



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Ús de les dades massives AIS com a eina de gestió portuària

Treball realitzat per:

Carolina Bagés Yáñez

Dirigit per:

Anna Mujal Colilles

Francesc Xavier Gironella I Cobos

Màster en:

Enginyeria de Camins, Canals i Ports

Barcelona, 29 de juny del 2020

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

TREBALL FINAL DE MÀSTER

RESUM

El Sistema d'Identificació Automàtica (AIS) és un dispositiu estàndard internacional de comunicació d'informació sobre el trànsit marítim. Aquest dispositiu, originalment, es va desenvolupar com un sistema d'ajuda a la navegació. La informació es transmet de forma continua i en temps real de vaixell a una estació terrestre, de vaixell a vaixell o de estació terrestre a vaixell. Aquesta comunicació permet: i) que els vaixells tinguin una visió del trànsit marítim del seu voltant, ii) traçar rumbos de navegació més segurs, i iii) que les estacions terrestres puguin dur un millor control del trànsit marítim.

Aquest treball pretén desenvolupar una metodologia i estudi analític enfocat en l'anàlisi de les dades proporcionades per l'AIS per a la seva aplicació en diferents eines de gestió portuària com són: a) la demanda del trànsit de vaixells, b) la dinàmica espacial-temporal del trànsit en aigües portuàries, c) les condicions de navegació dins de l'àrea portuària i d) el temps de residència dels vaixells dins del port, utilitzant les dades AIS de tres mesos: setembre, octubre i novembre de 2019.

Aquest document consta de quatre apartats: el tractament de les dades AIS, anàlisi de l'ocupació de la dàrsena, anàlisi espacial de la velocitat i temps d'ocupació. El primer apartat tracta d'analitzar estadísticament totes les dades AIS obtingudes començant per calcular l'error d'aquestes, analitzar patrons entre dades de diferents mesos o les trajectòries dels vaixells segons la tipologia. Seguidament, s'estudia l'ocupabilitat de la dàrsena des de dues òptiques diferents: vaixells en moviment i vaixells atracats o amarrats. Aquest apartat permet veure l'ús del port segons les diferents velocitats i segons diferents variables escollides com és la variable horària, de dia de la setmana o la tipologia de vaixell. El tercer apartat analitza les distribucions de velocitats de trànsit dins el port per conèixer l'existència de zones conflictives i amb més risc de col·lisió així com l'acompliment dels límits de velocitat fixats pel mateix port. Finalment, l'últim apartat es dedica a l'estudi del temps de residència per veure quines dàrsenes són les més ocupades temporalment, quina tipologia de vaixell és la que roman més temps fent cua i analitzar si es fa un bon ús de les instal·lacions portuàries.

ABSTRACT

The Automatic Identification System (AIS) is an international standard device for information communication. This device was originally developed as a maritime traffic service. The information is transmitted continuously and in real time from ship to land station, from ship to ship or from land station to ship. This communication allows: i) ship to have an overview of the maritime traffic around them, ii) plot safer navigation routes, and iii) land stations to have a better control of the maritime traffic.

This work aims to develop a methodology and analytic study focused on the analysis of the data provided by the AIS for its application in different port management tools such as: a) ship traffic demand and b) the spatial-temporal dynamics of traffic in port waters, c) navigation conditions within the port area and d) the residence time of the vessels within the port, using AIS data for three months: September, October and November of 2019. This thesis has four sections: processing of AIS data, analysis of dock occupation, spatial analysis of speed and occupation time.

This thesis has four sections, the treatment of AIS data, analysis of the occupation of the dock, spatial analysis of the speed and time of occupation.

The first section deals with the statistical analysis of all the AIS data obtained, such as calculating their error, analyzing patterns among data from different months or the trajectories of the vessels according to the typology. Next, the occupation dock comprises two sub-modules: static and dynamic occupation. This section allows us to see the use of the port according to different speeds and according to different variables chosen such as the hourly variable, the day of the week or the type of vessel. Then, the third section, aims to analyze the traffic speed distribution within the port in order to find out about the existence of conflict zones and areas with higher risk of collision, as well as compliance with speed limits set by the port itself. Finally, the last section is dedicated to the study of the time occupation to see which docks are the most occupied temporarily, which type of ship is the one that spends the most time in line and to analyze if the port facilities are used properly.

TAULA DE CONTINGUTS

RESUM.....	I
ABSTRACT.....	II
LLISTAT DE FIGURES	V
LLISTAT DE TAULES.....	X
1. INTRODUCCIÓ.....	1
2. OBJECTIUS	3
3. ÀREA D'ESTUDI.....	4
4. METODOLOGÍA.....	7
4.1. Descripció AIS.....	7
4.2. Tractament inicial de les dades AIS.....	7
4.2.1. Error de posicionament.....	10
4.2.2. Errors en l'emissió de missatges	11
4.2.3. Errors en l'estat de la navegació	14
4.3. Ocupació de la dàrsena	14
4.4. Velocitat a l'interior de les aigües del Port de Barcelona	15
4.5. Temps d'ocupació	16
5. RESULTATS I DISCUSSIÓ	17
5.1. Dades genèriques del Port de Barcelona	17
5.1.1. Error de posicionament.....	21
5.1.2. Error en l'emissió de missatges.....	22
5.1.3. Error en l'estat de la navegació.....	23
5.2. Ocupació de la dàrsena	24
5.2.1. Distribució estàtica de la densitat del Port de Barcelona	24
5.2.2. Distribució dinàmica de la densitat del Port de Barcelona	28
5.3. Velocitat dins les aigües portuàries	34
5.3.1. Distribució de la velocitat dels vaixells amb velocitat igual o inferior a 6 nusos	34
5.3.2. Distribució de la velocitat per a velocitats superiors a 6 nusos	35
5.4. Temps de residència.....	37
6. CONCLUSIONS	41
7. REFERÈNCIES	43
8. ANNEX	44
8.1. Ocupació estàtica de la dàrsena per número de vaixells.....	44
8.1.1. Per hores	44
8.1.2. Per dia de la setmana	54

8.1.3.	Per tipologia	57
8.2.	Ocupació dinàmica de la dàrsena per número de vaixells.....	60
8.2.1.	Per hores	60
8.2.2.	Per dia de la setmana	70
8.2.3.	Per tipologia	73
8.3.	Ocupació dinàmica de la dàrsena per densitat de missatges	76
8.3.1.	Per hores	76
8.3.2.	Per dia de la setmana	85
8.3.3.	Per tipologia	89
8.4.	Distribució de la velocitat dels vaixells amb velocitat igual o inferior a 6 nusos	93
8.4.1.	Velocitat mitja	93
8.5.	Distribució de la velocitat dels vaixells amb velocitat superior a 6 nusos	94
8.5.1.	Velocitat mitja	94
8.5.2.	Velocitat màxima.....	96
8.6.	Temps d'ocupació	97
8.6.1.	Per mes.....	97
8.6.2.	Per tipologia	99

LLISTAT DE FIGURES

Figura 1. Port de Barcelona. Font: www.maps.google.com	4
Figura 2. Mapa de concessions del Port de Barcelona. Font: APB.....	6
Figura 3. Histograma de la quantitat relativa de missatges per hores pels mesos de setembre, octubre i novembre 2019.....	18
Figura 4. Histograma de la quantitat relativa de vaixells per hores pels mesos de setembre, octubre i novembre de 2019.....	18
Figura 5. Histograma de la quantitat relativa de missatges per dia de la setmana pels mesos de setembre, octubre i novembre de 2019.	19
Figura 6. Histograma de la quantitat relativa de vaixells per dia de la setmana pels mesos de setembre, octubre i novembre de 2019.	19
Figura 7. Trajectòries dels vaixells segons el tipus de nau. Les dades són totes les dades dels dissabtes d'un mes. (Font:(Mujal-Colilles, Bagés, & Fonollosa, 2020))	20
Figura 8. Gràfic circular de la quantitat relativa de missatges dels dissabtes d'un mes per tipologia de vaixell	21
Figura 9. Estimació de l'error de les dades espacials obtingudes de l'AIS. Font: www.marinetraffic.com (20/03/30-20/04/29)	22
Figura 10. Distribució de l'ocupació estàtica de la dàrsena durant les hores de mínima (esquerra) i màxima (dreta) confluència de vaixells del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	25
Figura 11. Distribució de l'ocupació estàtica de la dàrsena durant els dies de la setmana de mínima (esquerra) i màxima (dreta) confluència de vaixells del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	26
Figura 12. Distribució de l'ocupació estàtica de la dàrsena de número de vaixells segons al tipologia de vaixell del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.....	27
Figura 13. Distribució de la ocupació dinàmica de la dàrsena durant les hores de mínima (esquerra) i màxima (dreta) emissió de missatges del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	29
Figura 14. Distribució de l'ocupació dinàmica de la dàrsena durant les hores de mínima (esquerra) i màxima (dreta) emissió de missatges del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	29
Figura 15. Distribució de la ocupació dinàmica de la dàrsena durant els dies de mínima (esquerra) i màxima (dreta) emissió de missatges del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	30
Figura 16. Distribució de l'ocupació dinàmica de la dàrsena durant els dies de la setmana de mínima (esquerra) i màxima (dreta) confluència de vaixells del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	30

Figura 17. Distribució de la ocupació dinàmica de la dàrsena d'emissió de missatges segons al tipologia de vaixell del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.....	31
Figura 18. Distribució de l'ocupació dinàmica de la dàrsena de número de vaixells segons al tipologia de vaixell del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.....	32
Figura 19. Distribució de la velocitat mitjana, en nusos, dels vaixells, en nusos, que naveguen a una velocitat inferior o igual a 6 nusos del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de la velocitat a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	35
Figura 20. Distribució de la velocitat mitjana, en nusos, dels vaixells que naveguen a una velocitat superior a 6 nusos del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. A la imatge de dalt es mostra la distribució de la velocitat tenint en compte els vaixells especials i a la imatge de sota sense els vaixells especials. El valor de la velocitat a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	36
Figura 21. Distribució de la velocitat màxima, en nusos, dels vaixells que naveguen a una velocitat superior a 6 nusos del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de la velocitat a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	37
Figura 22. Distribució del temps d'ocupació promig, en dies, del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. A la imatge de dalt es mostra la distribució de la velocitat tenint en compte els vaixells especials i a la imatge de sota sense els vaixells especials. El valor del temps a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.....	38
Figura 23. Distribució del temps d'ocupació promig, en dies, per a les tipologies de vaixell més representatives dins del port per al mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	40
Figura 24. Distribució de la ocupació estàtica de vaixells per hores durant el mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.....	47
Figura 25. Distribució de la ocupació estàtica de vaixells per hores durant el mes de octubre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.....	50
Figura 26. Distribució de la ocupació estàtica de vaixells per hores durant el mes de novembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.....	53
Figura 27. Distribució de la ocupació estàtica de vaixells per dia de la setmana durant el mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona. ..	54
Figura 28. Distribució de la ocupació estàtica de vaixells per dia de la setmana durant el mes de octubre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona. ..	55
Figura 29. Distribució de la ocupació estàtica de vaixells per dia de la setmana durant el mes de novembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica	

amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	56
Figura 30. Distribució de la ocupació estàtica de vaixells per tipologia durant el mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	57
Figura 31. Distribució de la ocupació estàtica de vaixells per tipologia durant el mes de octubre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	58
Figura 32. Distribució de la ocupació estàtica de vaixells per tipologia durant el mes de novembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	59
Figura 33. Distribució de la ocupació dinàmica de vaixells per hores durant el mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	63
Figura 34. Distribució de la ocupació dinàmica de vaixells per hores durant el mes de octubre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	66
Figura 35. Distribució de la ocupació dinàmica de vaixells per hores durant el mes de novembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	69
Figura 36. Distribució de la ocupació dinàmica de vaixells per dia de la setmana durant el mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	70
Figura 37. Distribució de la ocupació dinàmica de vaixells per dia de la setmana durant el mes de octubre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	71
Figura 38. Distribució de la ocupació dinàmica de vaixells per dia de la setmana durant el mes de novembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	72
Figura 39. Distribució de la ocupació dinàmica de vaixells per tipologia durant el mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona. ..	73
Figura 40. Distribució de la ocupació dinàmica de vaixells per tipologia durant el mes de octubre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	74
Figura 41. Distribució de la ocupació dinàmica de vaixells per tipologia durant el mes de novembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	75
Figura 42. Distribució de la ocupació dinàmica de la dàrsena de l'emissió de missatges per hores durant el mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.....	78
Figura 43. Distribució de la ocupació dinàmica de de la dàrsena de l'emissió de missatges per hores durant el mes d'octubre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a	

cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.....	81
Figura 44. Distribució de la ocupació dinàmica de de la dàrsena de l'emissió de missatges de vaixells per hores durant el mes de novembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	84
Figura 45. Distribució de la ocupació dinàmica de de la dàrsena de l'emissió de missatges de la dàrsena per dia de la setmana durant el mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	86
Figura 46. Distribució de la ocupació dinàmica de de la dàrsena de l'emissió de missatges de la dàrsena per dia de la setmana durant el mes d'octubre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	87
Figura 47. Distribució de la ocupació dinàmica de de la dàrsena de l'emissió de missatges de la dàrsena per dia de la setmana durant el mes de novembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	88
Figura 48. Distribució de la ocupació dinàmica de de la dàrsena de l'emissió de missatges de la dàrsena per tipologia de vaixell durant el mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	90
Figura 49. Distribució de la ocupació dinàmica de de la dàrsena de l'emissió de missatges de la dàrsena per tipologia de vaixell durant el mes d'octubre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	91
Figura 50. Distribució de la ocupació dinàmica de de la dàrsena de l'emissió de missatges de la dàrsena per tipologia de vaixell durant el mes de novembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	92
Figura 51. Distribució de la velocitat mitjana, en nusos, dels vaixells que naveguen a una velocitat inferior o igual a 6 nusos del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de la velocitat a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.....	93
Figura 52. Distribució de la velocitat mitjana, en nusos, dels vaixells que naveguen a una velocitat inferior o igual a 6 nusos del mes d'octubre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de la velocitat a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.....	93
Figura 53. Distribució de la velocitat mitjana, en nusos, dels vaixells que naveguen a una velocitat inferior o igual a 6 nusos del mes de novembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de la velocitat a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	94
Figura 54. Distribució de la velocitat mitjana, en nusos, dels vaixells que naveguen a una velocitat superior a 6 nusos del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de la velocitat a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.....	94
Figura 55. Distribució de la velocitat mitjana, en nusos, dels vaixells que naveguen a una velocitat superior a 6 nusos del mes d'octubre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de la	

velocitat a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.....	95
Figura 56. Distribució de la velocitat mitjana, en nusos, dels vaixells que naveguen a una velocitat superior a 6 nusos del mes de novembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de la velocitat a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.....	95
Figura 57. Distribució de la velocitat màxima, en nusos, dels vaixells que naveguen a una velocitat superior a 6 nusos del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de la velocitat a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	96
Figura 58. Distribució de la velocitat màxima, en nusos, dels vaixells que naveguen a una velocitat superior a 6 nusos del mes d'octubre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de la velocitat a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	96
Figura 59. Distribució de la velocitat màxima, en nusos, dels vaixells que naveguen a una velocitat superior a 6 nusos del mes de novembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de la velocitat a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	97
Figura 60. Distribució del temps d'ocupació promig, en dies, del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor del temps a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	97
Figura 61. Distribució del temps d'ocupació promig, en dies, del mes d'octubre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor del temps a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.....	98
Figura 62. Distribució del temps d'ocupació promig, en dies, del mes de novembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor del temps a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	98
Figura 63. Distribució del temps d'ocupació mig per a les tipologies de vaixell més representatives dins del port per al mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	99
Figura 64. Distribució del temps d'ocupació mig per a les tipologies de vaixell més representatives dins del port per al mes d'octubre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	100
Figura 65. Distribució del temps d'ocupació mig per a les tipologies de vaixell més representatives dins del port per al mes de novembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.	101

LLISTAT DE TAULES

Taula 1. Missatges 1, 2, 3. (Font: Recomanació UIT-R M.1371-5 (02/2014))	8
Taula 2. Missatge 5. (Font: Recomanació UIT-R M.1371-5 (02/2014)).....	9
Taula 3. Missatge 18. (Font: Recomanació UIT-R M.1371-5 (02/2014)).....	10
Taula 4. Missatge 24B. (Font: Recomanació UIT-R M.1371-5 (02/2014))	10
Taula 5. Intervals d'informació dels equips mòbils a bord dels vaixells de Classe A (Font: Recomanació UIT-R M.1371-5 (02/2014))	12
Taula 6. Intervals d'informació dels equips mòbils a bord dels vaixells de Classe A segons l'estat de navegació (Font: Recomanació UIT-R M.1371-5 (02/2014)).....	12
Taula 7. Intervals d'informació dels equips mòbils a bord dels vaixells de Classe B (Font: Recomanació UIT-R M.1371-5 (02/2014))	13
Taula 8. Número de missatges reals i teòrics dels dispositius de Classe A i Classe B.....	23
Taula 9. Número de vaixells i missatges emesos segons la tipologia de vaixell amb vaixells a una velocitat inferior a 2 nusos.....	25
Taula 10. Número de missatges emesos segons la tipologia de vaixell amb vaixells a una velocitat entre 2 i 6 nusos	33

1. INTRODUCCIÓ

Durant el transcurs de la història, el comerç marítim ha representat un paper important dins del desenvolupament econòmic dels països a nivell mundial. En els darrers anys hi ha hagut un augment en el volum de trànsit marítim mundial degut a l'increment de la producció. L'any 2017, el comerç marítim mundial va arribar a un total de 10,7 milions de tones de mercaderies carregades, la qual cosa suposava un augment del volum del 4%, la major taxa de creixement registrada en els últims cinc anys (UNCTAD, 2018).

En l'actualitat s'ha demostrat la importància d'una bona gestió portuària. Per dur-la a terme és important conèixer l'estructura operativa industrial dels ports i les respectives terminals marítimes, identificar la importància d'una instal·lació i/o terminal portuària per afavorir el seu funcionament i conèixer la zona d'influència econòmica.

Els ports espanyols tenen una importància considerable en el sector del transport marítim internacional. Això fa que Espanya es col·loqui en la posició número 11 després dels gegants asiàtics, Estats Units, Alemanya i Holanda com a potència portuària mundial. Entre els ports més importants del món s'hi col·loquen 5 ports espanyols, d'entre ells el Port de Barcelona el qual es col·loca en el lloc 77 del món, el 15 d'Europa i el setè de la Mediterrània¹.

El Port de Barcelona és una de les principals infraestructures de transport i serveis de Catalunya i, a més, és un port de referència de la regió euromediterrània. El port disposa prop de 100 línies regulars que connecten directament amb més de 200 ports dels cinc continents². Està especialitzat en càrrega general i en mercaderies d'alt valor, com béns de consum, productes electrònics i vehicles, i és el primer port de l'Estat per al trànsit internacional.

Així doncs, és important tenir una visió profunda del trànsit de vaixells en les aigües del port i avantport, per tal de mantenir la seguretat i l'eficiència operativa dins d'un port tant ocupat, ja que qualsevol situació puntual de congestió de trànsit i/o accident pot causar un alt cost en la indústria logística local i fins i tot global (Zhang, Meng, & Fang Fwa, 2019). Per tant, els anàlisis del trànsit de vaixells poden aportar valuoses indicacions per a que les autoritats marítimes el gestionin eficaçment (Coello, Williams, Hudson, & Kemp, 2015; Goldsworthy & Goldsworthy, 2015; Li et al., 2018; S. Wang, Meng, & Sun, 2013; Y. Wang, Zhang, Chen, Chu, & Yan, 2013; Zhang, Wang, & Meng, 2015) Tot i així, els estudis sobre l'anàlisi dinàmic espai-temporal del trànsit de vaixells en aigües portuàries són escassos degut a que els estudis existents es centren principalment en la millora de l'eficiència de les operacions portuàries o optimització de les rutes de navegació.

Avui dia es disposa de mètodes avançats de recopilació de dades de trànsit de vaixells, com són el Vessel Traffic Services (VTS) i el Automatic Identification System (AIS) (Meng, Weng, & Li, 2014). Donat que les dades AIS poden garantir l'alta confiabilitat de la informació del trànsit de vaixells en aigües portuàries, l'anàlisi del trànsit de bucs basat en dades AIS es torna extremadament prometedora per a captar amb precisió les activitats de navegació i entendre el trànsit en aigües portuàries (Shelmerdine, 2015; Tsou, 2010).

