecido una velocidad inferior a 0.1m/s.
- Retiro del buque: corresponde a la puesta en movimiento del buque para marcharse de la bahía y volver a la ruta de navegación.

Mediante el análisis de los datos AIS exclusivamente, resulta complejo identificar etapas intermedias a las descritas anteriormente. La velocidad de atraque depende de varios factores que no son objetivo de este estudio, por ello el umbral establecido de 0.1 m/s como velocidad de atraque, busca adoptar un valor estándar, considerando que en esta instancia estaremos trabajando con buques porta contenedores que superan los 100 m de eslora, y que muchas veces recurren a remolcadores para realizar el atraque.

La metodología explicada a continuación, busca en una primera instancia realizar un filtrado de los datos incluidos en los ficheros para poder identificar cada evento operativo en un muelle establecido. Se analizarán exclusivamente los eventos operativos en el muelle de Isla Verde.

En la figura 14, se observa la trayectoria del buque “NORDAUTUMN E” – IMO 9323039, que ha registrado numerosos ingresos a la Bahía de Algeciras en el rango de tiempo estudiado. Resulta difícil identificar la cantidad de eventos que ha protagonizado esta embarcación, pero sí podemos determinar que ha operado en el Muelle de Isla Verde, como en otros muelles.

El primer “filtro” que se aplicó a los datos fue un criterio espacio-temporal: se buscó si las trayectorias de esta embarcación pasaron por la zona del recuadro rojo a una velocidad inferior a 0.1m/s, es decir, si en algunas de las trayectorias, el buque ha atracado en el Muelle de Isla Verde.

Del total de los 8095 ficheros analizados, se filtraron 303 ficheros que cumplen con la condición establecida en el primer filtro, es decir, que existen 303 buques de toda la base de datos que han atracado en el muelle de Isla Verde al menos una vez.

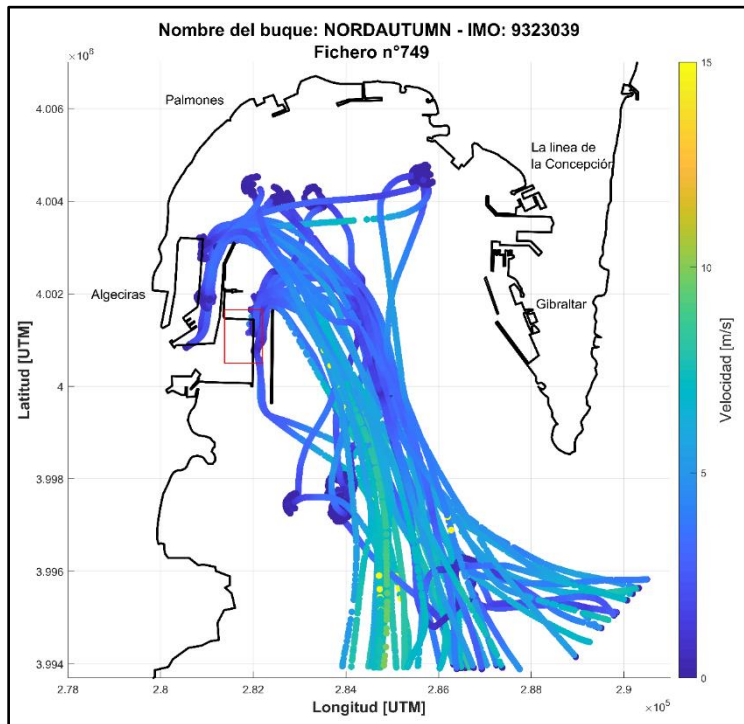


Figura 14: Trayectorias de la embarcación “Nordautumn E” dentro de la Bahía de Algeciras.



Figura 15: Imagen del buque Nordautumn E.

Fuente: marinetrans.com

La figura 14, adicionalmente, muestra las velocidades de ingreso y egreso del buque, que en promedio rondaron los 5 m/s, viéndose cómo en la zona de ingreso a la Bahía se registran algunas velocidades de hasta 10 m/s.

Hay más información que se puede extraer de esta imagen, como los sitios donde ha operado el buque, el tiempo que ha estado operando en cada uno de los sitios y las veces que el mismo ha permanecido esperando en la rada.

En el segundo paso para el tratamiento de los ficheros se identificó individualmente cada uno de los “eventos de atraque” protagonizados por cada una de las embarcaciones, es decir, se analizó individualmente cada uno de las trayectorias.

Para ello, se implementó un segundo filtrado de datos, que consiste en aplicar un criterio espacial o uno temporal: el criterio espacial establece que dos puntos consecutivos de una trayectoria no pueden tener una separación mayor a 500 metros; el criterio temporal establece que esos mismos puntos consecutivos no pueden tener una diferencia temporal mayor a 4 días.

El criterio espacial se estableció por un sentido lógico, basado en el funcionamiento del sistema IAS referido al tiempo que demora el sistema en la toma de datos (ver tabla 2) y la velocidad del buque. Esta diferencia de 500 metros entre toma de datos no puede

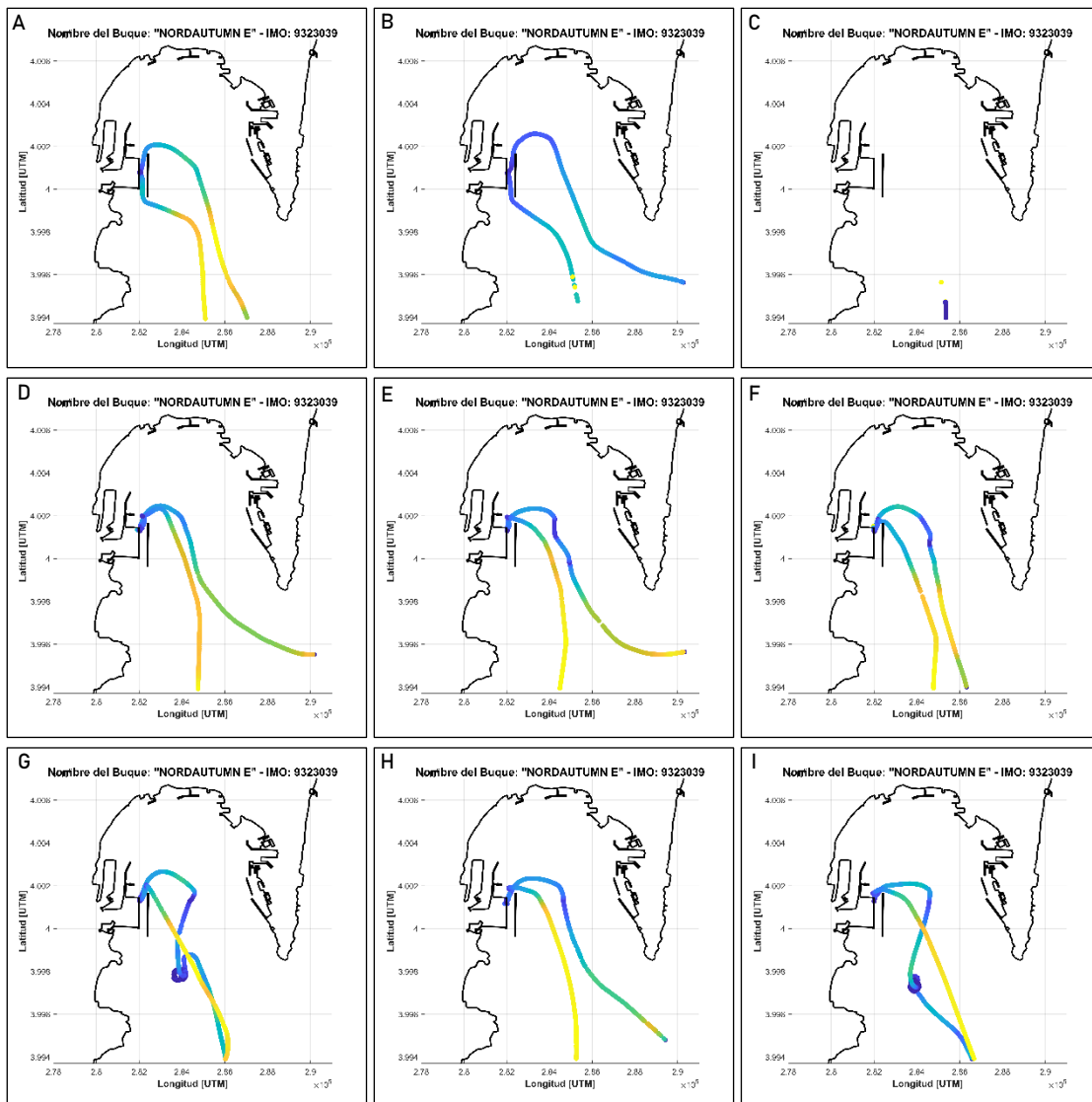


existir a menos que la trayectoria esté interrumpida, lo que significaría que se trataría de un nuevo evento.

También fue necesario aplicar como segunda condición el criterio temporal: se comprobó que, con el primer criterio adoptado, algunas trayectorias finalizaban muy cercanos a donde comenzaban otras trayectorias de la misma embarcación, de manera que donde debería haber 1 evento, se identificaban 2. Estos eventos tenían al menos, en todos los casos vistos, 5 días de diferencia. A raíz de eso, se optó por el segundo filtro temporal de 4 días.

De esta manera, se llegó a 10789 trayectorias individuales correspondientes a los 303 buques identificados previamente.

Puede verse, en las figuras que se muestran a continuación, la información desagregada del buque "NORDAUTUMN E" en forma de trayectorias individuales que cumplen las condiciones del 2º filtro. En total, se identificaron 21 trayectorias.



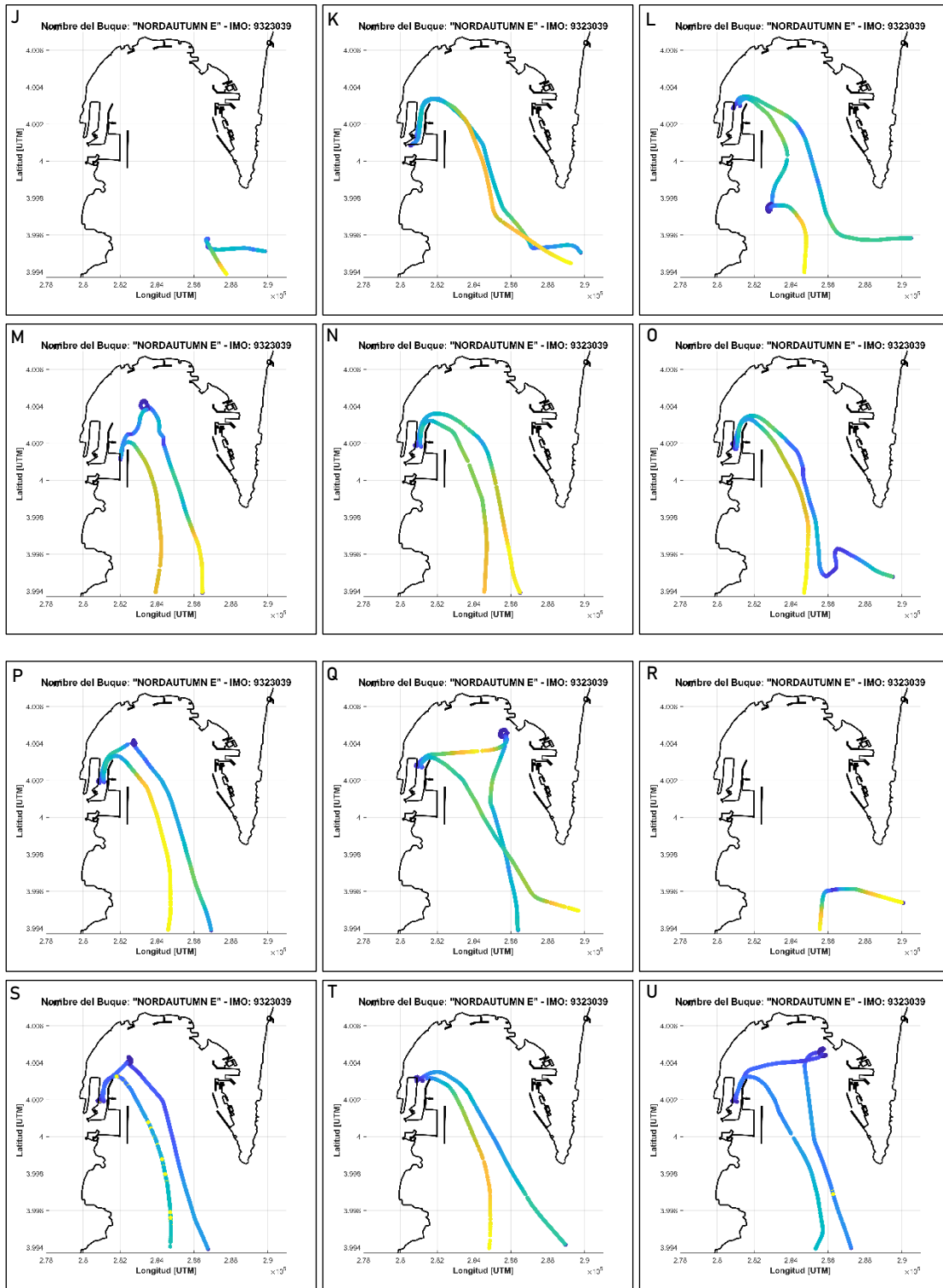


Figura 16: Identificación de trayectorias individuales de la embarcación “Nordautumn E”

Nótese que, por ejemplo, la trayectoria “C” se encuentra incompleta en su traza, o que en las trayectorias “J” y “R” se observa el buque dentro de la Bahía, pero sin atracar en ninguno de los muelles. Varias de las trayectorias registran atraques, pero en el muelle Juan Carlos I, y no en el de Isla Verde. Estas situaciones no corresponden a un evento operativo, tal como se lo definió anteriormente.