El present treball pretén desenvolupar una metodologia i estudi analític per a l'anàlisi del trànsit de vaixells en aigües portuàries per mitjà de dades massives AIS. El treball consta de quatre

¹ <http://www.puertos.es/es-es>

² <http://www.portdebarcelona.cat/>

apartats principals: el tractament inicial de les dades AIS, l'ocupació de la dàrsena, l'anàlisi de les velocitat dins i al voltant del Port de Barcelona i l'anàlisi del temps de d'ocupació.

2. OBJECTIUS

L'objectiu general del treball consisteix en estudiar la viabilitat de l'ús de les dades AIS per a la gestió portuària. Aquesta eina, inicialment dissenyada com a ajuda a la navegació marítima, proporciona dades puntuals sobre la localització, entre d'altra informació, de tots els vaixells que tenen incorporat el sistema AIS. L'aglomeració i la gestió de les dades AIS en *real-time* pot proporcionar a les autoritats portuàries una eina de presa de decisions que faciliti la gestió diària del trànsit portuari. Així mateix, l'estudi històric de les dades AIS també pot ajudar a comprendre comportaments del transit marítim dins el port i les conseqüències d'alguna presa de decisions.

Aquest és un estudi inicial que pretén demostrar la utilitat d'aquesta eina per al futur de la gestió portuària utilitzant sistemes d'Intel·ligència Artificial i Machine Learning. Com a primer pas, es proposa utilitzar les dades AIS per a tres variables específiques com són l'ocupació espacial del port, la distribució de velocitats dins l'àrea portuària i finalment el temps de residència dels vaixells en funció de la seva àrea d'atracament. Per tant, els objectius específics són:

1. Estudi general del sistema AIS: quantitat, tipologia i gestió de les dades
2. Gestió de l'ocupació de la zona portuària
3. Estudi de la distribució de velocitats en la zona portuària.
4. Estudi del temps de residència dels vaixells

3. ÀREA D'ESTUDI

El port de Barcelona està situat al mar Mediterrani, a la ciutat de Barcelona. És un port marítim, industrial i pesquer, el qual s'estén al llarg de la ciutat vella, de Montjuïc i de la Zona Franca. El Port de Barcelona és considerat un dels ports amb més envergadura no només a nivell nacional sinó de tot el Mediterrani. El Port de Barcelona es divideix entre el port logístic (Zona d'Activitats Logístiques, ZAL), el port urbà (Port Vell) i el port comercial. Cada una d'aquestes activitats mencionades disposa d'un espai propi, personal especialitzat i instal·lacions.

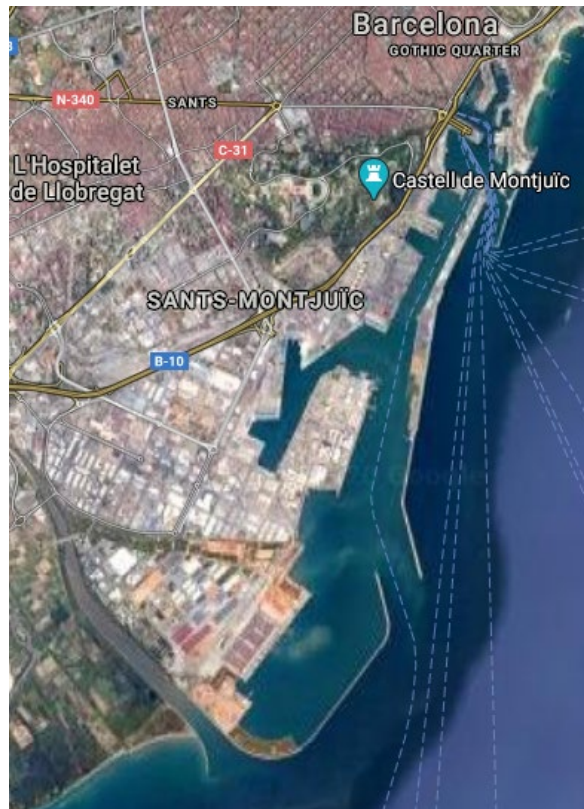


Figura 1. Port de Barcelona. Font: www.maps.google.com

El Port de Barcelona té una superfície terrestre de 1.110 ha i 20 quilòmetres de molls i àrees d'atracament. A més compta amb dues bocanes: la sud i la nord. La bocana sud està orientada a 191,8°, té una amplada de 370 metres i un calat de 16 metres. Per altra banda, la bocana nord està orientada a 205°, té una amplada de 145 metres i un calat de 11,5 metres.

Tal com explica (Moisés, 2011) el port de Barcelona va néixer a l'hora que la ciutat de Barcelona com un port natural situat entre la muntanya de Montjuïc i l'antiga desembocadura del riu Llobregat. El port ha tingut tres grans ampliacions al llarg de la història: el 1860 (en direcció a la Barceloneta), el 1900 (en direcció a Montjuïc) i el 1965 (fins arribar a la desembocadura del riu Llobregat).

Degut al creixement del comerç marítim internacional, al 1989 es va plantejar la quarta ampliació d'aquesta infraestructura per tal de crear nous espais portuaris i millorar les connexions viàries i ferroviàries per tal de poder cobrir la nova demanda. El Pla d'infraestructures i medi ambient del delta del riu Llobregat, el PLA DELTA, es va aprovar l'any 1994. Aquest pla contemplava, entre d'altres actuacions, el desviament de la desembocadura del Llobregat dos quilòmetres al sud per permetre el creixement del port. El 2001 es van iniciar

les obres de desviament, les quals van acabar el 2004. A partir d'aleshores, va començar l'ampliació de la infraestructura portuària. La quarta ampliació del Port de Barcelona va suposar doblar la superfície terrestre del port, des de les 558 ha fins a les 1.110 ha i la superfície marítima des de 374 ha fins a 786 ha.

Aquesta ampliació del port es traduïa en un augment de la capacitat del port fins a un trànsit anual de 130 milions de tones i 10 milions de contenidors. Per tal de poder donar sortida a aquest volum de mercaderies es requeria una millora dels accessos. Per aquest motiu al 2006 es va aprovar el Pla d'accessibilitat ferroviària i viària del port de Barcelona.

El Port de Barcelona està especialitzat en càrrega general i càrrega d'alt valor afegit (vehicles, productes electrònics, béns de consum, etc.). Actualment, el port opera 48,6 milions de tones de càrrega, al voltant de 917.000 vehicles, 2,2 milions de TEU, 8.728 vaixells i prop de 4 milions de passatgers a l'any³. La seva àrea d'influència s'estén pel sud i el centre d'Europa i pel nord d'Àfrica amb més de 100 línies marítimes regulars que permeten a Barcelona connectar amb 200 ports repartits per tot el món.

La Figura 2, mostra el mapa de les diferents concessions del Port de Barcelona per tal de tenir una visió general de com estan situades les diferents terminals dins del port. Cal destacar que la zona immediatament exterior al Port s'utilitza també com a zona de fondeig per a aquells vaixells que no poden entrar immediatament al port.

Dins el port, l'Autoritat Portuària de Barcelona (APB) té establertes unes normes de circulació que limiten, entre altres, la velocitat màxima de navegació. Aquesta limitació es divideix en dues zones: l'interior de les aigües portuàries i l'exterior de les aigües portuàries. En els espais d'aigües interiors del port el límit de velocitat màxima està establert en 6 nusos tant per a les maniobres d'entrada, sortida, canvi d'atraca o navegació interior. Per altra banda, en els espais exteriors al port i zones de precaució a ambdues bocanes s'estableix una velocitat màxima és de 15 nusos, o de 25 nusos per als vaixells classificats d'alta velocitat.

³ <http://www.best.com.es/ca/port-de-barcelona/>

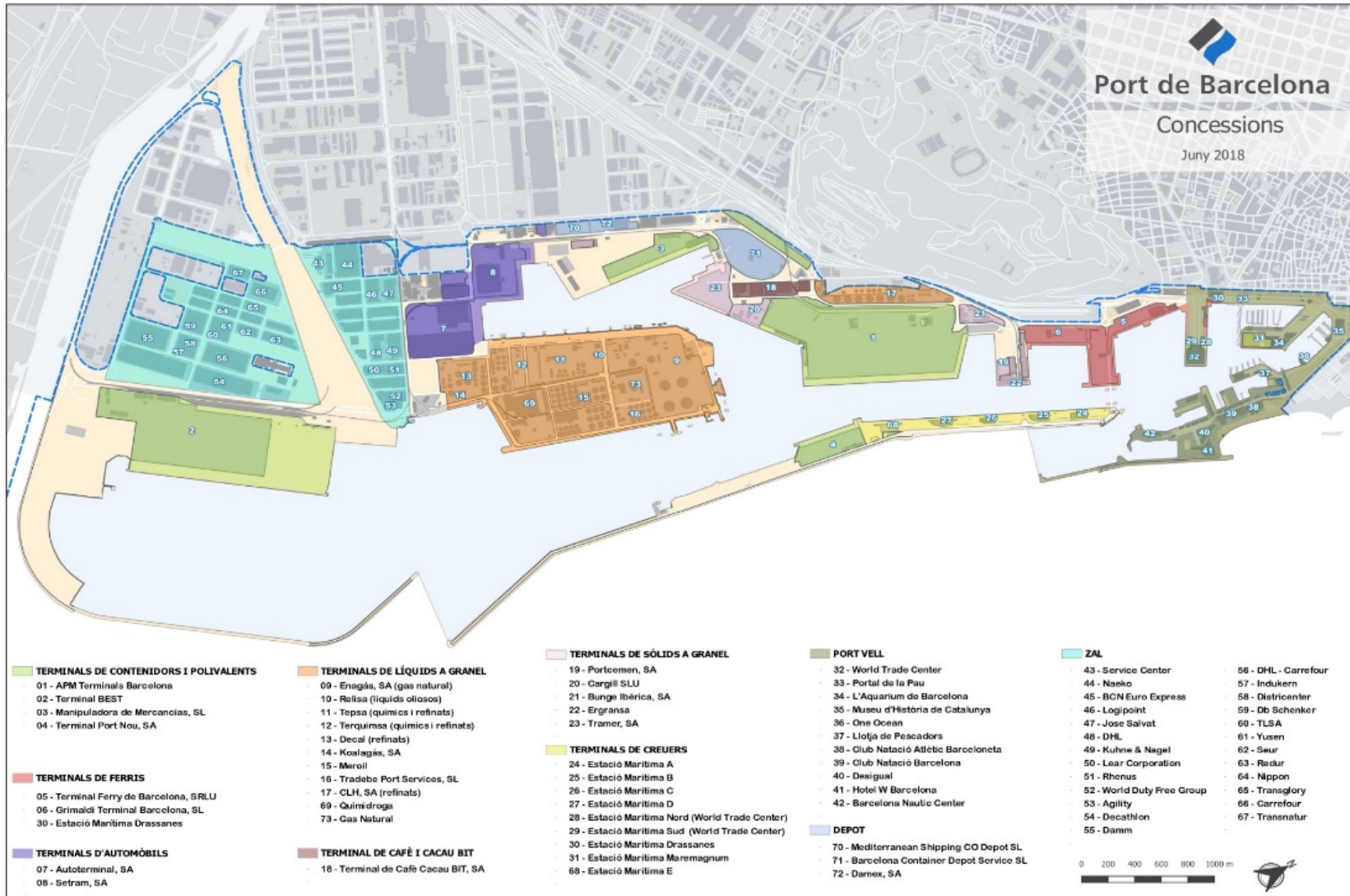


Figura 2. Mapa de concessions del Port de Barcelona. Font: APB

4. METODOLOGÍA

4.1. Descripció AIS

El Sistema d'Identificació Automàtica, més conegut com a AIS per les seves sigles en anglès (Automatic Identification System), és un dispositiu de transmissió de dades d'estacions mòbils, com vaixells i estacions estàtiques com boies. La transmissió de dades es fa mitjançant radio VHF i s'usa per a la millora de la seguretat i eficàcia del transport marítim. La informació continguda a l'AIS, la qual s'envia des de les estacions dels vaixells, pot ser capturada per altres vaixells o per estacions terrestres.

L'objectiu principal de l'AIS és permetre als vaixells comunicar la seva posició i altra informació rellevant en temps real per a que altres vaixells o estacions puguin conèixer-la i evitar col·lisions. Així mateix, el sistema AIS permet veure en una pantalla la posició d'altres vaixells i obtenir informació com és la seva velocitat, rumb o estat actual de la navegació, sempre i quan els altres vaixells també transmetin la informació via AIS.

Per tant, l'AIS és un sistema que permet transmetre dades de forma instantània i en *real-time* sobre els vaixells que es mostren en la pantalla del dispositiu, però no permet detectar objectes que no emeten senyal, com poden ser algunes boies meteorològiques o vaixells especials d'ús militar. Així doncs, l'AIS no substitueix al radar, el qual permet detectar objectes tot i que no emetin senyal. A continuació s'esmenten les diferents plataformes des de les quals es pot fer ús del dispositiu AIS:

- Vaixells de gran tonatge, AIS de classe A.
- Vaixell de petit tonatge, AIS de classe B.
- Estacions base a terra.
- Elements d'ajuda a la navegació.
- Aeronaus de recerca i rescat.

L'any 2004, la Organització Marítima Internacional (OMI) va establir que el sistema AIS era obligatori per als vaixells amb un pes brut superior a 300GT (Gran Tonaatge). No obstant, actualment, molts vaixells amb un arqueig brut inferior han incorporat l'AIS als seus sistemes d'ajuda a la navegació i molts velers, iots recreatius i alguns d'esportius disposen d'aquest sistema en una versió més simple (AIS Classe B).

4.2. Tractament inicial de les dades AIS

La Facultat de Nàutica de Barcelona disposa d'una estació AIS, a partir de la qual es reben els missatges AIS amb un abast màxim de 120 milles nàutiques i un abast mitjà de 50 milles nàutiques. Els missatges que es reben per hora són de l'ordre de 30.000 missatges. Abans de procedir amb l'anàlisi de les dades, el que es fa és una descodificació d'aquestes. En el present treball, la descodificació s'ha realitzat utilitzant un codi lliure per a Python (pyAIS). Una vegada feta la descodificació, s'han eliminat els missatges que contenen errors en base als valors explicats en les Taula 1-4.

La informació que aporta l'AIS és de diferents tipus i s'actualitza en diferents períodes de temps depenent de la importància per a la navegació. Hi ha dos tipus d'AIS, els de classe A i els de classe B. L'AIS de classe A és per a vaixells comercials i de passatgers i el de classe B és suficient per a embarcacions recreatives que efectuen navegacions pròximes a la costa.

L'AIS aporta 27 tipus de missatges diferents, els quals contenen informació que pot ser difosa automàticament pel dispositiu del vaixell, tal com és la velocitat, posició GPS i gir, o tenir una font d'entrada manual, tal com les dimensions del vaixell o el temps estimat d'arribada. Dels 27 missatges, per aquest treball només se'n han descodificat 4 tipus diferents, els quals contenen informació estàtica i dinàmica. Així, dels 30.000 missatges/hora globals, es passa a una base de dades de 4.800 missatges/hora que contenen fins a 20 camps d'informació diferent.

La informació estàtica és la que indica les dades bàsiques d'un vaixell: nom del vaixell, MMSI, distintiu, dimensions i tipus de vaixell. Aquestes dades s'introdueixen a l'instal·lar el dispositiu i es emesa cada 6 minuts.

D'altra banda, la informació dinàmica mostra les dades relatives a la posició que són importants per a la navegació: posició, rumb efectiu, velocitat efectiva, condició de la navegació i rumb veritable. Aquesta informació es va actualitzant i emeten de forma contínua amb una freqüència de fins a 3 segons depenent de l'estat de navegació del vaixell i la seva velocitat efectiva.

Així doncs, les dades han de ser seleccionades amb precisió per ser analitzades adequadament. Per a la finalitat d'aquest treball, la informació de més utilitat és la continguda en els missatges estàtics 5 (AIS classe A), 24A i 24B (AIS classe B) i la informació dels missatges dinàmics 1, 2, 3 (AIS classe A) i 18 (AIS classe B). A continuació es mostren les taules de les dades utilitzades en el treball:

Taula 1. Missatges 1, 2, 3. (Font: Recomanació UIT-R M.1371-5 (02/2014))

Paràmetre	Descripció
ID d'usuari	Número de la ISMM (Identitat de servei mòbil marítim)
Estat de la navegació	0 = en camí amb motor 1 = ancorat 2 = fora de control 3 = maniobrabilitat restringida 4 = limitat pel calat 5 = amarrat 6 = encallat 7 = pescant 8 = en camí amb vela 9 = reservat per a futures esmenes d'estat de navegació per a vaixells que transporten matèries perilloses, substàncies nocives o contaminants marítims, o contaminants o perills de categoria C de l'OMI (HSC) 10 = reservat per a futures esmenes d'estat de navegació per a vaixells que transporten DG, HS o MP, o contaminants o perills de categoria A de l'OMI (WIG) 11 = vaixell de motor remolcat per popa (ús regional) 12 = vaixell de motor en marxa o remolcat de costat (ús regional) 13 = reservat per a ús futur, 14 = AIS-SART, MOB-AIS, RLS-AIS 15 = no definit = defecte (també utilitzat pel AIS-SART, MOB-AIS i RLS-AIS a prova)
Velocitat de gir (ROT)	0 a +126 = girant a la dreta a 708 ° per min o més; 0 a -126 = girant a l'esquerra a 708 ° per min o més Els valors entre 0 i 708 ° per min venen codificats mitjançant:

	ROTAIS = 4,733 SQRT (ROTsensor) graus per min, on ROTsensor és la velocitat de gir introduïda per un indicador de velocitat de gir extern (TI). ROTAIS està arrodonit a la valor enter més pròxim. +127 = girant a la dreta a més de 5 ° per 30 s (no hi ha TI disponible) -127 = girant a l'esquerra a més de 5 ° per 30 s (no hi ha TI disponible) -128 (80 hex) indica que no es disposa d'informació de gir (defecte). Les dades ROT no han de derivar-se de la informació COG
SOG (speed over ground)	Velocitat sobre la terra en passos de 1/10 de nus (0-102,2 nusos) 1 023 = no disponible, 1022 = 102, 2 nusos o més
Longitud	Longitud en 1/10 000 min ($\pm 180^\circ$, Aquest = positiu (Complement a 2), Oest = negatiu (complement a 2). 181 = (6791AC0h) = no disponible = defecte)
Latitud	Latitud en 1/10 000 min ($\pm 90^\circ$, Nord = positiu (Complement a 2), Sud = negatiu (complement a 2); 91 = (3412140h) = no disponible = defecte)
COG (course over ground)	Rumbo sobre terra a 1/10 = (0-3599). 3600 (E10h) = núm disponible = defecte; 3 601-4 095 no ha d'utilitzar-se
Rumb verdader	Graus (0-359) (511 indica no disponible = defecte)

Taula 2. Missatge 5. (Font: Recomanació UIT-R M.1371-5 (02/2014))

Paràmetre	Descripció
ID d'usuari	Número de la ISMM (Identitat de servei mòbil marítim)
Tipus de vaixell i tipus de càrrega	0 = no disponible o cap vaixell = defecte 1-99 = definit en § 3.3.2 100-199 = reservat, per a ús regional 200-255 = reservat, per a ús futur No aplicable a aeronaus SAR
Dimensió global/referència de posició	Punt de referència per a la posició informada. Indica també la dimensió del vaixell (m). Per aeronaus SAR, l'administració responsable decideix la utilització d'aquest camp. Si s'utilitza, ha d'indicar les dimensions màximes de l'aeronau. Els valors per defecte són A = B = C = D = «0»
Calat estàtic actual màxim	En 1/10 m, 255 = calat 25,5 m o major, 0 = no disponible = defecte; de conformitat amb la Resolució A.851 de l'OMI (Organització Marítima Internacional). No s'aplica a aeronaus SAR, ha de ser posat a 0

La Taula 1 i Taula 2 mostren la informació extreta missatges 1, 2, 3 i 5 de l'AIS de classe A, els quals donen l'informe de posició i les dades estàtiques i relatives al viatge del vaixell, respectivament.

A continuació, es mostra la informació extreta de l'equip de classe B.

Taula 3. Missatge 18. (Font: Recomanació UIT-R M.1371-5 (02/2014))

Paràmetre	Descripció
ID d'usuari	Número de la ISMM (Identitat de servei mòbil marítim)
SOG (speed over ground)	Velocitat sobre terra en passos de 1/10 de nus (0-102,2 nusos) 1 023 = no disponible, 1022 = 102,2 nusos o més
Longitud	Longitud en 1/10 000 min ($\pm 180^\circ$, Aquest = positiu (Complement a 2), Oest = negatiu (complement a 2); 181 $^\circ$ (6791AC0h) = no disponible = defecte
Latitud	Latitud en 1/10 000 min ($\pm 90^\circ$, Nord = positiu (Complement a 2), Sud = negatiu (complement a 2); 91 = (3412140h) = no disponible = defecte
COG (course over ground)	Rumb sobre terra a 1/10 = (0-3 599). 3 600 (E10h) = no disponible = defecte; 3 601-4 095 no s'ha d'utilitzar
Rumb verdader	Graus (0-359) (511 indica no disponible = defecte)

Taula 4. Missatge 24B. (Font: Recomanació UIT-R M.1371-5 (02/2014))

Paràmetre	Descripció
ID d'usuari	Número de la ISMM (Identitat de servei mòbil marítim)
Tipus de vaixell i tipus de càrrega	0 = no disponible o cap vaixell = defecte 1-99 = definit en § 3.3.2 100-199 = reservat, per a ús regional 200-255 = reservat, per a ús futur No aplicable a aeronaus SAR
Dimensió global/referència de posició	Punt de referència per a la posició informada. Indica també la dimensió del vaixell (m) (vegeu la Fig. 42 i el § 3.3.3). Per aeronaus SAR, l'administració responsable decideix la utilització d'aquest camp. Si s'utilitza, ha d'indicar les dimensions màximes de l'aeronau. Els valors per defecte són A = B = C = D = «0»

La Taula 3 i Taula 4 mostren la informació extreta dels missatges 18 i 24, els quals donen l'informe de posició i les dades estàtiques i relatives al viatge del vaixell, respectivament.

El tractament de les dades realitzat en aquest treball inclou no només la descodificació i filtratge de les mateixes sinó la unificació de les dues informacions (estàtica i dinàmica) en una sola taula.

4.2.1. Error de posicionament

Un cop descodificada i filtrada la informació proporcionada per l'AIS, s'ha procedit a analitzar les dades amb el programa Matlab.

Les dades que s'obtenen de l'AIS són dades genèriques del mar Balear. Així doncs, el primer que s'ha fet ha estat filtrar les dades segons la longitud i la latitud, per tal d'emmagatzemar només la informació que s'hagi rebut de dins del Port de Barcelona i dels seus voltants. Les dades s'han filtrat per uns valors de latitud mínim i màxim de 41,29 $^\circ$ N i 41,38 $^\circ$ N, respectivament, i per a uns valors de longitud mínim i màxim de 2,14 $^\circ$ E i 2,18 $^\circ$ E, respectivament.

Abans de començar amb l'anàlisi de les dades, s'ha observat que alguns missatges rebuts es trobaven lleugerament dins de la costa. Per això s'ha cregut convenient analitzar l'error esperat en posició de les dades. Això s'ha fet analitzant la senyal pròpia del dispositiu AIS de la Facultat de Nàutica.

L'error s'ha calculat mitjançant l'arrel de l'error quadràtic mig o, en anglès, *Root-mean-square error (RMSE)*. Aquest error mesura la quantitat d'error que hi ha entre dos conjunts de dades. En altres paraules, els valors rebuts pel dispositiu AIS de la Facultat de Nàutica de la seva pròpia localització i el valor real de la seva localització. Una característica d'aquest error és que és sensible als valors atípics ja que és proporcional al quadrat de l'error.

Mitjançant l'Equació (1) s'ha calculat el RMSE de la latitud i la longitud. En l'equació n representa el número total de mostres (missatges rebuts), $x_{predict}$ és el valor de x o y que rep el dispositiu de la seva pròpia ubicació i, x_{real} és el valor real de la ubicació del dispositiu AIS.

$$RMSE = \sqrt{\frac{(x_{real} - x_{predict})^2}{n}} \quad (1)$$

El dispositiu AIS rep les coordenades d'ubicació en longitud i latitud. Per a tenir una idea en ordre de magnitud de l'error en metres, aquestes dades s'han transformat a sistema cartesià

Després d'haver fet la filtració i haver obtingut la precisió de les dades, s'ha procedit a calcular diversos histogrames que expliquen les característiques següents d'ús del Port de Barcelona:

- El percentatge de missatges relatiu de cada hora per conèixer la distribució de trànsit en funció de les franges horàries.
- El percentatge de missatges de cada dia de la setmana per a conèixer repetició de patrons setmanals.
- El percentatge de missatges segons la tipologia de vaixell.

Per al càlcul d'aquests histogrames s'han agafat totes les dades mensuals i s'han separat segons l'hora d'emissió de missatge, per al primer histograma, i dies de la setmana per al segon.

Aquests tipus d'histogrames són útils per tal de saber quines hores o dies de la setmana són els de més ocupació en un port, en aquest cas el Port de Barcelona i, així, poder fer una bona gestió en les hores i/o dies de major trànsit portuari.

4.2.2. Errors en l'emissió de missatges

En aquest apartat s'ha calculat l'error en l'emissió de missatge, és a dir, s'ha comprovat que els missatges reals emesos concorden amb els missatges teòrics que s'han d'emetre segons les diferents variables de les que depèn.

Tant per l'AIS de classe A com pel de classe B, els càlculs s'han fet per un dia i una hora aleatòries del mes d'octubre, en concret el dia deu d'octubre de 2019 a les dotze del migdia on el trànsit marítim no és ni gaire elevat ni gaire baix.

Classe A

Per als vaixells que porten incorporat un sistema AIS de classe A, la freqüència d'emissió de missatges depèn principalment de l'estat de la navegació o *status* del vaixell (veure Taula 1).

Alhora, tal i com es mostra a la següent Taula 5, la freqüència d'emissió de missatges també depèn de la velocitat de navegació i de la velocitat de gir (ROT) dels vaixells. A la Taula 5, es mostra la relació entre les condicions dinàmiques de navegació dels vaixells i l'interval nominal d'informació. El camp de l'estat de la navegació, es considera un camp semi-dinàmic perquè varia al llarg d'un mateix trajecte. En el sistema AIS, tots els camps semi-dinàmics, es canvien de forma manual per part de la tripulació. Així, hi pot haver vaixells que en realitat estan ancorats o amarrats, però que no han actualitzat el camp del seu estat de navegació i per tant la freqüència d'emissió pot distorsionar la realitat. L'AIS no distingeix aquestes situacions de la dels vaixells que estan ja sigui ancorats o amarrats.

Taula 5. Interval d'informació dels equips mòbils a bord dels vaixells de Classe A (Font: Recomanació UIT-R M.1371-5 (02/2014))

Condicions dinàmiques del vaixell	Interval nominal d'informació
Vaixell ancorat o amarrat i movent-se a menys de 3 nusos	3 min
Vaixell ancorat o amarrat i movent-se a més de 3 nusos	10 s
Vaixell en moviment de 0 a 14 nusos	10 s
Vaixell en moviment de 0 a 14 nusos amb canvi de rumb	3,3 s
Vaixell en moviment de 14 a 23 nusos	6 s
Vaixell en moviment de 14 a 23 nusos amb canvi de rumb	2 s
Vaixell en moviment a més de 23 nusos	2 s
Vaixell en moviment a més de 23 nusos amb canvi de rumb	2 s

Com s'ha mencionat en l'Apartat 3, el límit de velocitat a l'interior del port és de 6 nusos i en els seus exteriors està limitada a 15 nusos. Així doncs, per calcular l'error en l'emissió de missatges s'han tingut en compte les quatre primeres files de la Taula 5.

Els càlculs s'han fet per un dia i una hora aleatòries del mes d'octubre, en concret el dia 10 d'octubre de 2019 a les dotze del migdia, on el trànsit marítim no és ni gaire elevat ni gaire baix.

Així, el primer que s'ha fet ha estat filtrar totes les dades, generant una matriu que només contingui informació del dia i la hora esmentades. D'aquesta matriu, i en base a la Taula 6, es filtren les dades i es calcula els missatges teòrics que haurien de sortir. El valor final es compara amb els missatges originals, és a dir, el rang de la matriu original.

Una vegada generada la matriu de treball, el següent pas ha estat filtrar segons la Taula 6. El primer filtre que s'ha fet ha estat segons l'estat de la navegació del vaixell. S'han generat dues matrius, una matriu amb tots els vaixells amb estat de la navegació 0 i l'altra, amb tots els vaixells amb estat de la navegació 1 i 5. D'aquí en endavant aquestes matrius s'anomenaran S0 i S15, respectivament.

Taula 6. Interval d'informació dels equips mòbils a bord dels vaixells de Classe A segons l'estat de navegació (Font: Recomanació UIT-R M.1371-5 (02/2014))

Estat de la navegació	Velocitat	Canvi de rumb	Freqüència d'emissió
0	≤ 14 KN	0	10 s
		≠ 0	3,3 s
1; 5	≤ 3 KN	--	3 min
	>3 KN	--	10 s

A continuació, el tractament de dades ha estat diferent per les dues matrius generades. En la matriu S0 s'ha filtrat segons la velocitat dels vaixells i s'han eliminat aquells amb una velocitat major a 14 nusos. El següent pas, ha estat separar les dades segons si el vaixell està canviant de rumb o no, obtenint dues matrius. Aquestes matrius són la SOR i la SOR0, respectivament.

D'altra banda, a partir de la matriu S15, s'han generat dues matrius. La matriu S3 conté les dades dels vaixells que naveguen a una velocitat inferior o igual a 3 nusos i la matriu S30 conté la informació dels vaixells amb velocitat major a 3 nusos.

Finalment, a partir d'aquest punt, el tractament de les dades de les matrius SOR, SOR0, S3 i S30 és el mateix. El procediment ha estat trobar quants vaixells hi ha al port o pels voltants, per tal de calcular el temps de residència. Una vegada calculat el temps de residència de cada vaixell de cada una de les quatre matrius, aquest s'ha dividit per la freqüència d'emissió. Com s'ha mencionat abans la freqüència d'emissió depèn de l'estat de la navegació, així doncs, el temps de residència per a les matrius SOR0, SOR, S3 i S30 s'ha dividit per 10 s, 3,3 s, 3 min i 10 s, respectivament, obtenint el número de missatges teòrics.

Classe B

D'altra banda, el dispositiu AIS de classe B, en la informació que facilita no hi consta l'estat de la navegació. Per tant, per als vaixells que tenen incorporat aquest AIS, la freqüència d'emissió de missatges depèn només de la velocitat a la que navega el vaixell.

A la Taula 7, es mostra la freqüència d'emissió de missatges de l'AIS de classe B segons la velocitat de navegació.

Taula 7. Interval d'informació dels equips mòbils a bord dels vaixells de Classe B (Font: Recomanació UIT-R M.1371-5 (02/2014))

Condicions de navegació	Interval nominal d'informació
Equips mòbils a bord de vaixells de Classe B en moviment amb velocitat inferior a 2 nusos	3 min
Equips mòbils a bord de vaixells de Classe B en moviment amb velocitat de 2 a 14 nusos	30 s
Equips mòbils a bord de vaixells de Classe B en moviment amb velocitat de 14 a 23 nusos	15 s
Equips mòbils a bord de vaixells de Classe B en moviment amb velocitat major a 23 nusos	5 s

A l'igual que en el dispositius AIS de Classe A i tal com s'ha mencionat en l'Apartat 3, el límit de velocitat a l'interior del port és de 6 nusos i en els seus exteriors està limitada a 15 nusos, per tant, per calcular l'error en l'emissió de missatges de classe B només s'han tingut en compte les dues primeres files de la Taula 7.

El primer pas per calcular la freqüència teòrica de missatges, ha estat filtrar les dades, generant una matriu que contingui només les dades del dia i la hora escollides. A partir d'aquesta matriu i en base a la Taula 7, s'ha fet un filtratge de les dades calculant els missatges teòrics.

Una vegada generada la matriu de treball, el següent pas ha estat filtrar segons la Taula 7, generant dues matrius: una amb tots els vaixells amb velocitat inferior a dos nusos i l'altra amb tots els vaixells amb velocitat d'entre dos i catorze nusos. Aquestes matrius s'anomenen B20 i B140, respectivament.

Tot i que s'hagi fet una divisió de les dades tractades, el procediment per ambdues matrius ha estat el mateix que el procediment aplicat a les matrius S0R0, S0R, S3 i S30. L'únic canvi ha estat el temps de freqüència d'emissió pel que s'ha dividit el temps de residència. Així doncs, el temps de residència de les matrius B30 i B140 s'ha dividit per 3 min i 30 segons, respectivament.

4.2.3. Errors en l'estat de la navegació

Classe A

Com s'ha esmentat en l'apartat 4.2, la freqüència d'emissió de missatges depèn de l'estat de la navegació o *status* del vaixell (veure Taula 1), una dada considerada semi-estàtica perquè es manté fins que la tripulació encarregada la canvia de manera manual. Aquest càlcul s'ha realitzat per tal de comprovar si tots els vaixells tenen el valor de la variable *status* correctament ajustat i, per tant, el càlcul de l'ocupació de la dàrsena no està influenciat per les incoherències en l'estat de navegació del vaixell. És a dir, que tots els vaixells, tant els que estan parats com en moviment, emeten a una freqüència a l'estat de la navegació que els correspon. Aquest és un paràmetre important perquè influeix en la densitat d'ocupació del port tant estàtica com dinàmica segons l'emissió de missatges.

Tal com s'ha comentat en l'apartat 4.2.2, l'estat de la navegació en els AIS de classe A, es canvia manualment. Es pot donar el cas que, per certes circumstàncies, hi ha alguns vaixells que no el canvien, això pot fer que els mapes de densitat estàtica estiguin sobre representats i els de densitat dinàmica infrarepresentats.

En el cas dels mapes de densitat estàtica, el que s'ha fet és calcular quants vaixells en estat de la navegació 0 estan en realitat amarrats o ancorats per veure si hi ha una sobre representació. L'estat de la navegació 0 té l'opció que el vaixell tingui velocitat zero, és a dir, són vaixells que teòricament estan en moviment però que per algun motiu estan parats. Aquesta situació, és una situació puntual. Generalment, quan un vaixell es troba en estat de la navegació 0 però a una velocitat zero es deu a que realment està ancorat o amarrat i el seu estat de la navegació hauria de ser 1 o 5, respectivament, però la tripulació s'ha oblidat de canviar l'estat de navegació.

En conseqüència, aquesta comprovació també s'ha realitzat per als mapes de densitat dinàmica. En aquest cas, el que s'ha fet ha estat comprovar que tots els vaixells que tinguin una velocitat superior a 2 nusos, estiguin en estat en moviment (estat de la navegació 0).

4.3. Ocupació de la dàrsena

Els mapes d'ocupació estàtica permeten veure quines són les àrees amb més demanda d'amarrament del port, així com aquelles en les que els vaixells estan en una situació de hotelling, ja sigui perquè realitzen operacions de càrrega/descàrrega o perquè estan fent manteniment i aprovisionament.

Segons (Cornejo, 2011), l'ocupació pot ser definida com un sistema que relaciona sòl, superfícies d'aigua y vegetació amb instal·lacions i activitats humanes. Com a conseqüència el mapa d'ocupació mostra com es distribueixen espacialment aquests elements y quines són les relacions entre ells.

Per tant, en aquest context, l'ocupació es defineix com la relació entre la superfície d'aigua i els missatges enviats pel dispositiu AIS.

En aquest apartat del treball, primer, s'analitza l'ocupació estàtica i dinàmica de la dàrsena tant per número de missatges com per quantitat de vaixells, és a dir, s'ha estudiat la densitat de missatges i de vaixells. L'ocupació s'ha definit com la relació entre la superfície d'aigua i el número de vaixells o missatges enviats pel dispositiu AIS. L'ocupació estàtica mostra la distribució dels vaixells quiets o en una situació pràcticament de velocitat zero, fent servir un llimitar màxim de 2 nusos. Per tant, per a fer l'estudi d'ocupació estàtica de la dàrsena s'han filtrat els missatges dels vaixells que viatgen amb una velocitat menor a 2 nusos. D'altra banda, l'ocupació dinàmica mostra la distribució dels vaixells que naveguen a una velocitat major a 2 nusos.

Una vegada s'ha realitzat el filtre de la velocitat, s'ha procedit a generar els mapes d'ocupació de la dàrsena segons la densitat de missatges per hores durant tot el mes, el dia de la setmana i la tipologia de vaixells.

La tipologia de vaixell usada ha estat la definida pel sistema AIS. En el sistema AIS es defineixen 9 tipologies diferents de vaixell les quals són: reservat per a ús futur, nau de vol rasant (WIG), una tipologia de vaixell molt particular i no present al Port de Barcelona, vaixells genèrics (com poden ser de pesca, remolcadors, d'operacions submarines entre d'altres), nau de gran velocitat (HSC), embarcacions especials (que inclouen els serveis del port com ara remolcadors i vaixells de pràctics), vaixells de passatgers (inclouen fèrries, ro-ro i creuers), vaixells de càrrega, tanquers i altres tipus.

Una vegada decidides les diferents variables per les quals volem generar els mapes de densitats, s'ha procedit a dividir l'espai en 1000 cel·les per tal de comptabilitzar el nombre de missatges en cada cel·la. La superfície abastada per cada una de les cel·les és de 3.252 m². Això s'ha fet creant una matriu que reproduïx l'espai de treball. Un cop feta la divisió i sabent el número de missatges que conté cada una de les cel·les, s'ha procedit a generar els mapes de colors que mostren la densitat de missatges dins i al voltant del Port de Barcelona.

Una vegada obtingut el mapa de densitat de missatges, s'ha procedit a generar el mapa de densitat de vaixells. Per realitzar aquest càlcul s'ha partit de la matriu creada per generar el mapa de densitat de missatges, és a dir, la matriu que reproduïx l'espai de treball. Així doncs, agafant els mateixos intervals espacials, el que s'ha fet és, dins de cada cel·la, s'han eliminat les matrícules repetides, obtenint així el mapa de densitat de vaixells dins i al voltant del port.

4.4. Velocitat a l'interior de les aigües del Port de Barcelona

Tal com s'ha mencionat a l'Apartat 3, la velocitat dins les aigües portuàries del Port de Barcelona està limitada. El control de la velocitat dins de les aigües portuàries té diferents funcions. La principal funció és per garantir la seguretat dins la infraestructura del port. Quan un vaixell entra dins del port, ha de poder maniobrar amb seguretat, per tant a major velocitat menys maniobrabilitat tenen els vaixells i, com els cotxes, menys temps de reacció davant imprevistos. Així doncs, limitar la velocitat redueix substancialment les col·lisions dins del port.

Una altra de les funcions que té limitar la velocitat és per la contaminació. Les emissions de gasos contaminants generades pels vaixells són una de les principals causes de mala qualitat de l'aire. No obstant, una forma de fer que els vaixells contaminin menys és reduint la seva velocitat. Un treball publicat per la consultora Reynolds Environmental Sustainability Consultant (RESC) constata que reduir la velocitat dels vaixells en un 20% podria fer disminuir els seu consum de

combustible més d'un 24%. Provocant així, que també es reduïssin les emissions de nitrogen i sofre que arriben a l'atmosfera.

Així, s'han generat mapes de velocitats que permeten veure la velocitat mitjana i màxima en les diferents zones del Port de Barcelona. Per fer-ho, s'ha dividit l'àrea d'estudi en 1000 cel·les, de igual forma que s'ha fet en l'Apartat 4.3. Una vegada s'ha fet la divisió de l'espai de treball, s'ha calculat la velocitat mitjana i màxima per a cada una de les cel·les.

Aquest càlcul és d'utilitat ja que permetrà veure quin percentatge de vaixells respecta els llistats de velocitat de 6 nusos i quins no el respecten. Cal mencionar que s'han generat dues gràfiques, la primera tenint en compte totes les tipologies de vaixells i la segona eliminant els vaixells especials. Això s'ha fet degut a que els vaixells especials inclouen majoritàriament els serveis que ofereix el port, ja sigui remolcadors o el vaixell que transporta els pràctics.

4.5. Temps d'ocupació

El temps d'ocupació s'ha definit com el període de temps que un vaixell està dins les aigües del port ocupant una dàrsena o fent cua per entrar-hi. Aquesta dada pot ser de gran informació per la gestió portuària ja que permet analitzar la capacitat del port i saber quant de temps els vaixells estan fent cua fora del port, esperant a poder entrar.

També és important tenir un control de quina tipologia és la que està més temps parat dins del port per saber quines són les dàrsenes més ocupades temporalment i si hi ha problemes de capacitat. També, l'estudi del temps d'ocupació permetrà saber si el temps de cua que fan els vaixells és excessiu.

El càlcul del temps d'ocupació s'ha realitzat mitjançant mapes de colors. El procediment per generar els mapes de colors ha estat el mateix que l'utilitzat per generar els mapes de distribució de velocitats, però en comptes de calcular la velocitat mitjana en cada cel·la s'ha calculat el temps promig. De la mateixa manera que s'ha fet en l'Apartat 4.4, s'han generat dos mapes, el primer amb totes les tipologies de vaixell i el segon eliminant els vaixells especials. En aquest cas, aquests vaixells han estat eliminats per realitzar el mapa de temps mig d'ocupació degut a la gran quantitat de viatges que realitzen. També, s'han generat mapes del temps promig de residència segons la tipologia de vaixell.