Finalmente, fue necesario repetir el criterio del 1º filtro, pero con una condicionante extra: las trayectorias deben comenzar y finalizar por debajo de la latitud 3998000 UTM (límite sur de la Bahía de Algeciras), habiendo disminuido su velocidad por debajo de 0.1m/s en la zona del muelle de Isla Verde. De esta manera, nos aseguramos que el evento comience fuera de la bahía, circule por su interior, atraque en la zona de interés, y se retire de la bahía, cumpliendo con todos los requerimientos de un “evento operativo”.

Los resultados de esta información, pueden verse en la figura 17: la diferencia existente entre un fichero con toda la información de la embarcación, y el resultado final después del proceso de los datos, con los eventos operativos sobre el muelle de Isla Verde del buque “Nordautumn E”

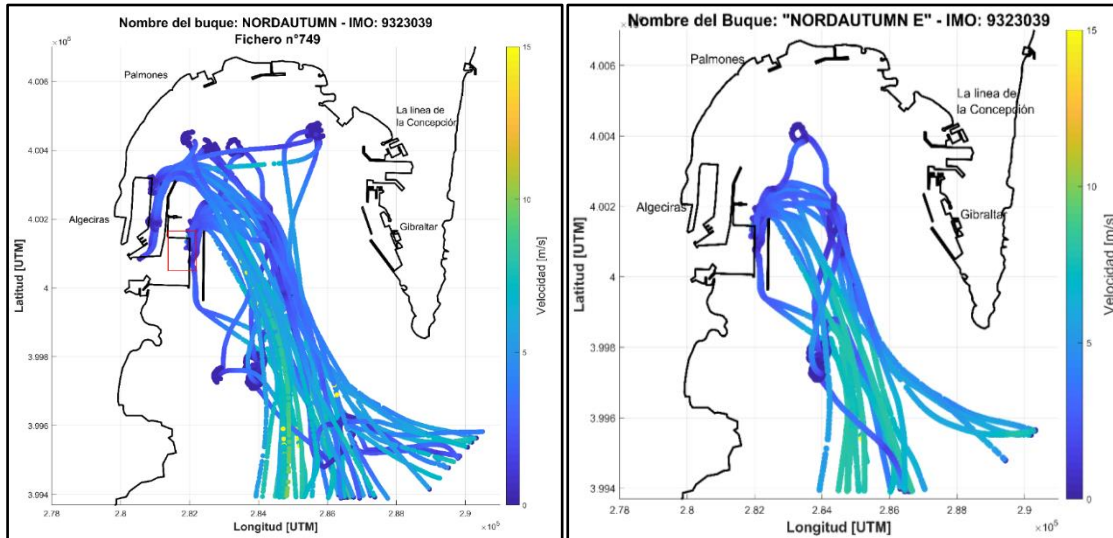


Figura 17: Trayectorias de la embarcación “Nordautumn E” dentro de la Bahía de Algeciras antes y después de haber superado los 3 filtros de datos.

### 6.1. Buques en estado de atraque:

La primera fase del post-proceso de la información se dedicó a identificar los eventos operativos. En la segunda fase se procede a aislar, dentro de cada uno de los eventos, solamente la etapa intermedia. Es decir, la de atraque y de operatoria portuaria, con el fin de poder recabar información de la duración de la operativa portuaria y compararla con las variables meteo-oceanográficas del puerto para ver si existen entre ellas algún tipo de relación.

Esta etapa se encuentra separada de las otras por un límite de velocidad, establecido en 0.1 m/s. Bajo esta condicionante, se separaron todos los registros del evento con el objetivo de obtener la información temporal del comienzo y fin del atraque del buque, e identificarlo en las bases de datos de oleaje y viento.

De esta manera, pudimos obtener los valores de altura significativa de ola, periodo de pico, y velocidad del viento durante el periodo de tiempo en que el buque ha atracado. Además, obtener estadísticos básicos de dicha información: valores máximos, medios, y desvíos.



## 6.2. Buques y zonas de maniobras:

El segundo análisis que se realizó, se hizo con base en la información de la maniobra de aproximación y retiro del buque, es decir, cuando el buque se encuentra navegando dentro de la bahía. Se omitió la información identificada anteriormente para el atraque, y se analizaron las trayectorias en movimiento de las embarcaciones.

Al examinar esta información, se buscó identificar las zonas de navegación más frecuentes dentro de la bahía para los buques que utilizan el muelle de Isla Verde, las velocidades medias, máximas y desvíos de la misma.

También, sería posible identificar el estado de los parámetros met-océánicos para cada una de las maniobras coincidentes con las bases de datos, y analizar si las excedencias de los umbrales pueden estar relacionado a una circulación más veloz.



## 7. Resultados:

### 7.1. Buques atracados y altura de ola significativa:

Al seleccionar los buques que concurren al muelle de Isla Verde, hemos realizado un último filtro en los datos, seleccionando las esloras mayores a 98 m, de manera de poder trabajar solamente con buques porta-contenedores, y quitar del análisis las embarcaciones de los prácticos que también atracan momentáneamente en el Muelle Isla Verde.

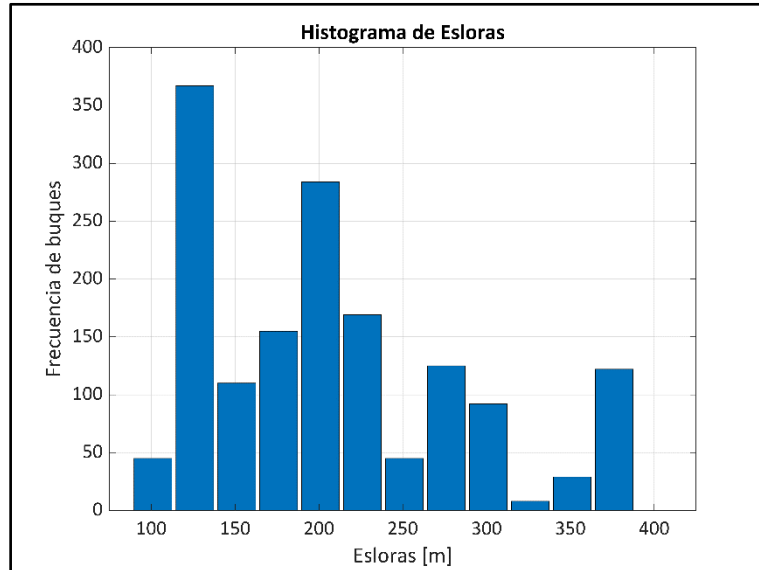


Gráfico 4: Histograma de Esloras de los buques atracados en el muelle de Isla Verde.

En el gráfico 4 hemos realizado un histograma de las esloras que han atracado, observando que hay una gran dispersión en el tamaño de las embarcaciones que utilizan este muelle para la carga y descarga de contenedores. La mayor cantidad de atraques, son esloras menores a 200 m de longitud. Los buques de mayor dimensión, llegan a esloras de hasta los 396 m, por ejemplo: el buque “CMA CGM JULES VERNE”, ver figura 18.

Avanzando en el análisis de los resultados, una de las relaciones que se puede identificar fácilmente entre los datos obtenidos es la de “Duración del atraque vs la Eslora del buque”. A priori, se podría pensar que, a mayor eslora, la maniobra de atraque del buque es más lenta, y que dispone de mayor capacidad de carga, por lo que la duración del atraque y la operatoria de carga y descarga deberá ser mayor. Sin duda, esta relación sería más clara a la hora de realizar el análisis, pero es un dato que no se encuentra en los ficheros disponibles.



Figura 18: imagen del buque “CMA CGM JULES VERNE”.  
Fuente: marinetraffic.com



Visualizando el gráfico 5, no existe una tendencia clara de que la duración del atraque esté relacionada con la eslora de la embarcación, pero si se puede observar que parece existir una recta de “mínima duración”: las embarcaciones de menor eslora tienen una duración mínima de atraque cercana a cero, y conforme aumenta la eslora del buque, llega a superar las 10hr. Además, se observa que existen muy pocos casos donde el valor de la duración del atraque es menor al limitado por la recta.

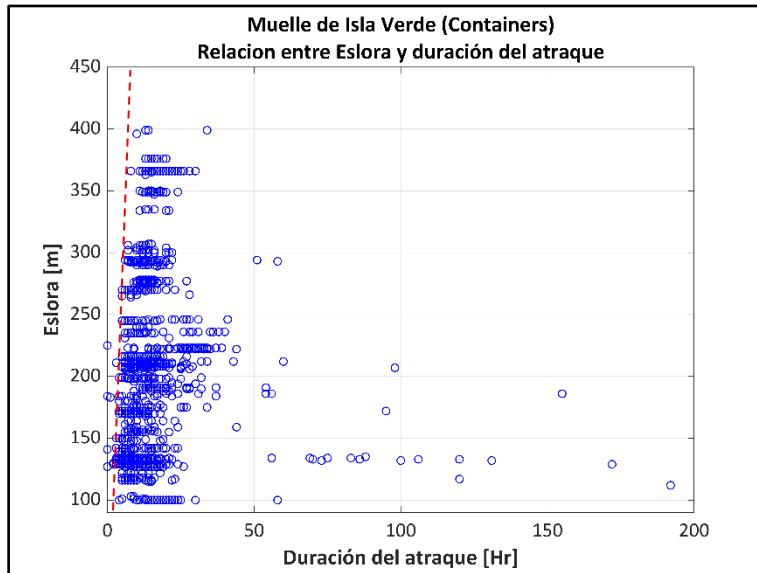


Gráfico 5: relación entre la duración del atraque y la Eslora de las embarcaciones

Apegándonos a la información que tenemos, podemos también determinar que la duración media de los 1549 atraques fue de 14.44 h, con una desviación típica de 16.18hr y una duración máxima de 409hr, que representa casi 3 semanas de duración de atraque. En este sentido se observa que raramente (solo 26 eventos) los atraques superan las 50hr.

Una de las variables que se ha intentado relacionar con la duración del atraque ha sido la de altura de ola significativa ( $H_s$ ), durante el periodo en que el barco ha estado atracado. En este sentido, se dispone de una duración de atraque (variable para cada embarcación) y una serie horaria de  $H_s$  a lo largo de ese periodo.

Es importante destacar que la base de datos de  $H_s$  se extiende hasta el 30/03/2014, por lo que solo una fracción de los datos AIS aportados por la APBA es coincidente con dicha base de datos. En total, coinciden únicamente 303 eventos de atraque.

A la hora de relacionar el evento de permanencia de buque en muelle vs.  $H_s$ , hay que considerar que la variable relativa al oleaje ha presentado una evolución temporal a lo largo de todo el tiempo de permanencia, y, por lo tanto, esta puede llegar a fluctuar. Por ejemplo, la figura 6 muestra un atraque para la embarcación “Hanjin Africa” de 366 m de eslora, cuya duración registrada de atraque ha sido de 21hr. Durante ese periodo se puede ver la evolución de  $H_s$  desde 0.05 m a casi 0.25 m, con un valor medio de 0.13 m.