5. RESULTATS I DISCUSSIÓ

A continuació es mostren els resultats obtinguts de les dades extretes de l'AIS i l'anàlisi realitzat amb el programa Matlab.

En primer lloc, es descriuen els resultats genèrics del Port de Barcelona amb les dades AIS. En aquest apartat es fa un estudi de l'error de posició de l'AIS, amb l'objectiu de saber quina és la precisió de les dades rebudes. També es mostren els resultats que caracteritzen l'ús del port a través d'histogrames de distribució temporal. Finalment, per acabar de tenir una visió general, es mostra l'ús del port segons la tipologia de vaixell.

En segon lloc, es mostren els mapes d'ocupació del Port de Barcelona. Aquest anàlisi s'ha realitzat pels mesos de setembre, octubre i novembre de l'any 2019 i s'han obtinguts diferents gràfics tenint en compte tres variables: per hores, per dia de la setmana i per tipologia de vaixell.

5.1. Dades genèriques del Port de Barcelona

En aquest apartat es mostren els resultat genèrics del port de Barcelona. En primer lloc, el que s'ha fet ha estat filtrar la longitud i la latitud de les dades AIS per tal d'eliminar els vaixells que no estan dins del port o en les seves proximitats.

El primer que s'ha estudiat ha estat la distribució dels missatges i vaixells segons diferents variables temporals. Això, ajudarà a tenir una visió general de les dades i a detectar patrons entre mesos com són franges horàries en que el número de vaixells o de missatges és màxima o mínima o detectar el dia de la setmana en que hi ha una major ocupació al port. En la Figura 3 es mostra el percentatge relatiu de missatges enviats pels dispositius AIS per hores durant els mesos de setembre, octubre i novembre. D'altra banda, la Figura 4 mostra el percentatge relatiu de vaixells per hores durant els mesos escollits.

En el gràfic de la Figura 3, es pot observar com en els tres mesos es mostra la mateixa tendència, és a dir, tot i que la quantitat de missatges d'una mateixa hora pels diferents mesos varia, el comportament és el mateix. Així doncs, és pot veure com el número de missatges relatiu és màxim entre les 16 i 19 hores, sent el pic entre les 17 i 18 hores pels tres mesos.

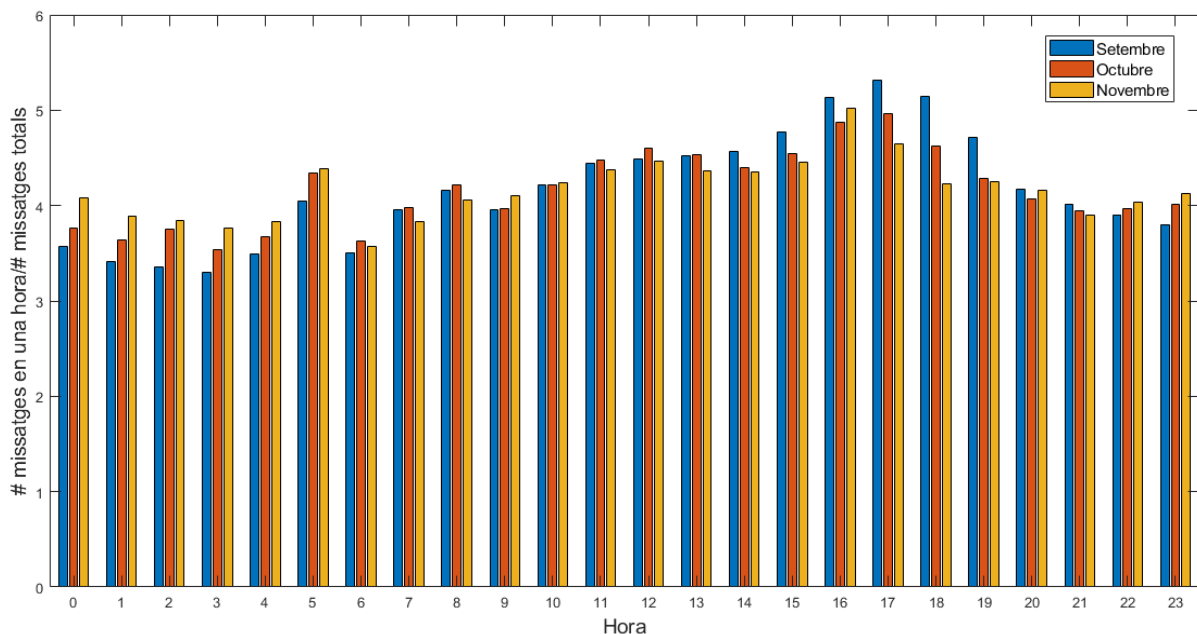


Figura 3. Histograma de la quantitat relativa de missatges per hores pels mesos de setembre, octubre i novembre 2019.

Si s'observa la distribució de la quantitat de vaixells, en la Figura 4 també es repeteix un comportament similar entre els diferents mesos, és a dir, hi ha una mateixa tendència entre els tres mesos analitzats. A diferència de la Figura 3, el número relatiu de vaixells és màxim entre les 13 i les 16 hores. Per tant, la franja horària de màxim quantitat de missatges amb el màxim número de vaixells no és la mateixa. Tanmateix, per saber si el número de missatges i de vaixells es comparable, s'ha de fer una separació de les dades segons la velocitat ja que la freqüència d'emissió depèn de l'estat de navegació i, aquest, de la velocitat (veure Secció 4.2.2).

Les figures Figura 3 i Figura 4, mostra que la franja horària de màxims missatges no coincideixen amb la de màxima confluència de vaixells però, en canvi, hi ha un mateix patró durant els tres mesos. Això és degut a que en les hores en que hi ha una major emissió de missatges però no major confluència, vol dir que dins del port hi ha més vaixells en moviment. En canvi, en les franges horàries de major confluència de vaixells però no màxima emissió de missatges, vol dir que hi ha una menor circulació de vaixells, és a dir, que hi ha molts més vaixells atracats o amarrats.

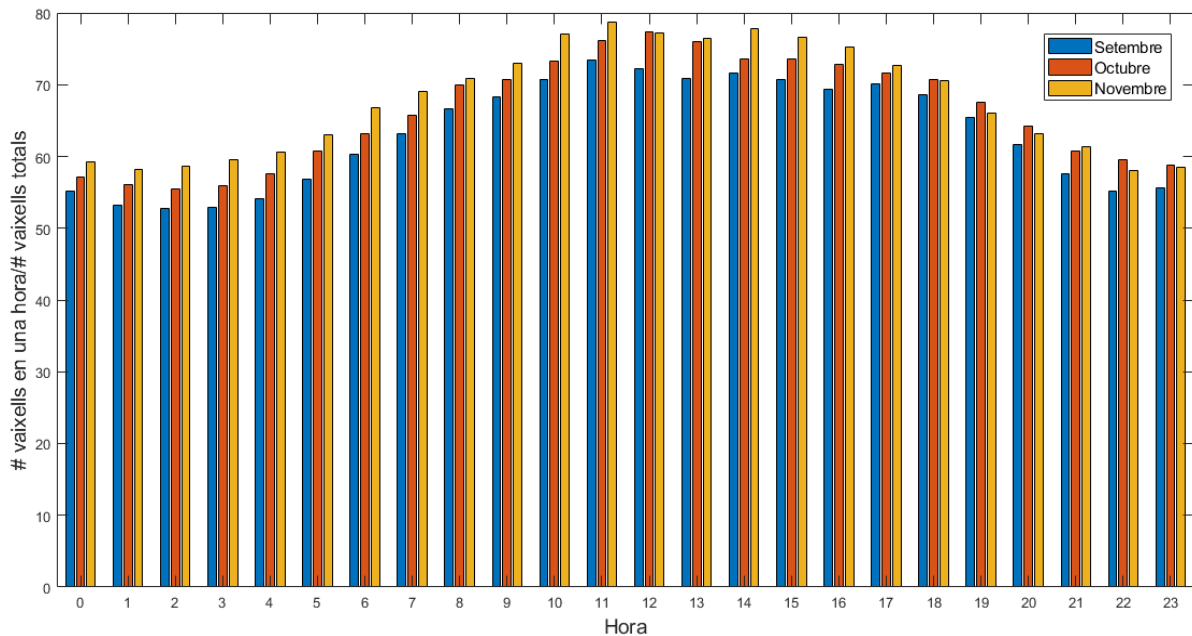


Figura 4. Histograma de la quantitat relativa de vaixells per hores pels mesos de setembre, octubre i novembre de 2019.

D'altra banda, a la Figura 5 i Figura 6 es pot observar la distribució dels missatges i de vaixells, respectivament, segons el dia de la setmana. A diferència de la Figura 3 i Figura 4 no s'hi observa un patró de distribució de missatges similar entre els tres mesos analitzats.

A la Figura 5, per al mes de setembre (color blau) es pot observar que hi ha una màxima en la quantitat de missatges durant dimarts, divendres i diumenge i a la resta de dies de la setmana hi ha un menor número de missatges. En canvi, durant el mes d'octubre (color taronja) es pot veure un comportament totalment contrari. El màxim número de missatges es produeix durant dimarts, dimecres i dijous. Tanmateix, durant el mes de novembre (color groc) es pot observar un comportament diferent als dels mesos anterior. El número de missatges enviats es manté considerablement constant de diumenge a dijous i durant el divendres i dissabte arriba a un pic.

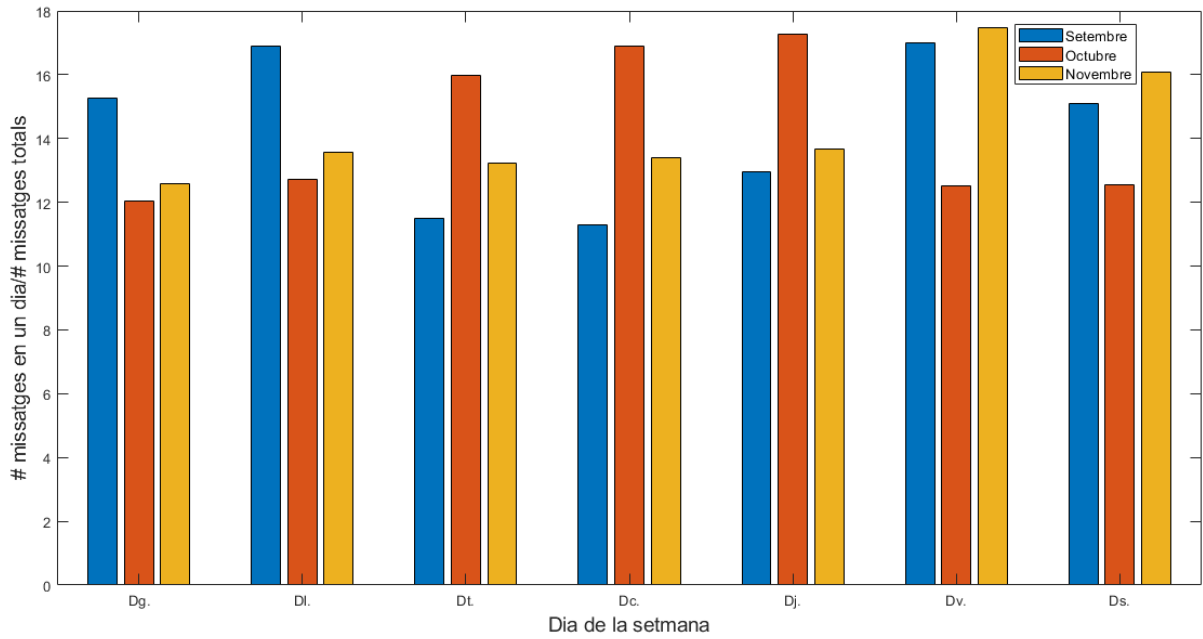


Figura 5. Histograma de la quantitat relativa de missatges per dia de la setmana pels mesos de setembre, octubre i novembre de 2019.

Si s'analitza la distribució en dies de la setmana de la quantitat de vaixells, la Figura 6, mostra com els dies de major confluència de vaixells coincideix amb els dies de major emissió de missatges per als tres mesos analitzats.

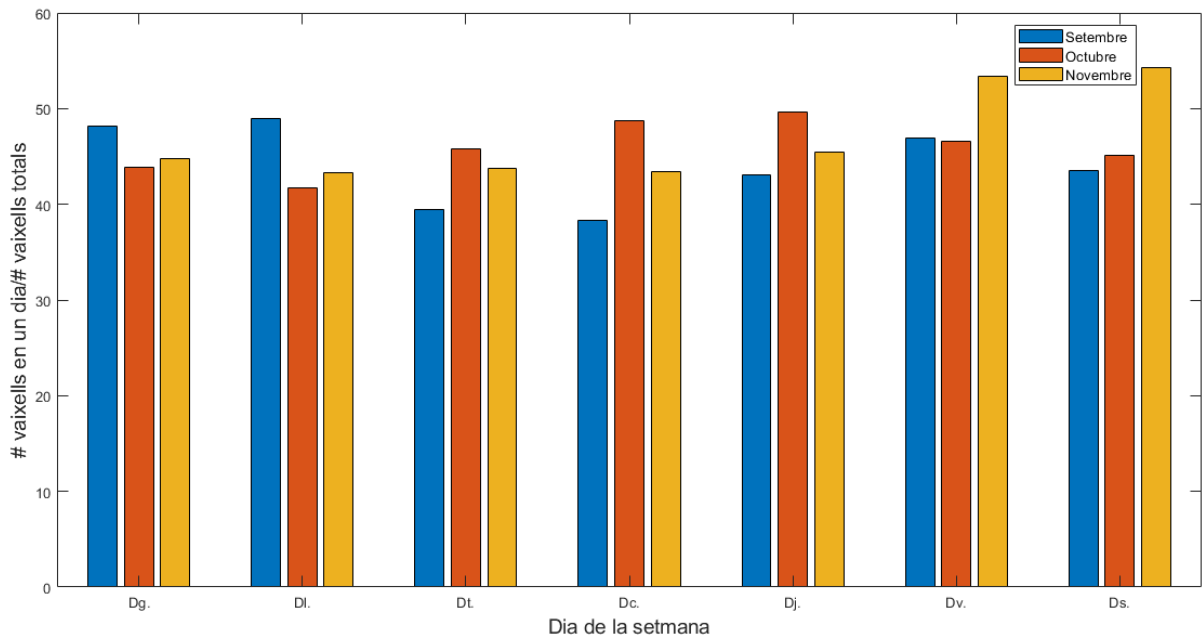


Figura 6. Histograma de la quantitat relativa de vaixells per dia de la setmana pels mesos de setembre, octubre i novembre de 2019.

Tal com hem observat en les Figura 3 i Figura 4, la franja horària en que el número de missatges i de vaixell és màxima no són les mateixes però el número mínim sí. En canvi, en la Figura 5 i Figura 6 els dies en que hi ha un número màxim i mínim del número de missatges i de vaixells, són els mateixos. Això pot ser degut a que durant una franja horària pot haver-hi una menor quantitat de vaixells però més missatges perquè hi ha més vaixells en moviment, que tenen una freqüència d'emissió de missatges major als vaixells amb estat de navegació amarrats o atracats.

I, en canvi, quan hi ha més vaixells però menys missatges es degut a que els vaixells estan amarrats o atracats.

Una altra informació que pot ser d'utilitat en la gestió portuària és determinar la trajectòria concreta d'un vaixell. A efectes il·lustratius de l'abast d'aquest mètode s'adjunta un gràfic en el que s'han determinat les trajectòries que han seguit els vaixells de diferents tipologies en el desplaçament per entrar al port. En el gràfic únicament s'han incorporat dades corresponents als 5 dissabtes del mes de novembre de 2019, perquè la representació d'un gràfic amb totes les dades d'un mes, presentaria una densitat tant elevada que no permetria visualitzar les trajectòries. L'interès d'aquest mètode radica en la possibilitat de conèixer en temps real la posició de cada vaixell i, en conseqüència, la seva trajectòria.

En la Figura 7, es mostren les trajectòries segons la tipologia de vaixell per a tots els dissabtes d'un mes. En el gràfic es pot observar com segons el tipus de nau, aquestes entren per la bocana nord o per la bocana sud. Per la bocana nord es pot observar com hi entren les embarcacions més petites, sobretot les destinades a passatgers (creuers, ferries ro-pax) i d'altres tipus (com poden ser pesquers, remolcadors, d'operacions submarines entre d'altres). D'altra banda, per la bocana sud entren la resta d'embarcacions, majoritàriament embarcacions de gran arqueig. En la Figura 7, s'hi pot observar com no hi apareixen vaixells d'ús futur, naus de vol rasant (WIG) i naus de gran velocitat (HSC). Així doncs, es podria dir que la bocana nord, és a dir, el Port Vell, està reservada per a un ús recreatiu i la bocana sud per a un ús més mercantil (i així també ho mostra la distribució de les dades segons la tipologia d'AIS que porten).

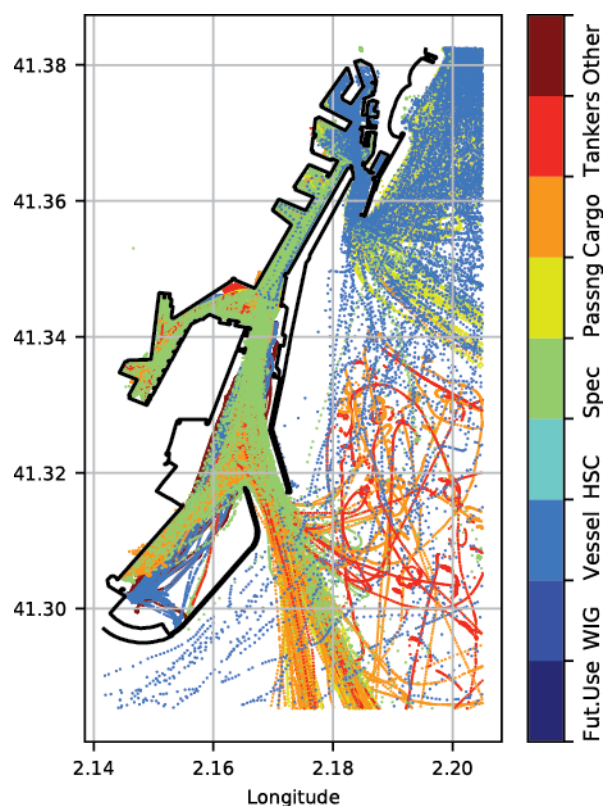


Figura 7. Trajectòries dels vaixells segons el tipus de nau. Les dades són totes les dades dels dissabtes d'un mes. (Font:(Mujal-Colilles, Bagés, & Fonollosa, 2020))

Adicionalment, a nivell quantitatiu s'ha calculat, pel mes de setembre de 2019, l'ocupació del port per diferents tipologies. La Figura 8, mostra el percentatge de missatges de cada una de les tipologies de vaixells per a tots els dissabtes del mes de novembre. Tal i com s'ha vist a la Figura 8, les tipologies de vaixell que s'observen amb un major percentatge són vaixells genèrics (que inclouen: velers, iots recreatius i pesquers locals) i els especials (que inclouen la majoria de serveis del Port, com són els remolcadors i els vaixells de pràctic) amb un 37% i un 29%, respectivament. En canvi, tal i com s'ha comentat anteriorment, com els vaixells d'ús futur, naus de vol rasant (WIG)-una tipologia de vaixell molt peculiar i inexistent a la zona- i naus de gran velocitat (HSC)-amb una freqüència d'atrac al Port molt baixa ja que estem parlant d'un sol vaixell de la flota de Balearia que fa la ruta a les Illes- apareixen en un menor percentatge, concretament menor del 1%. Tanmateix, les tipologies de vaixell de passatgers, tancs i càrrega apareixen amb un percentatge similar al voltant del 9-10%.

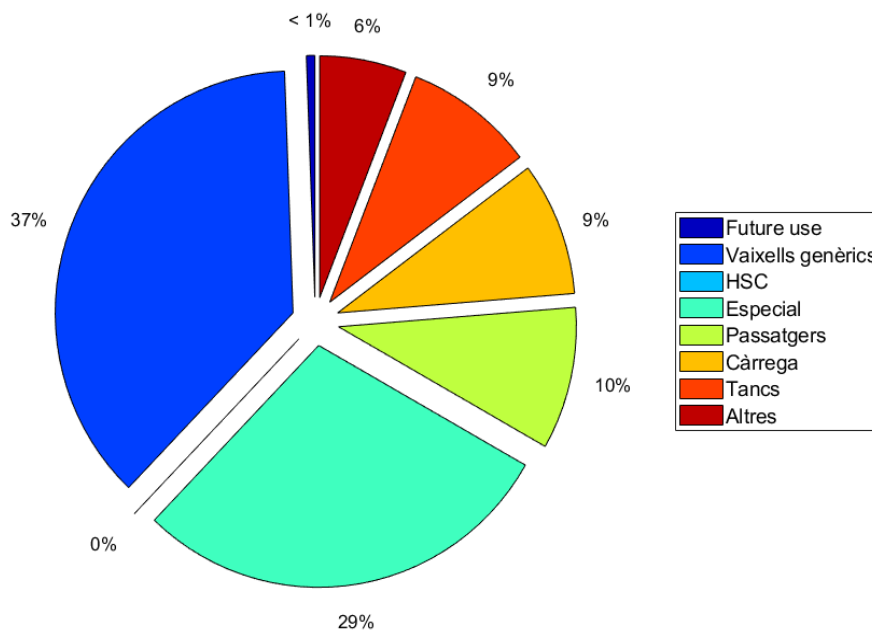


Figura 8. Gràfic circular de la quantitat relativa de missatges dels dissabtes d'un mes per tipologia de vaixell

5.1.1. Error de posicionament

Com s'ha esmentat en l'apartat 4.1, l'AIS des del qual es rep la informació es troba a la Facultat de Nàutica. El dispositiu, no només rep la informació dels AIS dels vaixells, sinó que també rep la seva pròpia senyal. Així doncs, això ha permès calcular la fiabilitat de l'AIS usat. L'AIS fixe de la Facultat de Nàutica es troba a una latitud de 41,3824° N i a una longitud de 2,1846° E. Sabent la posició exacte del dispositiu i mitjançant les dades que rep ell mateix de la seva posició, ha permès calcular l'error màxim de mesura i el RSME.



Figura 9. Estimació de l'error de les dades espacials obtingudes de l'AIS. Font: www.marinetraffic.com (20/03/30-20/04/29)

L'error màxim de mesura obtingut ha estat de 24,94 metres en coordenades UTM horitzontal i de 84,57 metres en coordenades UTM vertical. De l'Equació (1) es sap que l'error espacial de les dades AIS és 4,10 metres en horitzontal i de 8,01 metres en vertical.

D'altra banda, cal mencionar que una de les dades que contenen els missatges és "l'exactitud de la posició" (*RAIM error-Receiver Autonomous Integrity Monitoring error*). El llinar d'exactitud de la posició per a l'avaluació de la informació RAIM és de 10 metres, és a dir, aquest error indica si l'exactitud de les dades enviades és menor o major a 10 metres.

$$Error\ RAIM\ ESPERAT = \sqrt{(error\ esperat\ en\ latitud)^2 + (error\ esperat\ en\ longitud)^2} \quad (2)$$

Tal i com es mostra a l'Equació (2), l'error esperat RAIM es calcula mitjançant l'error esperat en latitud i l'error esperat en longitud. Habitualment dins del port, al voltant d'un 40% dels dispositius AIS tenen un error menor de 10 metres.

Una vegada s'ha filtrat segons la longitud i la latitud, s'ha realitzat un segon filtre segons la velocitat dels vaixells. Així doncs, les dades s'han separat entre els vaixells que viatjaven a una velocitat igual o inferior a dos nusos i els vaixells que viatjaven a velocitats superiors a la mencionada. Aquest filtrat segons la velocitat, s'ha dut a terme per tal de poder separar de manera senzilla els vaixells que estan amarrats o ancorats dels que estan en moviment.

5.1.2. Error en l'emissió de missatges

Tal com s'ha explicat amb anterioritat en l'Apartat 4.2.2, és important saber la diferència entre els missatges reals i els teòrics, per tal de saber el percentatge d'error d'emissió de missatges. Els resultats que es mostren a continuació, són d'un dia i una hora aleatòries del mes d'octubre, concretament el dia deu d'octubre de 2019 a les dotze del migdia.

En la Taula 8 es mostren els resultats en l'error d'emissió de missatges dels dispositius de classe A i classe B. Tant els missatges reals rebuts de classe A com de classe B són menors als que s'haurien d'haver rebut, és a dir, als missatges teòrics. En els missatges de classe A els missatges reals rebuts són un 3,87% menys que els teòrics. En canvi, en el cas dels de classe B la diferència és d'un 33,04%.

Taula 8. Número de missatges reals i teòrics dels dispositius de Classe A i Classe B.

Nombre de missatges de Classe A		Nombre de missatges de Classe B	
Reals	Teòrics	Reals	Teòrics
7.926	8.245	610	911

En la Taula 8 es pot observar com la freqüència d'emissió de missatges teòrica no és igual a la real tant per l' AIS de classe A com pel de classe B. Això és degut a que hi ha missatges que s'han filtrat perquè tenien error en les dades. A més, pels de classe B, com no estan obligats a portar l' AIS, poden apagar el dispositiu. Per aquest motiu hi ha una major diferència entre els missatges teòrics i reals dels de classe B que els de classe A.

5.1.3. Error en l'estat de la navegació

Tal i com s'ha esmentat en la Secció 4.3.1, l'estat de navegació dels vaixells és una característica que es canvia manualment per part de la tripulació dels vaixells que tenen incorporat un AIS de classe A. En l'estat de la navegació zero (estat en moviment), el vaixell pot navegar a una velocitat d'entre 0 i 14 nusos. Quan un vaixell en estat en moviment té una velocitat de zero nusos és un fet puntual, però si persisteix aquesta velocitat nul·la amb el temps indica que la tripulació no ha canviat el valor dins el sistema AIS del vaixell. Aquest fet, també passa si hi ha vaixells que en estat de la navegació 1 o 5, naveguen a una velocitat major a 2 nusos.

Així doncs, el que s'ha fet en aquest apartat ha estat calcular el número de missatges que en estat de la navegació zero s'ha registrat una velocitat de 0 nusos de manera continua. S'ha obtingut un total de 4.285 missatges. Una vegada s'ha calculat aquest nombre de missatges, s'ha procedit a calcular el número de missatges que haurien d'haver estat enviats. El resultat obtingut ha estat de 380 missatges.

La sobre representació real dels mapes d'ocupació, és la diferència entre els missatges enviat i els que s'haurien d'haver enviat si s'hagués canviat l'estat de la navegació. Aquesta diferència és de 3.905 missatges, el que representa un 49,3% dels missatges.

Tenint en compte aquest resultat, s'ha comprovat quin és el nombre de vaixells. Durant la franja horària seleccionada s'han registrat un total de 92 vaixells en estat de la navegació 0, 1 i 5, d'aquests n'hi ha 19 que en estat de la navegació zero tenen una velocitat de 0 nusos de manera continua. Això representa un 20,6% dels vaixells.

Així doncs, degut a la gran sobre representació de missatges i als pocs vaixells que aquests representen, els mapes de l'ocupació estàtica de la dàrsena segons l'emissió de missatges no són comparables amb els mapes d'ocupació estàtica segons la confluència de vaixells.

Per al cas de l'ocupació dinàmica, s'ha calculat el número de missatges dels vaixells que naveguen a una velocitat superior a 2 nusos. S'han obtingut 1.840 missatges enviats per 11 vaixells. D'aquests, s'ha obtingut que 2 vaixells navegaven amb una velocitat superior a 2 nusos i en estat de la navegació 5. Aquests vaixells han enviat un total de 58 missatges però el número de missatges que aquests 2 vaixells haurien d'haver enviat si l'estat de la navegació hagués estat el que pertocava (estat en moviment) és de 223 missatges.

Per tant, s'ha vist que la infrarepresentació de missatges és només del 9%. Així doncs, degut a la poca infrarepresentació que això implica i als pocs vaixells que aquests suposen (18%), es

procedirà a fer una comparació dels mapes de l'ocupació estàtica segons la freqüència d'emissió de missatges i segons la quantitat de vaixells presents.

La importància de poder fer un mapa d'ocupació a través dels missatges emesos rau en que mitjançant el gràfic del número de missatges emesos permetria deduir les zones amb una major o menor concentració de vaixells amb un cost computacional menor. Així doncs, en el següent apartat, s'analitzaran el mapa de densitat estàtica només segons el número de vaixells, ja que en aquest apartat s'ha vist que el mapa segons el número de missatges estaria massa sobre representat. En canvi en el cas dels mapes de densitat dinàmica es poden realitzar i es comparen segons el nombre de missatges i de vaixells.

5.2. Ocupació de la dàrsena

En aquest apartat s'han creat tres tipus diferents de mapes d'ocupació tant estàtica com dinàmica. El primer a analitzar ha estat el mapa d'ocupació per hores. El que s'ha fet és, de totes les dades AIS de cada mes, dividir la informació per hores. És ha dir, en cada hora hi consten els missatges enviats de tots els dies del mes en aquella hora.

El segon mapa d'ocupació generat és similar a l'anterior però per dies de la setmana. Amb altres paraules, la informació s'ha dividit per dies de la setmana i per cada dia hi consten els vaixells i missatges enviats de tot el mes durant aquell dia de la setmana per tal de veure si hi ha estacionalitat setmanal.

Finalment, l'últim mapa d'ocupació en comptes d'usar una variable temporal, s'ha usat la tipologia del vaixell. Per tant, en els mapes, la informació que hi trobem, són tots els vaixells i missatges enviats durant tot el mes dividit per la categoria de vaixell.

En l'Apartat 5.2.1 i 5.2.2, els resultats mostren la distribució de l'ocupació estàtica i dinàmica, respectivament, segons les tres variables temporals, mencionades anteriorment, durant els mesos de setembre, octubre i novembre.

Per tal de proporcionar una visió més clara de les dades analitzades, els mapes de densitat de vaixells i els mapes de densitat de missatges s'analitzaran conjuntament per les variables mencionades.

5.2.1. Distribució estàtica de la densitat del Port de Barcelona

Com s'ha explicat a l'Apartat 4.3 el càlcul de la distribució estàtica de la dàrsena s'ha realitzat amb els vaixells presents al port que tenen una velocitat inferior a 2 nusos, és a dir, aquells vaixells que estan quiets o pràcticament quiets, sense tenir en compte l'estat de la navegació del vaixell.

A continuació, a la Taula 7, es mostra el nombre de vaixells i el número de missatges emesos segons la categoria de vaixell per a tot el mes de setembre.

Taula 9. Número de vaixells i missatges emesos segons la tipologia de vaixell amb vaixells a una velocitat inferior a 2 nusos

Tipologia	# missatges	# vaixells
Ús futur	734	1
Vaixells genèrics	1.494.585	188
HSC	8.620	1
Especial	1.231.359	38
Passatgers	317.117	80
Càrrega	310.919	229
Tanquers	603.546	76
Altres	233.807	11

En la Taula 9 es pot comprovar com el número màxim de missatges i el nombre màxim de vaixells no correspon a la mateixa tipologia. Això, està indicant que hi ha tipologies que, tot i ser menor en nombre de vaixells, s'està més estona amarrat o atracat al port. Per exemple, en la Taula 7, es pot veure com els vaixells genèrics emeten un major número de missatges que els vaixells de càrrega però el nombre de vaixells és menor. Això indica que tot i que entrin més vaixells de càrrega dins del port, s'hi estan menys temps.

A continuació, a tall d'exemple, es mostra la densitat estàtica mínima i màxima del Port de Barcelona per hores, per dia de la setmana i per tipologia de vaixell durant tot el mes de setembre. S'ha escollit el mes de setembre com a mes exemplar perquè és el primer mes en el qual es comencen a tenir dades amb el format adequat de treball. Més detall sobre altres mesos analitzats es poden trobar a l'ANNEX 8.1.

La Figura 10 mostra el mapa de densitat de vaixells durant les hores de mínima i màxima confluència de vaixells del mes de Setembre 2019.

Durant el mes de setembre es pot observar com la densitat mínima i màxima de vaixells que naveguen a velocitats inferiors a 2 nusos, és a dir, que es consideren atracats o amarrats, es produeix a les 3 i a les 13 hores, respectivament. En la Figura 10 es pot observar com a les zones del Port Vell, terminals de contenidors i d'automòbils hi ha un major nombre de vaixells. També es pot observar com per a les dues hores mostrades, hi ha vaixells a les proximitats del port que naveguen a una velocitat inferior a 2 nusos i que probablement estan fondejats esperant entrar a port.

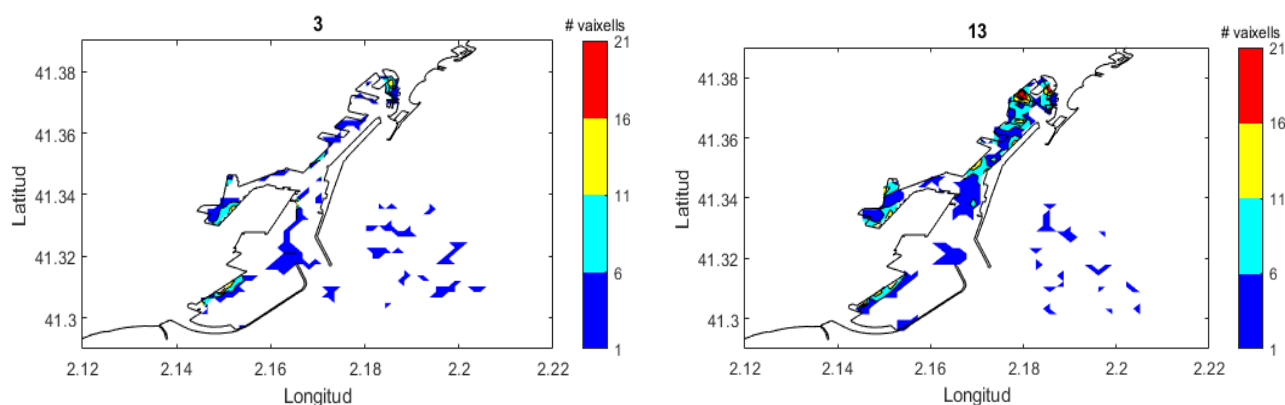


Figura 10. Distribució de l'ocupació estàtica de la dàrsena durant les hores de mínima (esquerra) i màxima (dreta) confluència de vaixells del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.

A continuació, la Figura 11, mostra la densitat d'ocupació per dies de la setmana segons la quantitat de vaixells durant tot el mes de setembre. Durant el dimecres s'hi produeix un mínim en el nombre de vaixells dins les aigües portuàries. En canvi, durant el dia de dilluns la quantitat de vaixells és màxima. Tot i que un dia s'hi produeixi un mínim i a l'altre un màxim, es pot observar com la distribució d'aquests dos dies és semblant. En els dos dies, a la zona del Port Vell i a la zona de d'automòbils el nombre de vaixells és major que en les altres zones del port.

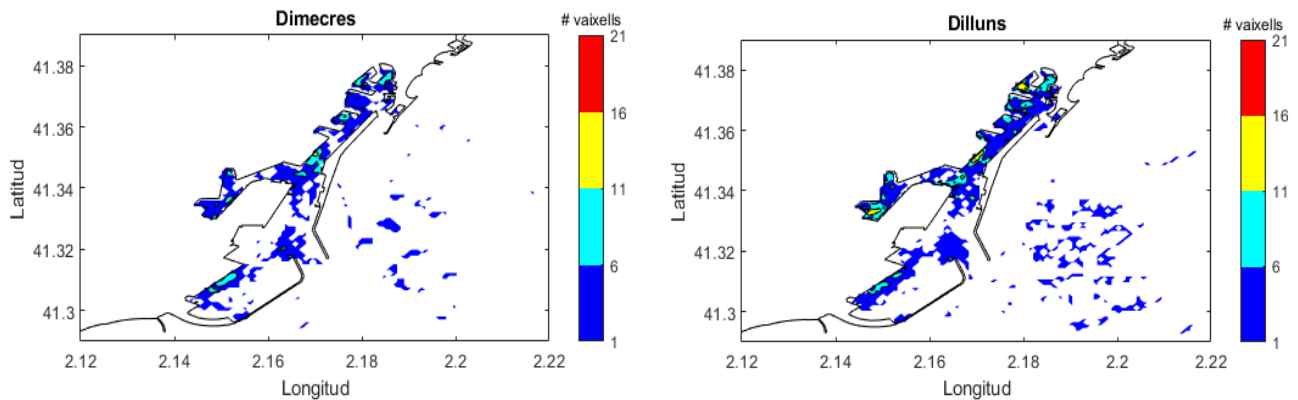


Figura 11. Distribució de l'ocupació estàtica de la dàrsena durant els dies de la setmana de mínima (esquerra) i màxima (dreta) confluència de vaixells del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.

La Figura 12 mostra els mapes de densitat d'ocupació segons les tipologies de vaixell que ens permetrà veure si hi ha una especialització al port en funció del tipus de vaixell. En la Figura 12, es pot pensar que els vaixells especials són els de major confluència, quan en realitat hi ha un major nombre de vaixells de càrrega. Degut a la funcionalitat dels vaixells especials, els quals ajuden a la maniobrabilitat dels vaixells dins del port, aquests realitzen una gran quantitat de viatges dins del port i per aquest motiu, en els mapes d'ocupació, pot semblar que hi ha una major confluència. En altres paraules, en aquest apartat s'està analitzant els vaixells que naveguen a una velocitat inferior a 2 nusos, per tant, degut a que els vaixells especials ajuden a maniobrar, han d'assolir velocitats menors mentre donen ajut a altres tipologies de vaixells. Per aquest motiu, en les cel·les creades els vaixells especials ocupen una major superfície. Així doncs, la funció dels mapes d'ocupació és tenir un coneixement en quant a la l'ocupació real en superfície però no en quantitat. Tanmateix, es pot observar com en la tipologia de vaixell genèric s'hi observen més zones de color vermell, el que ens indica que el número de vaixells en aquelles zones és d'entre 16 i 21 vaixells.

Un altre fet que es pot observar a la Figura 12, és que les tipologies de vaixell de càrrega i tanquers són en les que s'hi troben més vaixells a l'àrea exterior del port. Així doncs, la imatge mostra com aquestes dues categories són en les quals els vaixells fan més cua per entrar al Port de Barcelona, ja que s'estan analitzant aquells vaixells que es consideren que estan parats.

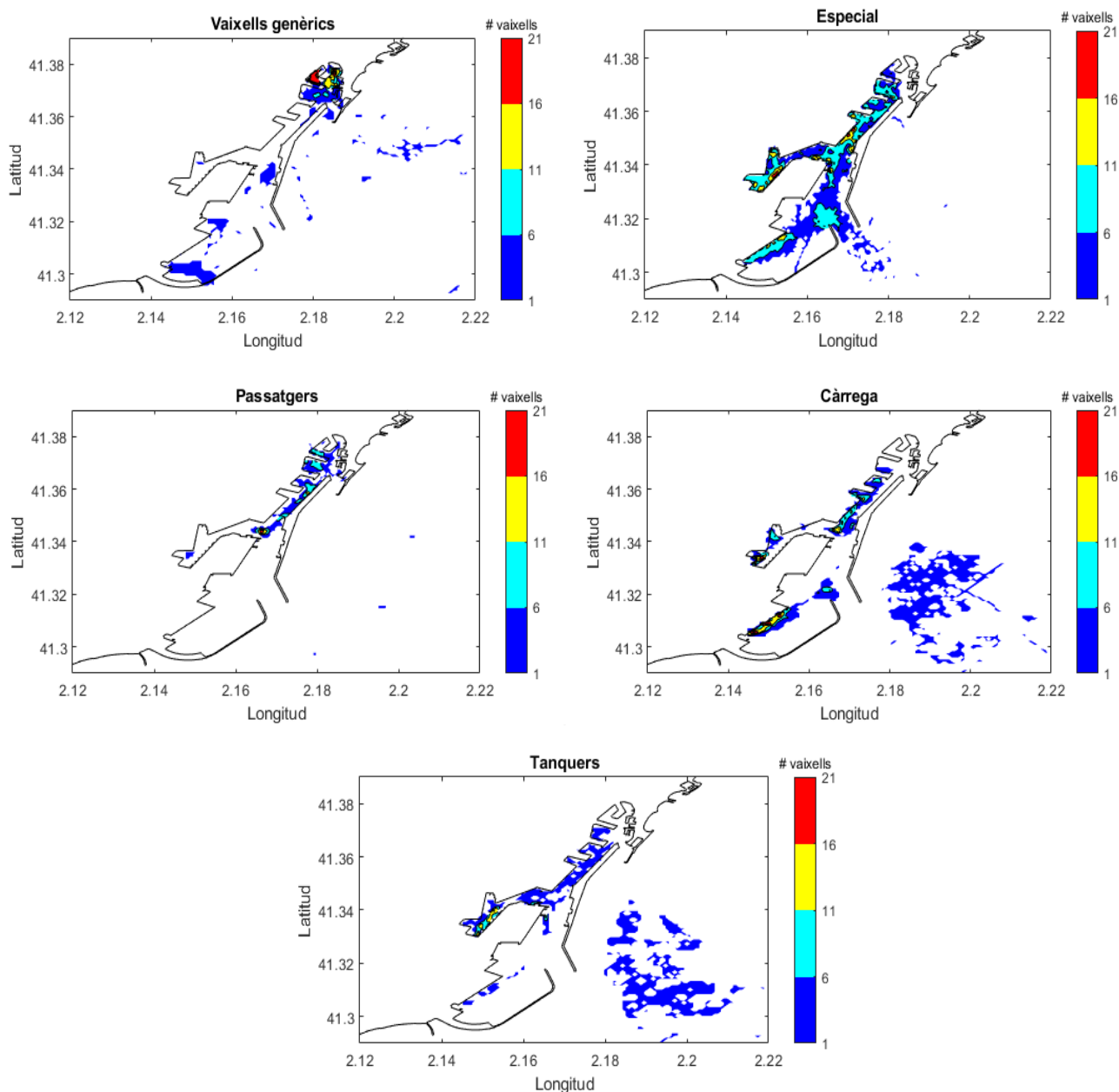


Figura 12. Distribució de l'ocupació estàtica de la dàrsena de número de vaixells segons al tipologia de vaixell del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.