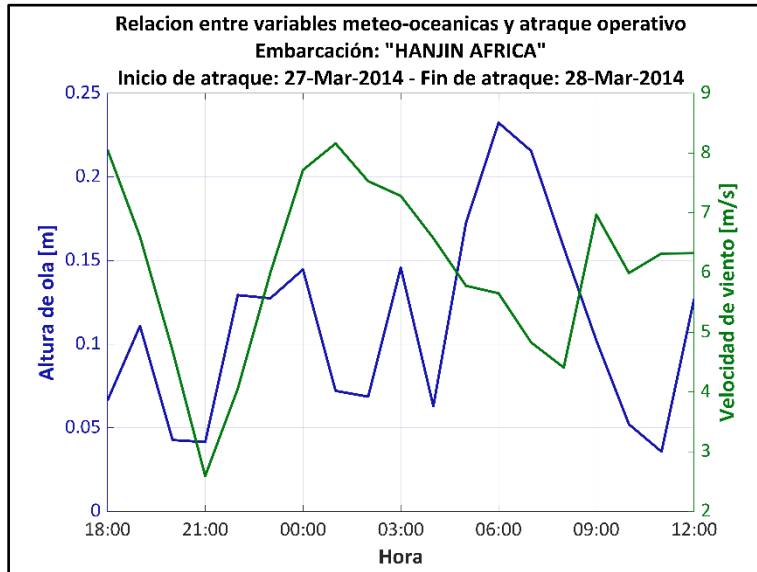


Gráfico 6: Datos de variables Met-oceánicas durante el atraque de la embarcación.

Tras realizar distintas pruebas estadísticas para poder caracterizar mejor la relación duración de atraque vs. Hs en muelle, se determinó que la Hs máxima registrada durante todo el tiempo de permanencia en muelle puede llegar a representar de forma clara la visualización de dicha variable vs. la duración del buque en muelle (ver gráfico 7).

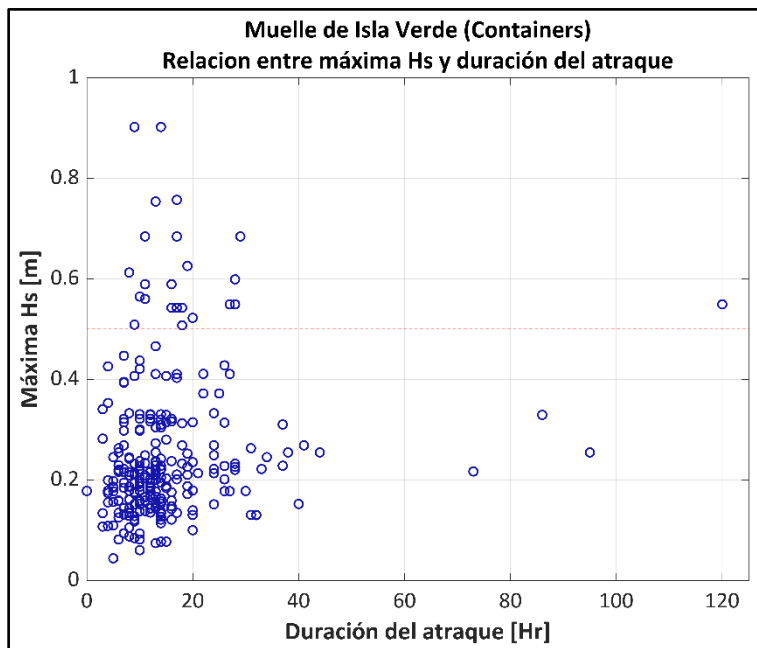


Gráfico 7: Duración del atraque vs la máxima altura de Hs registrada

De los 303 eventos de atraques graficados, se observa que hay una gran concentración de datos para duraciones inferiores a 25hr, con alturas de Hs máxima de 0.4m. Sobre la derecha de la gráfica, se visualizan 4 eventos de duraciones superiores a 60hr, que superan ampliamente el valor de la media más el desvío calculado, pero tan sólo uno de ellos se encuentra levemente por encima del umbral recomendado por ROM 3.1-99. Solamente el 9% de los valores (27 eventos) superan los límites operativos durante al menos 1hr del atraque total.



En el gráfico 8, continuamos representando los 303 eventos de atraque en el muelle de Isla Verde, pero procedemos a graficar el valor medio de la serie de Hs y, con una graduación de colores, su desvío estándar.

Puede verse que la dispersión de los datos entre los gráficos 7 y 8 son similares, y que el desvío estándar no genera una variación significativa entre ambos gráficos, ya que son muy pocas las muestras que tienen un desvío significativo sobre la media. No se alcanza a observar ningún patrón que vincule la media y el desvío de la serie temporal de Hs con la duración del atraque.

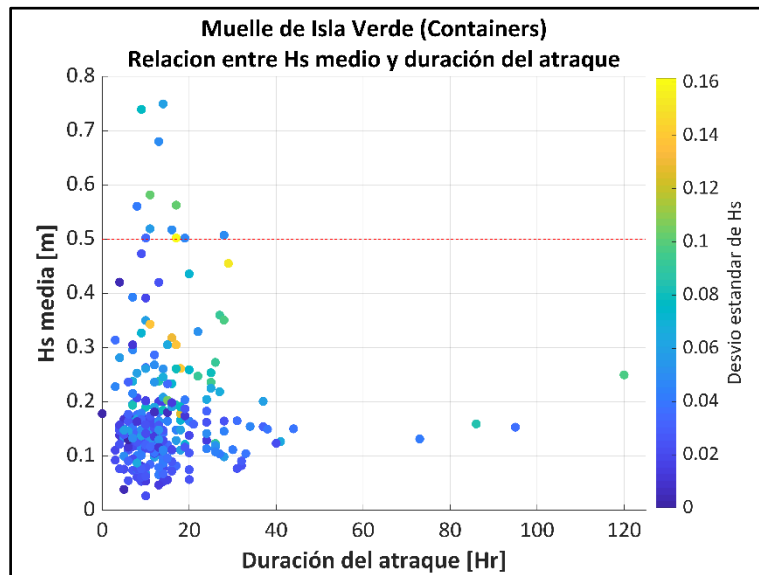


Gráfico 8: Duración del atraque vs altura media de Hs y desvío estándar

Estos gráficos presentados hasta el momento, aunque parece ser que comienzan a aportar luz sobre el comportamiento operativo del buque en muelle y su relación con el oleaje, no son suficientes para dilucidar si durante el atraque se ha presentado un aumento o una disminución en la agitación del oleaje. Para ello, se propone otro análisis que recoja esa tendencia, a través del ajuste lineal de la evolución temporal de la serie de Hs en el periodo de atraque y representándolo, nuevamente, en un gráfico de oleaje medio y la pendiente de la recta.

Un ajuste lineal positivo estaría indicando que el oleaje ha ido en aumento y ha ganado energía, mientras que valores negativos de dicha recta, indicarían la pérdida de energía del oleaje, con su consecuente disminución de altura.

En este caso, vemos en el gráfico 9 que los atraques que se llevan a cabo en momentos donde la energía del oleaje va en aumento son muy pocos y se encuentran ubicados en su mayoría, de la media (14.4hr) hacia abajo. La gran mayoría de los atraques, incluidos los atraques de mayor duración, no tienen una variación significativa en la energía.

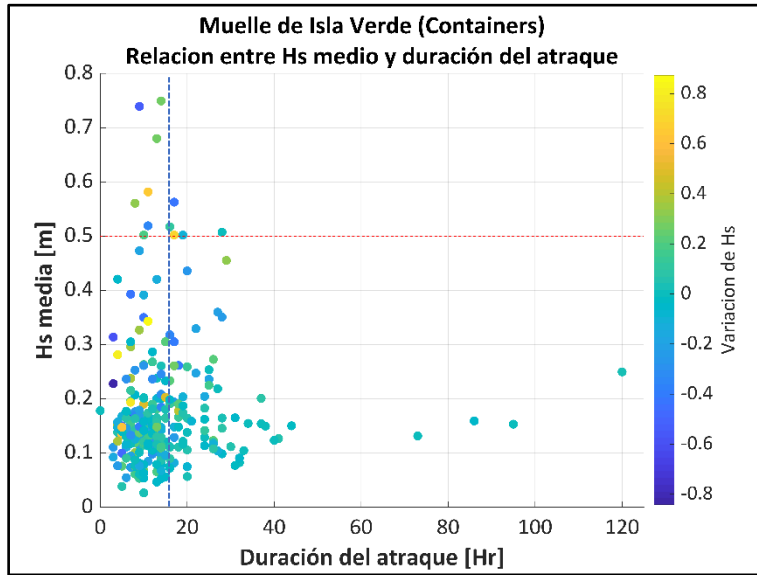


Gráfico 9: Duración del atraque vs altura media de Hs y pendiente de la recta

Mediante la metodología propuesta, desconocemos si la operatoria de carga y descarga se ha paralizado por la superación de los umbrales operativos recomendados, pero sí se puede concluir que la duración de los atraques de distintas embarcaciones en situaciones climáticas donde los límites operativos recomendados se ven superados, no representa aumentos importantes en la duración del atraque.

También observamos que las situaciones particulares donde la duración está fuera de los valores normales, no se debe a eventos climáticos, y su explicación deberá buscarse mediante otras herramientas.

### 7.2. Buques atracados y periodo de pico:

El mismo análisis realizado para el oleaje, se ha realizado para el periodo de pico  $T_p$ , para verificar si existe relación entre éste y el tiempo durante el cual el buque se encuentra atracado.

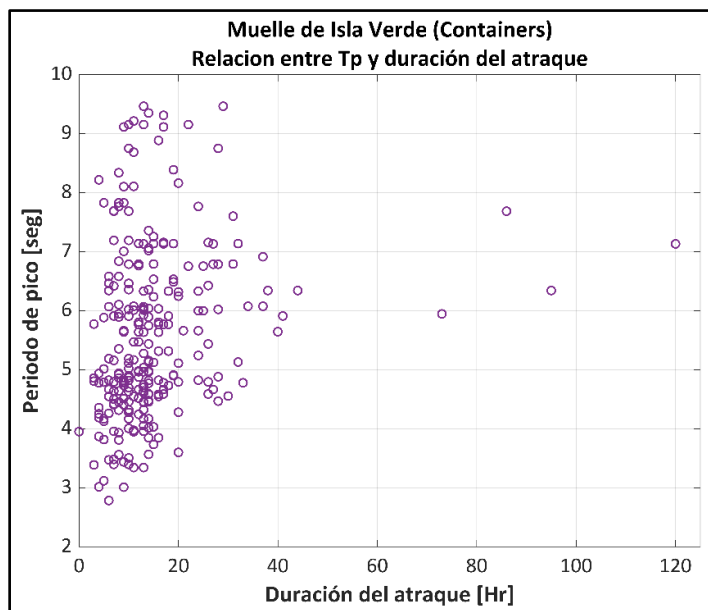


Gráfico 10: Duración del atraque vs máximo periodo de pico registrado



Aplicando la misma metodología de análisis, se ha procedido a graficar el máximo periodo de pico ( $T_p$ ) registrado durante el tiempo en que el buque ha permanecido atracado en el muelle de Isla Verde.

La cantidad total de periodos analizados, al igual que el oleaje, ha sido de 303, abarcando periodos de menos de 3s hasta casi 10s, con una media de 5.57s. Puede verse en el gráfico 10 que no existe una relación entre el periodo máximo y la duración del atraque, pero que, a diferencia de los valores de  $H_s$ , no es tanta la dispersión de los datos y la muestra está más concentrada.

También se ha analizado la media y el desvío del periodo y el crecimiento del mismo a través de un ajuste lineal en el intervalo de tiempo en que el buque se encuentra atracado. Esto puede visualizarse en las figuras 11 y 12.