Pels tres mesos es pot veure com la zona del Port de Barcelona amb una major densitat de vaixells per hora és la zona del Port Vell, seguida de la zona de Terminals de contenidors i polivalentes concretament en l'APM Terminals Barcelona i la terminal de líquid a granel.

De la Figura 24 a la Figura 26, es mostren els mapes de densitat per hores durant tot els mesos de setembre, octubre i novembre, respectivament. Es pot observar com durant totes les hores dels tres mesos considerats, s'hi observa una densitat de missatges prop de la bocana sud del port. Això vol dir que durant totes les hores hi ha vaixells fent cua.

Tant pel mes de setembre, octubre i novembre analitzats, es pot observar com la major densitat de vaixells es produeix entre les 9 i 16 hores i la menor densitat de missatges entre les 22 i 5 hores.

Seguidament, en les imatges de l'Annex 8.1.2 s'hi poden observar els mapes de densitat en funció del dia de la setmana. En els mapes de colors s'hi pot observar que els dies de la setmana amb una major nombre de vaixells són dilluns, dimecres i divendres pels mesos de setembre, octubre i novembre, respectivament. En canvi, els dies amb una menor confluència de vaixells són dimecres, per al mes de setembre i novembre, i dilluns, per al mes d'octubre.

També s'hi pot observar com durant els diferents dies de la setmana, tot i que els dies de màxima i mínima confluència no coincideixin, la distribució de missatges és la mateixa. És a dir, en la zona del port Vell i la terminal de líquids a granel s'hi produeix sempre una major confluència de vaixells per a tots els dies de la setmana.

Finalment, de la Figura 30 a la Figura 32 es mostren els mapes de densitats segons la tipologia de vaixell. En aquestes figures es pot concloure com durant els tres mesos, no hi ha cap constància dels vaixells WIG, com era d'esperar, ni HSC. En canvi, es pot veure com durant els tres mesos la tipologia de vaixell genèric ha estat la tipologia amb una major densitat de missatges però no de vaixells. La tipologia en que s'ha registrat un major nombre de vaixells han estat els vaixells de càrrega.

S'ha fet una comparació dels mapes d'ocupació estàtica amb les diferents variables escollides i per als tres mesos analitzats. En els mapes es pot observar com per a totes les hores i per a tots els dies de la setmana hi ha una acumulació de vaixells fora del Port de Barcelona, prop de les bocanes. Això indica que hi ha vaixells fondejats. Si s'observen els mapes de tipologia es pot veure com els vaixells que estan fondejats són els vaixells genèrics, els vaixells de càrrega i els tanquers.

Els vaixells genèrics que estan fondejats fora del Port de Barcelona, poden estar-ho, al objecte d'aquest estudi, per dos motius: perquè estan esperant per poder accedir al port, és a dir, fent cua o per altres motius (pesca, oci i d'altres).

D'altra banda, tant els tanquers (vaixells que porten líquids o gasos a granel) com els vaixells de càrrega (vaixells que transporten mercaderies, béns i materials) es troben fondejant prop de la bocana del port perquè estan fent cua per entrar-hi.

5.2.2. Distribució dinàmica de la densitat del Port de Barcelona

En aquest apartat es mostren els resultats de la ocupació dinàmica del port. Tal com s'ha explicat anteriorment en l'apartat 4.3, la distribució dinàmica es distingeix de l'estàtica per la velocitat. La ocupació dinàmica mostra la distribució de missatges i de vaixells que naveguen a una velocitat d'entre 2 i 6 nusos, ja que el que es vol és estudiar els vaixells que estan en moviment.

Tot seguit, tal i com s'ha fet a l'apartat 5.2.1, es mostren dues imatges exemplars que mostren la densitat dinàmica mínima i màxima del port per al mes de setembre per a les diferents variables escollides. Més detall sobre altres mesos analitzats es poden trobar a l'ANNEX 8.2 i 8.3.

La Figura 13 i Figura 14 mostren els mapes de densitat dinàmica per al número de missatges i vaixells, respectivament. En les figures es pot observar com l'hora de mínima densitat de missatges és la mateixa que l'hora amb una menor confluència de vaixells. En canvi, l'hora de màxima emissió de missatges és a les 16 hores i de vaixells a les 14 hores. Tot i que les hores de màxima emissió no sigui la mateixa que l'hora de màxima confluència, en les figures es pot observar com les zones de mínima i màxima emissió de missatges són les mateixes que les de mínima i màxima confluència. En la Figura 13 i Figura 14, durant les 16 hores i 14 hores, es pot

observar com hi ha una gran ocupació per tot el Port de Barcelona. En canvi, a les 3 hores es pot veure com a la zona del port Vell i a la terminal de contenidors i polivalents casi no s'hi detecten ni missatges emesos ni vaixells.

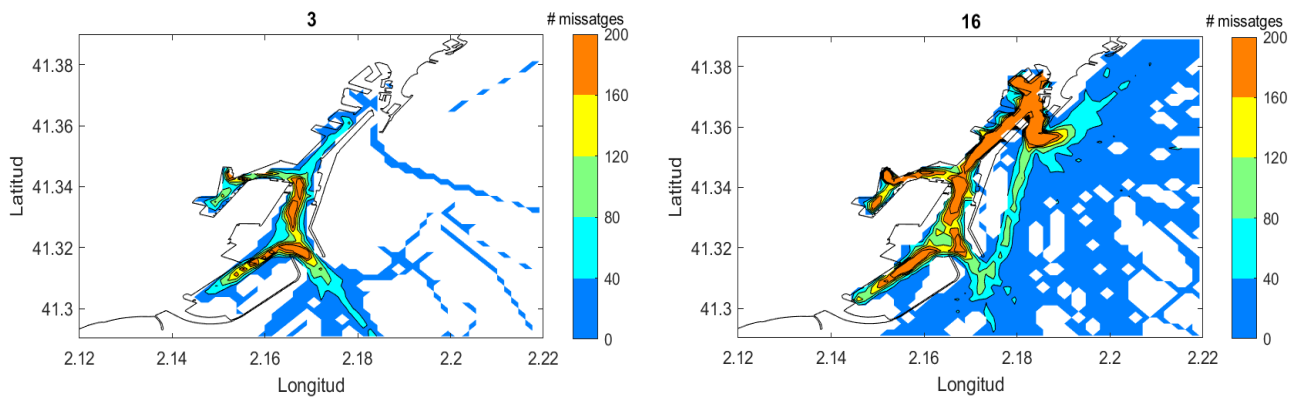


Figura 13. Distribució de la ocupació dinàmica de la dàrsena durant les hores de mínima (esquerra) i màxima (dreta) emissió de missatges del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.

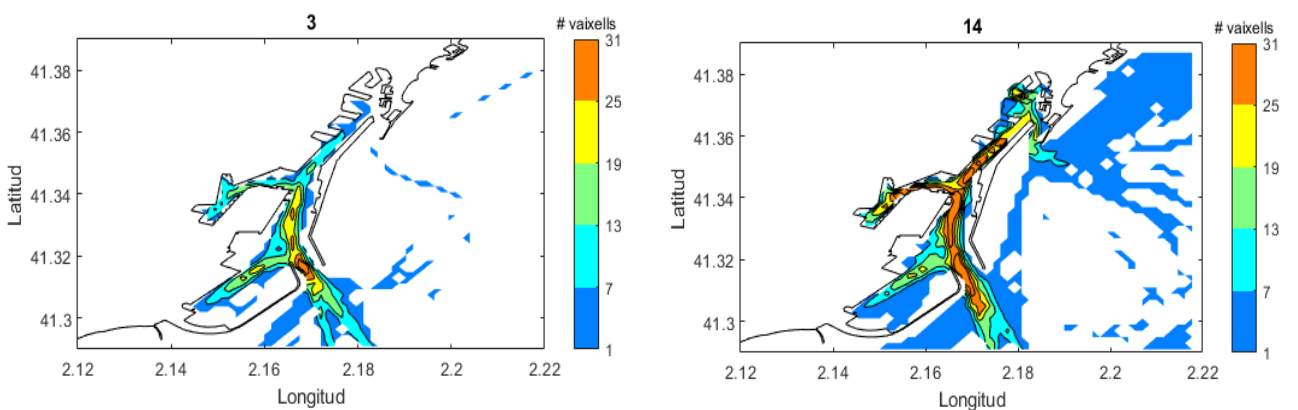


Figura 14. Distribució de l'ocupació dinàmica de la dàrsena durant les hores de mínima (esquerra) i màxima (dreta) emissió de missatges del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.

Tanmateix, les Figures Figura 15 i Figura 16 mostren la distribució dinàmica de missatges i de vaixells segons el dia de la setmana durant el mes de setembre. En les figures es pot observar com el dia mínim, tant d'emissió de missatges com de vaixells, és dimecres. D'altra banda, els dies amb un major nombre de vaixells i de missatges són dilluns i divendres, respectivament. Per als quatre dies analitzats s'hi pot observar una mateixa distribució tant de missatges com de vaixells. Es pot observar, com la zona del port vell i la terminal de contenidors són les zones on per als quatre dies hi ha un major número tant de missatges com de vaixells. En canvi, en la terminal BEST és on hi ha una menor confluència de vaixells i menor nombre de missatges per als quatre dies.

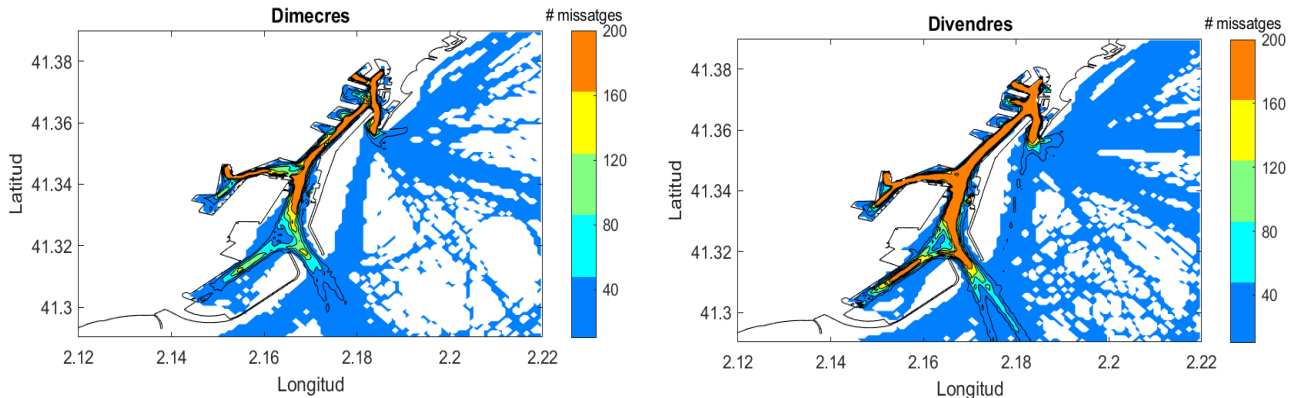


Figura 15. Distribució de l'ocupació dinàmica de la dàrsena durant els dies de mínima (esquerra) i màxima (dreta) emissió de missatges del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.

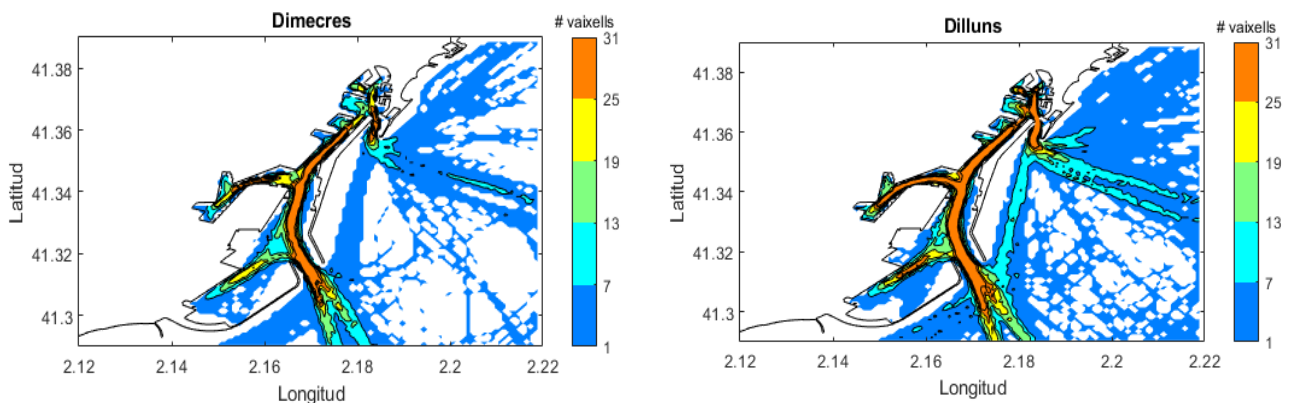


Figura 16. Distribució de l'ocupació dinàmica de la dàrsena durant els dies de la setmana de mínima (esquerra) i màxima (dreta) confluència de vaixells del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.

En la Figura 17 i Figura 18 es mostra la distribució dinàmica de missatges i vaixells, respectivament, segons la tipologia de vaixell. En els mapes de densitat dinàmica es pot observar com en la categoria de tanquers s'hi observa una menor densitat tant de missatges emesos com de vaixells. En canvi, per a la tipologia de vaixells especials s'hi pot observar un major nombre de vaixells i de missatges emesos, seguit de vaixells de passatgers.

Per a la categoria de vaixells genèrics i passatgers, es pot veure com en la zona del Port Vell hi ha una major quantitat de missatges i de vaixells. En canvi, per a la tipologia de vaixells especials, es pot observar com el major nombre de missatges es produeix en la terminal de líquids i granel però no el major nombre de vaixells. Això, és degut a les ajudes a la maniobrabilitat que dona a les tipologies de tanquers i vaixells de càrrega. Dels vaixells especials s'hi detecta un major número de missatges en aquella zona degut a que s'hi està més estona prestant ajut, però no una màxima confluència degut a que el número de vaixells especials dins del port no augmenta, és fix.

Tanmateix, la Figura 17 també mostra com no s'hi detecten vaixells especials dins del port vell. El port Vell és un port dedicat a embarcacions esportives, iots, per a la pesca, la nàutica i d'altres. Degut a la seva funcionalitat, els vaixells especials no necessiten ajuda en la maniobrabilitat ni serveis de practicatge, per això, no s'hi detecten vaixells especials dins del port vell.

Un altre fet que ens mostra la Figura 17 és la bocana per la qual entren les diferents categories de vaixells. Tal i com es pot observar, els vaixells genèrics i de passatgers entren per les dues bocanes. En canvi, els vaixells especials i de càrrega, tot i entrar també per les dues bocanes, es pot veure com hi ha una major densitat en la bocana sud. Finalment, es pot observar com els tanquers només usen la bocana sud per entrar al port.

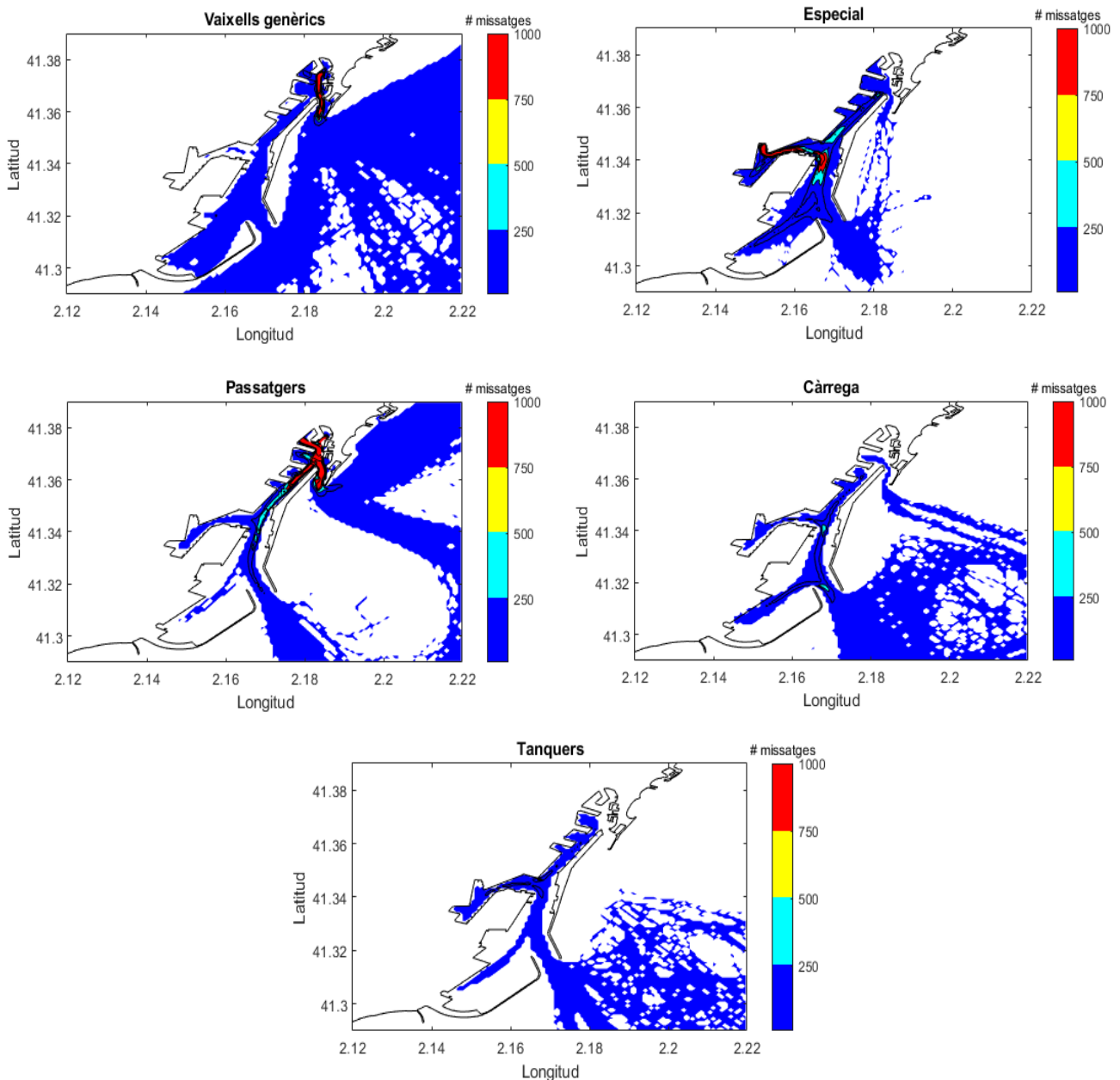


Figura 17. Distribució de la ocupació dinàmica de la dàrsena d'emissió de missatges segons al tipologia de vaixell del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.

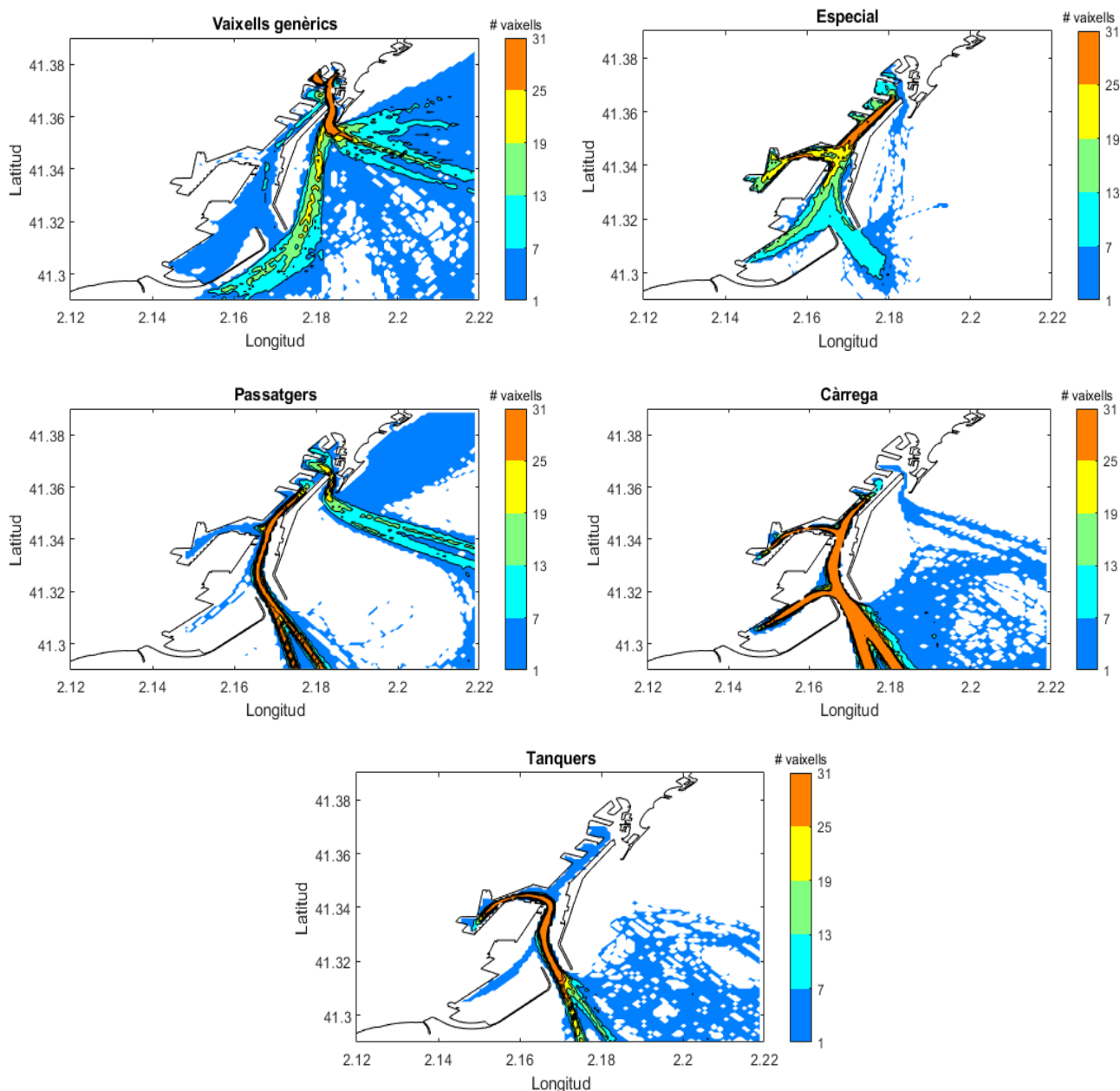


Figura 18. Distribució de l'ocupació dinàmica de la dàrsena de número de vaixells segons al tipologia de vaixell del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.

Si comparem les hores corresponents a les 14 hores de la Figura 42 (Annex 8.3.1) amb la Figura 10 es pot veure com la densitat i distribució de missatges són comparables, és a dir, el mapa d'ocupació segons la confluència de vaixells i segons freqüència de missatges per a vaixells que naveguen amb una velocitat inferior a 2 nusos són equivalents. Tot i que la franja horària amb el número màxim de missatges no sigui la mateixa que la franja amb la màxima quantitat de vaixells, es pot observar com les zones amb una major densitat de vaixells, també són les zones amb una major densitat de missatges. Aquest fet també passa si comparem els mapes segons els dies de la setmana i segons les tipologies de vaixell.

La Taula 8 mostra el número de missatges emesos per cada tipologia de vaixell i per a vaixells que naveguen amb una velocitat entre 2 i 6 nusos. Com es pot observar a la taula, les categories

de vaixell amb un menor número de missatges emesos són la d'ús futur i els vaixells HSC, perquè són els que menys utilitzen el Port de Barcelona. En canvi, la categoria amb una màxima emissió de missatges és la de vaixells especials, seguida de la tipologia de vaixells de passatgers.

Taula 10. Número de missatges emesos segons la tipologia de vaixell amb vaixells a una velocitat entre 2 i 6 nusos

Tipologia	# missatges	# vaixells
Ús futur	1.490	1
Vaixells genèrics	164.001	252
HSC	2.674	1
Especial	355.222	37
Passatgers	274.586	75
Càrrega	139.201	228
Tanquers	71.775	75
Altres	96.093	10

A la Taula 8 es pot observar com el número màxim de missatges i de vaixells no són en la mateixa tipologia de vaixell. Per exemple, la taula mostra com hi ha una major confluència en la categoria de vaixells genèrics però el número de missatges màxims es produeix per a la categoria de passatgers. Això vol dir que tot i que hi ha un major nombre de vaixells genèrics que passen pel Port de Barcelona, els vaixells de passatges s'hi estan més estona.

Les figures de l'Annex 8.2.1 i 8.3.1 mostren els mapes de densitat per hores durant tot el mes. Per als tres mesos analitzats, es pot observar com la major i la menor ocupació dinàmica es produeix entre les 22 hores i les 5 hores, respectivament.

Durant les franges horàries entre 0 i 4 del matí i entre 20 i 23 de la tarda, es pot observar com hi ha una menor confluència de vaixells i menor activitat d'emissió de missatges en la zona del port vell. En canvi, deixant de banda les zones de pas, la zona de terminals de contenidors i polivalents i la terminal d'automòbils, es pot veure com hi ha una gran emissió de missatges i de vaixells per totes les hores del dia.

Així doncs, en els mapes de densitat, tant estàtica com dinàmica, s'ha observat com les hores amb una menor quantitat de vaixells i emissió de missatges són de 20 de la tarda a 5 de la matinada. Això és degut a que la major activitat del port es produeix durant el dia, és a dir, que hi ha una influència de la condició de la llum. Tot i així, els patrons de distribució espacial de la densitat de vaixells estàtica i dinàmica, tant de dia com de nit, són bastant similars.

Seguidament, les figures de l'Annex 8.2.2 i 8.2.3 mostren l'ocupació dinàmica en funció del dia de la setmana. Per aquests mapes d'ocupació es pot veure com per al mes de setembre, octubre i novembre el dia de la setmana amb un major nombre de missatges i confluència de vaixells són dilluns, dijous i divendres, respectivament. Per altra banda, el dia de la setmana en que hi ha un menor número de missatges i de vaixells és dimecres, dilluns i diumenge per als mesos de setembre, octubre i novembre, respectivament.

Finalment, els mapes d'ocupació dinàmica segons la tipologia de vaixell es mostren en les figures de l'Annex 8.2.3 i 8.3.3. En les figures es pot observar com, per als tres mesos analitzats, no hi ha constància de vaixells WIG. També es pot observar que per a la tipologia de vaixell HSC només s'hi observen missatges alguns pocs missatges durant el mes de setembre. En canvi, deixant de banda la tipologia de vaixell especial, es pot veure un major número de missatges de la tipologia de vaixells de càrrega i vaixells genèrics tant per al mes de setembre, octubre i novembre. Caldria

veure amb dades històriques si això és una constant al llarg dels anys o es produeix de manera circumstancial només l'any 2019. De totes maneres, aquestes dades indiquen que hi ha variabilitat en el trànsit al Port de Barcelona i que la regularitat es redueix a les línies regulars de ro-ro i ro-pax, i alguns tanquers.

5.3. Velocitat dins les aigües portuàries

En el present apartat es mostren els mapes de velocitats dins l'àrea portuària. En aquests, el que s'ha fet ha estat, de totes les dades AIS de cada mes, s'ha dividit la informació segons la velocitat de navegació. Així, el primer mapa a analitzar ha estat el mapa de velocitat mitjana dels vaixells que naveguen a una velocitat inferior o igual a 6 nusos.

El segon mapa de velocitat a analitzar ha estat per als vaixells que naveguen a una velocitat superior als 6 nusos. Per aquests vaixells s'han creat dos mapes: un amb la velocitat mitjana i l'altre amb la velocitat màxima. Per al primer mapa, el que s'ha fet és calcular la velocitat mitjana de tots els vaixells en cada cel·la. En canvi, per al segon, s'ha agafat la velocitat màxima de la cel·la.

En l'Apartat 5.3.1 i 5.3.2, els resultats mostren la distribució de la velocitat per als vaixells amb una velocitat inferior o igual a 6 nusos i per als vaixells que naveguen a una velocitat superior, respectivament.

5.3.1. Distribució de la velocitat dels vaixells amb velocitat igual o inferior a 6 nusos

Com s'ha mencionat a l'Apartat 4.4 el càlcul de la distribució de la velocitat de la dàrsena s'ha realitzat amb els vaixells presents al port que tenen una velocitat inferior o igual a 6 nusos. S'ha calculat que els vaixells que respecten el lílndar de velocitat és d'un 89,9%.

A continuació, a tall d'exemple, es mostra la distribució de la velocitat mitjana dins les aigües del Port de Barcelona per als vaixells que naveguen a una velocitat inferior o igual a 6 nusos. De la mateixa forma que en l'Apartat 5.1.3, s'ha escollit el mes de setembre com a mes exemplar perquè és el primer mes en el qual es comencen a tenir dades amb el format adequat de treball. Més detall sobre altres mesos analitzats es poden trobar a l'ANNEX 8.3.

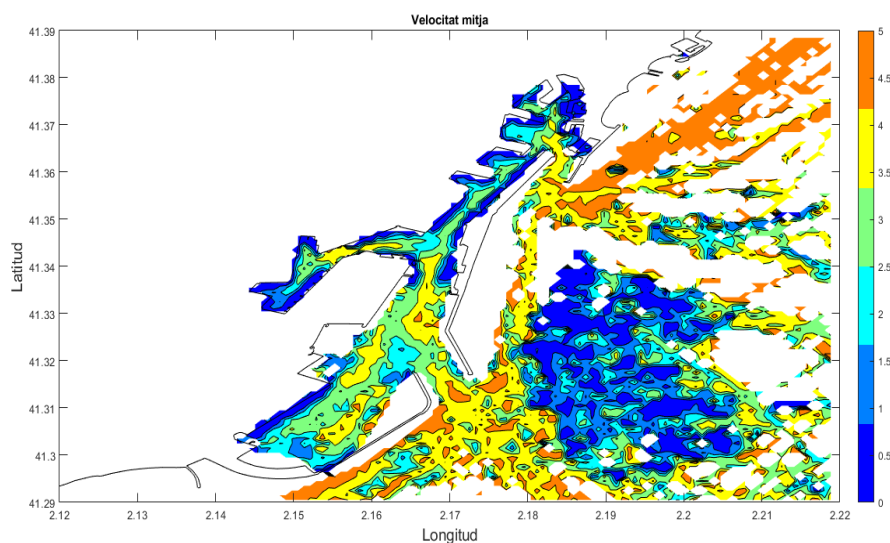


Figura 19. Distribució de la velocitat mitjana, en nusos, dels vaixells, en nusos, que naveguen a una velocitat inferior o igual a 6 nusos del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de la velocitat a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.

En la Figura 19 es pot observar el mapa de distribució de la velocitat mitjana. En el mapa, es pot observar com a la zona exterior del port la velocitat de navegació dels vaixells es d'entre 4 i 6 nusos. També es pot veure com a l'hora d'entrar al port, concretament en les dues bocanes, la velocitat mitja es troba entre els 3 i els 4 nusos. Cal destacar com a les aigües exteriors del port també s'observa una distribució de la velocitat d'entre 0 i 1 nusos.

D'altra banda, a l'interior del port es pot observar com la major velocitat mitjana és d'uns 3 nusos en les zones de pas i com en les zones properes a les dàrsenes la velocitat disminueix, sent aquesta d'entre 2 i 0 nusos. Aquesta reducció de la velocitat és deguda a que els vaixells durant les maniobres d'atracament han de reduir força la velocitat per tal de poder tenir un bon control durant aquestes operacions.

Les Figures 40 i 41 (Annex 8.4.1) mostren la distribució de la velocitat mitjana pels mesos d'octubre i novembre. Es pot observar com la distribució de la velocitat segueix un patró similar per als tres mesos analitzats.

5.3.2. Distribució de la velocitat per a velocitats superiors a 6 nusos

En aquest apartat es mostren els resultats de la distribució de la velocitat mitja i màxima dels vaixells que naveguen a més de 6 nusos. Amb aquests mapes de la distribució de la velocitat el que es vol és veure el percentatge de vaixells que no respecten les limitacions de velocitats i saber quina és la mitjana de superació d'aquest llimitar, així com les zones on es produeix aquesta superació i la velocitat màxima. S'ha calculat que el percentatge de vaixells que naveguen dins de les aigües portuàries a una velocitat major de 6 nusos es del 10,1%.

Tot seguit, tal i com s'ha fet a l'apartat 5.3.1, es mostren dues imatges exemplars que mostren la distribució de la velocitat mitjana i màxima dels vaixells que naveguen a més de 6 nusos dins les aigües del port per al mes de setembre per a les diferents variables escollides. Més detall sobre altres mesos analitzats es poden trobar a l'ANNEX 8.4.

A continuació, la Figura 20 mostra el mapa de distribució de la velocitat mitjana dins les aigües del Port de Barcelona dels vaixells que naveguen a una velocitat superior a 6 nusos. En la imatge superior s'ha calculat la velocitat mitjana tenint en compte tots els vaixell, en canvi, a la imatge de sota, els vaixells especials han estat eliminats. S'ha decidit eliminar la presència dels vaixells especials seguint els criteris ja plantejats en anteriors apartats per a treure la influència d'aquestes embarcacions en els resultats. També perquè a l'ésser serveis de port, poden necessitar superar el llimitar màxim de velocitat degut a situacions d'emergència.

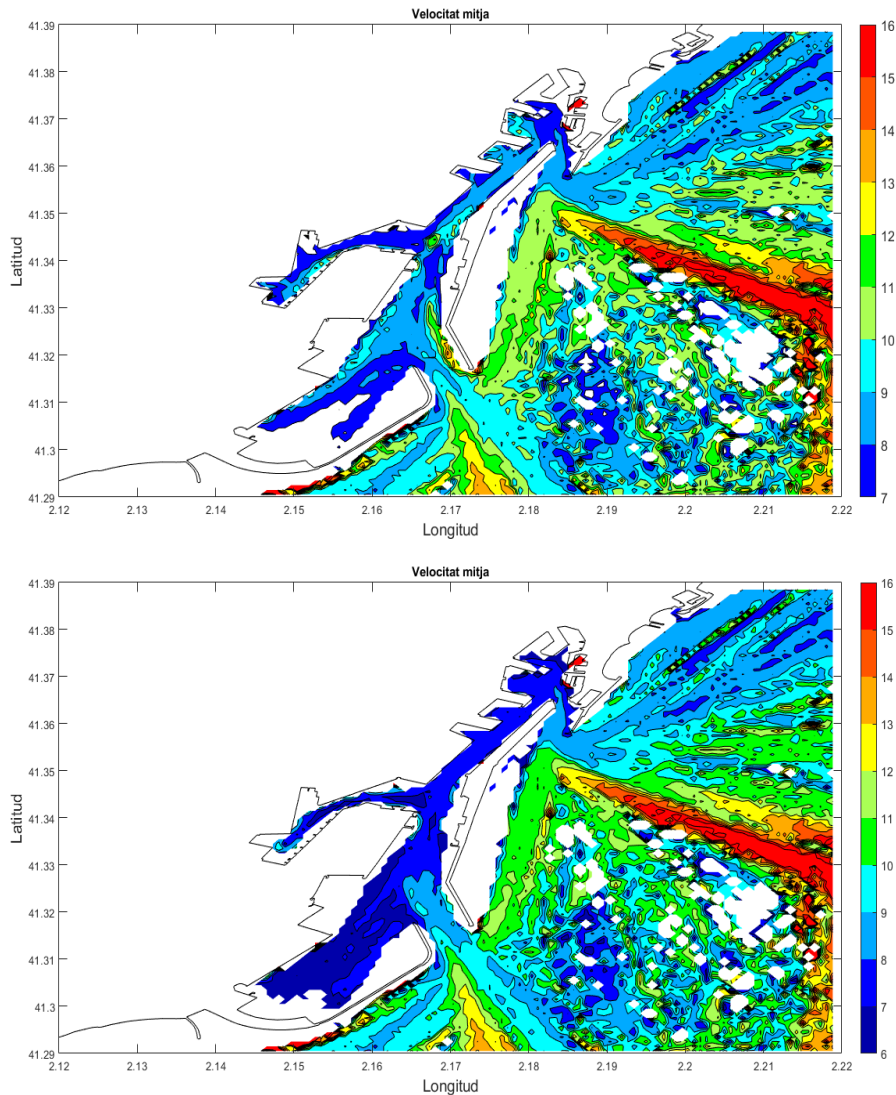


Figura 20. Distribució de la velocitat mitjana, en nusos, dels vaixells que naveguen a una velocitat superior a 6 nusos del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. A la imatge de dalt es mostra la distribució de la velocitat tenint en compte els vaixells especials i a la imatge de sota sense els vaixells especials. El valor de la velocitat a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.

En la imatge de sota es pot veure com a l'interior del port s'hi poden trobar vaixells que naveguen entre 6 i 8 nusos. En les zones de pas predomina una velocitat d'entre 7 i 8 nusos, mentre que en les zones properes a les dàrsenes s'hi observa una reducció de la velocitat.

Si comparem les dues imatges de la Figura 20, es pot observar com hi ha una variació de la velocitat mitjana dins del port si eliminem els missatges emesos pels vaixells especials. Això indica que els vaixells especials són els vaixells que naveguen dins del port amb una velocitat dintre 8 i 9 nusos. Així doncs, els vaixells especials modifiquen molt els resultats de velocitat i degut a la seva mida (vaixells no gaire grans) i a la seva funcionalitat d'ajuda, poden revessar el límit establert de velocitat.

No obstant, cal tenir en compte que tot i que els vaixells especials hagin estat eliminats en la imatge de sota de la Figura 20, encara hi ha un revessament de la velocitat dins del port. Aquest comportament dels vaixells dins les instal·lacions portuàries pot comportar un risc en la seguretat de la navegació. Així doncs, si comparem aquesta imatge amb les imatges de densitat

d'ocupació es poden trobar punts crítics amb un major risc de col·lisió. Aquestes zones crítiques, són les zones en que hi ha un revessament de la velocitat i una densitat alta de vaixells. Per exemple, en la Figura 12 i Figura 18 podem observar com hi ha una major densitat de vaixells de càrrega i tanquers en les aigües situades entre la terminal d'automòbils i la terminal de líquids a granel. A la Figura 20 (a sota), es pot observar com la velocitat mitjana en aquella zona és d'entre 7 i 8 nusos, fins i tot major. Això pot suposar una zona de risc, tot i així faria falta fer un estudi més exhaustiu.

D'altra banda, a la zona exterior del port s'hi pot observar com hi ha una gran variació de la velocitat. El límit de la velocitat en les espais exteriors al port i les zones de precaució a ambdues bocanes, tal com s'ha mencionat en l'Aparat 3, és de 15 nusos. A la Figura 20 es pot observar com en l'exterior del port aquesta limitació de la velocitat es respecta, sent la velocitat mitja d'entre 8 i 11 nusos.

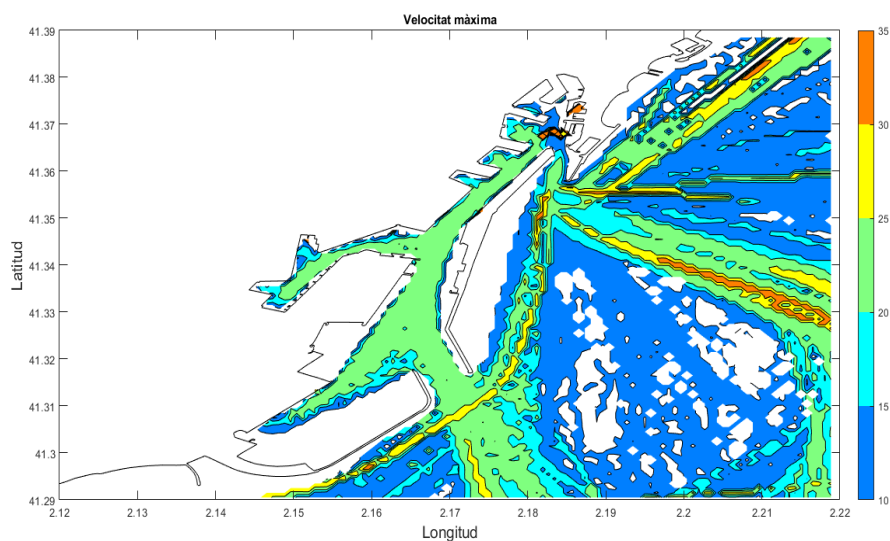


Figura 21. Distribució de la velocitat màxima, en nusos, dels vaixells que naveguen a una velocitat superior a 6 nusos del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de la velocitat a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.