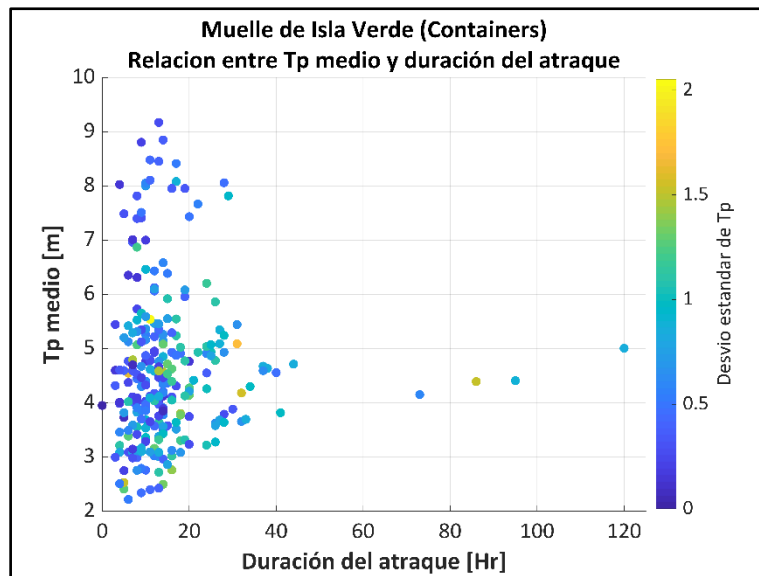


Gráfico 11: Duración del atraque vs valor medio del periodo de pico y desvío estandar

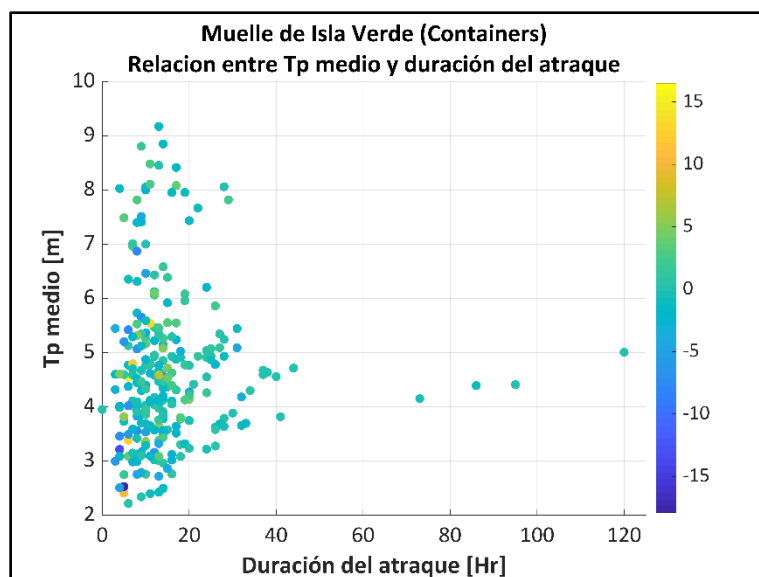


Gráfico 12: Duración del atraque vs valor medio del periodo de pico y pendiente de la recta.



Pueden visualizarse comportamientos muy similares a los descritos con  $H_s$ , en donde no hay una relación notoria entre el valor medio y el desvío estándar de los periodos considerados, pero sí se puede apreciar que las situaciones en las que el  $T_p$  adopta un valor creciente, no superan la duración media de la muestra, igual a lo observado con la altura de ola  $H_s$ .

En este caso, y basándonos en la ROM 3.1-99, carecemos de límites operativos referidos a los periodos de pico del oleaje, por lo que es imposible compararlos con un umbral operacional, pero en el cúmulo de información obtenida, no se vislumbran periodos importantes que pudieran generar complicaciones a la hora de operar o maniobrar.

### 7.3. Análisis conjunto de Altura de ola y periodo de pico:

Siguiendo las recomendaciones realizadas en el apartado 5.4 sobre el análisis multidimensional de los límites operativos, se ha procedido a realizar una gráfica en la que queden representadas las variables de altura de  $H_s$  máxima y  $T_p$  máximo registrado durante el atraque, de manera de representar las condiciones más desfavorables.

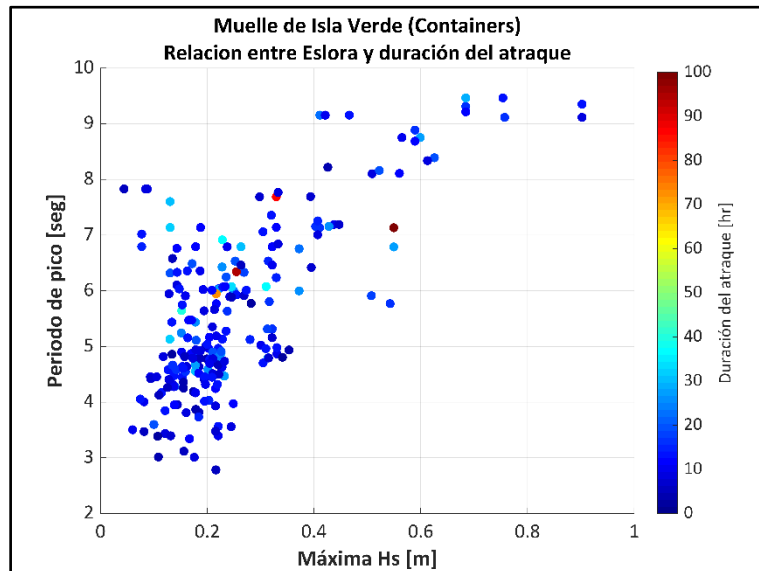


Gráfico 13: Máxima altura de ola y periodo de pico identificados durante el atraque.

Al comenzar a analizar la información, se esperaba encontrar, para los valores de  $H_s$  y  $T_p$  más grandes, las mayores duraciones de atraque representadas por los colores rojos. No obstante, se observa que esta situación no se ha dado según los datos analizados, y que la dispersión de pares de datos con colores no muestra una correlación clara.

Un oleaje con  $H_{s\max}=0,9m$  y un  $T_{p\max}$  cercano a 10s, no parece influir en la operatoria de la embarcación, ya que la duración del atraque adquiere los mismos valores para una  $H_s=0,2m$  con un periodo de 4,5s. Aquí vemos que, si bien la metodología aportada es valiosa y devuelve información confiable, no es suficiente para explicar las duraciones de atraques mayores a 60hr.

### 7.4. Buques atracados y Viento:

Otra de las relaciones entre factores meteorológicos y datos operativos procesados que se ha intentado buscar, ha sido la intensidad del viento con duración de atraque.

En el caso del viento, la base de datos que disponemos es más extensa, por lo que nos encontramos analizando un total de 586 eventos coincidentes entre las bases de datos de vientos y los datos AIS.

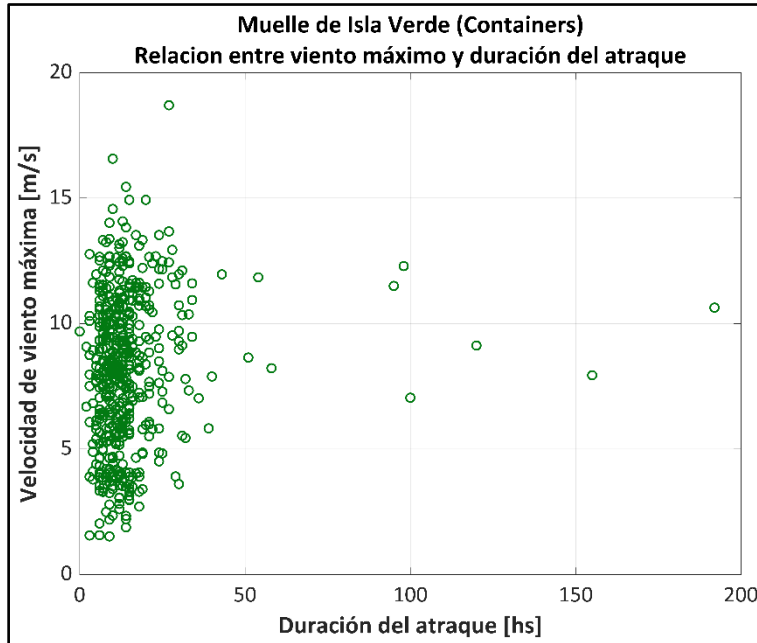


Gráfico 14: Duración del atraque vs valor máximo del viento V10

En el gráfico 14 se puede ver la velocidad de viento máxima registrada durante el periodo de tiempo en que el buque ha atracado. Esta velocidad de viento, corresponde al W10, es decir, medido a una altura de la superficie de 10m la cual se asume adecuada para el presente análisis.

Una vez más, los datos se muestran dispersos, sin una tendencia clara, y es difícil definir una relación entre ellos que nos aporte información fiable.

De acuerdo a ROM 3.1-99, la limitante operativa para buques portacontenedores es de 22 m/s, tanto en sentido longitudinal como transversal al muelle. En este caso, vemos que ese valor no es alcanzado en ninguna de las situaciones registradas, por lo que no debería existir una “interferencia” entre los parámetros de viento y la duración del atraque. En base a esta situación, se ha descartado el análisis de valores medios, desvíos, y variación de la energía del viento.



### 7.5. Maniobras de aproximación y de retiro:

Para el estudio de las maniobras de aproximación y retiro del buque de la bahía de Algeciras, también se ha procedido a clasificar los eventos por la zona de atraque.

En este caso, nos centramos nuevamente en las embarcaciones cuyo destino es el muelle de Isla verde, para analizar su traza sobre la Bahía de Algeciras. Es decir, que solo analizaremos las maniobras en cuyo evento se atraque sobre dicho muelle. En este caso se ha excluido los datos correspondientes a la etapa 2 de los eventos, es decir, el atraque. Los datos analizados son exclusivamente de maniobras de ingreso y retiro del muelle de Isla Verde.

En la gráfica 15 no se ha buscado establecer una relación con variables meteo-oceanográficas sino analizar espacialmente los recorridos de los buques, para ver si los mismos tienen una zona de coincidencia.

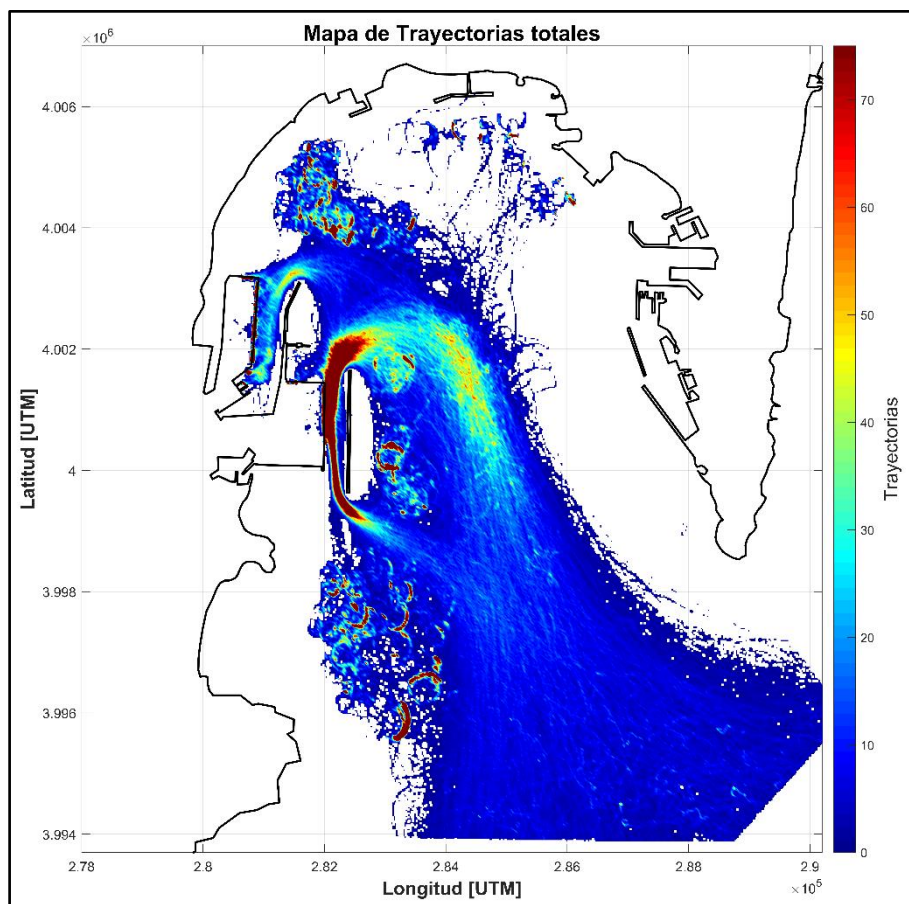


Gráfico 15: Densidad de trayectorias totales

Para ello, se ha realizado una cuadrícula de la zona de navegación en el interior de la bahía y se ha procedido a analizar un histograma de los datos registrados en cada cuadrícula, de manera de visualizar las zonas de mayor permanencia de buques. Esto lógicamente nos indicará que la zona de mayor congestión de embarcaciones es el entorno al muelle, porque allí la toma de datos del sistema es mayor, debido a la desaceleración y mayor permanencia.

Por otro lado, se puede visualizar trayectorias recurrentes en color amarillo/verde, y zonas que han sido utilizadas como espera o fondeo, al sur y al norte del muelle de Isla

Verde, donde pueden distinguirse semicírculos color rojo, indicando la deriva de una embarcación anclada.

La metodología aplicada consiste en obtener información por zona de atraque, poniendo nuestro foco en la zona del muelle de Isla Verde y desagregando los eventos operativos. Analizando la gráfica 15, encontramos trayectorias que atracaron en esa zona, y continuaron hacia el muelle Juan Carlos I. Esto implica que, con un solo ingreso a la Bahía, algunas embarcaciones estarían operando en ambas terminales.

Esta información puede ser de gran utilidad para la identificación de “canales” de aproximación, para establecer límites de velocidad o determinar la agitación portuaria generada por el tránsito interior. No se ha podido establecer un patrón claro de ingreso o egreso a la bahía, ya que se realiza tanto desde el sector Sur como desde el sector Sureste.

En las gráficas siguientes, puede verse un análisis similar a los anteriores, pero en este caso, la variable en análisis ha sido la velocidad, buscándose los valores máximos, medios y la desviación típica de la misma, en la zona de la bahía de Algeciras.

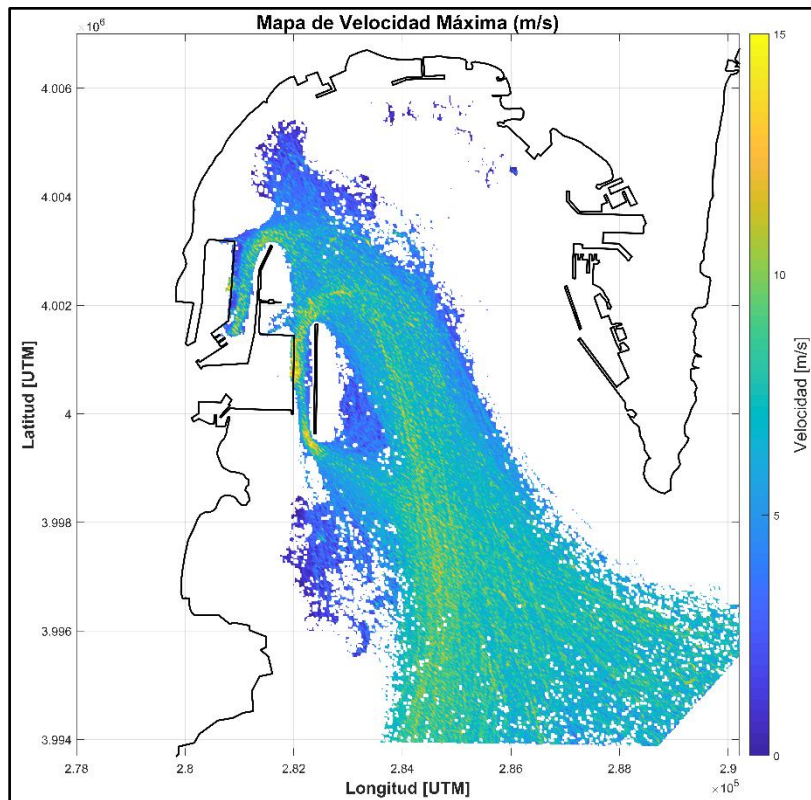


Gráfico 16: Velocidades máximas espaciales

Con base en lo que muestra el gráfico 16, se observa que velocidades límites de 15m/s se dan prácticamente en toda la bahía, incluso en zonas de atraque cercanas al muelle, lo que podría representar situaciones riesgosas en la zona si se tiene en cuenta que, precisamente esa es la velocidad que la propia APBA establece como límite de navegación.

Continuando con este análisis, en el gráfico 17 se observan los valores medios de la velocidad y su desviación típica. Esta nueva representación permite visualizar de forma más clara la tendencia de velocidades, cómo aumentan y disminuyen hacia su interior. No se alcanzan a apreciar variaciones significativas del desvío estándar con respecto a la media, y sus valores son muy homogéneos, lo cual puede llegar a significar que la maniobra

de aproximación es llevada a cabo de manera estándar por la totalidad de embarcaciones que se aproximan a esta zona de la bahía.

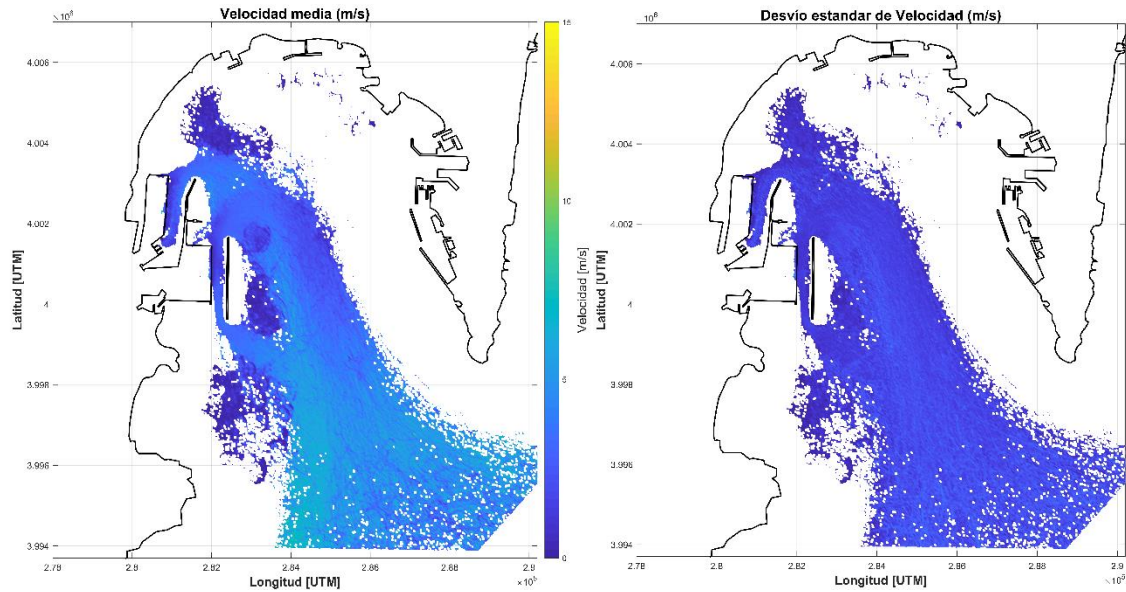


Gráfico 17: velocidad media y desvío estándar ubicadas espacialmente

Con toda la información recabada y la metodología concluida, podemos ver que el análisis de datos AIS aportados, permite identificar las maniobras de ingreso y egreso de las distintas embarcaciones a la Bahía de Algeciras. Esto permite avizorar la generación de productos importantes para la seguridad marítima dentro de los entornos portuarios y maximizar la utilización de la infraestructura portuaria.



## 8. Conclusiones y futuras líneas de análisis

El presente TFM ha propuesto los primeros pasos metodológicos para post-procesar datos aportados por la base de datos AIS, permitiendo la individualización de eventos por muelle, tipo de embarcación y geometrías de las mismas. Esto ha permitido, como primera aportación del estudio, la generación de productos de análisis que pueden ser de utilidad para cualquier Autoridad Portuaria.

Este primer post-proceso se ha interrelacionado con parámetros meteo-oceanográficos, lo cual *a priori* es novedoso y poco común en la práctica diaria por parte de cualquier Autoridad Portuaria. No obstante, y para la terminal analizada en este TFM las tendencias observadas, evaluadas y cuantificadas no mostraron una correlación clara de causa-efecto entre la duración del atraque (permanencia del buque en muelle) con dichas variables meteo-oceanográficas.

El análisis estadístico de los datos de altura de ola, periodo de pico, y velocidad de viento que han ocurrido en simultaneo con las operatorias portuarias de buques porta contenedores, no muestra que las variables meteo-oceanográficas estudiadas sean una condicionante en la operatoria portuaria de la terminal de contenedores "Total Terminal International", ubicada en el muelle "Isla Verde". Esto se puede deber a que la terminal seleccionada presenta un carácter altamente operativo y, por lo tanto, las labores de atraque, permanencia en muelle y carga/descarga se realizan con evidente confort y seguridad.

En este sentido, es posible que la selección de la terminal en el presente TFM no haya sido muy afortunada, ya que no parece que dicha instalación presente un alto "estrés" en su operativa en cuanto a los límites meteo-oceanográficos circundantes, por ello, se cree que este método se podría aplicar a una instalación portuaria exterior, que se encuentre más expuesta al medio marino y en donde se registren eventos importantes de parada operativa.

Por ello, a manera de futura línea de análisis se propone trabajar con otro tipo de terminal, con una realidad geométrica distinta, condicionantes meteo-oceanográficas diferentes, y consecuentemente, otros tipos de embarcaciones. Por ejemplo, las embarcaciones tipo bulk carriers o los Ro-Ro, que pueden tener una mayor "fragilidad" en cuanto a sus límites operativos o por su tipo de carga, y establecer relaciones más directas con los parámetros ambientales aquí comparados.

Otra vía de mejora del presente estudio radica en establecer un perfeccionamiento del tratamiento estadístico, a través de la obtención de una base de datos de oleaje que abarque en el tiempo toda la base de datos AIS disponible, y así disponer de una mayor cantidad de eventos con datos meteo-oceánicos.

También, con un tratamiento más profundo de la base de datos AIS, podríamos identificar los atraques que han requerido asistencia de prácticos y remolcadores locales, para analizar de forma separada la estadística propia de ellos.

Resultaría interesante poder contar con una información más minuciosa del atraque de las embarcaciones para poder identificar etapas intermedias a las establecidas para cada evento. Esta información podría obtenerse de charlas con prácticos, de cámaras de seguridad y de datos relevados por la A.P.B.A. como, por ejemplo, la velocidad de atraque, el inicio de la carga y descarga, la cantidad de toneladas manipuladas, etc.



## 9. Bibliografía

- Alan Bole, Andy Norris, Alan Wall - **Automatic Identification System (AIS)** - Radar and ARPA Manual - 3er edition 2014.
- Asociación comunidad Portuaria Bahía de Algeciras - **Handbook 2020-2021 – Algeciras Port Community**
- Thoresen, C.A. **Port Designers Handbook 2nd Edition**; Thomas Telford Publishing: London, UK, 2010
- Slinn, P.J.B. **Effect of ship movement on container handling rates**. Dock Harb. Auth. 1979.
- Moes, H.; Terblanche, L. **Motion criteria for the efficient (Un)loading of container vessels**. In Port Infrastructure Seminar; Delft University of Technology: Delft, Holland, 2010
- Puertos del Estado. ROM 3.1-99. **Proyecto de la configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación**; Puertos del Estado: Madrid, Spain, 2012
- Diaz-Hernandez, G.; Mendez, F.J.; Losada, I.J.; Camus, P.; Medina, R. **A nearshore long-term infragravity wave analysis for open harbours**. Coast. Eng. 2015
- PIANC MarCom WG 145-2020. **Berthing velocity análisis of seagoing vessels over 30.000 DW**. Maritime Navigation Commission. Abril 2020
- Sánchez, Álvaro Campos, Marta de Alfonso, Francisco J. de los Santos, Pablo Rodríguez-Rubio, Susana Pérez-Rubio, Alberto Camarero-Orive y Enrique Álvarez-Fanjul - **Assessing Operability on Berthed Ships. Common Approaches, Present and Future Lines** - Abril 2020.
- SafePORT - **Gestión Avanzada de Riesgos Océano-Meteorológicos**. – A.P.B.A.