La Figura 21 mostra la màxima velocitat, és a dir, la velocitat del vaixell que anava a major velocitat en cada cel·la. Es pot observar com tant dins del port com en les bocanes hi ha vaixells que naveguen amb una velocitat 20 i 25 nusos. Es presuposa que aquests vaixells són vaixells especials que han hagut de prestar servei en alguna emergència que hi hagi succeït al port. A més, la metodologia indica la velocitat màxima durant tot un mes en cadascuna de les cel·les i per tan és velocitat màxima acumulada. Tot i així, els valors són exageradament alts.

5.4. Temps de residència

En aquest apartat es mostren els resultats del temps de residència dels vaixells dins el Port de Barcelona. Primer s'ha calculat el mapa del temps de residència mitjà per a tots els vaixells del port que estan parats, és a dir, amb una velocitat inferior a 2 nusos. Seguidament, es mostra el mapa de temps d'ocupació promig per a les diferents tipologies de vaixells. Tal i com s'ha comentat en l'Apartat 4.5, s'han generat dos mapes del temps d'ocupació: tenint en compte els vaixells especials i sense tenir-los en compte.

A continuació, tal com s'ha fet als apartats anteriors, es mostren exemplars dels resultats per al mes de setembre. Més detall sobre altres mesos es poden trobar a l'ANNEX 8.6.

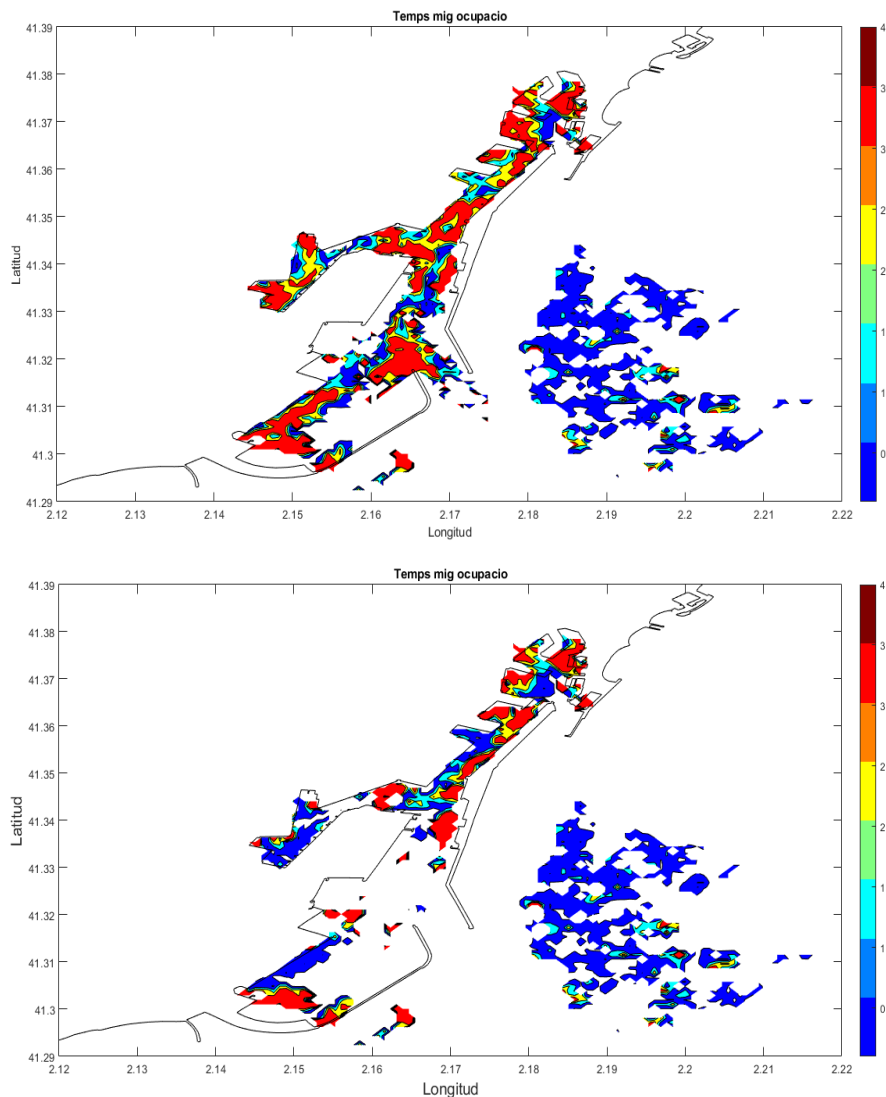


Figura 22. Distribució del temps d'ocupació promig, en dies, del mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. A la imatge de dalt es mostra la distribució de la velocitat tenint en compte els vaixells especials i a la imatge de sota sense els vaixells especials. El valor del temps a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.

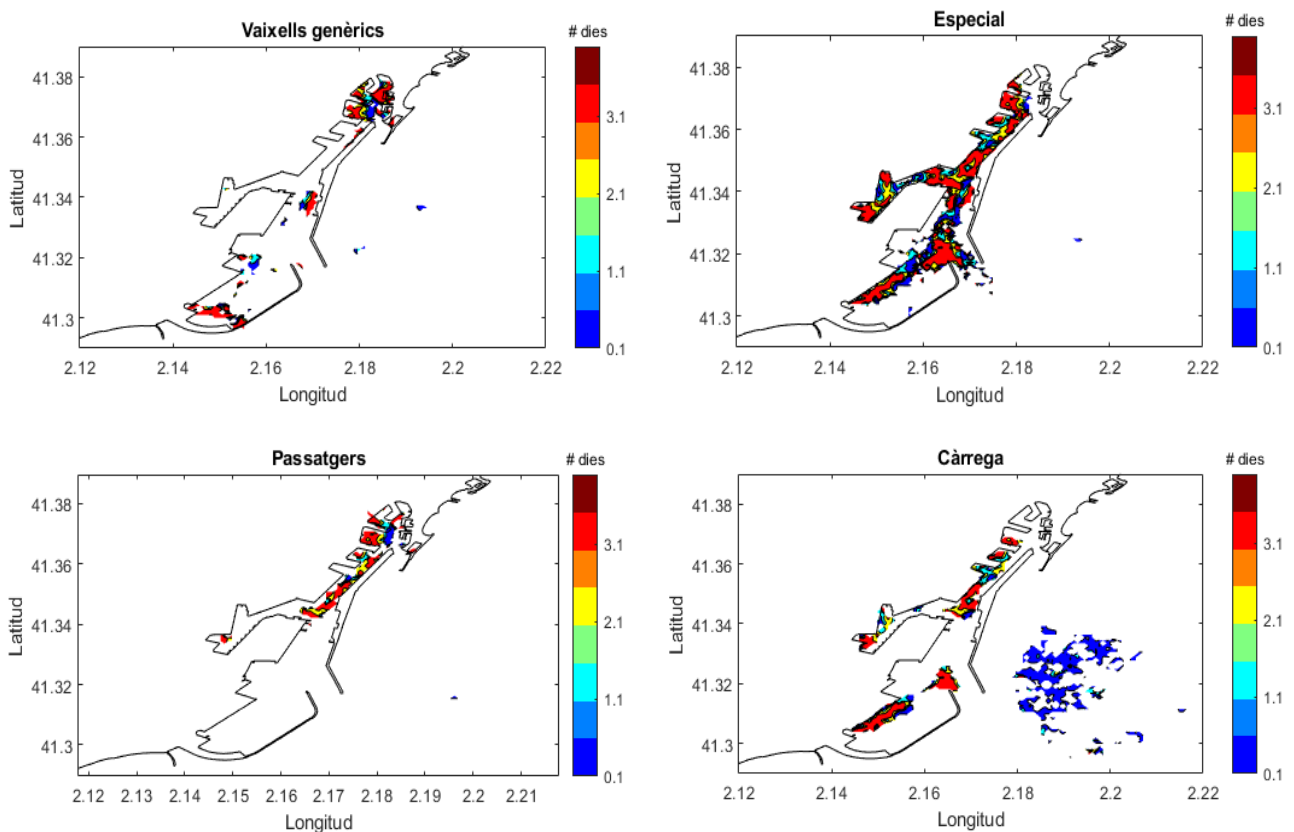
En la Figura 22, es mostra el mapa del temps mitjà d'ocupació tenint en compte els vaixells especials (imatge de dalt) i sense tenir-los en compte (imatge de sota). En la imatge de sota es pot observar com el temps promig d'ocupació és major per a la terminal de creuers, terminal de ferris i el Port Vell el qual es troba entre els tres dies i tres dies i mig. Dins del port també es pot observar com en la terminal de contenidors i polivalents i la terminal d'automòbils, el temps mig és menor sent aquest d'aproximadament mig dia.

Es d'esperar que la terminal de creuers, ferris i el Port Vell tinguin un major temps d'ocupació, ja que són terminals dedicades al turisme i l'oci. Així doncs, els creuers, ferris i iots que arriben al port de Barcelona, s'hi estan de temps mig 3 dies. Aquests vaixells estan dins de la categoria de vaixells genèrics i vaixells de passatgers. Si ens fixem en la Figura 12, tot i que els vaixells

genèrics i de passatger són els que s'estan més estona dins del port, la quantitat de vaixells d'aquesta tipologia que fan cua és menor que la dels vaixells de càrrega i tanquers.

Un altre fet que es pot observar en la Figura 22 és el temps mig d'espera dels vaixells que estan fent fua per entrar al port. Com es pot observar en la imatge el temps mig d'espera és de mig dia. En la Figura 23, es mostra el temps d'ocupació segons la tipologia de vaixell. Com es pot observar, i tal i com s'ha mencionat, la tipologia de vaixells que realitza una major espera per entrar al port són els vaixells de càrrega i els tanquers. Això, podria fer pensar o bé que el Port de Barcelona prioritza i s'especialitza en vaixells genèrics i passatgers, construint més terminals per al seu atrac i per tant tenint més capacitat.

Així doncs, s'ha calculat el nombre de vaixells que han passat durant el mes de setembre pel Port de Barcelona. Durant el mes de setembre del 2019 han passat un total de 729 vaixell. D'aquests, 268 eren vaixells genèrics, 81, vaixells de passatgers, 229, vaixells de càrrega i 76, tanquers. Així doncs, es pot veure que els vaixells genèrics i de passatgers constitueixen un 47,87% dels vaixells que han passat pel port. En canvi, els tanquers i els vaixells de càrrega són un 41,84%. Mitjançant aquest percentatge es pot veure com el Port de Barcelona te una major capacitat per als vaixells genèrics i de passatgers, ja que a banda de haver-hi més, el temps d'espera per entrar al port és menor. Així i tot, també caldria saber si el fet de fer esperar les tipologies de càrrega o tanquers és deu més al fet de no haver suficient superfície terrestre per a l'stock.



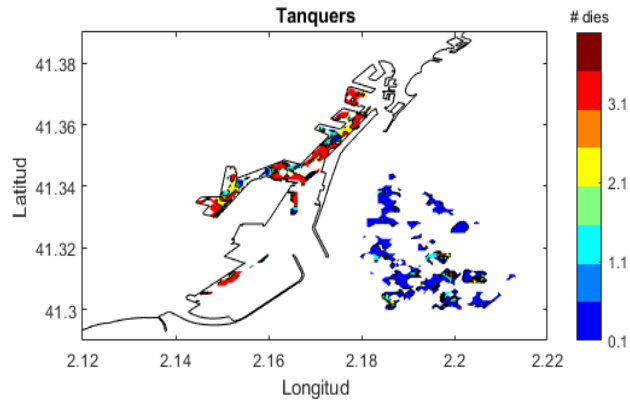


Figura 23. Distribució del temps d'ocupació promig, en dies, per a les tipologies de vaixell més representatives dins del port per al mes de setembre de 2019 per a tot el Port de Barcelona. El valor de l'ocupació a cada punt s'indica amb un gradient de color de fons. La línia negra continua mostra el perfil del Port de Barcelona.

D'altra banda, la Figura 23, també mostra que els vaixells que mostren un major temps d'ocupació són els vaixells especials, és a dir, els vaixells que ajuden a maniobrar a altres tipologies de vaixells. També, la resta de tipologia de vaixells presenta un temps mig d'ocupació de tres dies aproximadament, excepte en algunes dàrsenes que es de dos dies.

D'altra banda, la tipologia de vaixell que mostra un major temps d'espera per entrar al Port de Barcelona són els tanquers i els vaixells de càrrega, els quals realitzen una espera d'entre mig dia i un dia.

En les Figura 61 i Figura 62 es mostren els mapes de temps promig dels mesos d'octubre i novembre. En els mapes es pot observar com en aquest dos mesos el temps d'ocupació en la zona del Port Vell i la terminal de sòlids a granel és major que durant el mes de setembre.

6. CONCLUSIONS

Tenir una visió profunda del trànsit de vaixells en les aigües del port és necessari per tal de poder mantenir l'eficiència operativa i la seguretat d'un port. Un coneixement exhaustiu del trànsit a través de mapes reals de variables representatives pot reduir en gran mesura el cost de l'actuació i l'impacte mediambiental en els ports. Aquest treball ha permès conèixer l'existència i utilitat de les dades AIS com a ajuda a la navegació, però sobretot demostrar l'alt potencial que tenen aquestes dades per a la gestió portuària en general i del Port de Barcelona en particular.

Les hipòtesis de càlcul emprades, així com la metodologia utilitzada, s'han demostrat adequades. Es pot constatar que les dades AIS serveixen per trobar patrons en les diferents franges horàries escollides. El programa Matlab ha estat capaç de representar els patrons d'ocupació, velocitat i temps d'ocupació més comuns de l'àrea d'estudi. Cal assenyalar que, degut a l'estabilitat del trànsit de vaixells dins del Port de Barcelona, s'han analitzat les dades AIS del mes de setembre, com a exemple, per a demostrar la utilitat d'aquesta eina en la gestió portuària la resta dels mesos de l'any.

En la Figura 3 i Figura 4, es pot veure com la evolvent per als mesos de setembre, octubre i novembre és la mateixa. En altres paraules, tot i que els histogrames segons el nombre de missatges i de vaixells segueixin patrons diferents, en cada un d'ells els tres mesos analitzats segueixen un mateix patró. Això permet detectar variacions o, en el cas de disposar de dades històriques AIS, fer una predicció dels futurs vaixells dins del port segons franges horàries d'interès.

També s'ha demostrat com la gestió de les dades AIS permet dur a terme un major control del port. Mitjançant aquestes dades, es poden traçar les trajectòries de diferents vaixells o d'un únic vaixell en concret. Això permet veure en temps real la trajectòria dels vaixells d'interès, la qual cosa pot ajudar en la presa de decisions ja que es té una visió més amplia de l'estat dins del port, i també de vaixells que hagin estat en algun moments dins les aigües portuàries del Port de Barcelona.

També s'ha mostrat com, a través dels mapes d'ocupació, tant dinàmic com estàtic, es pot dur a terme una gestió del port mitjançant una visió més global. Les Autoritats Portuàries no tenen coneixement de com de sobrecarregada està una via d'accés però sí les dàrsenes. Així, els mapes d'ocupació permeten veure l'ocupació de les vies d'accés i de les dàrsenes en temps real. A més, mitjançant dades històriques, permet fer una previsió dels dies, mesos i anys següents.

Si el camp de l'estat de navegació (dins dels missatges 1-2-3) fos el que toca en cada moment, el número de missatges seria equivalent al número de vaixells tant en l'ocupació estàtica com dinàmica ja que els intervals d'emissió de missatges serien els mateixos per a les diferents velocitats. Realitzar els mapes d'ocupació mitjançant els missatges té un cost computacional menor. En el cas dels mapes estàtics, els mapes mitjançant els missatges no representen l'ocupació real del port però degut a que la quantitat de vaixells i de missatges és menor, hi ha una menor quantitat de dades per gestionar.

Les dades AIS també permeten veure com la velocitat del trànsit en les aigües portuàries està significativament agrupada. Al comparar la velocitat entre els mesos de setembre, octubre i novembre, s'ha observat que el patró espacial de la velocitat del trànsit es manté similar durant els tres mesos. Mitjançant les dades AIS, el Port de Barcelona pot dur un control en temps real de la velocitat dels vaixells dins del port. Amb això, és podria generar un *warning* per quan el

límit de velocitat es revessat. L'Autoritat Portuària de Barcelona té molt controlades les zones d'atrac però no les zones de pas i les dades AIS permeten controlar també l'ocupació i la velocitat a les zones de pas.

Com s'ha pogut veure, tenir un control del que esta passant dins les aigües portuàries en temps real permet al Port de Barcelona dur una gestió i un control de tots els vaixells i de totes les àrees del port de forma global. Així doncs, aquest treball mostra com les dades massives AIS, creades com a eina d'ajut per a la seguretat de la navegació, es poden usar per a la gestió portuària.

Amb aquesta eina es poden automatitzar els processos estadístics i de presa de decisions en temps real (*Real Time Decision Maker*). També, permet dur a terme prediccions a través de dades històriques AIS, així com realitzar estudis de la demanda actual i futura, de la contaminació de l'aire o de l'erosió del fons del port a través de les dades de la velocitat.

7. REFERÈNCIES

- Coello, J., Williams, I., Hudson, D. A., & Kemp, S. (2015). An AIS-based approach to calculate atmospheric emissions from the UK fishing fleet. *Atmospheric Environment*, *114*, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.05.011>
- Cornejo, J. . (2011). *Mapas de ocupación del suelo. Herramienta para el análisis del impacto ambiental*. Retrieved from <https://comunidadism.es>
- Goldsworthy, L., & Goldsworthy, B. (2015). Modelling of ship engine exhaust emissions in ports and extensive coastal waters based on terrestrial AIS data - An Australian case study. *Environmental Modelling and Software*, *63*, 45–60. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.09.009>
- Li, C., Borcken-Kleefeld, J., Zheng, J., Yuan, Z., Ou, J., Li, Y., ... Xu, Y. (2018). Decadal evolution of ship emissions in China from 2004 to 2013 by using an integrated AIS-based approach and projection to 2040. *Atmos. Chem. Phys*, *18*, 6075–6093.
- Meng, Q., Weng, J., & Li, S. (2014). Analysis with Automatic Identification System Data of Vessel Traffic Characteristics in the Singapore Strait. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2426*(1), 33–43. <https://doi.org/10.3141/2426-05>
- Moisès, J. (2011). Port de Barcelona. Retrieved from Territori. Observatori de projectes i debats territorials de Catalunya website: http://territori.scot.cat/cat/notices/2011/11/port_de_barcelona_2011_3022.php
- Mujal-Colilles, A., Bagés, C., & Fonollosa, J. (2020). Maneuvering and operativity maps using AIS data. *5th International Conference on Maritime Technology and Engineering*. Lisbon.
- Shelmerdine, R. L. (2015). Teasing out the detail: How our understanding of marine AIS data can better inform industries, developments, and planning. *Marine Policy*, *54*, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.12.010>
- Tsou, M. C. (2010). Discovering knowledge from AIS database for application in VTS. *Journal of Navigation*, *63*(3), 449–469. <https://doi.org/10.1017/S0373463310000135>
- UNCTAD. (2018). *Annual Report*. Retrieved from <https://unctad.org/annualreport/2018/Pages/index.html>
- Wang, S., Meng, Q., & Sun, Z. (2013). Container routing in liner shipping. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *49*(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2012.06.009>
- Wang, Y., Zhang, J., Chen, X., Chu, X., & Yan, X. (2013). A spatial-temporal forensic analysis for inland-water ship collisions using AIS data. *Safety Science*, *57*, 187–202. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.02.006>
- Zhang, L., Meng, Q., & Fang Fwa, T. (2019). Big AIS data based spatial-temporal analyses of ship traffic in Singapore port waters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *129*, 287–304. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.07.011>
- Zhang, L., Wang, H., & Meng, Q. (2015). Big Data–Based Estimation for Ship Safety Distance Distribution in Port Waters. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2479*(1), 16–24. <https://doi.org/10.3141/2479-03>