## 10. ANEXO:

Script nº1: Identificación de las embarcaciones que atracan en Isla Verde.

```
tic
ruta_user='Rodrigo Bastida';
ruta1='C:\Users\';
ruta2='\Dropbox\1. Master en Costas y Puertos\TFM\Datos\Trafico-AIS_ALGECIRAS_2014-
20200724T141950Z-001\Lista AIS News 2\AIS_Full (';
ruta3='.mat';
ruta_g='\Dropbox\1. Master en Costas y Puertos\TFM\Scripts\2do
Filtro\Atraques_Isla_verde_version2.mat';

%% ESTABLECEMOS LOS LÍMITES DE LA BUSQUEDA
lim_dato=8095; %Cantidad de archivos a buscar: max =8095.
lim_vel=0.1; %Velocidad límite para considerarse el buque detenido.

%% RUTAS DE GRÁFICO
contorno='\Dropbox\1. Master en Costas y Puertos\TFM\Contorno
Algeciras\contorno_bueno_2.xlsx';
C=xlsread([ruta1 ruta_user contorno],1);
[x_cont,y_cont,zone]=deg2utm(C(:,2),C(:,1));
excento1='\Dropbox\1. Master en Costas y Puertos\TFM\Contorno Algeciras\Excento1.xlsx';
E1=xlsread([ruta1 ruta_user excento1],1);
[x_cont_e1,y_cont_e1,zone]=deg2utm(E1(:,2),E1(:,1));
excento2='\Dropbox\1. Master en Costas y Puertos\TFM\Contorno Algeciras\Excento2.xlsx';
E2=xlsread([ruta1 ruta_user excento2],1);
[x_cont_e2,y_cont_e2,zone]=deg2utm(E2(:,2),E2(:,1));

%% RUTAS DEL BUQUE

k=1;
p=1;
for i=1:lim_dato %Dato ---> 749 NORDAUTUM
%Lectura de los ficheros
num=num2str(i);
archivo= [ruta1 ruta_user ruta2 num ruta3];
load (archivo)

%Cargo los tracks del buque
y=AIS_tot2.Lon;
x=AIS_tot2.Lat;

if length(x)>1
[x_UTM,y_UTM,zone]=deg2utm(x,y); %Paso la Latitud y Longitud a UTM

%Cargo el periodo de tiempo del buque.
time_vec=datevec(AIS_tot2.DateTime);
kk=2;

%Fijo en cero la fecha inicial y paso a segundos el tiempo entre punto y punto.
for j=2:length(AIS_tot2.DateTime)
time_seg(1,1)=0;
time_seg(kk,1)=(datenum(AIS_tot2.DateTime(j,1))-datenum(AIS_tot2.DateTime((j-
1),1)))*24*60*60;
kk=kk+1;
end

%Transformo a metros las distancias entre puntos.
kkk=2;
for L=2:(length(x_UTM))
dis_rel(1,1)=0;
dis_rel(kkk,1)=sqrt(((x_UTM(L)-x_UTM(L-1))^2)+((y_UTM(L)-y_UTM(L-1))^2));
kkk=kkk+1;
end

vel_rel=dis_rel./time_seg;
limp=find(vel_rel>15);
vel_rel(limp)=15;

% Identifico los puntos cercanos al muelle de containers
% Muelle Isla Verde (Containerero)
```



```

min_x=281375; max_x=282200;
min_y=4000500; max_y=4001653;
rec_x=(min_x, min_x, max_x, max_x, min_x);
rec_y=(max_y, min_y, min_y, max_y, max_y);
%
IV=find(x_UTM>min_x & x_UTM<282200 & y_UTM<max_y & y_UTM>min_y & vel_rel<lim_vel);

% Cuando encuentra valores que coinciden con el criterio de búsqueda (es decir, que estén
dentro del recuadro)
% se ejecuta la siguiente sentencia:

% Extraigo todos los valores del fichero
if isempty(IV)==0
    IV_dato{p,1}=1:length(x_UTM);
    dato(p,1)=i; %extraigo el dato del fichero
    IMO(p,1)=AIS_tot2.IMO;
    name{p,:}=AIS_tot2.Name; %extraigo el nombre del buque
    fechas_atraque{p,1}=time_vec; %extraigo todo rango de tiempo en que el buque se
detuvo
    tiempo_atraque{p,1}=time_seg; %extraigo todo rango de tiempo en que el buque se
detuvo
    velocidad_atraque{p,1}=vel_rel;
    eslora(p,1)=AIS_tot2.Eslora;
    x_UTM2{p,1}=x_UTM;
    y_UTM2{p,1}=y_UTM;
    distancia{p,1}=dis_rel;
    velocidad{p,1}=vel_rel;
    nn=[' Fichero n°' num2str(dato(p,1))];
    nm=name{p,:};
    nmm= ['Nombre del buque: ' nm ' - IMO: ' num2str(IMO(p,1))];

%AGREGADO
    tipo(p,1)=AIS_tot2.Type;

%CONTADOR
    p=p+1; %Contador de los registros de entrada
    disp (p);

end

    k=k+1; %contador de ficheros.
    clear time_seg time_vec dis_rel
end
end
Filtrado_IV={IV_dato dato name fechas_atraque tiempo_atraque velocidad_atraque eslora
x_UTM2 y_UTM2 distancia velocidad};
ruta_guardado=[ruta1 ruta_user ruta_g];
save(ruta_guardado,'Filtrado_IV');

```

## Script nº2: Identificación de eventos individuales.

```

ruta_user='Rodrigo Bastida';
ruta1='C:\Users\';
ruta2='\Dropbox\1. Master en Costas y Puertos\TFM\Datos\Trafico-AIS_ALGECIRAS_2014-
20200724T141950Z-001\Lista AIS News 2\AIS_Full (';
ruta3=') .mat';
ruta_G='\Dropbox\1. Master en Costas y Puertos\TFM\Scripts\2do Filtro\3er
Filtro\Eventos_Isla_verde_2daversión.mat';
load ('Atraques_Isla_verde_version2.mat')

C1=1;
umb_dis=500;
umb_time=4;
IV_dato=Filtrado_IV{1,1};
name=Filtrado_IV{1,3};
fechas_atraque=Filtrado_IV{1,4};
tiempo_atraque=Filtrado_IV{1,5};
eslora_atraque=Filtrado_IV{1,7};
x_UTM2=Filtrado_IV{1,8};
y_UTM2=Filtrado_IV{1,9};
distancia_tot=Filtrado_IV{1,10};

```

```

velocidad=Filtrado_IV{1,11};

for i=1:length(IV_dato) %Leo la "CELL" con los datos..
    detalle=IV_dato{i,1};
    fechas=datetime(fechas_atraque{i,1});%RESOLVER ACAACACACACACA!!!!
    distancia=distancia_tot{i,1};
    tiempo=tiempo_atraque{i,1};

    C2=1;
    evento=[];

    for j=1:length(distancia)

        %Si la correlatividad de eventos no se ve ininterrumpida, quiere
        %decir, que hay un solo evento, y guardo el número de fila máximo
        %de la matriz.
        if j==length(distancia) && isempty(evento)==1
            evento(C2,1)=j;
            continue
        end

        %Para extraer el último valor.
        if j==length(detalle)
            evento(C2,1)=j;
            continue
        %
        C2=C2+1;
        end

        %Analizo la correlatividad de los eventos de parada operativa. Si
        %la misma, se ve interrumpida, lo catalogo como un evento nuevo.
        %Almaceno las posiciones donde se ve interrumpida la secuencia.
        if (distancia(j)+umb_dis)<(distancia(j+1)) || (fechas(j)<(fechas(j+1)-umb_time))
            evento(C2,1)=j;
            C2=C2+1;
            continue
        end

    end

    tot=numel(evento);

    for k=1:(tot)

        if k==1
            vec=1:1:evento(1);
        else
            vec=(evento(k-1)+1):1:evento(k);
        end

        atr_nombre{C1,1}=name{i};
        atr_eslora{C1,1}=eslora_atraque(i);
        atr_time{C1,1}=datevec(fechas(vec,:));
        atr_date{C1,1}=datetime(atr_time{C1,1});
        atr_segundos{C1,1}=tiempo(vec,:);
        atr_hs_acum{C1,1}=sum(atr_segundos{C1,1})/3600;
        x_aux=x_UTM2{i};x_UTM{C1,1}=x_aux(vec,:);
        y_aux=y_UTM2{i};y_UTM{C1,1}=y_aux(vec,:);
        dis_aux=distancia_tot{i};dis_UTM{C1,1}=dis_aux(vec,:);
        vel_aux=velocidad{i};vel_UTM{C1,1}=vel_aux(vec,:);
        C1=C1+1;
    end
    clear evento

end

ataque_isla_verde=struct('atr_nombre',atr_nombre, 'atr_eslora',atr_eslora,
'atr_time',atr_time, 'atr_date',atr_date, 'atr_segundos',atr_segundos,
'atr_hs_acum',atr_hs_acum,'x_UTM',x_UTM,'y_UTM',y_UTM, 'Distancia',dis_UTM, 'Velocidad',vel_UTM);
ruta_guardado=[ruta1 ruta_user ruta_G];
save(ruta_guardado,'ataque_isla_verde');

```



### Script nº3: Identificación y proceso de maniobras.

```

ruta_user='Rodrigo Bastida';
ruta1='C:\Users\';
ruta2='\Dropbox\1. Master en Costas y Puertos\TFM\Datos\Trafico-AIS_ALGECIRAS_2014-
20200724T141950Z-001\Lista AIS News 2\AIS_Full (';
ruta3=') .mat';
ruta_g='\Dropbox\1. Master en Costas y Puertos\TFM\Scripts\2do Filtro\3er
Filtro\Filtrado_final_isla_verde.mat';
ruta_DOW='\Dropbox\1. Master en Costas y Puertos\TFM\Scripts\2do Filtro\3er
Filtro\DOW_Isla_Verde.mat';
ruta_DDW='\Dropbox\1. Master en Costas y Puertos\TFM\Scripts\2do Filtro\3er
Filtro\DDW.mat';

%ZONA DE TRABAJO
prin=('Muelle de Isla Verde (Containero)');

load ('Eventos_Isla_verde_2daversion.mat');
load ([ruta1 ruta_user ruta_DOW]); %Cargamos los datos de oleaje.
load ([ruta1 ruta_user ruta_DDW]);

%DATOS DE GRÁFICO:
x0=100;
y0=100;
impr=('C:\Users\Rodrigo Bastida\Dropbox\1. Master en Costas y Puertos\TFM\Gráficos\');

%% RUTAS DE GRÁFICO
contorno='\Dropbox\1. Master en Costas y Puertos\TFM\Contorno
Algeciras\contorno_bueno_2.xlsx';
C=xlsread([ruta1 ruta_user contorno],1);
[x_cont,y_cont,zone]=deg2utm(C(:,2),C(:,1));
[x_sup,y_sup]=meshgrid(x_cont,y_cont);
z_sup=(zeros.*(x_sup));
excento1='\Dropbox\1. Master en Costas y Puertos\TFM\Contorno Algeciras\Excento1.xlsx';
E1=xlsread([ruta1 ruta_user excento1],1);
[x_cont_e1,y_cont_e1,zone]=deg2utm(E1(:,2),E1(:,1));
excento2='\Dropbox\1. Master en Costas y Puertos\TFM\Contorno Algeciras\Excento2.xlsx';
E2=xlsread([ruta1 ruta_user excento2],1);
[x_cont_e2,y_cont_e2,zone]=deg2utm(E2(:,2),E2(:,1));

rec_x=(281375, 281375, 282200, 282200 281375)];
rec_y=(4001653 4000500 4000500 4001653 4001653)];

%% Filtro por eslora para quitar los buques de los prácticos menores a 98metros.
for i=1:length(ataque_isla_verde);
    Eslo(i,1)=(ataque_isla_verde(i).atr_eslora);
end
fil=find(98<Eslo);
Eslo=Eslo(fil);
ataque_isla_verde=ataque_isla_verde(fil);

%Cargo los datos de viento y oleaje
vec_wave=datevec(data.time);
vec_wind=datevec(wind.time);

%Calculo la duracion del ataque en horas
for j=1:length(ataque_isla_verde)
    fin=length(ataque_isla_verde(j).atr_date);
    tiempo_hs(j,1)=(ataque_isla_verde(j).atr_date(fin,:) -
ataque_isla_verde(j).atr_date(1,:))*24;
end

%Contador
c1=1;
c2=0;
dato=[];

for i=1:length(ataque_isla_verde)
    %Cargo los datos de tiempo vectoriales y datenum
    vec_muelle=ataque_isla_verde(i).atr_time;
    time_man=datenum(vec_muelle);
    vec_total{i,1}=vec_muelle;

```



```

% CARGO DATOS DE LATITUD Y LONGITUD, VELOCIDAD
xx=atraque_isla_verde(i).x_UTM;
yy=atraque_isla_verde(i).y_UTM;
vel_rel=atraque_isla_verde(i).Velocidad;

%Identifico los buques que atracan en Isla Verde
bus_entrada=find(xx>281375 & xx<282200 & yy<4001653 & yy>4000500);
if isempty(bus_entrada)==1
    clear vel_rel dis_rel time_seg xx yy ini fin vec_muelle time_man
    continue
else
    if yy(1)<3998000 & yy(end)<3998000
        c2=c2+1;
        dato(c2,1)=i;
    else
        continue
    end
end

%Identifico inicio y fin de maniobra
ini=datenum(vec_muelle(1,1),vec_muelle(1,2),vec_muelle(1,3),vec_muelle(1,4),0,0);
fin=datenum(vec_muelle(end,1),vec_muelle(end,2),vec_muelle(end,3),vec_muelle(end,4),0,0);

%Busco DATOS DE OLEAJE en el periodo de la maniobra
com_wave=find(ini==data.time);
fin_wave=find(fin==data.time);
ub_wave=com_wave:1:fin_wave;
mean_wave(c1,1)=mean(data.hs(ub_wave));%mean_wave_p=ones(length(ub_wave),1)*mean_wave;
MWA=max(data.hs(ub_wave));
if isempty(MWA)==1
    max_wave(c1,1)=NaN;
else
    max_wave(c1,1)=MWA;
end

%DATOS DE PERDIODO
com_tp=find(ini==data.time);
fin_tp=find(fin==data.time);
ub_tp=com_tp:1:fin_tp;
mean_tp(c1,1)=mean(data.tp(ub_tp));%mean_wave_p=ones(length(ub_wave),1)*mean_wave;
MTM=max(data.tp(ub_tp));
if isempty(MTM)==1
    max_tp(c1,1)=NaN;
else
    max_tp(c1,1)=MTM;
end

%DATOS DE VIENTO
com_wind=find(ini==wind.time);
fin_wind=find(fin==wind.time);
ub_wind=com_wind:1:fin_wind;
mean_wind(c1,1)=mean(wind.W10(ub_wind));%mean_wind_p=ones(length(ub_wind),1)*mean_wind;
MWI=max(wind.W10(ub_wind));
if isempty(MWI)==1
    max_wind(c1,1)=NaN;
else
    max_wind(c1,1)=MWI;
end

nn=atraque_isla_verde(i).atr_nombre;

nombre{c2,1}=atraque_isla_verde(i).atr_nombre;
eslora{c2,1}=atraque_isla_verde(i).atr_eslora;
inicio{c2,1}=datevec(ini);
final{c2,1}=datevec(fin);
fechas{c2,1}=vec_muelle;
time{c2,1}=time_man;
x{c2,1}=xx;
y{c2,1}=yy;
velocidad{c2,1}=vel_rel;
clear vel_rel dis_rel time_seg xx yy ini fin vec_muelle time_man

c1=c1+1;

```

```

end

toc

Filtrado_final_isla_verde=struct('Nombre',nombre,'Eslora',eslora,'Inicio',inicio,'Final',fi
nal,
'fechas',fechas,'Datenum',time,'Coordenada_X',x,'Coordenada_Y',y,'Velocidad',velocidad);
ruta_guardado=[ruta1 ruta_user ruta_g];
save(ruta_guardado,'Filtrado_final_isla_verde');

%% HISTOGRAMA DE TODOS LOS TRACKS
% Variables de tracks totales
tot_x=[];
tot_y=[];
tot_vel=[];

for i=1:length(Filtrado_final_isla_verde)
    aux_x=Filtrado_final_isla_verde(i).Coordenada_X;%Variable Auxiliar de Latitud
    aux_y=Filtrado_final_isla_verde(i).Coordenada_Y;%Variable Auxiliar de Longitud
    aux_vel=Filtrado_final_isla_verde(i).Velocidad;%Variable Auxiliar de Velocidad
    for j=1:length(aux_x)
        %Unifico todos los tracks, incluso en estado de atraque.
        tot_x(length(tot_x)+1,1)=aux_x(j,1);
        tot_y(length(tot_y)+1,1)=aux_y(j,1);
        tot_vel(length(tot_vel)+1,1)=aux_vel(j,1);
    end
end

%Variables de tracks sin considerar el atraque del buque.
tot_track_x=[];
tot_track_y=[];
mov=find(tot_vel>0.1);
tot_track_x=tot_x(mov);tot_track_y=tot_y(mov);

D = [tot_x,tot_y] ;
D_mov = [tot_track_x,tot_track_y] ;
hist_X = linspace(280000,290000,20) ;
hist_Y = linspace(3994000,4005000,20) ;

P=hist3(D);%P=hist3(D, {hist_X hist_Y})./sum(sum(hist3(D, {hist_X hist_Y})));
P_mov=hist3(D_mov, {hist_X hist_Y})./sum(sum(hist3(D_mov, {hist_X hist_Y})));
% P(find(P==0))=NaN;

%% FIGURA DE TRACKS...
figure ('Name','Histograma de las maniobras de aproximación')
contourf(x_sup,y_sup,z_sup,0,'b');hold on
pcolor(hist_X,hist_Y,P_mov), hold on,
plot(x_cont,y_cont,'k-','linewidth',1.5); hold on
plot(x_cont_e1,y_cont_e1,'k-','linewidth',1.5); hold on
plot(x_cont_e2,y_cont_e2,'k-','linewidth',1.5); hold on
colormap(jet); shading interp
fill(x_cont,y_cont,[0.4392 0.2863 0.1137]); hold on;
axis equal
text(278500,4002000,'Algeciras','Color','white','FontSize',12)
text(288100,4001792,'Gibraltar','Color','white','FontSize',12)
text(280100,4006200,'Palmones','Color','white','FontSize',12)
text(288000,4005000,{'La linea de','la Concepción'},'Color','white','FontSize',12)
xlabel('Latitud (UTM)')
ylabel('Longitud (UTM)')
set(gca,'fontsize',16)
grid on, colorbar
title(['Histograma de las maniobras de aproximación'])
axis([ 2.78e+05 2.902e+05 3.9937e+06 4.007e+06]);

%% FIGURA DE VELOCIDADES:
Dxy=20; %incremento del cuadrado de búsqueda (m);
[xx,yy]=meshgrid([min(tot_x):Dxy:max(tot_x)], [min(tot_y):Dxy:max(tot_y)]);

plot(tot_x,tot_y,'b.')
axis equal
hold on
k=1;
for i=1:size(xx,1)-1
    for j=1:size(xx,2)-1
        % disp([i,j]);
        px=[xx(i,j),xx(i,j+1),xx(i,j+1),xx(i,j)];
    end
end

```



```

py=[yy(i,j),yy(i,j),yy(i+1,j),yy(i+1,j)];
s=inpolygon(tot_x,tot_y,px,py);
xc(k)=mean(px);yc(k)=mean(py);
Vmin=nanmin(tot_vel(s));
if isempty(Vmin)==1; Vmin=NaN; end
s2=find(s==1);N(k)=sum(s);
Vmean=nanmean(tot_vel(s));
if isempty(Vmean)==1; Vmean=NaN; end
Vmax=nanmax(tot_vel(s));
if isempty(Vmax)==1; Vmax=NaN; end
Vstd=nanstd(tot_vel(s));
if isempty(Vstd)==1; Vstd=NaN; end
%[Vmin,Vmean,Vmax]
%       plot(px,py,'ro-')
%       pause(0.1)
VVmin(k)=Vmin;
VVmean(k)=Vmean;
VVmax(k)=Vmax;
VVstd(k)=Vstd;
%Nmax(k)=
k=k+1;
end
end

%% interpola los puntos a la malla original
Vmax_malla=griddata(xc,yc,VVmax,xx,yy);
Vmean_malla=griddata(xc,yc,VVmean,xx,yy);
Vstd_malla=griddata(xc,yc,VVstd,xx,yy);
N_malla=griddata(xc,yc,N,xx,yy);
s=find(N_malla==0);
N_malla(s)=NaN;

%% dibujo los resultados
figure('Name','Velocidades maximas')
pcolor(xx,yy,Vmax_malla); hold on
plot(x_cont,y_cont,'k-','linewidth',1.5); hold on
plot(x_cont_e1,y_cont_e1,'k-','linewidth',1.5); hold on
plot(x_cont_e2,y_cont_e2,'k-','linewidth',1.5); hold on
shading interp; axis equal; caxis([0 15]) %colormap(jet);
ylabel({'Latitud [UTM]'},'fontweigh','Bold','fontsize',14);
xlabel({'Longitud [UTM]'},'fontweigh','Bold','fontsize',14);
c = colorbar; c.Label.String = 'Velocidad [m/s]';c.Label.FontSize = 14; ; grid on;
title('Mapa de Velocidad Máxima (m/s)','fontweigh','Bold','fontsize',16)
axis([ 2.78e+05  2.902e+05  3.9937e+06  4.007e+06]);
width=1000; height=1000; set(gcf,'position',[x0,y0,width,height])
rut=[impr,'Vel_maxima.png']; print(gcf,'-dpng','-r900',rut)

figure('Name','Velocidades MEDIAS')
pcolor(xx,yy,Vmean_malla); hold on
plot(x_cont,y_cont,'k-','linewidth',1.5); hold on
plot(x_cont_e1,y_cont_e1,'k-','linewidth',1.5); hold on
plot(x_cont_e2,y_cont_e2,'k-','linewidth',1.5); hold on
shading interp; axis equal; caxis([0 15]) %colormap(jet);
ylabel({'Latitud [UTM]'},'fontweigh','Bold','fontsize',14);
xlabel({'Longitud [UTM]'},'fontweigh','Bold','fontsize',14);
c = colorbar; c.Label.String = 'Velocidad [m/s]';c.Label.FontSize = 14; ; grid on;
title('Velocidad media (m/s)','fontweigh','Bold','fontsize',16)
axis([ 2.78e+05  2.902e+05  3.9937e+06  4.007e+06]);
width=1000; height=1000; set(gcf,'position',[x0,y0,width,height])
rut=[impr,'Vel_media.png']; print(gcf,'-dpng','-r900',rut)

figure('Name','Velocidades DESVÍO')
pcolor(xx,yy,Vstd_malla); hold on
plot(x_cont,y_cont,'k-','linewidth',1.5); hold on
plot(x_cont_e1,y_cont_e1,'k-','linewidth',1.5); hold on
plot(x_cont_e2,y_cont_e2,'k-','linewidth',1.5); hold on
shading interp; axis equal; caxis([0 15]) %colormap(jet);
ylabel({'Latitud [UTM]'},'fontweigh','Bold','fontsize',14);
xlabel({'Longitud [UTM]'},'fontweigh','Bold','fontsize',14);
c = colorbar; c.Label.String = 'Velocidad [m/s]';c.Label.FontSize = 14; ; grid on;
title('Desvío estandar de Velocidad (m/s)','fontweigh','Bold','fontsize',16)
axis([ 2.78e+05  2.902e+05  3.9937e+06  4.007e+06]);
width=1000; height=1000; set(gcf,'position',[x0,y0,width,height])
rut=[impr,'Vel_desvío.png']; print(gcf,'-dpng','-r900',rut)

```



```
figure('Name','numero de TRAYECTORIAS')
pcolor(xx,yy,N_malla); hold on
plot(x_cont,y_cont,'k-','linewidth',1.5); hold on
plot(x_cont_e1,y_cont_e1,'k-','linewidth',1.5); hold on
plot(x_cont_e2,y_cont_e2,'k-','linewidth',1.5); hold on
shading interp; axis equal; colormap(jet); caxis([0 75]) %colormap(jet);
ylabel({'Latitud [UTM]'},'fontweigh','Bold','fontsize',14);
xlabel({'Longitud [UTM]'},'fontweigh','Bold','fontsize',14);
c = colorbar; c.Label.String = 'Trayectorias';c.Label.FontSize = 14; ; grid on;
title('Mapa de Trayectorias totales','fontweigh','Bold','fontsize',16)
axis([ 2.78e+05 2.902e+05 3.9937e+06 4.007e+06]);
width=1000; height=1000; set(gcf,'position',[x0,y0,width,height])
rut=[impr,'TRAYECTORIAS.png']; print(gcf,'-dpng','-r900',rut)
```

#### Script nº4: Identificación y proceso de los ataques.

```
prin=('Muelle de Isla Verde (Containers)');

load ('Filtrado_final_isla_verde.mat')
load ('DOW_Isla_verde.mat')
load ('DDW.mat')

%%Filtro por eslora para quitar los buques de los prácticos y tanques menores a 100metros.
for i=1:length(Filtrado_final_isla_verde);
    Eslo(i,1)=(Filtrado_final_isla_verde(i).Eslora);
end
fil=find(98<Eslo);
Eslo=Eslo(fil);
Filtrado_final_isla_verde=Filtrado_final_isla_verde(fil);

Eslo(32)=306;
Eslo(33)=306;
Eslo(429)=101;

%Cargo los datos de viento y oleaje
vec_wave=datevec(data.time);
vec_wind=datevec(wind.time);

%Contador
c1=1;
vacios=[];
c2=1;

for i=1:length(Filtrado_final_isla_verde)

    %Cargo los datos de ubicación
    xx=Filtrado_final_isla_verde(i).Coordenada_X;
    yy=Filtrado_final_isla_verde(i).Coordenada_Y;

    %Filtro por velocidad y ubicación para identificar el ataque exclusivo en Isla Verde:
    Aux_vel=Filtrado_final_isla_verde(i).Velocidad;
    fil=find(xx>281375 & xx<282200 & yy<4001653 & yy>4000500 & Aux_vel<0.1);
    if isempty(fil)==1
        vacios(c2)=i;
        c2=c2+1;
        continue
    end

    %Extraigo valores iniciales y finales del ataque.
    Aux_vec=Filtrado_final_isla_verde(i).fechas;
    vec_muelle= Aux_vec(fil,:);
    ini=datetime(vec_muelle(1,1),vec_muelle(1,2),vec_muelle(1,3),vec_muelle(1,4),0,0);

    fin=datetime(vec_muelle(end,1),vec_muelle(end,2),vec_muelle(end,3),vec_muelle(end,4),0,0);

    tiempo_hs(c1,1)=(fin-ini)*24;

    %DATOS DE OLEAJE
    com_wave=find(ini==data.time);
    fin_wave=find(fin==data.time);
    ub_wave=com_wave:1:fin_wave;
```

```

mean_wave(c1,1)=mean(data.hs(ub_wave));%mean_wave_p=ones(length(ub_wave),1)*mean_wave;
MWA=max(data.hs(ub_wave));
if isempty(MWA)==1
    max_wave(c1,1)=NaN;
else
    max_wave(c1,1)=MWA;
end

%DATOS DE PERIODO
com_tp=find(ini==data.time);
fin_tp=find(fin==data.time);
ub_tp=com_tp:1:fin_tp;
mean_tp(c1,1)=mean(data.tp(ub_tp));%mean_wave_p=ones(length(ub_wave),1)*mean_wave;
MTM=max(data.tp(ub_tp));
if isempty(MTM)==1
    max_tp(c1,1)=NaN;
else
    max_tp(c1,1)=MTM;
end

%DATOS DE VIENTO
com_wind=find(ini==wind.time);
fin_wind=find(fin==wind.time);
ub_wind=com_wind:1:fin_wind;
mean_wind(c1,1)=mean(wind.W10(ub_wind));%mean_wind_p=ones(length(ub_wind),1)*mean_wind;
MWI=max(wind.W10(ub_wind));
if isempty(MWI)==1
    max_wind(c1,1)=NaN;
else
    max_wind(c1,1)=MWI;
end

%DESVIO DE LOS DATOS:
des_wave(c1,1)=std(data.hs(ub_wave));
des_tp(c1,1)=std(data.tp(ub_wave));
des_wind(c1,1)=std(wind.W10(ub_wave));

%PENDIENTE DE LA TENDENCIA:
pol_wave = polyfit(data.time(ub_wave),data.hs(ub_wave),1);
tend_wave(c1,1)=pol_wave(1,1);

pol_tp = polyfit(data.time(ub_wave),data.tp(ub_wave),1);
tend_tp(c1,1)=pol_tp(1,1);

pol_wind = polyfit(wind.time(ub_wind),wind.W10(ub_wind),1);
tend_wind(c1,1)=pol_wind(1,1);

%Contador
c1=c1+1;
end

% DIBUJO DE Hs max VS Duración del atraque.
figure ('Name','Hs maxima')
plot(tiempo_hs,max_wave,'o','color',[0.0824 0.0824 0.6706],'linewidth',1.2); hold on;
plot([0 max(tiempo_hs)], [0.5 0.5], '--r','linewidth',0.5); hold on;
ylabel({'Máxima Hs [m]'}, 'fontweigh','Bold');
xlabel({'Duración del atraque [Hr]'}, 'fontweigh','Bold');
xlim([0 125])%max(tiempo_hs)];
grid on; set(gca, 'fontname','Calibri','FontSize',16);
title({prin,'Relacion entre máxima Hs y duración del atraque'}, 'fontweight','bold');
width=800; height=600; set(gcf, 'position', [x0,y0,width,height])
rut=[impr,'IV_Dur_HsMax.png']; print(gcf, '-dpng', '-r900', rut)

%% DIBUJO DE Tp max VS Duración del atraque.
figure ('Name','Tp maximo')
plot(tiempo_hs,max_tp,'o','color',[0.4941 0.1843 0.5569],'linewidth',1.2); hold on;
ylabel({'Periodo de pico [seg]'}, 'fontweigh','Bold');
xlabel({'Duración del atraque [Hr]'}, 'fontweigh','Bold');
xlim([0 125]);
grid on; set(gca, 'fontname','Calibri','FontSize',16);
title({prin,'Relacion entre Tp y duración del atraque'}, 'fontweight','bold');
width=800; height=600; set(gcf, 'position', [x0,y0,width,height])
rut=[impr,'IV_Dur_TpMax.png']; print(gcf, '-dpng', '-r900', rut)

```



```

%% DIBUJO DE W10 max VS Duración del atraque.
figure('Name','W10 maximo')
plot(tiempo_hs,max_wind,'o','color',[0.0078 0.4784 0.0706],'linewidth',1.2); hold on;
ylabel({'Velocidad de viento máxima [m/s]','fontweigh','Bold'});
xlabel({'Duración del atraque [hs]','fontweigh','Bold'});
xlim([0 200]);
grid on;
set(gca,'fontname','Calibri','FontSize',16);
title({'prin','Relacion entre viento máximo y duración del atraque'},'fontweight','bold');
width=800; height=600; set(gcf,'position',[x0,y0,width,height])
rut=[impr,'IV_Dur_W10Max.png']; print(gcf,'-dpng','-r900',rut)

%% DIBUJO DE Eslora VS Duración del atraque
figure('Name','Esloras')
plot(tiempo_hs,Eslo,'ob','linewidth',0.8,'markersize',6); hold on;
ylabel({'Eslora [m]','fontweigh','Bold'});
xlabel({'Duración del atraque [Hr]','fontweigh','Bold'});
xlim([0 200]); ylim([90 450]);
grid on;
set(gca,'fontname','Calibri','FontSize',16);
title({'prin','Relacion entre Eslora y duración del atraque'},'fontweight','bold');
width=800; height=600; set(gcf,'position',[x0,y0,width,height])
rut=[impr,'IV_Dur_Eslora.png']; print(gcf,'-dpng','-r900',rut)

%% Histograma de Esloras
Es_M=max(Eslo); %Buscamos el valor maximo de precipitación
inct=25; %Incremento de los histogramas 2mm
Es_x=[1:inct:Es_M]; %Vector x
indi=find(Eslo); %Busco valores distintos a cero.
Es_null=Eslo(indi); %Datos sin cero.
Es_hist=hist(Es_null,Es_x); %Histograma de frecuencias.
Es_hist_adim=Es_hist./(numel(Es_null).*inct); %Histograma de frecuencias relativas (para
adiminesionalizarlo, se debe multiplicar por el incremento)
frec_acum=cumsum(Es_hist_adim); %Histograma acumulado.

figure('Name','Esloras')
bar(Es_x,Es_hist,0.9); hold on;
xlabel({'Esloras [m]'}); xlim ([75 425]);
ylabel({'Frecuencia de buques'}); grid on
title ('Histograma de Esloras')
set(gca,'fontname','Calibri','FontSize',16);
width=800; height=600; set(gcf,'position',[x0,y0,width,height])
rut=[impr,'IV_Dur_historial.png']; print(gcf,'-dpng','-r900',rut)

%DESVIO
figure('Name','Hs media y desvio')
h = scatter(tiempo_hs,mean_wave,[],des_wave,'fill'); h.SizeData = 50; hold on
plot([0 max(tiempo_hs)],[0.5 0.5],'--r','linewidth',0.5); hold on;
ylabel({'Hs media [m]','fontweigh','Bold'});
xlabel({'Duración del atraque [Hr]','fontweigh','Bold'});
xlim([0 125])%max(tiempo_hs));
grid on;c = colorbar; c.Label.String = 'Desvio estandar de Hs';%c.Limits = [-1 1];
set(gca,'fontname','Calibri','FontSize',18);
title({'prin','Relacion entre Hs medio y duración del atraque'},'fontweight','bold');
width=800; height=600; set(gcf,'position',[x0,y0,width,height])
rut=[impr,'IV_Dur_Hsmed_Desvio.png']; print(gcf,'-dpng','-r900',rut)

figure('Name','Tp media y variación de energía')
h = scatter(tiempo_hs,mean_tp,[],des_tp,'fill'); h.SizeData = 50;
ylabel({'Tp medio [m]','fontweigh','Bold'});
xlabel({'Duración del atraque [Hr]','fontweigh','Bold'});
xlim([0 125])%max(tiempo_hs));
grid on;c = colorbar; c.Label.String = 'Desvio estandar de Tp';
set(gca,'fontname','Calibri','FontSize',18);
title({'prin','Relacion entre Tp medio y duración del atraque'},'fontweight','bold');
width=800; height=600; set(gcf,'position',[x0,y0,width,height])
rut=[impr,'IV_Dur_Tpmed_Desvio.png']; print(gcf,'-dpng','-r900',rut)

%TENDECIA
figure('Name','Hs media y TENDECIA')

```



```

h=scatter(tiempo_hs,mean_wave,[],tend_wave,'fill');h.SizeData = 50; hold on
plot([0 max(tiempo_hs)],[0.5 0.5], '--r', 'linewidth',0.5); hold on;
ylabel({'Hs media [m]'}, 'fontweigh', 'Bold');
xlabel({'Duración del ataque [Hr]'}, 'fontweigh', 'Bold');
xlim([0 125])%max(tiempo_hs)];
grid on;c = colorbar; c.Label.String = 'Variacion de Hs';%c.Limits = [-1 1];
set(gca, 'fontname', 'Calibri', 'FontSize', 18);
title({prin, 'Relacion entre Hs medio y duración del ataque'}, 'fontweight', 'bold');
width=800; height=600; set(gcf, 'position', [x0,y0,width,height])
rut=[impr, 'IV_Dur_Hsmed_Energia.png']; print(gcf, '-dpng', '-r900', rut)

figure('Name', 'Tp media y TENDENCIA')
h=scatter(tiempo_hs,mean_tp,[],tend_tp,'fill');h.SizeData = 50; hold on
ylabel({'Tp medio [m]'}, 'fontweigh', 'Bold');
xlabel({'Duración del ataque [Hr]'}, 'fontweigh', 'Bold');
xlim([0 125])%max(tiempo_hs)];
grid on; colorbar
set(gca, 'fontname', 'Calibri', 'FontSize', 18);
title({prin, 'Relacion entre Tp medio y duración del ataque'}, 'fontweight', 'bold');
width=800; height=600; set(gcf, 'position', [x0,y0,width,height])
rut=[impr, 'IV_Dur_Tpmed_Energia.png']; print(gcf, '-dpng', '-r900', rut)

tiempo_fil=tiempo_hs;
JJK=find(tiempo_hs==0);
tiempo_fil(JJK,1)=NaN;

figure('Name', 'Hs, Tp y duración')
h=scatter(max_wave,max_tp,[],tiempo_fil,'fill');h.SizeData = 50; hold on;
ylabel({'Período de pico [seg]'}, 'fontweigh', 'Bold');
xlabel({'Máxima Hs [m]'}, 'fontweigh', 'Bold');
grid on; colormap(jet); c = colorbar; caxis([0 100]);c.Label.String = 'Duración del ataque
[hr]';c.Label.FontSize=14;
set(gca, 'fontname', 'Calibri', 'FontSize', 16);
title({prin, 'Relacion entre Eslora y duración del ataque'}, 'fontweight', 'bold');
width=800; height=600; set(gcf, 'position', [x0,y0,width,height])
rut=[impr, 'IV_2D_Dur_Tpmed_Hsmed.png']; print(gcf, '-dpng', '-r900', rut)

```